



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

INTEGRAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA

Rev. 0.0

Data: Febbraio 2022

VIA-WIND001.REL003a

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	6
2 Normativa di riferimento	6
3 Studi ed indagini di riferimento.....	7
4 Inquadramento geografico generale	7
5 Caratteristiche di progetto dell'opera.....	14
6 Inquadramento geologico.....	15
6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	16
6.1.1 Unità tettonica di Riu Gruppa	18
(CSA) Complesso di Sa Lilla.....	18
6.1.2 Unità tettonica del Gerrei	19
(SVI) Arenarie di San Vito	19
(MRV) Metaconglomerati di Muravera.....	20
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria:	21
(PRF) Porfiroidi (Auct.)	21
(MGM) Metarose di Genna Mesa	22
(ACN) Argilloscisti di Rio Canoni.....	22
(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.).....	23
(PMN) Complesso di Pala Manna.....	23
6.1.3 Unità tettonica di Meana Sardo	24
(SVI) Arenarie di San Vito	24
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria	24
(md) Metadoleriti.....	26
6.1.4 Corteo filoniano	26
6.1.5 Successione sedimentaria Terziaria	27
(FMC) Formazione di Monte Cardiga	27
(FMCa) Arenarie e puddinghe.....	27
(FMCb) Calcari.....	28
6.2 Depositi Quaternari dell'area continentale.....	28
(PVM2a) Depositi alluvionali terrazzati antichi	28
(bna) Depositi alluvionali Terrazzati	29
(ba) Depositi alluvionali.....	29
(b2) Coltri eluvio-colluviali	29
(a) Depositi di versante	29

7	Analisi delle condizioni geostrutturali generali	30
7.1	Campagna di raccolta dati geostrutturali su affioramento	33
7.1.1	Formazione delle Arenarie di San Vito	34
7.1.2	Formazione dei Porfiroidi.....	37
7.1.3	Formazione del Monte Cardiga.....	40
	Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso	44
8	Inquadramento geomorfologico	51
8.1	Lineamenti geomorfologici generali	51
8.2	Definizione dell'area geomorfologicamente significativa	54
9	Inquadramento idrologico e idrogeologico.....	58
9.1	Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea	58
9.2	Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee.....	62
10	Inquadramento climatico.....	66
10.1	Precipitazioni.....	68
10.2	Temperature	69
10.3	Stima dell'Evapotraspirazione.....	70
11	Inquadramento pedologico.....	74
12	Uso del Suolo	74
13	Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....	75
13.1	Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.)	75
13.2	Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.	77
13.3	Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....	80
13.4	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	82
14	Indagini geognostiche	82
14.1	Sondaggi Geognostici.....	84
14.1.1	Attrezzature utilizzate	86
14.1.2	Prove SPT (Standard Penetration Test)	87
14.2	Stratigrafia dei sondaggi	88
14.2.1	BN_S01.....	88
14.2.2	BN_S02.....	88
14.2.3	BN_S03.....	88
14.2.4	BN_S04.....	89
14.2.5	BN_S05.....	89
14.3	Sismica a Rifrazione - Tecnica e parametri utilizzati.....	89

14.4 M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati	91
14.5 Sismica a Rifrazione – Elaborazioni e risultati	93
14.5.1 Base Sismica R1.....	93
14.5.2 Base sismica R2	95
14.5.3 Base Sismica R3.....	96
14.6 MASW – Elaborazioni e risultati.....	98
14.6.1 Base sismica M1.....	99
14.6.2 Base Sismica M2.....	100
14.6.3 Base Sismica M3.....	101
14.7 Considerazioni sull’assetto geostrutturale degli ammassi rocciosi	102
14.8 Analisi di Laboratorio	103
14.7.2 Prove di Rottura Point Load	104
14.7.1 Prove di taglio diretto in scatola di Casagrande	106
15 Modellazione geologica	107
15.1 Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	107
5.4 Modello Geologico di sito	117
Modello Geologico 01 – PORFIROIDI – WTG01, WTG03, WTG13, WTG14	118
Modello Geologico 02 – ARENARIE M.te Cardiga – WTG04, WTG05, WTG09, WTG011, WTG012	119
Modello Geologico 03 – ARENARIE M.te Cardiga + PORF – WTG06, WTG07, WTG08.....	120
Modello Geologico 04 – Argille + PORFIROIDI – WTG02.....	121
Modello Geologico 05 – ARENARIE M.te Cardiga – WTG10.....	122
15.4.2 Viabilità di impianto e Sottostazione.....	123
16 Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi.....	123

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 Geologica**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto attraverso:

- Analisi dell'assetto geologico e geomorfologico e definizione del modello geologico di sito;
- La caratterizzazione geotecnica preliminare del modello geologico di sito;
- L'analisi dell'interazione opera-terreno nel volume significativo in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di imposta, in relazione alla generica tipologia di fondazioni previste e le potenziali interazioni con le dinamiche di circolazione sotterranea eventualmente esistenti.
- La valutazione preliminare della portanza dei terreni e l'indicazione delle indagini da realizzarsi in fase esecutiva necessarie alla determinazione dei parametri geotecnici specifici per ogni sito.

2 Normativa di riferimento

La presente è redatta in osservanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

- D.M LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21.01.2019 n°7 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17.01.2018.
- D.L. 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni - "Norme in materia ambientale".

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

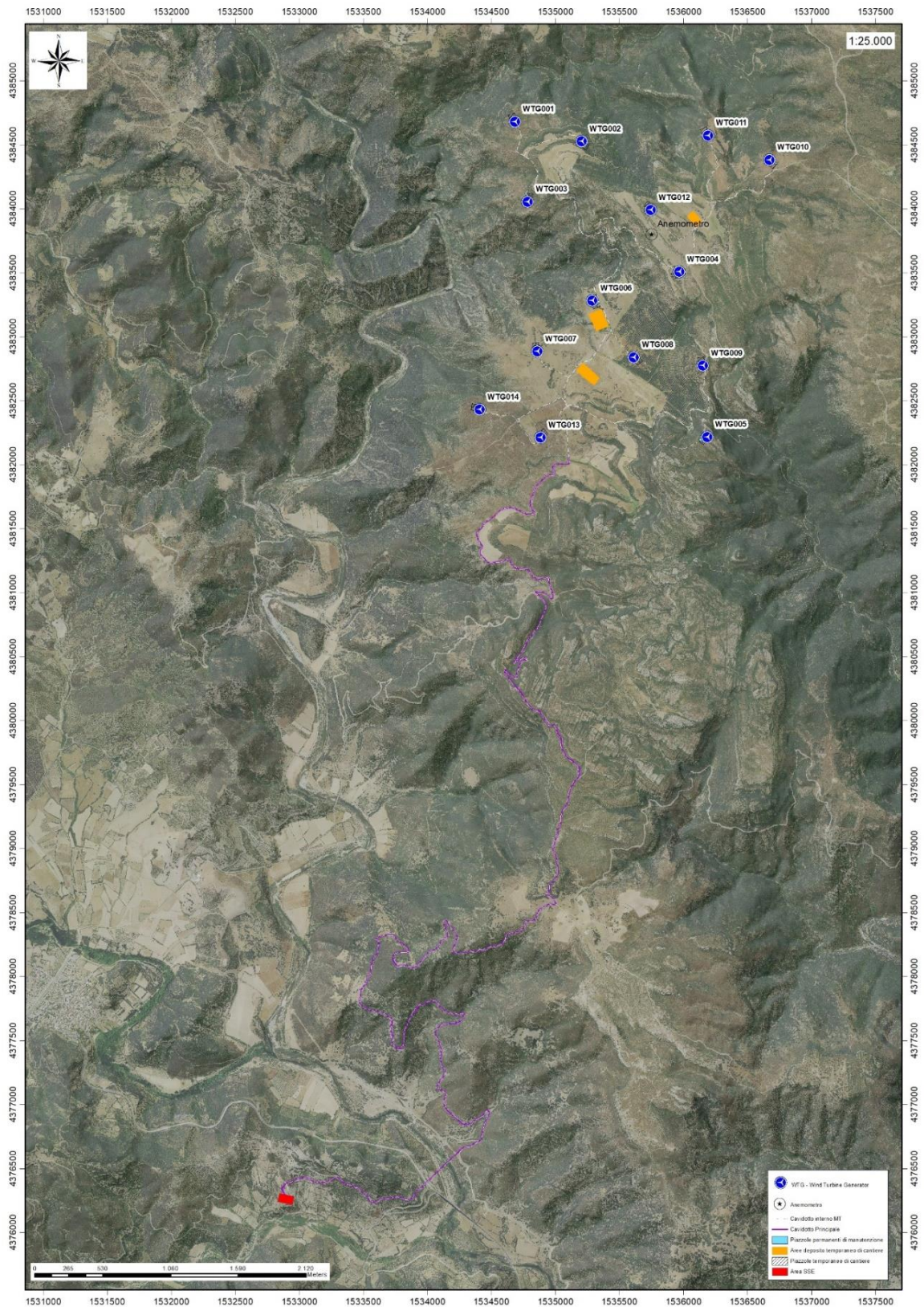


Figura 4. 2: Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

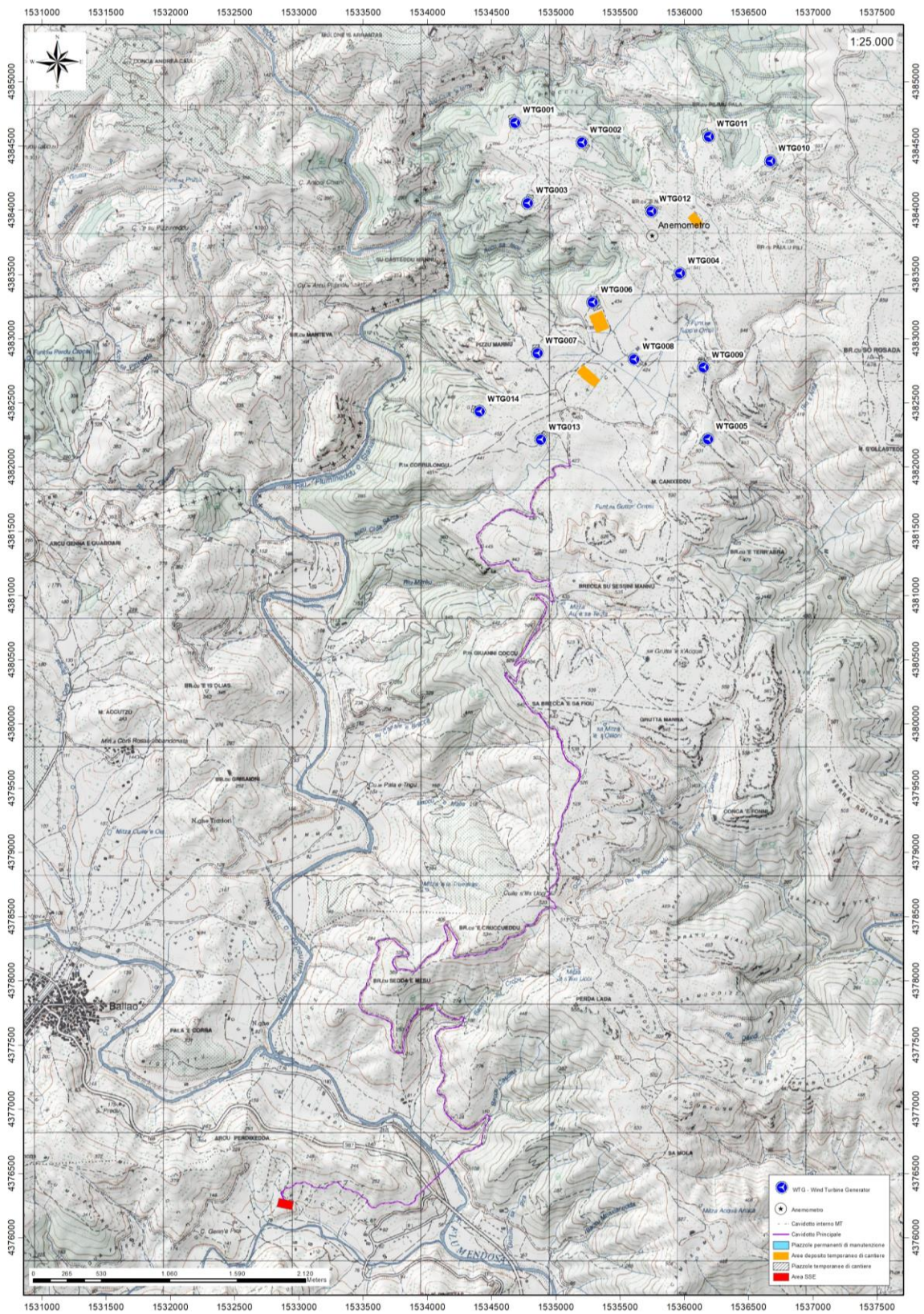


Figura 4. 3: Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000

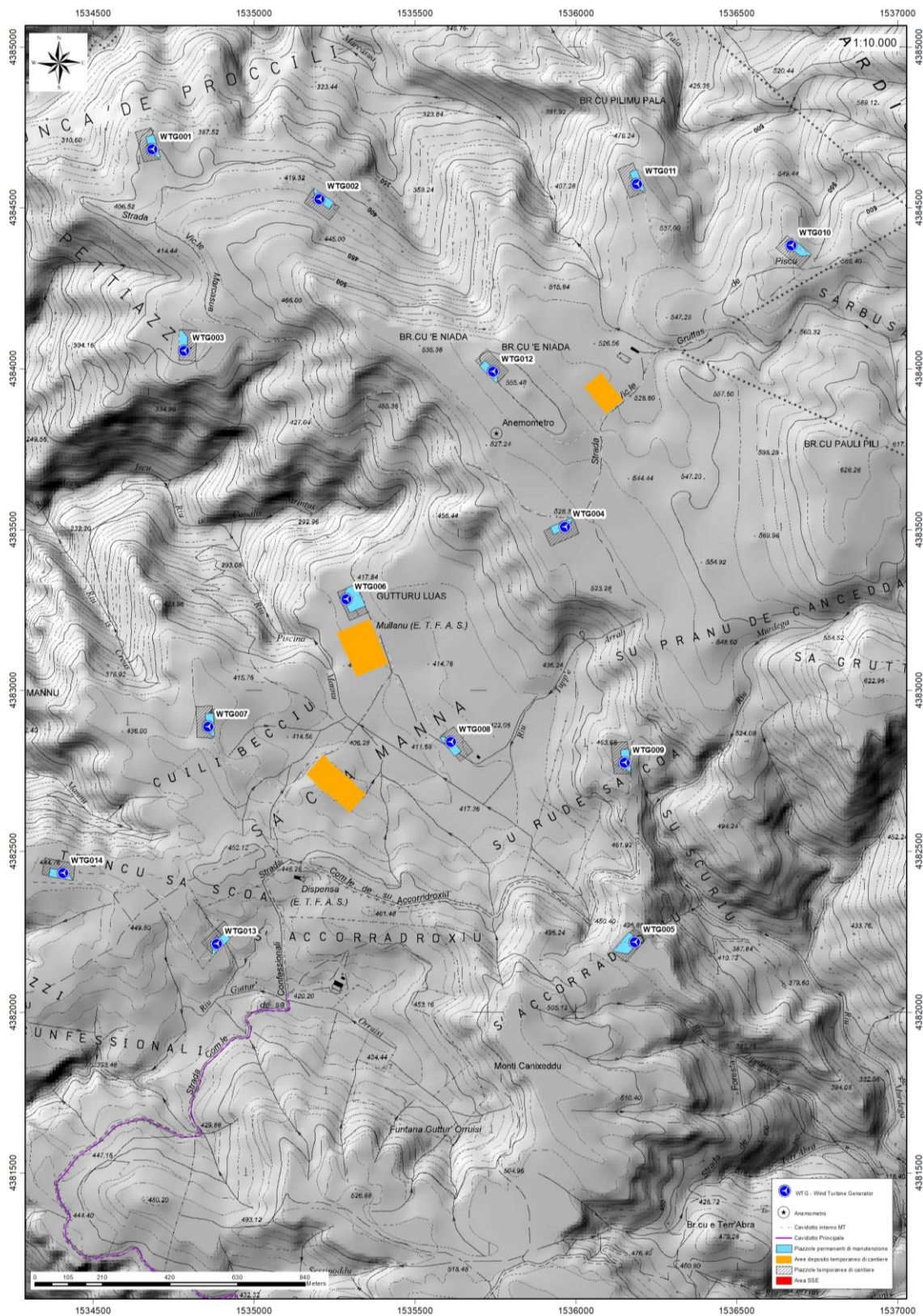


Figura 4. 4: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore nord

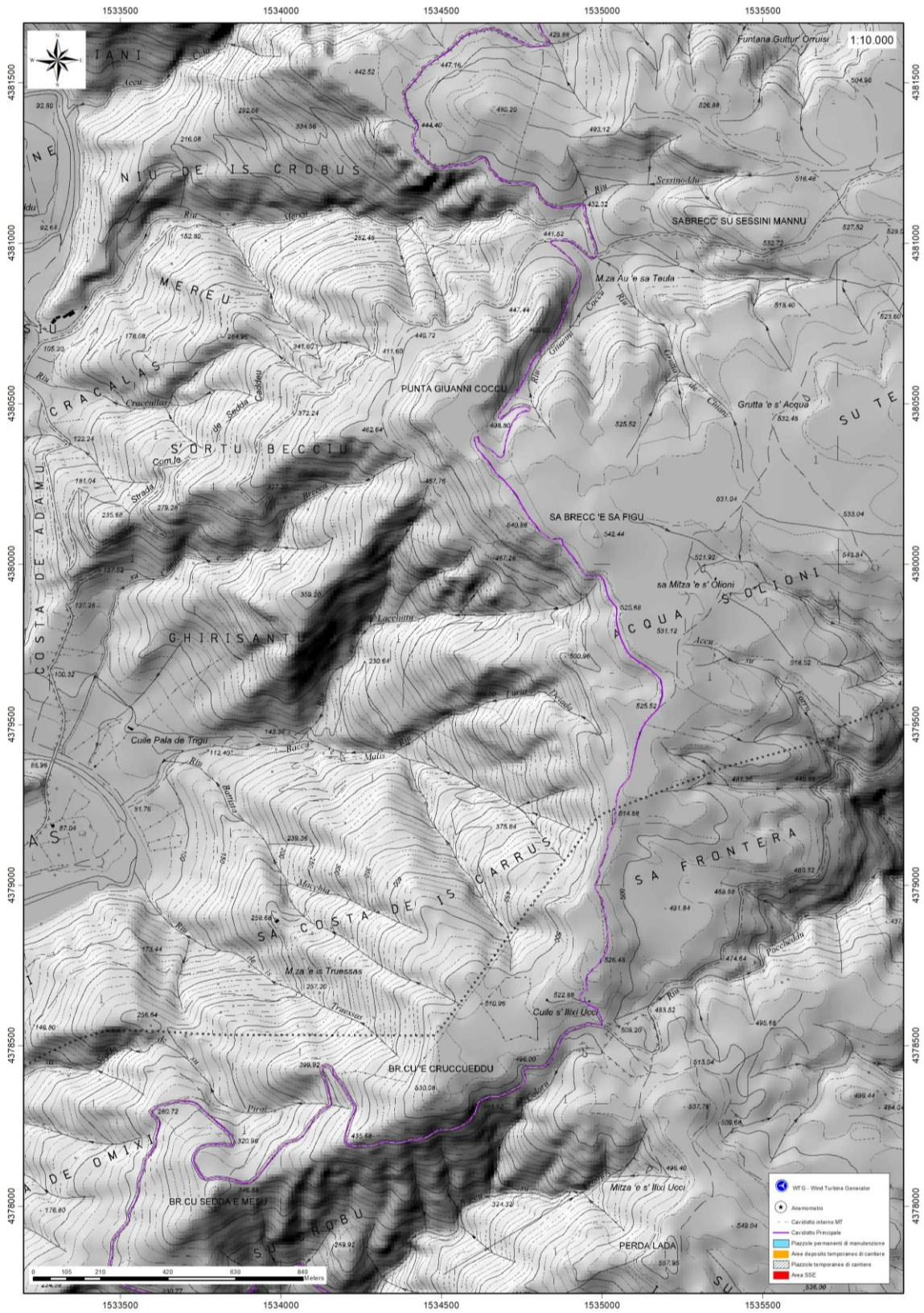


Figura 4. 5: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore centrale

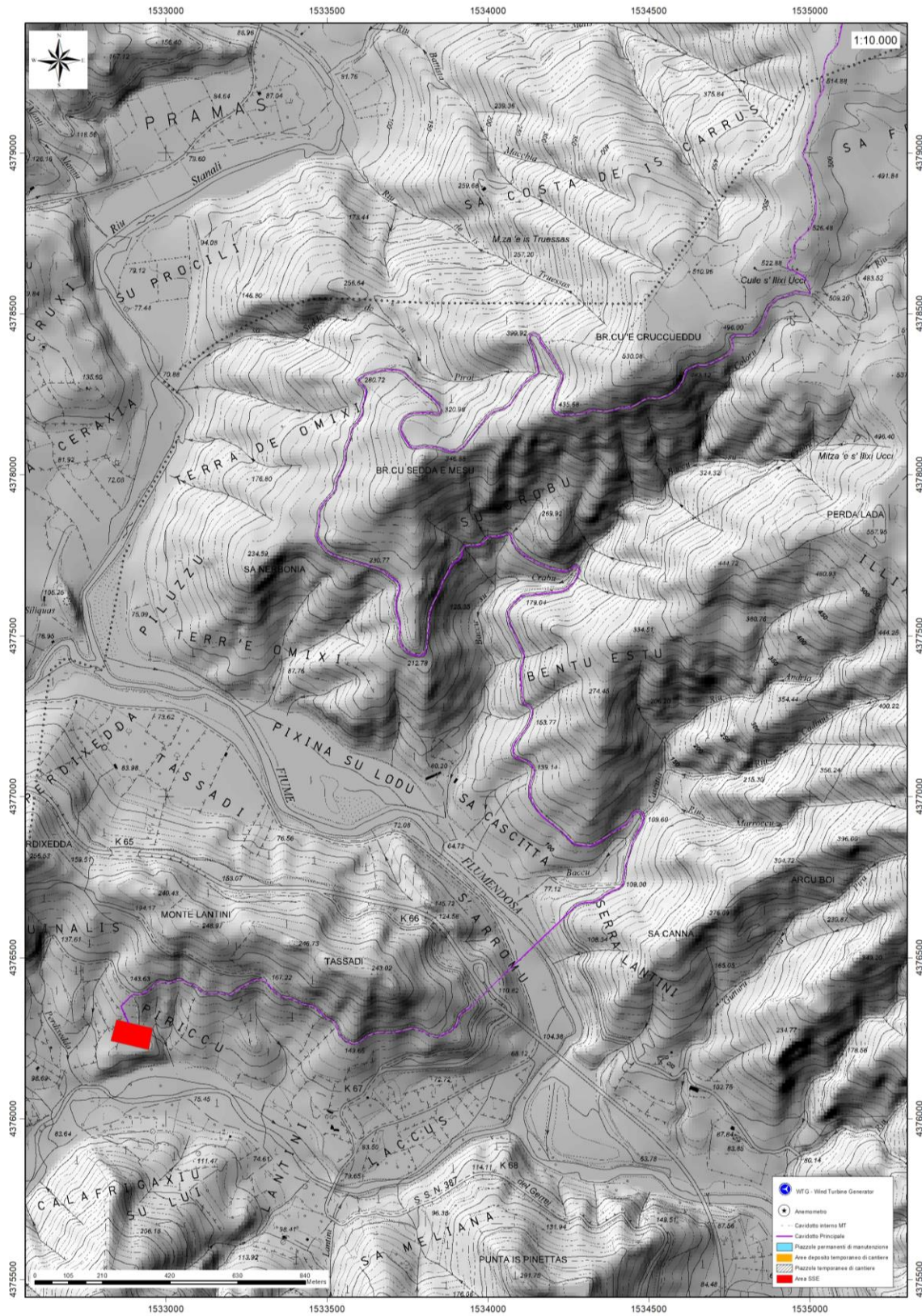


Figura 4. 6: Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore sud

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 verso la stazione elettrica SE "Armungia", gestita dall'operatore Terna S.p.A., tramite un cavidotto in media tensione a 30 kV interamente interrato su strada, che raggiungerà la stazione di innalzamento del proponente adiacente alla 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 due 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.

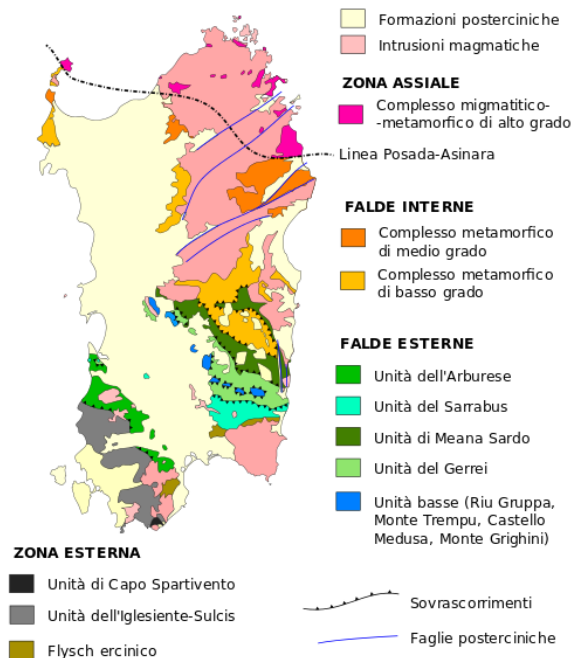


Figura 0.1 – Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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.

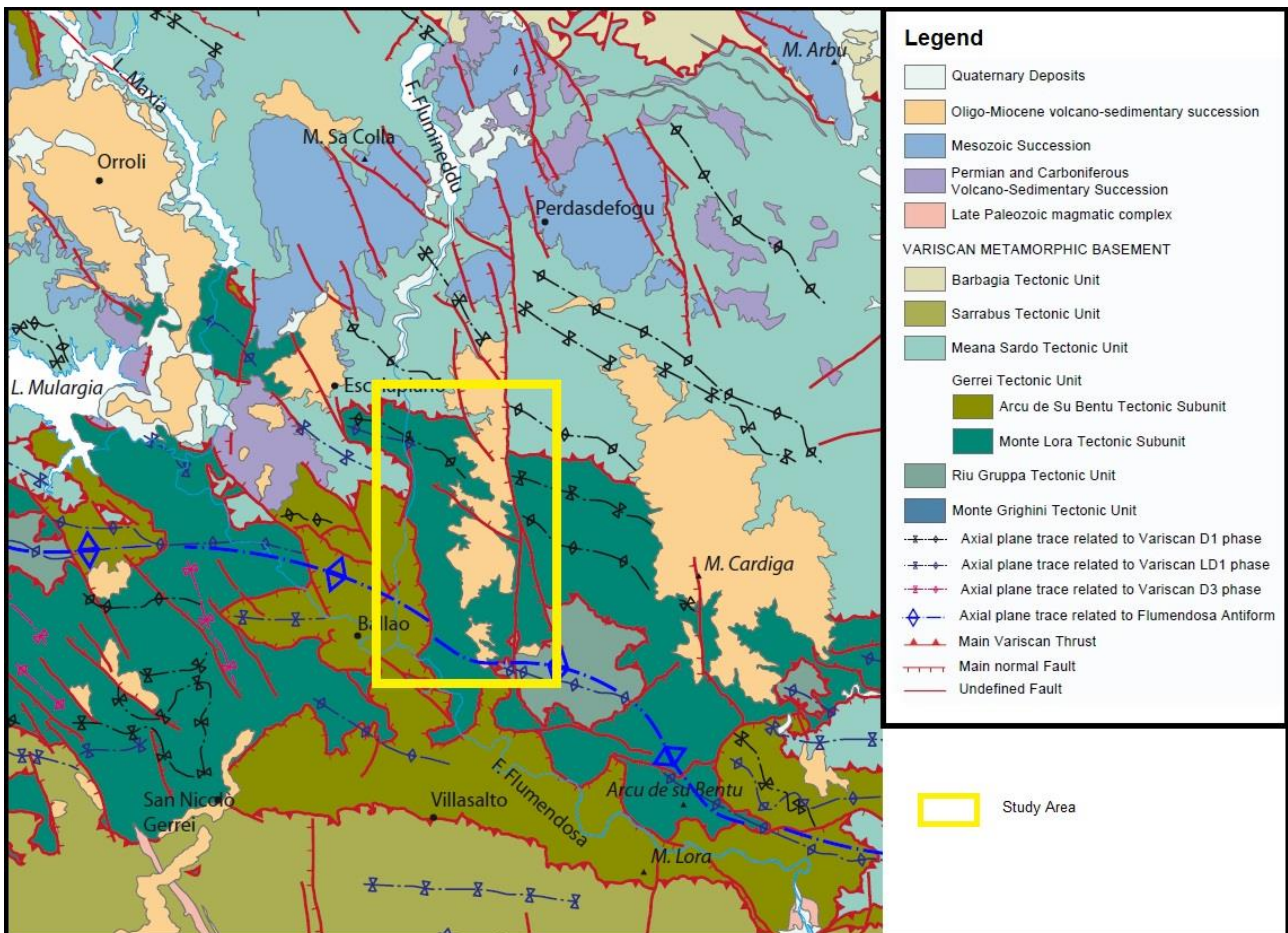


Figura 6. 1: Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2014).

L'Unità tettonica del Gerrei è divisa in due sottounità: la Sottounità di Arcu de su Bentu e la Sottounità di M. Lora; le due sottounità si caratterizzano per la presenza dei Porfiroidi nella sottounità di Arcu de su Bentu e

delle Vulcaniti di Monte Santa Vittoria 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 piano assiale. Tra le strutture plicative maggiori che interessano il settore di studio vi è l'Antiforme del Flumendosa al cui nucleo affiora l'unità tettonica di Riu Grappa.

Il basamento 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.

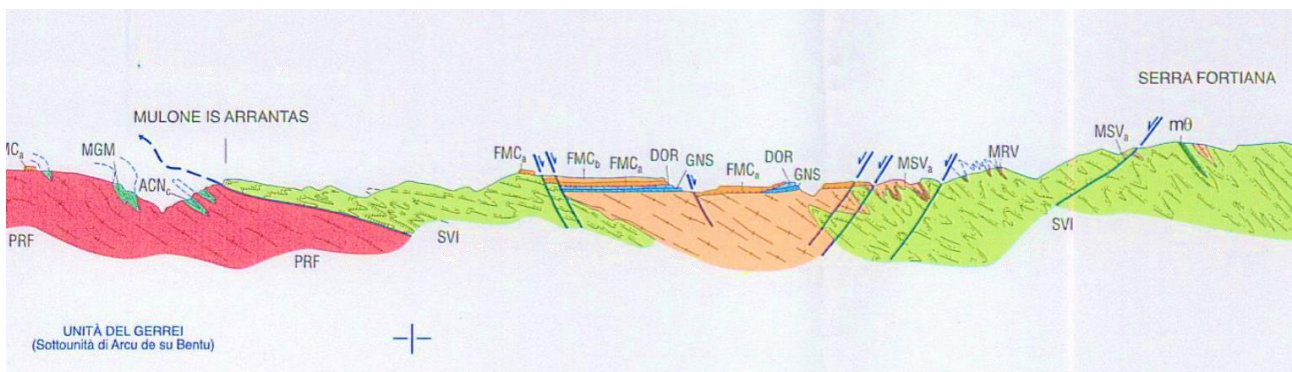


Figura 6. 2: Schema tettonico e sezione geologica C-C' rappresentativa dell'area vasta

6.1.1 Unità tettonica di Riu Grappa

È l'unità tettonica più profonda affiorante nell'area di studio; è caratterizzata da metamorfismo lievemente maggiore rispetto alle unità sovrastanti. Le attribuzioni cronostratigrafiche sono unicamente basate sulle analogie litologiche con le formazioni delle altre unità. Con questo criterio è comunque possibile ricostruire una successione che dal Cambriano arriva al Carbonifero inferiore. Nell'area di studio affiora solo il complesso di Sa Lilla, tutte le altre successioni non sono presenti.

(CSA) Complesso di Sa Lilla: affiora estesamente nella parte sudorientale dell'area di studio; si tratta di una sequenza di filladi quarzifere e filladi scure, nere o più raramente verdastre a cui localmente si intercalano caratteristici livelli di diaspri neri (liditi) in strati medi o molto sottili. A queste filladi sono associate due litofacies tra loro tettonicamente trasposte distinte come: Marmi grigi e venati e Metarenarie e

metaconglomerati. Marmi grigi e venati (CSAa) sono la litofacies più caratteristica dell'Unità tettonica di Riu Gruppa. Gli affioramenti hanno una continuità laterale di centinaia di metri e spessori variabili da 5 m fino a 100 m, formando caratteristiche cornici in rilievo sul profilo dei versanti. Si tratta di marmi massicci o in banchi molto spessi, di colore variabile dal grigio al grigio-chiaro e al bianco, spesso venati con sottili livelli di filladi scure. Metarenarie e metaconglomerati (CSAb) sono costituiti da metaquarzoareniti grigio-scure a grana medio-grossa, in spessi strati separati da sottili livelli filladici. Ad esse sono associate metagrovacche e metarenarie litiche, metasiltiti grigio-scure con sottili lamine filladiche nerastre e metapeliti grigio-scure omogenee, con intercalazioni centimetriche di metareniti grigio-verdi a grana fine. A queste litologie sono intercalate lenti di metaconglomerati poligenici, in abbondante matrice pelitico-arenacea, costituiti da clasti da millimetrici a centimetrici di quarzo, quarzoareniti, peliti, diaspri neri (liditi) e vulcaniti acide. L'età della successione è riferibile al Siluriano - Carbonifero inferiore.

6.1.2 Unità tettonica del Gerrei

Questa unità tettonica è caratterizzata da un notevole spessore di metavulcaniti (rioliti, riolaciti e epiclastiti) dell'Ordoviciano medio con struttura occhiadina (Porfiroidi), e da una successione dell'Ordoviciano superiore. L'Unità è divisa in due sottounità: la Sottounità di M. Lora e la Sottounità di Arcu de su Bentu. Le modeste differenze tra le successioni di queste due sottounità riguardano il complesso vulcano-sedimentario dell'Ordoviciano medio e i sedimenti dell'Ordoviciano superiore. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostatigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

(SVI) Arenarie di San Vito: questa formazione è costituita da metarenarie, metaquarzoareniti e, più raramente, metarenarie feldspatiche, di color grigio chiaro, grigio-verdastro o nocciola chiaro. Si tratta di rocce a granulometria fine, ben selezionate, in strati molto sottili o medi, raramente metrici, ricche in miche detritiche e con scarsa matrice cloritico-sericitica. E' presente spesso una componente litica, rappresentata da frammenti di metamorfiti. Queste metarenarie formano regolari alternanze, da centimetriche a metri- che, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e raramente metapeliti nere.

Per aumento di spessore degli intervalli arenitici si passa localmente a metarenarie quarzoso-micacee in strati medi o spessi, separati da sottili lamine filladiche scure.

Localmente affiorano metaquarzoareniti grigio-chiare, massive, in bancate di alcuni metri di spessore. In alcuni affioramenti si osservano metacalcari grigio-chiaro e metasiltiti carbonatiche con patine di alterazione bruno-rossastre in livelli centimetrici, spesso boudinati. I livelli di metasiltiti presentano spesso caratteristiche

laminazioni piano- parallele ed incrociate di colore biancastro; le metarenarie presentano raramente stratificazione incrociata, strutture da carico e gradazioni. Localmente affiorano metaquarzoareniti in bancate di alcuni metri di spessore.

Nelle Arenarie di San Vito si possono rinvenire lenti di metacalcari talvolta siltosi, fortemente ricristallizzati, litofacies (SVIb). Lo spessore delle Arenarie di San Vito nell'Unità tettonica del Gerrei è difficilmente valutabile a causa delle intense strutture plicative isoclinali e delle laminazioni tettoniche. Lo spessore apparente massimo è di circa 200 m. Questa formazione, è stata attribuita al Cambriano- Ordoviciano inferiore sulla base di associazioni ad acritarchi.



Figura 6. 3: UNITA' TETTONICA DEL GERREI - Arenarie di San Vito (SVI)

(MRV) Metaconglomerati di Muravera: Si tratta di conglomerati matrice-sostenuti poligenici, eterometrici, con clasti arrotondati (i clasti costituiscono il 40-50% del totale della roccia). I clasti sono principalmente costituiti da quarzoareniti e più raramente da arenarie feldspatiche, provenienti dalla formazione delle Arenarie di San Vito; localmente sono frequenti ciottoli di quarzo e raramente di rioliti. Le dimensioni massime dei ciottoli, di solito nell'intervallo 10-15 cm, raramente arrivano a 50 cm. La matrice è filladica e in sezione sottile rivela una frazione di quarzo di origine vulcanica. Localmente i metaconglomerati sono sostituiti da

metaquazoareniti (MRVa) biancastre a grana fine, ben stratificate in strati decimetrici, alternate a metarcose. Talvolta contengono livelli metrici di metaconglomerati analoghi a quelli precedentemente descritti. Lo spessore della formazione varia da 0 a 50 m; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio.

(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria: è costituita da metavulcaniti a chimismo intermedio e basico, metaepiclastiti, rare metarenarie feldspatiche e metaconglomerati. Questi litotipi sono correlabili con le formazioni di M. Corte Cerbos, Manixeddu e Serra Tonnai, osservate all'interno dell'unità tettonica di Meana Sardo. Si tratta principalmente di metaepiclastiti di color verde scuro, con rari minerali femici affetti da alterazione cloritico-epidotica, alternate a livelli decimetrici biancastri, ricchi di plagioclasti di dimensioni variabili da pochi millimetri a diversi centimetri. I plagioclasti sono sempre molto alterati. Lateralmente e verticalmente queste alternanze passano a metavulcaniti grigio-scure con evidenti fenoclasti di quarzo ed inclusi di originarie lave porfiriche. Le metandesiti presentano pasta di fondo scura e fenocristalli di plagioclasio di dimensioni anche centimetriche (Litofacies di Serra Tonnai); le metaepiclastiti presentano colore variabile da verde scuro a grigio chiaro, con clasti di plagioclasio e vacuoli riempiti di limonite, i metaconglomerati sono grossolani, matrice-sostenuti, ad elementi di andesiti e rioliti (Litofacies di Manixeddu). Lo spessore della formazione non è facilmente individuabile, presumibilmente supera qualche centinaio di metri; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio.

(PRF) Porfiroidi (Auct.): Si tratta di originari tufi, ignimbriti, rioliti e riodaciti, con struttura marcatamente occhiadina conferita da porfiroclasti di K-feldspato e quarzo con dimensioni massime di 1-2 cm, in una massa di fondo sericitico-cloritica. Presentano un'aspetto massivo e colori variabili dal verdastro, al bianco o al rosa chiaro a seconda del tipo e del grado di alterazione. Talvolta contengono livelli di metarcose, riconoscibili per la grana più minuta e per l'aumento delle proporzioni modali del quarzo rispetto ai feldspati. Una particolare litofacies, i Porfiroidi a grossi fenocristalli (PRFa), è caratterizzata da una struttura marcatamente occhiadina per la presenza di grossi porfiroclasti di feldspato potassico con originario abito euedrale, che raggiungono dimensioni massime di 10 cm e di porfiroclasti di quarzo di dimensioni da millimetriche a centimetriche; questa litofacies affiora esclusivamente nella Sottounità di Arcu de su Bentu. Lo spessore della formazione non è facilmente individuabile, presumibilmente supera qualche centinaio di metri; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio.



Figura 6. 4: UNITA' TETTONICA DEL GERREI - Porfiroidi, Litofacies a fenocristalli

(MGM) Metarcose di Genna Mesa: questa formazione è costituita da metarenarie e metaconglomerati quarzosi massivi, grigio-chiari, costituiti quasi esclusivamente da quarzo vulcanico proveniente dal rimaneggiamento dei sottostanti Porfiroidi. Verso l'alto si passa a metarcose e metagrovacche arcose stratificate o massive. In alcuni affioramenti sono presenti esigui livelli di metaconglomerati bianchi e grigio-chiari con clasti di dimensioni di circa 1 cm. A tutte queste litologie si accompagnano spesso livelli decimetrici di metaquarzoareniti ben stratificate e metasiltiti scure. Lo spessore è variabile tra 30 m e 50 m. La formazione è discordante sulla successione vulcano-sedimentaria dell'Ordoviciano medio, marcando così la Trasgressione caradociana Auct. nell'Unità tettonica del Gerrei. I sedimenti originari della formazione sono chiaramente derivati dallo smantellamento dei sottostanti edifici vulcanici, in condizioni probabilmente da subaeree a marine costiere, come testimoniano gli "articoli di crinoidi" rinvenuti localmente; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano superiore.

(ACN) Argilloscisti di Rio Canoni: alla base, la formazione è costituita da circa 15 m di metasiltiti e metapeliti grigio-verdi che verso l'alto passano a circa 10 m di metasiltiti talvolta carbonatiche, in strati di 40-50 cm di

spessore, di colore da grigio a nocciola, ricche in fossili. Si tratta della tipica fauna caradociana descritta nella Sardegna SE, comprendente soprattutto resti di briozoi, crinoidi, brachiopodi, gasteropodi e trilobiti. Un aspetto caratteristico di questa formazione è dato dai vacuoli con limonite presenti nelle metasiltiti, originati da dissoluzione di fossili. Alle metasiltiti sono associati dei metacalcari chiari, con resti di crinoidi e cistoidi, in strati di circa 50 cm per un totale di 6-7 m di spessore; in alcune parti si osservano metacalcari micritici alternati a metasiltiti da grigie a nocciola, con resti di fossili limonitizzati. Localmente si rinviene negli Argilloscisti di Rio Canoni una litofacies costituita da metabasiti e derivati metamorfici di basalti alcalini e metagrovacche vulcaniche (ACNc). Lo spessore della formazione varia generalmente da 15 a 25 m; solo in alcuni tratti raggiunge valori maggiori; In base all'associazione fossilifera e a correlazioni con le facies più studiate di M. Orri e di Portixeddu nella Sardegna sud-occidentale, questa formazione è attribuita al Caradoc o al limite Caradoc-Ashgill (Ordoviciano superiore).

(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.): Gli Scisti a Graptoliti sono costituiti da argilloscisti carboniosi neri, con rari graptoliti e con pirite framboidale, alternati a livelli di metasiltiti grigie e scure. Alla base sono frequenti livelli di diaspri neri (liditi). Lo spessore originario era probabilmente di alcune decine di metri, ma gli spessori attuali sono assai variabili per motivi tettonici. La formazione poggia con contatto netto e concordante sulla formazione degli Argilloscisti di Riu Canoni. Il limite superiore è spesso tettonico. L'ambiente deposizionale è pelagico, di mare relativamente basso, spesso con condizioni riducenti sul fondo. Nella parte medio-alta degli Scisti a Graptoliti si intercalano lenti discontinue di metacalcari (SGAa) di colore scuro, con crinoidi ed orthoceratidi, e livelli di metacalcari nodulari (Ockerkalk Auct.), chiari o nocciola, talvolta con tentaculiti. Lo spessore delle lenti può variare da 1-2 m fino a 15 m. successione presenta spessori apparenti fino a qualche centinaio di metri, mentre lo spessore reale è molto difficile da stabilire a causa dell'intenso piegamento; l'età della successione è riferibile al Siluriano - Devoniano medio.

(PMN) Complesso di Pala Manna: la formazione di Pala Manna comprende limitati affioramenti di metacalcari, metasiltiti e metarenarie, dubitativamente attribuiti al Carbonifero inferiore; successivamente ridefinita, questa unità litostratigrafica, comprende anche depositi terrigeni grossolani, rocce vulcaniche acide e basiche ed olistoliti e olistostromi. La complessità dei rapporti tra litologie differenti, dovuta sia a cause sindeposizionali (eventuale presenza di olistoliti, olistostromi, etc.) che alle ripetute deformazioni e al metamorfismo, rende praticamente impossibile la ricostruzione dell'originaria successione. Lo spessore del complesso è difficile da stimare a causa degli effetti della tettonica varisca e dei contatti tettonici che spesso

lo delimitano al tetto e alla base; lo spessore apparente è di almeno 200 m; l'età della successione è riferibile al Carbonifero inferiore.

6.1.3 Unità tettonica di Meana Sardo

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

(SVI) Arenarie di San Vito: Si tratta di irregolari alternanze da decimetriche a metriche di metarenarie micacee, quarziti grigie e metagrovacche di colore grigio-verdastro e metasiltiti grigie. Negli orizzonti a granulometria più fine sono frequenti laminazioni parallele, ondulate e convolute, mentre alla base degli orizzonti a granulometria più grossolana si possono osservare ripple, flute-cast, load-cast e canali d'erosione. La base di questa formazione non è mai esposta. Essa poggia tettonicamente sopra l'Unità del Gerrei ed è ricoperta in discordanza dai Metaconglomerati di Muravera o dalla Formazione di Monte Santa Vittoria. Lo spessore delle Arenarie di San Vito nell'Unità tettonica di Meana Sardo è difficilmente valutabile a causa delle intense strutture plicative isoclinali e delle laminazioni tettoniche. Lo spessore apparente massimo è di circa 200 m. Questa formazione è stata attribuita al Cambriano- Ordoviciano inferiore sulla base di associazioni ad acritarchi.

(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria: questa formazione è stata divisa in tre litofacies; dal basso verso l'alto sono: la litofacies di Monte Corte Cerbos (metarioliti afiriche), la litofacies di Manixeddu (metaepiclastiti derivate dallo smantellamento di vulcaniti acide) e la litofacies di Serra Tonnai (metagrovacche vulcaniche e metandesiti).

Questa successione nell'area di studio è incompleta e anche l'ordine di sovrapposizione non è sempre quello classico. In particolare, tra i derivati metamorfici dei prodotti del rimaneggiamento di vulcaniti acide (cfr. Formazione di Manixeddu) e a chimismo intermedio (cfr. Formazione di Serra Tonnai) esistono spesso passaggi laterali rapidi o ripetute alternanze a tutte le scale. (MSVa) Metaepiclastiti (cfr. Formazioni di Manixeddu e di Monte Corte Cerbos).



Figura 6. 5: UNITA' TETTONICA DI MEANA SARDO - Arenarie di San Vito (SVI)

Si tratta principalmente di metaepiclastiti a prevalente matrice vulcanica, di varia granulometria, con clasti di dimensioni massime di circa 5 cm, ma che nell'area di Bruncu S'Arrettori possono arrivare fino a 15 cm. Spesso si osservano intercalazioni di metaquarzogrovacche e metarenarie. Particolarmente abbondanti sono dei metaconglomerati a prevalenti ciottoli di quarzo, ben classati, e metaconglomerati a ciottoli riolitici di dimensioni centimetriche, ben selezionati e arrotondati. Si tratta dei derivati metamorfici di prodotti rimaneggiati di originarie rocce effusive ed esplosive acide e, in minor misura, di prodotti di attività vulcanica esplosiva. Localmente sono presenti sottili livelli di metarioliti afiriche biancastre. (MSVb) Metagrovacche e metandesiti (cfr. Formazione di Serra Tonnai). Si tratta di metaepiclastiti verdastre, prevalentemente metagrovacche, massive o in bancate di alcuni metri di spessore, a cui si intercalano metavulcaniti grigio-verdastre di composizione da andesitica a basaltica, in livelli spessi al massimo 20-30 m. Nelle vulcaniti è riconoscibile una struttura blastoporfirica, con glomeroblasti di plagioclasio albitico e aggregati cloritico- epidotici pseudomorfi su originari minerali femici. Sono caratterizzate dalla presenza di caratteristici vacuoli da millimetrici a centimetrici riempiti da calcite e avvolti da clorite riconducibile ad una alterazione di tipo spilitico; localmente si osservano strutture interpretabili come pillow deformati. Lo spessore apparente della formazione non supera i 200 m; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio.



Figura 6. 6: UNITA' TETTONICA DI MEANA SARDO - Epiclastiti nella Formazione di Monte Santa Vittoria.

(md) Metadoleriti: Si tratta di metabasiti alcaline in giacitura filoniana o in ammassi intrusi nelle Arenarie di San Vito. Spesso sono ancora ben osservabili i caratteri di un'originaria tessitura intersertale, marcata da relitti di plagioclasio in una massa di fondo cloritico-epidotica pseudomorfa su minerali femici. Si osservano inoltre abbondanti ossidi metallici (prevalentemente ilmenite). Nelle facies gabbroidi sono presenti anche relitti di orneblenda. Lo spessore apparente della formazione non supera qualche decina di metri; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano superiore.

6.1.4 Corteo filoniano

(fp) Filoni ed ammassi di porfidi granitici: sono costituiti da filoni con spessori generalmente non superiori a qualche decina di metri; hanno colore tipicamente rosso mattone o ocraceo. La struttura varia da afirica a porfirica per la presenza di fenocristalli di feldspati alcalini, quarzo e subordinata biotite. Questi minerali sono generalmente anche i componenti della pasta di fondo. La struttura è isotropa, e solo localmente orientata in corrispondenza delle salbande; l'età è riferibile al Carbonifero superiore - Permiano.

6.1.5 Successione sedimentaria Terziaria

La successione sedimentaria terziaria è ben rappresentata dalle coperture dell'Eocene inferiore.

(FMC) Formazione di Monte Cardiga: nell'area di studio questa formazione affiora estesamente; la successione più completa raggiunge uno spessore di circa 200 m. La trasgressione avviene sempre direttamente sul basamento paleozoico. La successione sedimentaria eocenica è costituita alla base da arenarie e conglomerati trasgressivi; nella parte mediana prevalgono invece sedimenti carbonatici, con macroforaminiferi, ricoperti da conglomerati e arenarie arcose. Si tratta di un ciclo trasgressivo-regressivo, caratterizzato da depositi costieri e deltizi con forti apporti terrigeni. La parte intermedia più carbonatica rappresenta probabilmente il momento di maggiore ingressione del mare eocenico. L'età dell'intera successione è riferibile all'Eocene inferiore.



Figura 6. 7: Conglomerato basale nella formazione di Monte Cardiga.

(FMCa) Arenarie e puddinghe. Si tratta di una alternanza irregolare di arenarie a cemento carbonatico o siliceo ben stratificate, con conglomerati poligenici grossolani in grossi strati, a prevalenti elementi ben elaborati del basamento paleozoico. Tra i clasti abbondano quarzo, liditi e "porfidi". I clasti sono ben classati, la matrice è arenacea e abbondante. Le arenarie sono talvolta gradate, e presentano laminazioni piano-parallele, incrociate e burrow. Alle arenarie localmente si intercalano, soprattutto verso la base, livelli marnosi

di circa 0,5 m di spessore, contenenti frammenti di gasteropodi (ceritidi), lamellibranchi e abbondanti frustoli vegetali. Lo spessore di questa litofacies varia tra 15 e 30 m.

(FMCb) Calcari. È costituita da una alternanza di banchi da metrici a decametrici di calcari, calcari arenacei o conglomeratici fino a calcareniti, e calcari prevalentemente argillosi fino a marnosi, bioclastici, con sottili intercalazioni di marne. Localmente si intercalano lenti di conglomerati poligenici con abbondante matrice arenacea. La formazione è particolarmente ricca di macroforaminiferi (nummulitidi, assilinidi, orbitoidi) e resti di echinidi, bivalvi, ostreidi, litotamnidi e coralli. La potenza massima affiorante di questa litofacies è di circa 130 m.



Figura 6. 8: Calcari massivi a macroforaminiferi nella formazione di Monte Cardiga.

6.2 Depositi Quaternari dell'area continentale

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

(PVM2a) Depositi alluvionali terrazzati antichi: I depositi dei terrazzi più antichi sono costituiti da alluvioni cementate, ossidate e reincise che si raccordano verso monte a fasce detritiche pedemontane e conoidi alluvionali. Gli orli di questi terrazzi mediamente raggiungono un'altezza di 5-6 m sul fondovalle. Sono costituiti

da livelli di conglomerati grossolani, ben cementati, con matrice argilloso-arenacea scarsa, alternati con rari, sottili livelli di sabbie argillose rossastre. I clasti sono talvolta embriciati, hanno dimensioni assai variabili da pochi cm fino ai blocchi di 50-70 cm di diametro. Il deposito è caratterizzato da una colorazione rossastra, più o meno intensa, per la presenza di ossidi e idrossidi di ferro, che formano patine sui ciottoli o sono accumulati in sottili livelli e tasche. Le zone pedemontane di raccordo e le conoidi inattive reincise sono caratterizzati da livelli di conglomerati ancora ben cementati, con clasti poco o affatto elaborati, alternati a livelli con clasti ben elaborati e arrotondati. L'età è riferibile al Pleistocene Superiore.

(bna) Depositi alluvionali Terrazzati: I depositi alluvionali terrazzati più recenti occupano gran parte dei fondovalle dei maggiori corsi d'acqua. Essi hanno un'altezza media sull'alveo attuale di 2,5 m e un'altezza massima e minima rispettivamente di 3,5 m e 0,5 m. Si tratta di conglomerati grossolani, con matrice sabbioso-argillosa di colore bruno quantitativamente prevalente sui ciottoli. Questi sono ben elaborati, con grado di arrotondamento elevato e modesta classazione. Il diametro medio dei ciottoli è di 3-4 cm, con valori massimi attorno ai 30 cm. Talvolta hanno una marcata disposizione embriciata, mentre la stratificazione non sempre è evidente. Olocene.

(ba) Depositi alluvionali: I depositi alluvionali sono costituiti principalmente da ghiaie da grossolane a medie e ciottoli più o meno arrotondati dispersi in una matrice fine. Sono localizzati soprattutto in prossimità dei corsi d'acqua principali. Olocene.

(b2) Coltri eluvio-colluviali: Si tratta di materiali derivati dal disfacimento in situ delle rocce. Sono frequenti nelle zone depresse dell'altopiano, ove in genere sono interessati da processi pedogenetici. I depositi colluviali sono rappresentati da coperture detritiche derivate da alterazione in situ delle rocce in seguito mobilizzate da processi di versante. Sono costituiti da clasti eterometrici di varia litologia in matrice pelitica e sabbiosa e sono diffusi in tutta l'area di studio. Lo spessore di questi depositi solitamente è abbastanza esiguo (nell'ordine massimo di qualche metro in prossimità dei compluvi). Olocene.

(a) Depositi di versante: I depositi di versante sono costituiti da detriti spigolosi e a varia granulometria accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Gli affioramenti più estesi si rinvencono alla base dei versanti, oppure in corrispondenza dei compluvi dove formano delle fale di detrito piuttosto estese. Lo spessore di questi depositi solitamente è variabile (nell'ordine massimo di qualche metro alla base dei versanti e nei compluvi). Olocene.



Figura 6. 9: Coltri eluvio-colluviali e depositi di versante.

7 Analisi delle condizioni geostrutturali generali

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento del 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.

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

7.1 Campagna di raccolta dati geostrutturali su affioramento

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

Dai rilievi geologici è emerso che nel territorio in esame affiorano essenzialmente tre litologie predominanti, afferenti alle formazioni paleozoiche di San Vito (SVI) e dei Porfiroidi (PRFa), e a quella eocenica di Monte Cardiga (FMCa e FMCb).

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

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

Alla prima fase del rilievo dei dati in situ, è seguita la fase di elaborazione dei dati riguardanti le giaciture delle discontinuità. La distribuzione nello spazio di tali discontinuità (stratificazione, foliazione, giunti di frattura) è stata rappresentata mediante la proiezione equiangolare di SCHMIDT-LAMBERT, proiezione stereografica equatoriale che visualizza nell'emisfero inferiore della sfera ideale di riferimento le discontinuità, rappresentate come archi di ellissi (dette ciclografiche) per i piani, e come punti per le linee o per i poli dei piani (ossia le intersezioni della linea ortogonale al piano con la sfera di proiezione). L'elaborazione grafica dei dati giacitureali delle discontinuità è stata eseguita con il software "Stereonet" (vers. 9.8.3) di R. Allmendinger.

7.1.1 Formazione delle Arenarie di San Vito

Per quanto riguarda la formazione di San Vito (SVI), sono stati fatti due rilievi geostrutturali (SVI-1 e SVI-2), entrambi vicini al sito dove verrà installata la turbina WTG010, presso la località Sarbusargiu. In questa località le rocce della formazione di San Vito appartengono all'Unità tettonica di Meana Sardo, e si trovano in prossimità del contatto tettonico tra la suddetta unità e quella del Gerrei (subunità di Arcu de Su Bentu).

Il rilievo SVI-1 è stato fatto lungo una linea di 10 m orientata N055 (Fig. 7.9), presso il taglio stradale in località Sarbusargiu, a sud della turbina WTG010. L'ammasso roccioso presenta un aspetto fratturato, dovuto alla struttura scistosa. Le superfici riconoscibili sono imputabili a foliazione e fratturazione, mentre la stratificazione è spesso trasposta dall'intensa foliazione legata alle deformazioni subite. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta fittamente fratturata e percorsa da diverse vene riempite di quarzo. La spaziatura media tra le fratture è di circa 10 cm, e sono riconoscibili almeno due famiglie di giunti, quasi ortogonali tra loro, che si intersecano e creano un reticolo di fratturazione molto fitto, che comporta la scomposizione della roccia in piccoli blocchi (decimetrici).

Riportando i dati giacitureali delle suddette superfici nella proiezione stereografica (Fig. 7.4 - a) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (in verde), e i giunti di fratturazione (in rosso). Per quanto riguarda la foliazione si possono riconoscere almeno due set di piani, il primo orientato

circa N-S, immergente verso W e mediamente inclinato, e l'altro orientato NE-SW, immergente sia a NW che a SE, mediamente inclinato.



Figura 7. 3: Vista sull'affioramento della Fm. S. Vito (SVI-1) con tracce dei giunti di fratturazione

I giunti di fratturazione (in rosso) si presentano diversamente orientati, ma è possibile riconoscere almeno 3 famiglie:

- a) Un sistema dominante orientato WNW-ESE, con immersione verso NE e giacitura da subverticale a suborizzontale ($20^\circ - 80^\circ$).
- b) Un sistema orientato WSW-ENE, con immersione verso NW e piani mediamente inclinati ($60^\circ - 70^\circ$).
- c) Un sistema minore orientato circa E-W, con giacitura verticale.

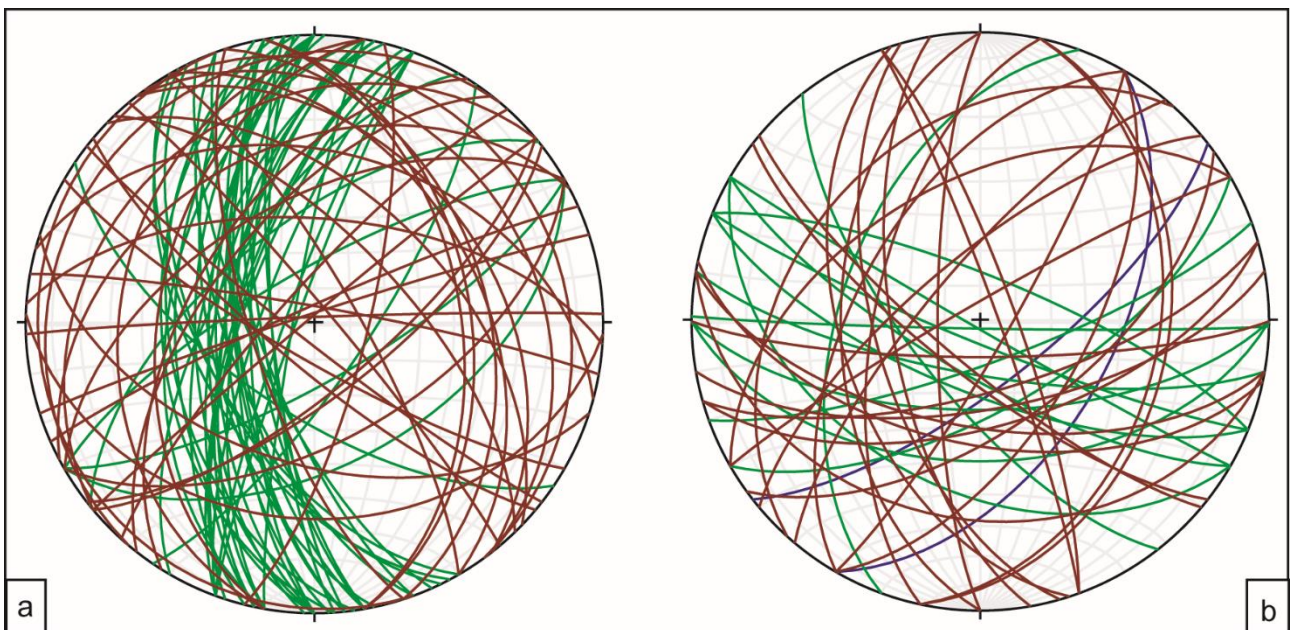


Figura 7. 4: Proiezioni stereografiche delle discontinuità (stratificazione in blu, foliazione in verde, giunti di frattura in rosso) rilevate sugli affioramenti SVI-1 (a) e SVI-2 (b).

Il rilievo SVI-2 è stato fatto lungo una linea di 10 m orientata N100 (Fig. 7.5), presso il taglio stradale. L'ammasso roccioso presenta un aspetto meno fratturato del precedente, con una struttura scistosa. Le superfici riconoscibili sono riferibili a stratificazione, foliazione e fratturazione. Dall'analisi dell'ammasso in situ, la roccia si presenta pervasa da fratture la cui spaziatura media è di circa 20 cm, e sono riconoscibili almeno tre famiglie di giunti che si intersecano e creano un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di dimensioni dell'ordine di 20-30 cm di lato.



Figura 7. 5: Vista sull'affioramento della Fm. S. Vito (SVI-2) con tracce dei giunti di fratturazione.

Riportando i dati giacitureali delle suddette superfici nella proiezione stereografica (Fig. 7.4 – b) è possibile individuare una serie di ciclografiche che rappresentano i piani di stratificazione (in blu), di foliazione (in verde) e di fratturazione (in rosso). La stratificazione, orientata NE-SW, presenta piani mediamente inclinati (50° - 70°), immergenti verso SE. Per quanto riguarda la foliazione si possono riconoscere almeno due set di piani, il primo orientato circa NNW-SSE, da mediamente a molto inclinato, e l'altro orientato NE-SW, immergente a SE, mediamente inclinato.

I giunti di fratturazione (in rosso) si presentano diversamente orientati, ed anche in questo caso è possibile riconoscere almeno 3 famiglie:

- a) Un sistema orientato WSW-ENE, con immersione verso NW, e giacitura da mediamente inclinata a inclinata (50° - 70°).
- b) Un sistema orientato NNW-SSE, con immersione verso WSW e piani mediamente inclinati (60° - 70°).
- c) Un sistema minore orientato circa E-W, con immersione verso S e giacitura da mediamente inclinata a subverticale (40° - 85°).

Dall'analisi svolta è emerso che le giaciture delle discontinuità strutturali per i due affioramenti rocciosi della formazione di San Vito in prossimità della turbina WTG010, presentano una orientazione pressappoco

comune, e riportano una sostanziale somiglianza per quanto riguarda l'intensità di fratturazione, la spaziatura e l'apertura delle discontinuità.

7.1.2 Formazione dei Porfiroidi

Anche per i Porfiroidi (PRFa) sono stati fatti due rilievi geostrutturali (PRFa-5 e PRFa-6), rispettivamente vicino al sito dove verranno installate le turbine WTG013 e WTG014, in due località che ricadono nell'Unità tettonica del Gerrei (subunità di Arcu de Su Bentu).

Il rilievo PRF-5 è stato misurato a sud della turbina WTG013, lungo la sponda settentrionale del Riu Guttur' Orruisi, vicino alla località Accorradroxiu. Lungo la linea di scansione di 17 m, orientata N045, l'ammasso roccioso si presenta massivo, con una struttura scistosa, e debolmente alterato (Fig. 7.6).

Le superfici riconoscibili sono riferibili a foliazione e fratturazione. In situ la roccia si presenta pervasa da fratture la cui spaziatura media è di circa 30 cm, e sono riconoscibili almeno due famiglie di giunti, quasi ortogonali tra loro, che intersecandosi creano un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di dimensioni dell'ordine di 30-50 cm di lato.

Riportando i dati giacitureali delle superfici misurate per il PRFa-5 nella proiezione stereografica (Fig. 7.13 – a) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione rappresentati come poli dei piani (punti in rosso). Si può riconoscere un set di piani di foliazione dominante, con orientamento WNW-ESE, immersione verso W-SW, mediamente inclinato, e una foliazione meno sviluppata riconoscibile per le lineazioni di intersezione, orientata circa N-S e immergente verso W con piani poco inclinati.

I poli dei giunti di fratturazione sono distribuiti in 3 famiglie, come si può evincere dalla concentrazione degli stessi:

- a) Un sistema orientato ESE-WNW, con immersione verso NE e SW, e giacitura da inclinata a subverticale ($60^\circ - 85^\circ$).
- b) Un sistema orientato E-W con piani subverticali, immergenti verso S.
- c) Un sistema orientato NE-SW, con immersione verso NW e SW e giacitura inclinata ($60^\circ - 70^\circ$).



Figura 7. 6: Vista sull'affioramento dei Porfiroidi (PRFa-5) con le tracce della foliazione (in verde), e dei giunti di fratturazione (in rosso).

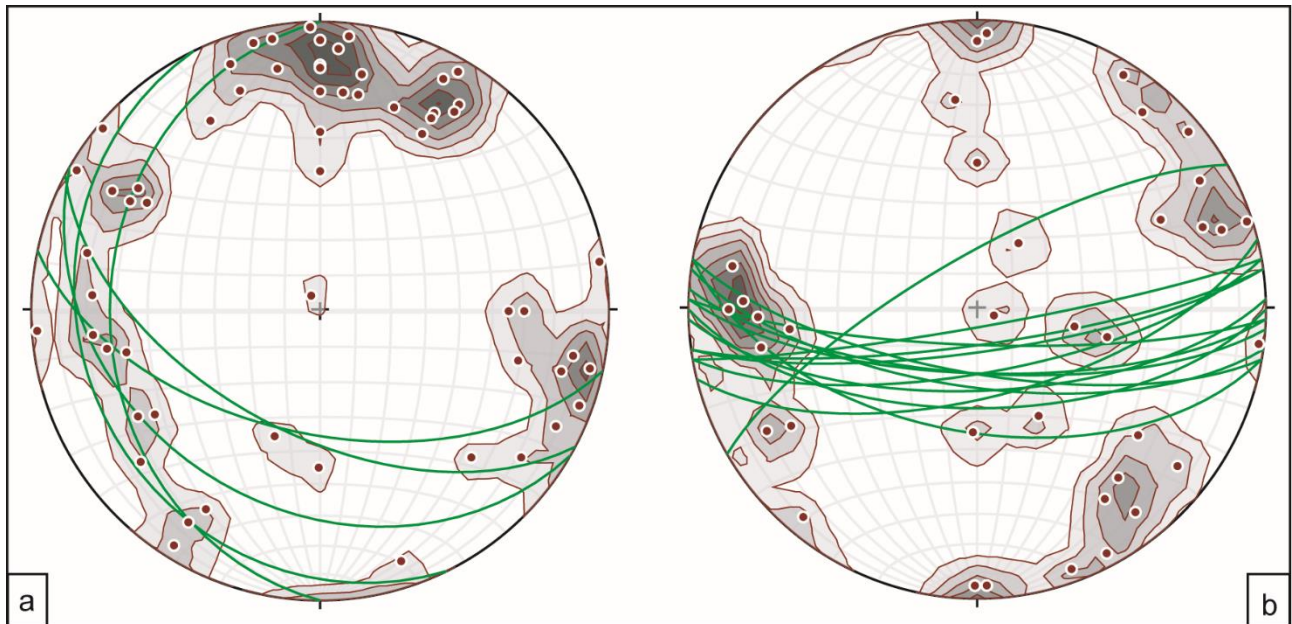


Figura 7. 7: Proiezioni stereografiche raffiguranti la foliazione (in verde) e i giunti di fratturazione (in rosso) negli affioramenti (PRFa-5 (a) e PRFa-6 (b)).

Il rilievo PRF-6 è stato misurato a ovest della turbina WTG014, in località Truncu Sa Scoa, lungo una linea di scansione di 18 m, orientata N030 (Fig. 7.7). L'ammasso roccioso si presenta massivo, con una struttura

scistosa, e debolmente alterato. La roccia presenta evidente foliazione, ed è attraversata da fratture con spaziatura media di circa 40 cm, riconducibili ad almeno due famiglie di giunti, la cui intersezione crea un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di dimensioni dell'ordine di 40 cm di lato.

Riportando i dati giacitureali delle superfici misurate per il PRFa-5 nella proiezione stereografica (Fig. 7.7 – a) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione rappresentati come poli dei piani (punti in rosso). Si può riconoscere un set di piani di foliazione dominante, con orientamento WNW-ESE, immersione verso W-SW, mediamente inclinato, e una foliazione meno sviluppata riconoscibile per le lineazioni di intersezione, orientata circa N-S e immergente verso W con piani poco inclinati.

I poli dei giunti di fratturazione sono distribuiti in 3 famiglie, come si può evincere dalla concentrazione degli stessi:

- a) Un sistema orientato ESE-WNW, con immersione verso NE e SW, e giacitura da inclinata a subverticale ($60^\circ - 85^\circ$).
- b) Un sistema orientato E-W con piani subverticali, immergenti verso S.
- c) Un sistema orientato NE-SW, con immersione verso NW e SW e giacitura inclinata ($60^\circ - 70^\circ$).

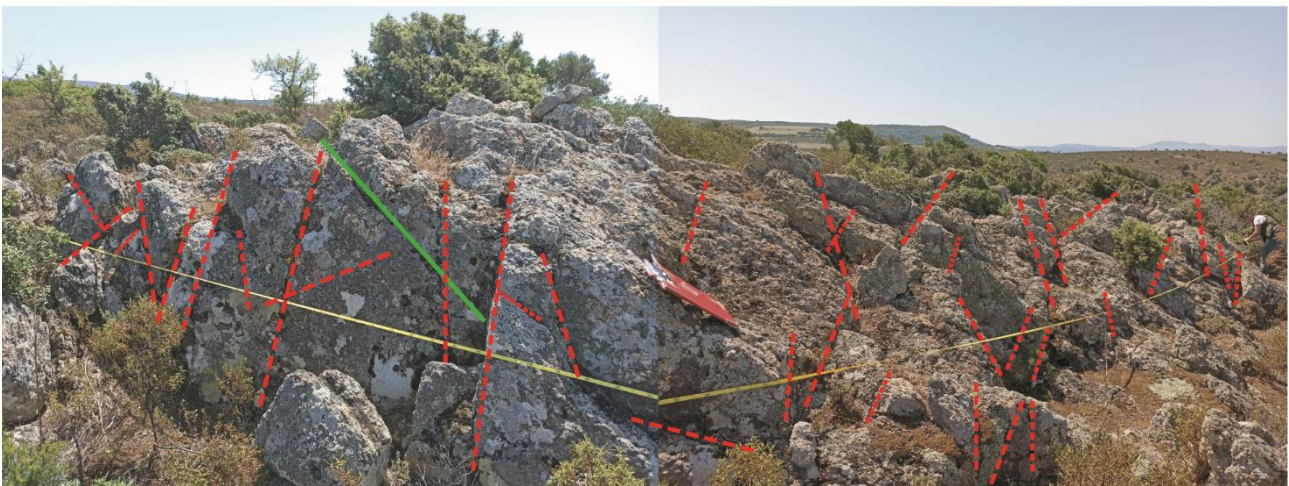


Figura 7. 8: Vista sull'affioramento dei Porfiroidi (PRFa-6) con le tracce della foliazione (in verde), e dei giunti di fratturazione (in rosso).

Il rilievo PRF-6 è stato misurato a ovest della turbina WTG014, in località Truncu Sa Scoa, lungo una linea di scansione di 18 m, orientata N030 (Fig. 7.8). L'ammasso roccioso si presenta massivo, con una struttura scistosa, e debolmente alterato. La roccia presenta evidente foliazione, ed è attraversata da fratture con

spaziatura media di circa 40 cm, riconducibili ad almeno due famiglie di giunti, la cui intersezione crea un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di dimensioni dell'ordine di 40 cm di lato.

Riportando i dati giacitureali delle superfici rilevate in situ nella proiezione stereografica (Fig. 7.7 – b) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano la foliazione (ciclografiche in verde) e i poli dei piani di fratturazione (in rosso). La foliazione presenta un orientamento circa E-W, molto inclinato ($70^\circ - 80^\circ$), con immersione verso S, mentre per i giunti di fratturazione sono riconoscibili 3 famiglie:

- a) Un sistema orientato NW-SE, con immersione verso NE e SW, e giacitura da poco inclinata a subverticale ($35^\circ - 85^\circ$).
- b) Un sistema orientato SW-NE, immergente verso NW, con inclinazione da mediamente inclinata a subverticale ($55^\circ - 88^\circ$).
- c) Un sistema orientato E-W, a giacitura subverticale ($70^\circ - 80^\circ$), e dei piani coniugati ortogonali.

Dall'analisi svolta è emerso che le giaciture delle discontinuità strutturali per i due affioramenti rocciosi in prossimità delle turbine WTG013 e WTG014 sui Porfiroidi presentano una orientazione pressappoco comune, e riportano una sostanziale somiglianza per quanto riguarda l'intensità di fratturazione, la spaziatura e l'apertura delle discontinuità.

7.1.3 Formazione del Monte Cardiga

Per la Formazione di Monte Cardiga (FMC) sono stati fatti tre rilievi geostrutturali: FMC-3, FMC-4 in località Bruncu 'e Niada, rispettivamente vicino al sito dove verranno installate le turbine WTG004, e FMC-7 in località Su Rude Sa Coa, vicino al punto di installazione della turbina WTG009.

I rilievi FMC-3 e FMC-4 sono stati misurati rispettivamente a E e NW della turbina WTG004, nel pianoro a SE di Bruncu 'e Niada. Il rilievo FMC-3 è stato misurato lungo una linea di scansione di 21 m orientata N140. L'ammasso roccioso si presenta tabulare con una stratificazione evidente che ne caratterizza la struttura, e debolmente alterato (Fig. 7.9). La roccia è attraversata da fratture con spaziatura media di circa 150 cm, riconducibili a due famiglie di giunti, la cui intersezione crea un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di dimensioni dell'ordine di un metro cubo.

Riportando i dati giacitureali delle superfici rilevate in situ per il punto FMC-3 nella proiezione stereografica (Fig. 7.10 - a) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano la stratificazione (ciclografiche in blu) diretta NE-SW, che immerge verso SE con piani suborizzontali (10°), e 2 famiglie di piani di fratturazione (ciclografiche in rosso) ben distinte:

- a) Un sistema orientato E-W, con immersione verso N e S, e giacitura subverticale ($75^\circ - 85^\circ$).

- b) Un sistema orientato NNE-SSW, con piani subverticali ($75^\circ - 85^\circ$) immergenti a WNW e ESE.

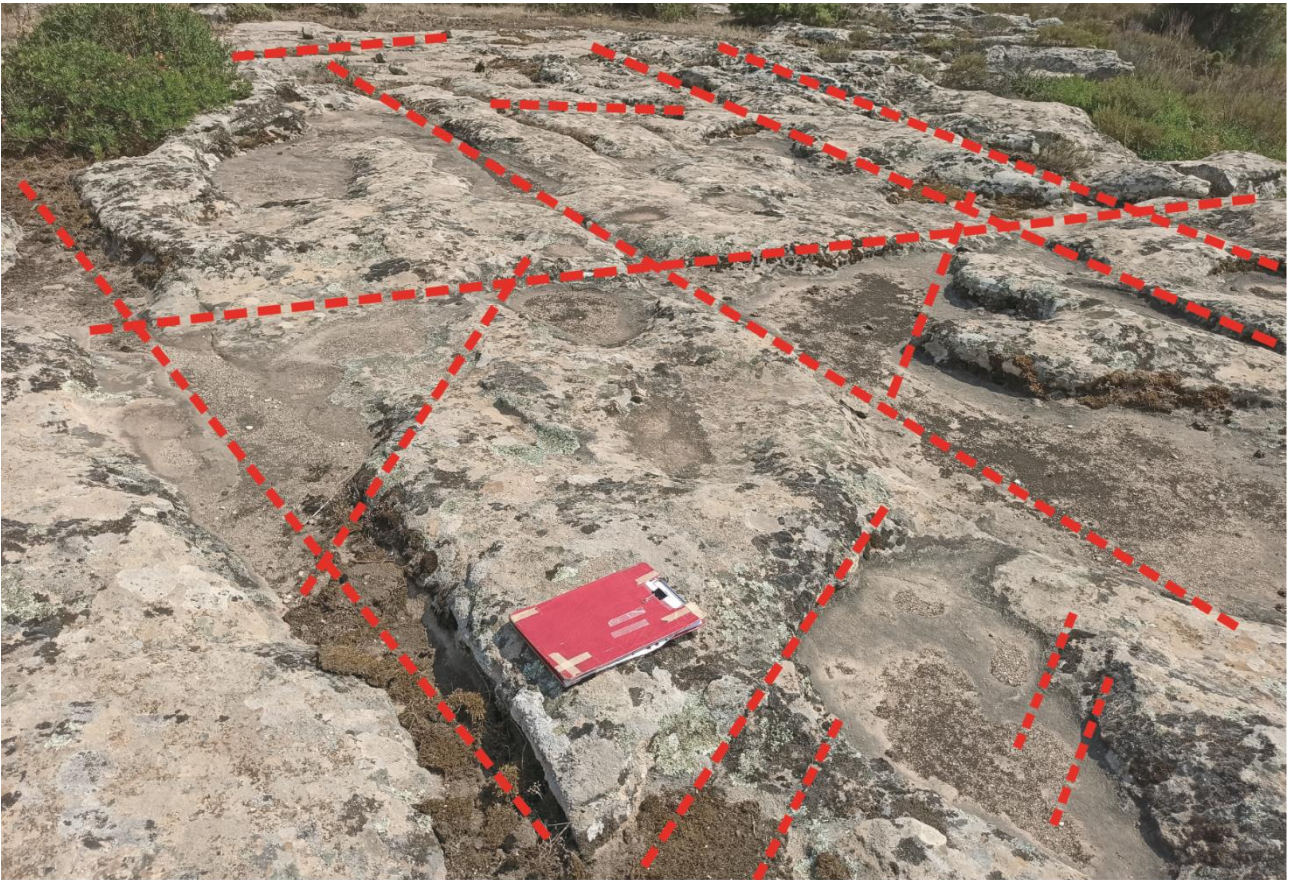


Figura 7. 9: Vista sull'affioramento della Formazione di Monte Cardiga (FMC-3) con le tracce dei giunti di fratturazione (in rosso).

Nella proiezione stereografica relativa al punto FMC-4 (Fig. 7.10 – b) la stratificazione diretta N-S è praticamente orizzontale (5°), e immerge verso W, mentre le due famiglie di giunti di fratturazione, quasi ortogonali tra loro, sono orientate:

- a) NNE-SSW, con immersione verso W, e giacitura subverticale ($75^\circ - 88^\circ$).
- b) NW-SE, con piani subverticali ($75^\circ - 85^\circ$) immergenti a SW.

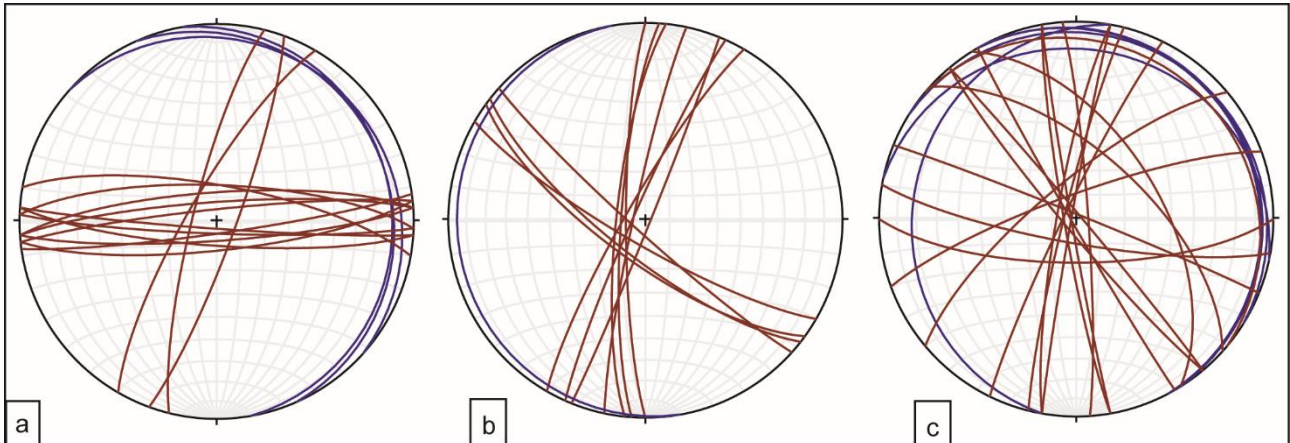


Figura 7. 10: Proiezioni stereografiche raffiguranti la stratificazione (in blu) e i giunti di fratturazione (in rosso) negli affioramenti FMC-3 (a), FMC-4 (b), e FMC-7 (c).



Figura 7. 11: Vista sull'affioramento della formazione di Monte Cardiga (FMC-4) con evidenziate la stratificazione (in blu) e le tracce dei giunti di fratturazione (in rosso).

Il rilievo FMC-7 è stato misurato in un ammasso roccioso praticamente inalterato e resistente, dall'aspetto stratificato e tabulare, lungo una linea di scansione di 15 m, orientata N020 (Fig. 7.12). La roccia è attraversata diverse famiglie di fratture con spaziatura media di circa 85 cm.

Nella proiezione stereografica relativa al punto FMC-7 (Fig. 7.10 – c) la stratificazione diretta NW-SE suborizzontale (7° - 18°), e immerge verso NE. Si possono individuare diverse famiglie di giunti di fratturazione:

- a) Un sistema orientato circa N-S con giacitura subverticale (75° - 88°).

- b) Un sistema orientato WNW-ESE, con piani a giacitura da mediamente inclinata a subverticale ($55^\circ - 85^\circ$), immergenti a NE.
- c) Un sistema meno sviluppato, orientato NE-SW, con piani subverticali immergenti verso NW.

Dall'analisi svolta è emerso che le giaciture delle discontinuità strutturali per i tre affioramenti di rocce sedimentarie della formazione di Monte Cardiga, in prossimità delle turbine WTG004, WTG009 e WTG012, presentano una orientazione pressappoco comune. Gli ammassi rocciosi, seppur interessati da due o tre sistemi di fratture, sono somiglianti per quanto riguarda l'intensità di fratturazione, la spaziatura e l'apertura delle discontinuità.

La giacitura delle discontinuità strutturali rilevate sulle rocce sedimentarie eoceniche sedimentarie è caratterizzata da una generale direzione NW-SE, con piani subverticali, quasi ortogonali agli altri sistemi. La fratturazione dei materiali eocenici è molto meno fitta rispetto ai materiali paleozoici, in particolare rispetto agli scisti di San Vito. Tuttavia, in tutti gli affioramenti rilevati è possibile riconoscere la presenza di un sistema di fratture orientate circa NE-SW, e di uno orientato NW-SE.



Figura 7. 12: Vista sull'affioramento della formazione di Monte Cardiga (FMC-7) con evidenziate la stratificazione (in blu) e le tracce dei giunti di fratturazione (in rosso).

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):

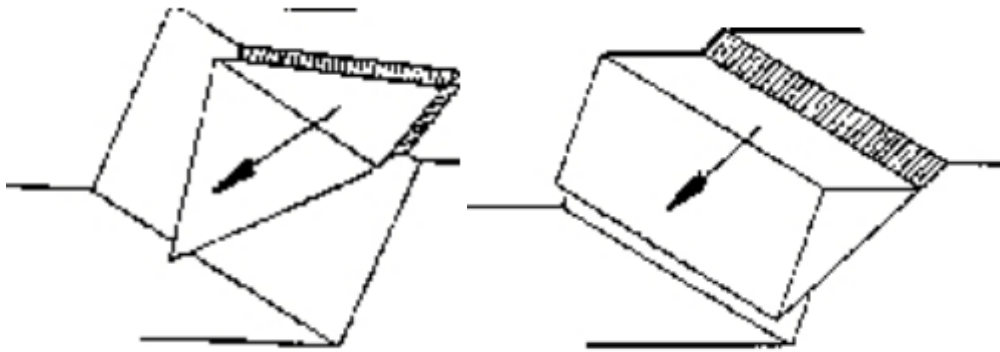


Figura 0.1 – tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

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.

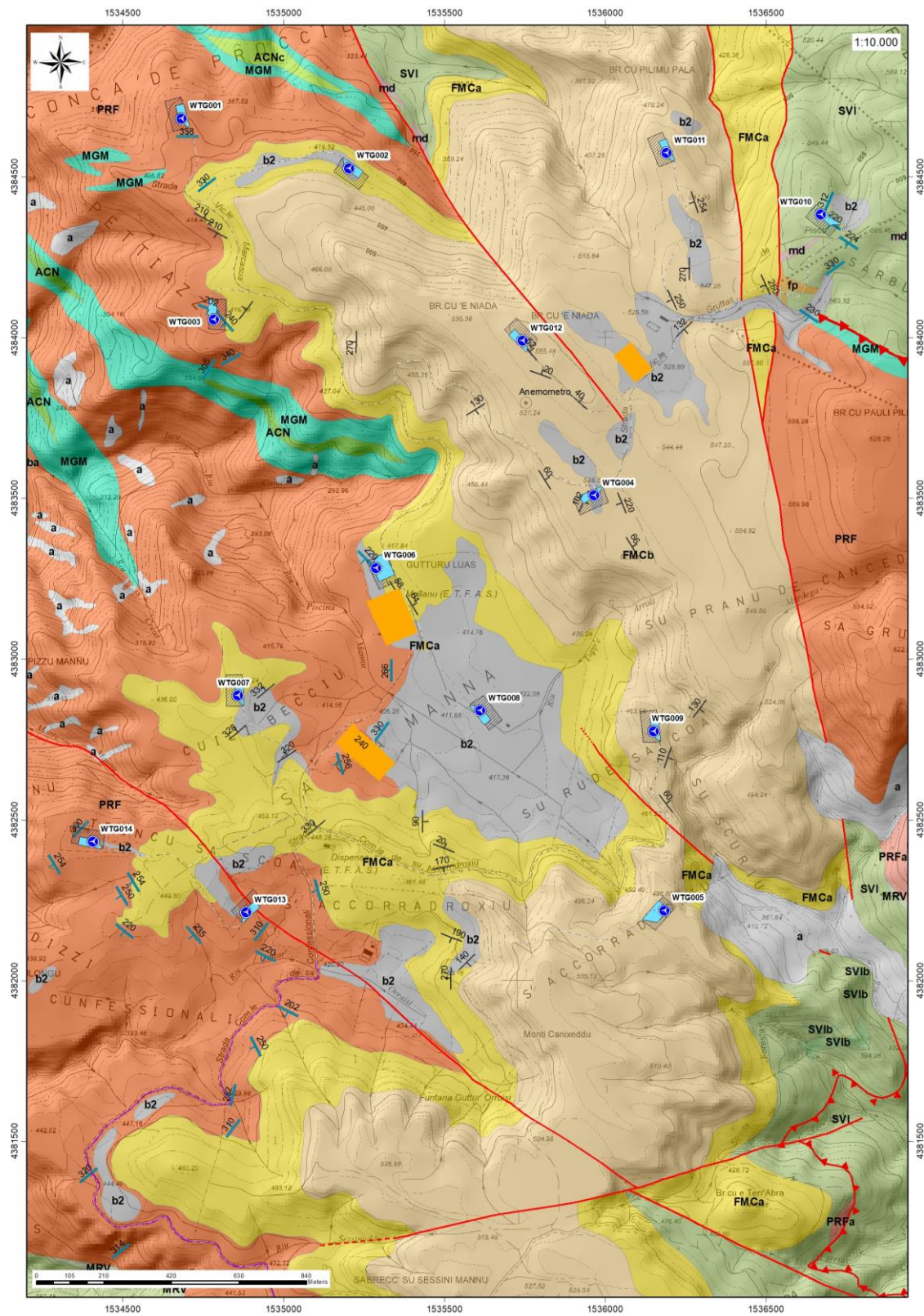


Figura 7. 13: Carta Geologica dell'area di studio (Settore BruncuSaNiada_INQ_10k_Nord).

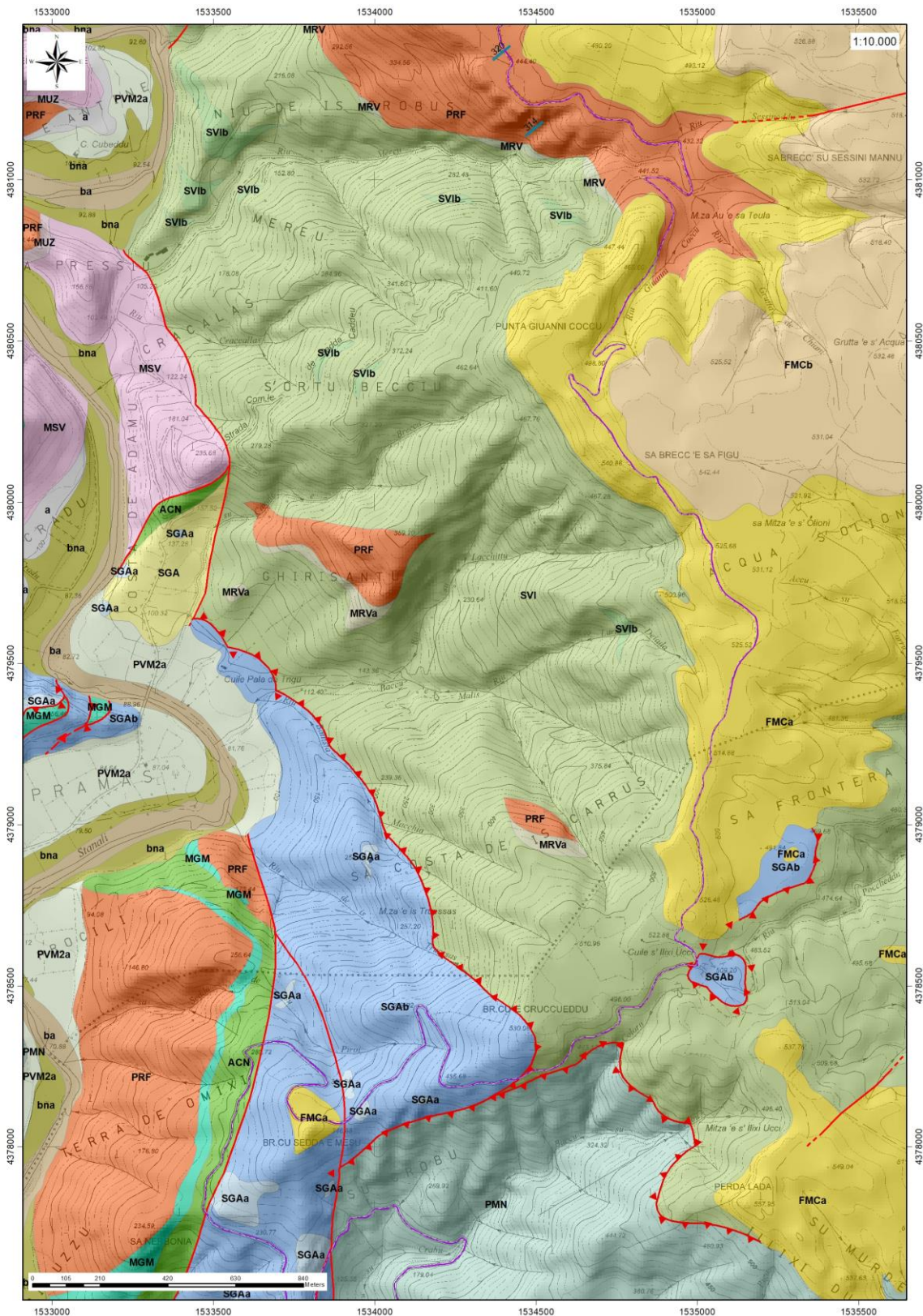


Figura 7. 14: Carta Geologica dell'area di studio (Settore BruncuSaNiada_INQ_10k_Centro).

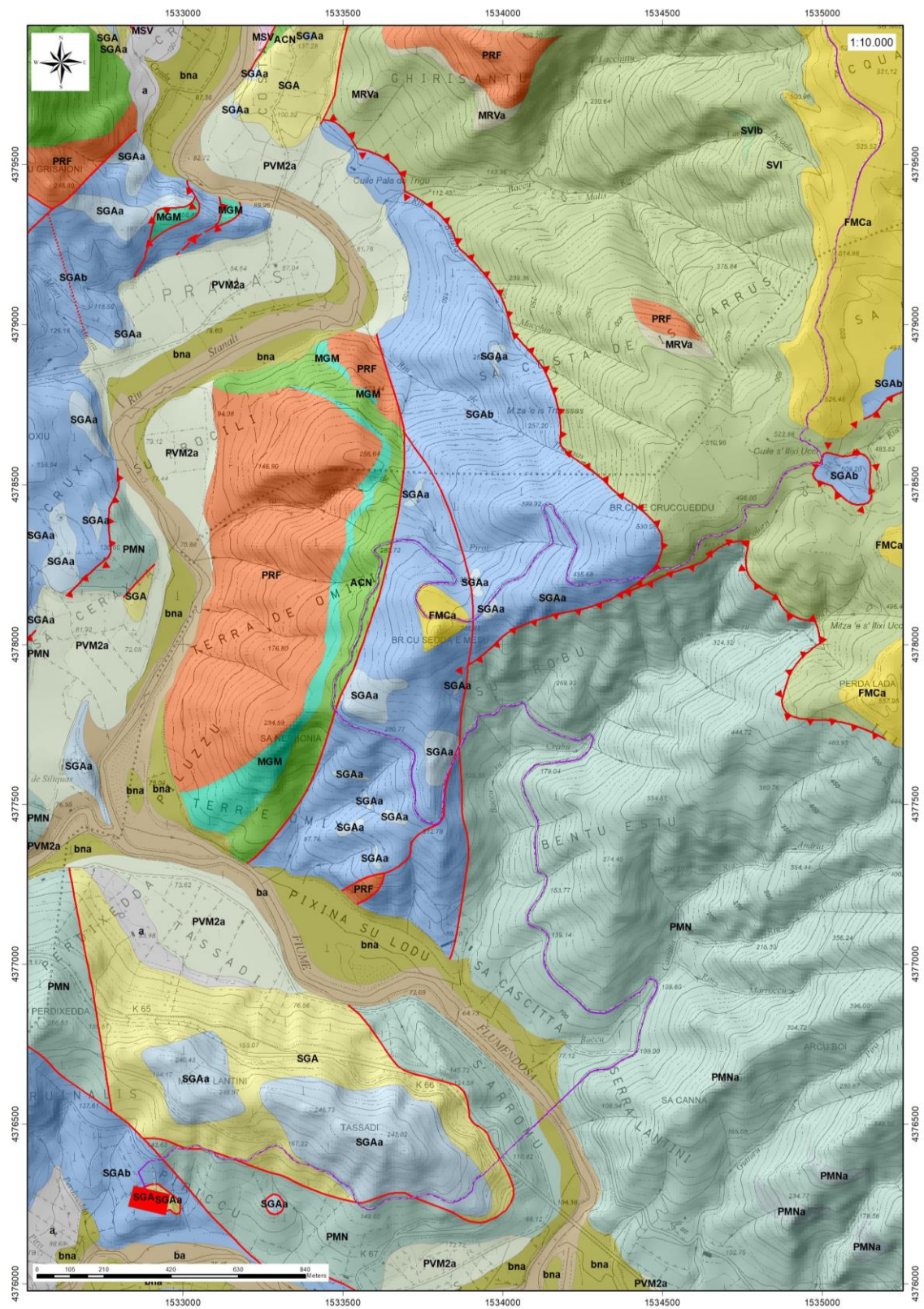


Figura 7. 15: Carta Geologica dell'area di studio (Settore BruncuSaNiada_INQ_10k_Sud)

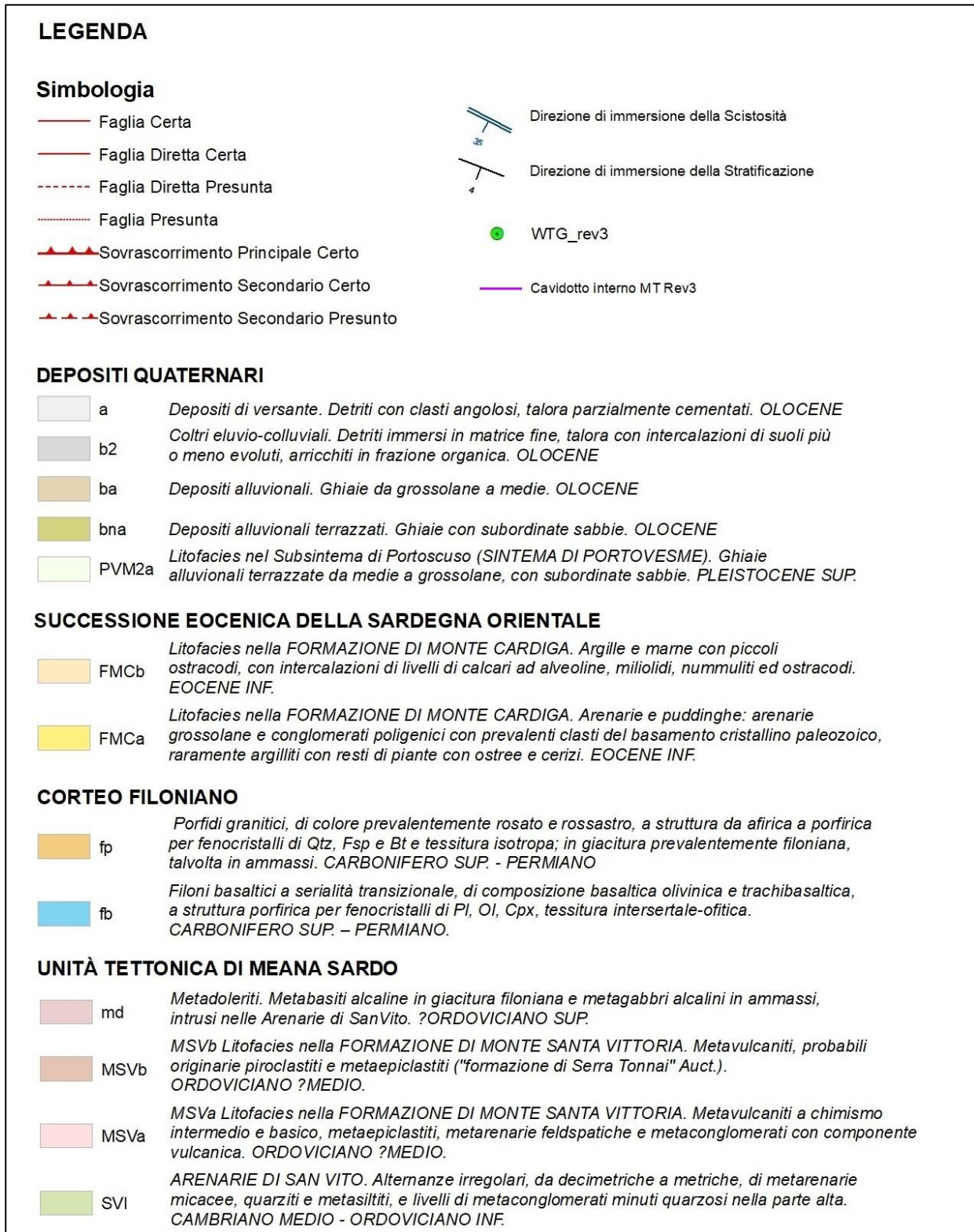














Figura 7. 16– a): Legenda Carta geologica dell'area di studio.

UNITÀ TETTONICA DEL GERRI

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

UNITÀ TETTONICA DI RIU GRUPPA




	CSAb	<i>Litofacies nel COMPLESSO DI SA LILLA. Metarenarie e metaconglomerati. Metaquarzoareniti, metarenarie e metaconglomerati poligenici. ?SILURIANO - ? CARBONIFERO INF.</i>
	CSAa	<i>Litofacies nel COMPLESSO DI SA LILLA. Marmi grigi e venati. Marmi, marmi dolomitici, rari calcescisti. ?SILURIANO - ?CARBONIFERO INF.</i>
	CSA	<i>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.</i>

Figura 7. 17 -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.

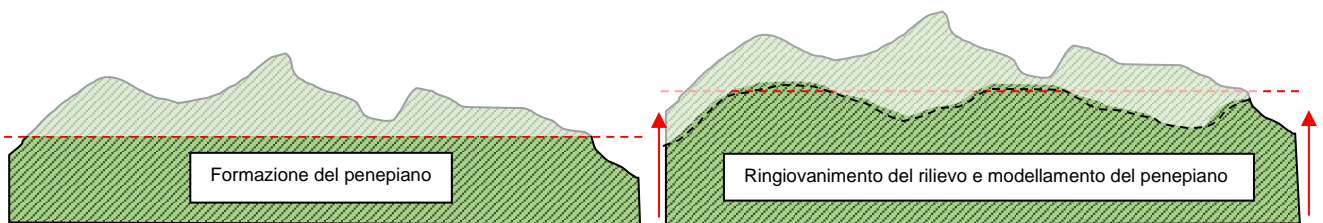


Figura 8. 1: Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

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 altopiani, 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 è 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 Bruncu 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 (diaclisi e strati).

8.2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa

L'area geomorfologicamente significativa per le azioni di progetto è quell'area in cui si esplicano tutti i processi geomorfici, il cui effetto può generare interazioni con le dinamiche ambientali. Pertanto la stessa, nello specifico, si individua nei versanti e nei sub-bacini idrografici presenti che interferiscono con l'opera.

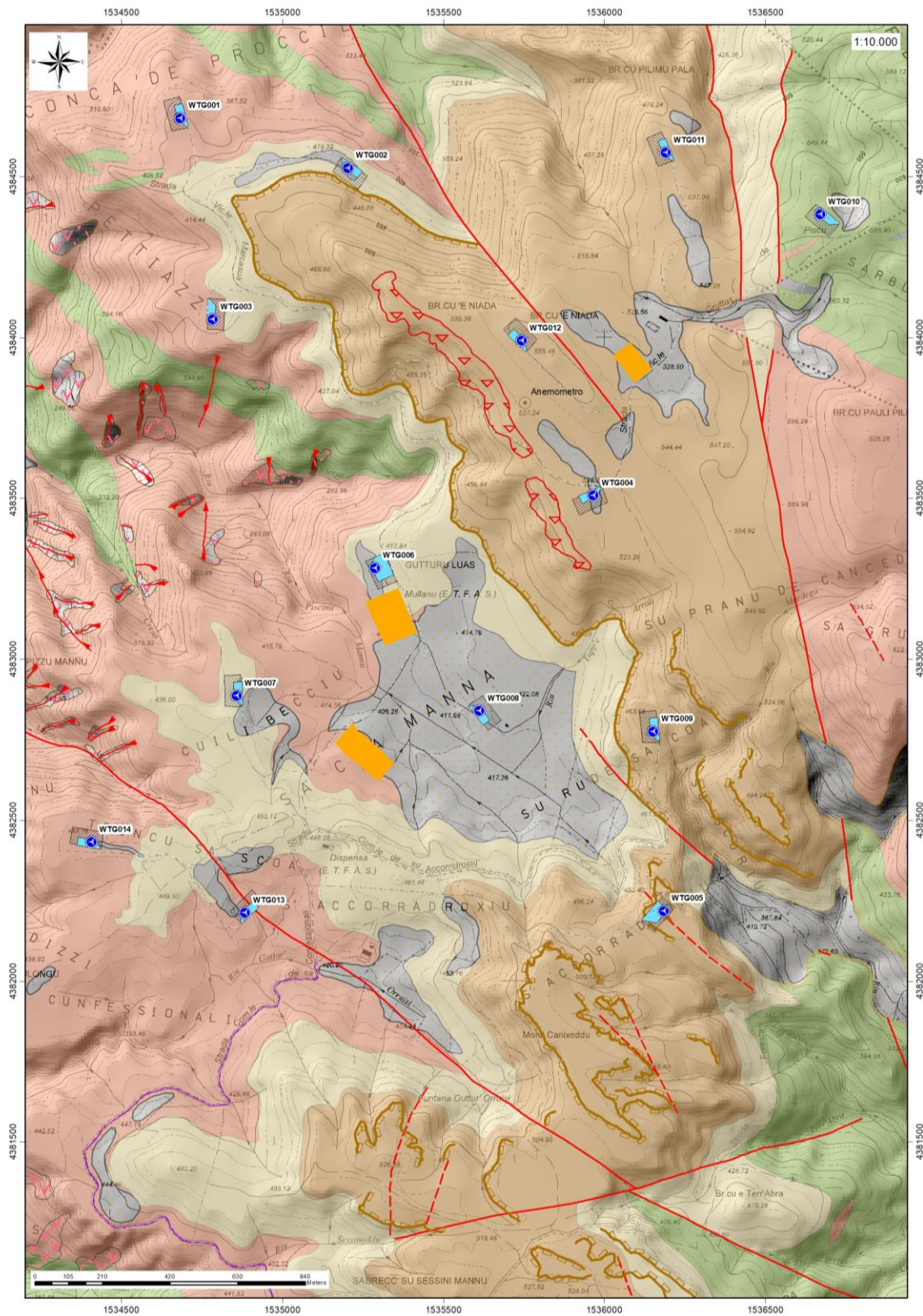


Figura 8. 4: Carta geomorfologica - Settore Nord

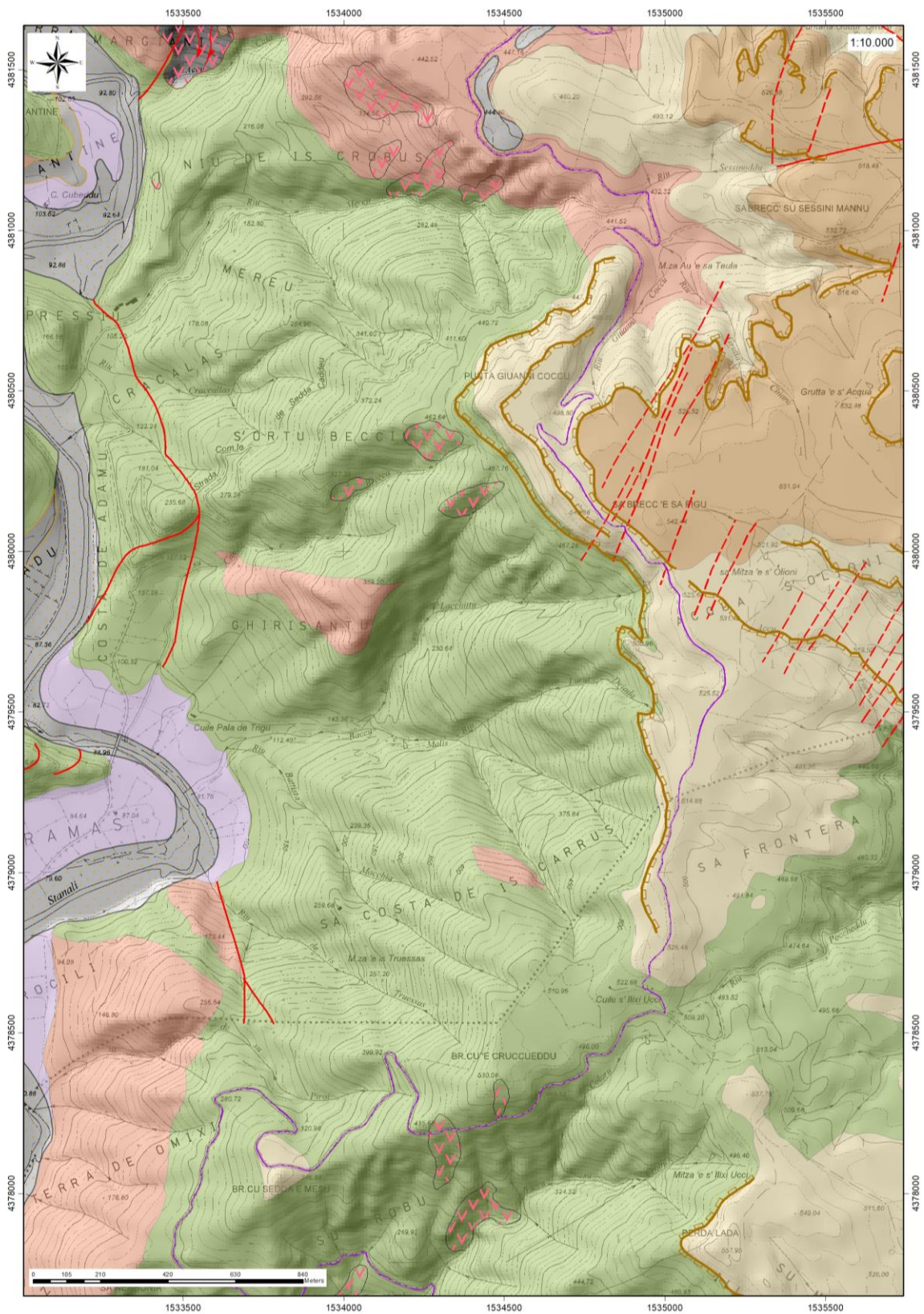


Figura 8. 5: Carta geomorfologica - Settore Centrale

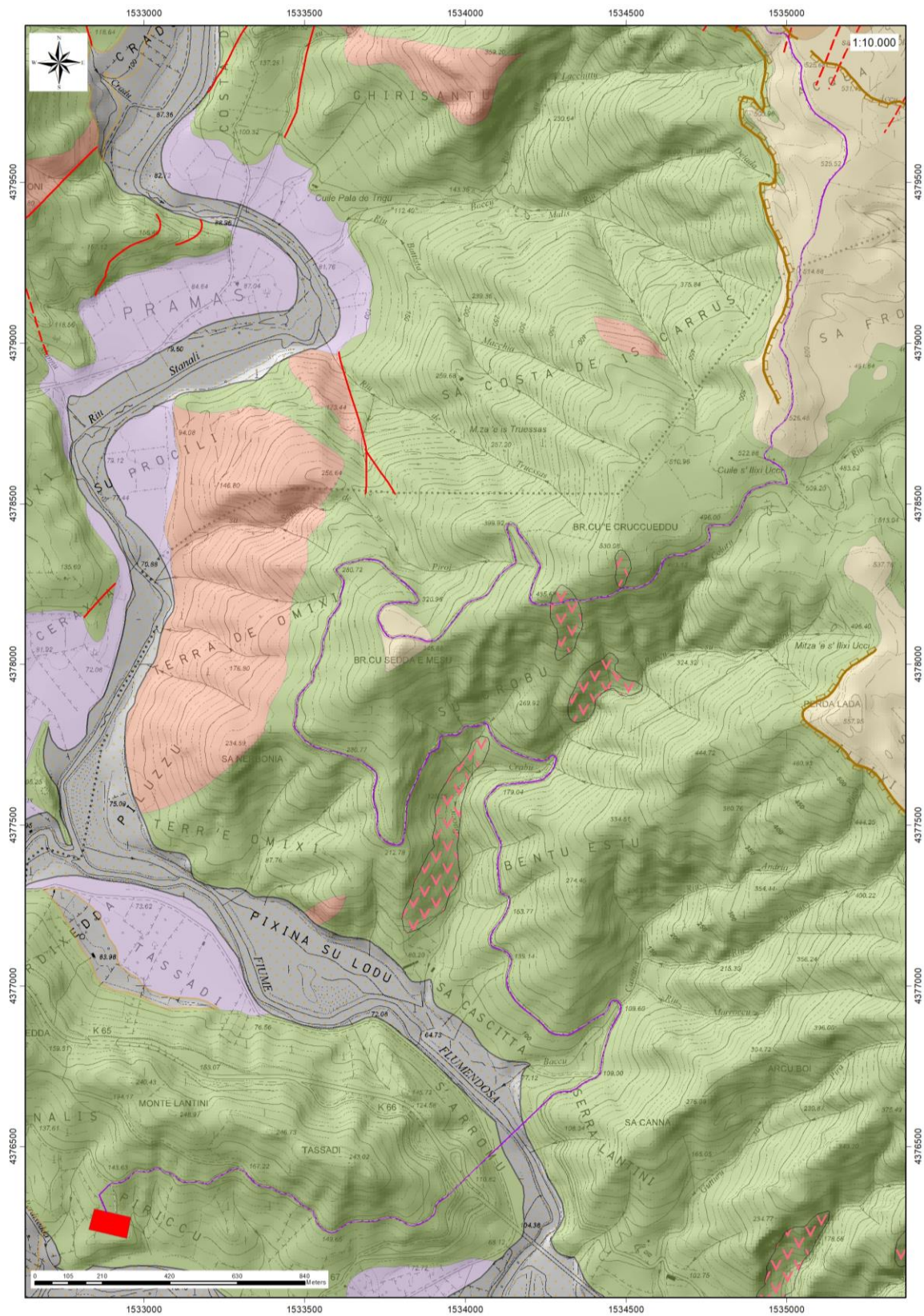


Figura 8. 6: Carta Geomorfologica Settore Sud

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.

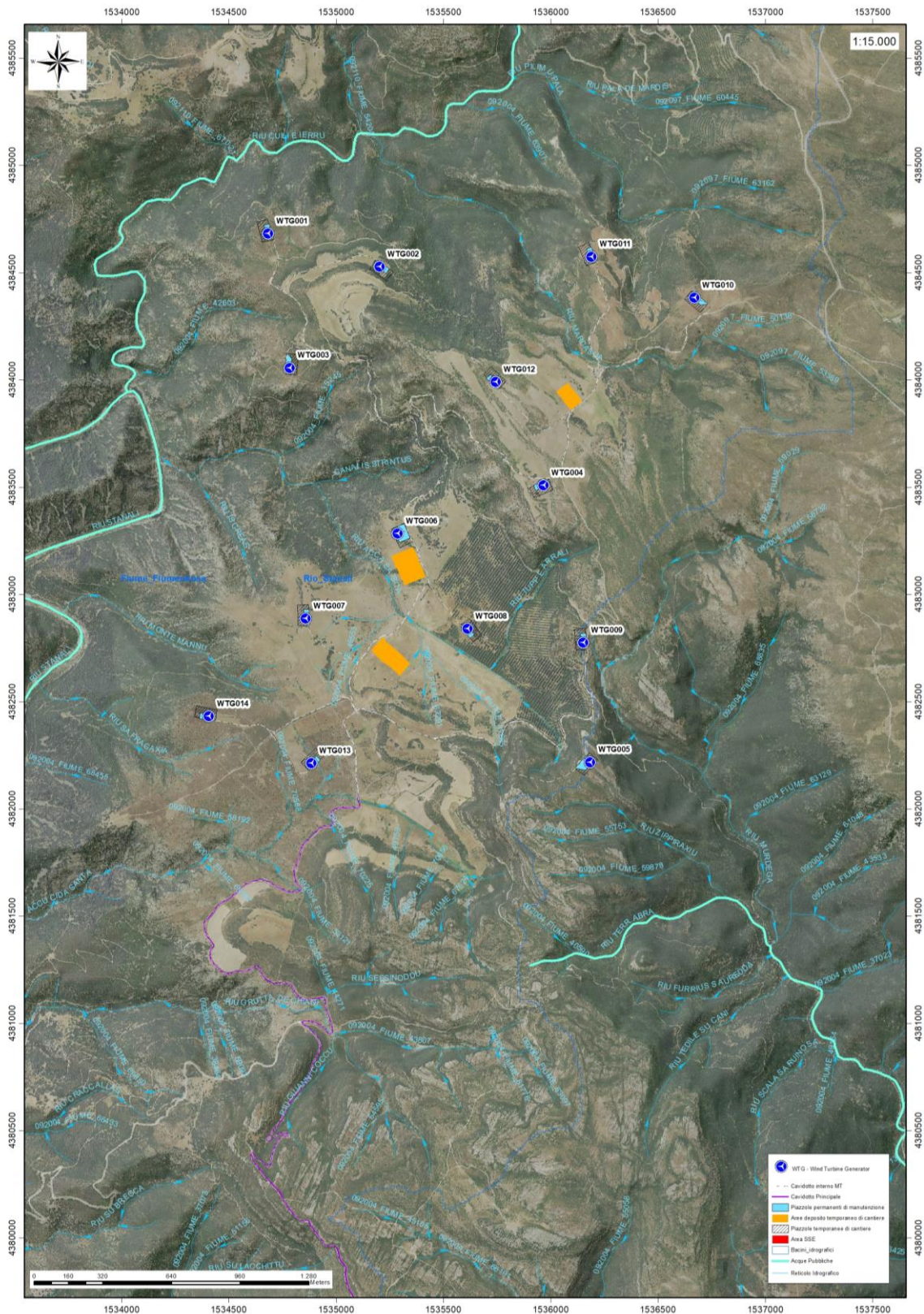


Figura 9. 1: Reticolo Idrografico – Settore Nord

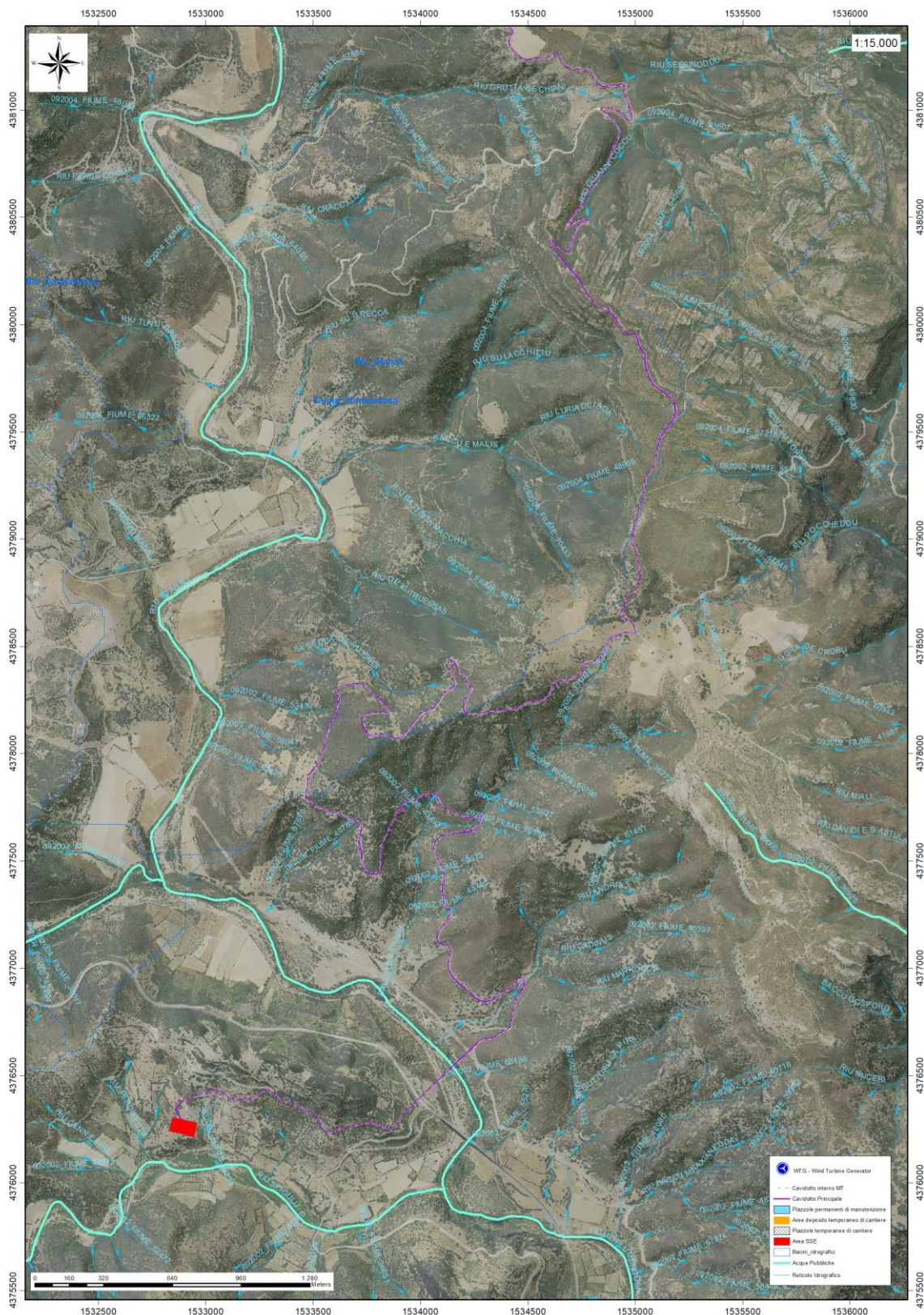


Figura 9. 2: Reticolo Idrografico - settore Sud

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 terrazze recenti hanno permeabilità medio-alta e sono di solito sede di una falda freatica di subalveo. La permeabilità delle alluvioni terrazze 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 infila nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse.

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

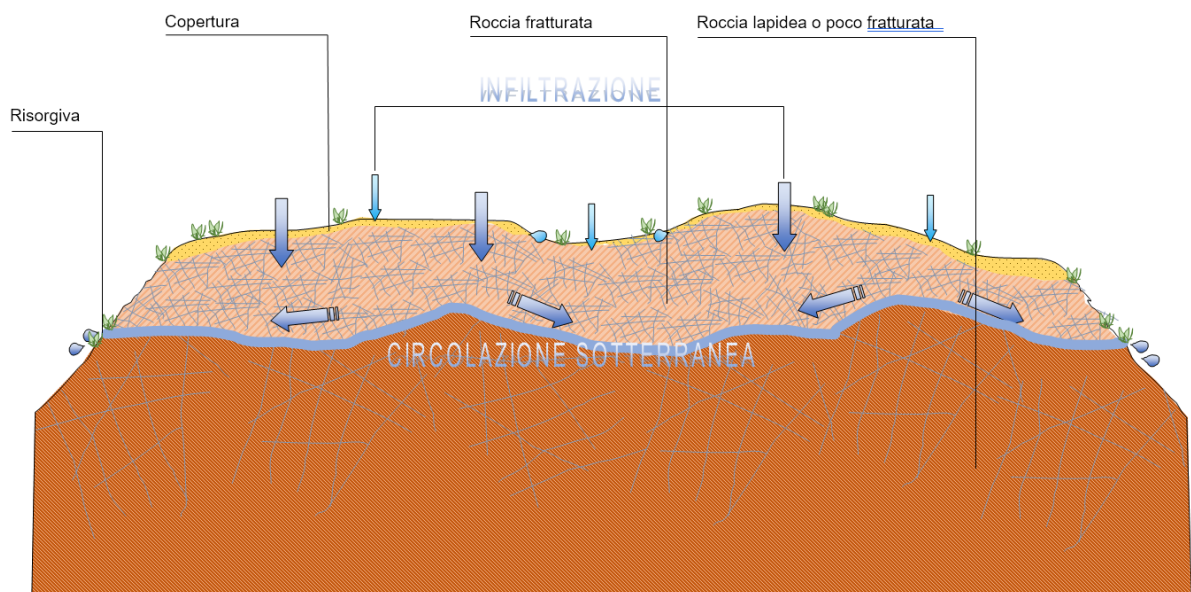


Figura 9. 3: Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

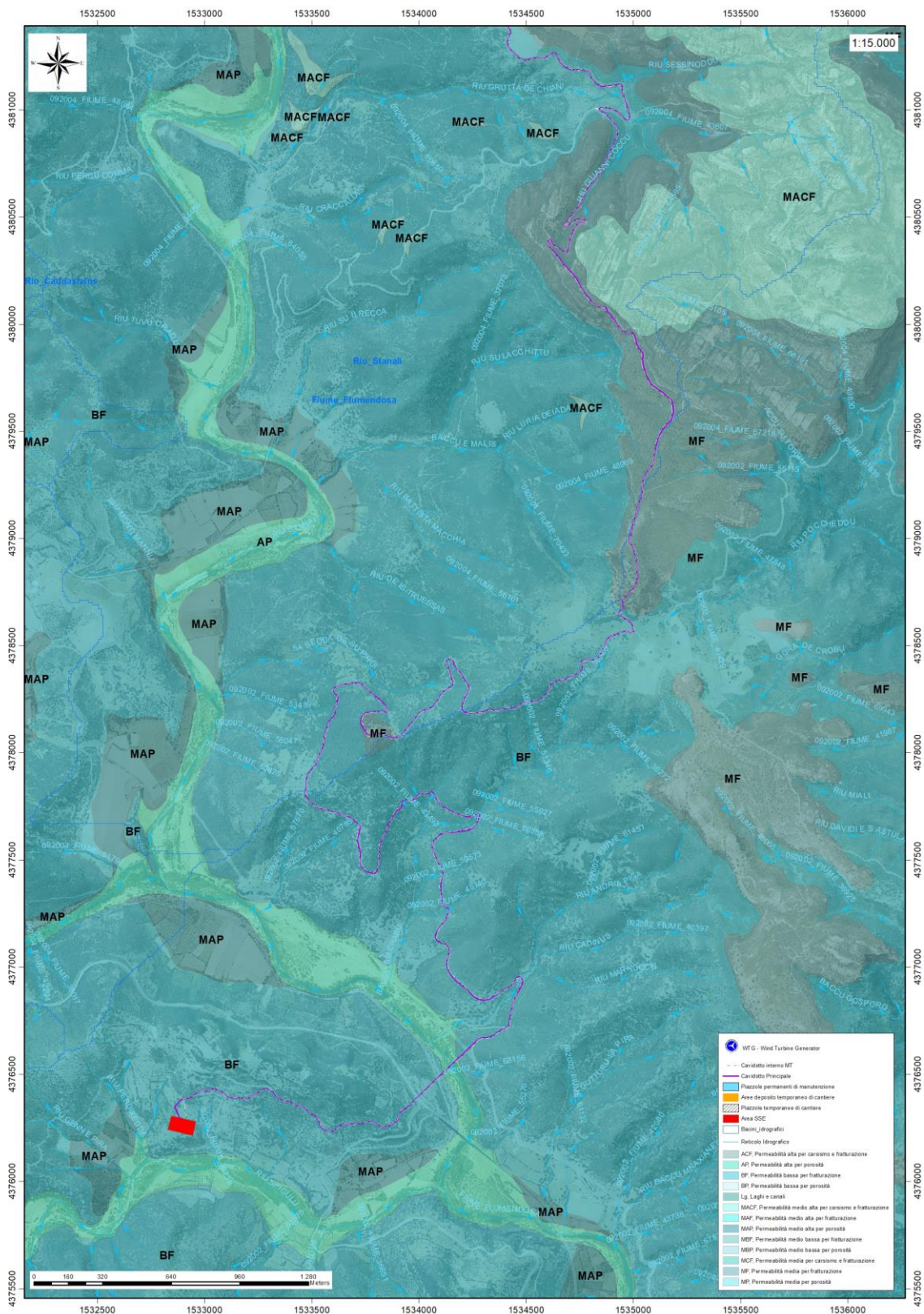


Figura 0.5: Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Sud (Fonte RAS)

10 Inquadramento climatico

La definizione del clima è basata sull'analisi dei parametri meteorologici più comunemente studiati, quali la temperatura e le precipitazioni, il cui andamento è legato alle variazioni stagionali della circolazione atmosferica, considerando inoltre la ventosità, la nuvolosità e l'umidità relativa. Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come "Mediterraneo Interno", caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde, con valori minimi invernali di alcuni gradi al di sotto dello zero e massimi estivi anche superiori ai +40 °C.

Lungo le zone costiere, grazie alla presenza del mare, si hanno inverni miti con temperature che scendono raramente sotto lo zero. Anche nelle zone interne pianeggianti e collinari il clima è tipicamente mediterraneo, anche se a causa della maggior lontananza dal mare si registrano temperature invernali più basse ed estive più alte rispetto alle aree costiere.

Nelle zone più interne, come gli altopiani e le vallate spesso incastonate tra i rilievi, il clima acquista caratteri continentali con forti escursioni termiche, risultando particolarmente basse le minime invernali in caso di inversione termica, con temperature che possono scendere anche al di sotto dei -10/-12 °C. Sui massicci montuosi nei mesi invernali nevica frequentemente e le temperature scendono sotto lo zero, mentre nella stagione estiva il clima si mantiene fresco, soprattutto durante le ore notturne, e raramente fa caldo per molti giorni consecutivi.

La Sardegna inoltre è una regione molto ventosa; i venti dominanti sono quelli provenienti dal settore occidentale (Maestrale e Ponente) e, in minor misura quelli provenienti da quello meridionale (Scirocco).

Le precipitazioni sono distribuite in maniera variabile ed irregolare, con medie comprese tra i 400 e i 600 mm annui lungo le coste e valori pluviometrici che raggiungono e superano i 1000 mm annui (con locali picchi superiori ai 1300–1400 mm) in prossimità dei rilievi montuosi.

A causa del dominio sulla regione dei venti provenienti dai quadranti occidentali, mediamente la maggior frequenza di giorni di pioggia si riscontra nelle zone occidentali dell'isola, mentre in quelle orientali, trovandosi sottovento a questo tipo di circolazione a causa dell'orografia, si ha una minore frequenza di giornate piovose. Tuttavia, le zone orientali sono spesso soggette a fortissime piogge, per cui gli accumuli medi annuali sono simili tra i due versanti.

Peri odo	Stazio ne	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annual e
2016	Ballao	35	75	55	20	60	10	10	40	80	10	90	190	675
2015	Ballao	60	110	150	10	60	30	60	20	70	95	20	115	800
2014	Ballao	70	30	60	30	50	10	10	10	20	30	75	80	475
1971 - 2000	Ballao	85	85	80	75	50	25	20	20	60	65	95	100	760
1922 - 1992	Ballao	68	73,6	69,5	52,5	46,4	15	10,1	17,5	38,4	75,6	79,5	100,6	646,7
1922 - 1992	Armungia	77,7	86	75,8	58,8	45,3	15	10	12,6	46,1	97,9	81,8	106,8	713,8
1922 - 1992	Villasalto	79,2	83,3	74,6	57,4	44,8	13,2	6,2	14,7	42,4	90,4	89	111,9	707,1

Tabella 10. 1: Andamento pluviometrico dell'area vasta.

L'andamento climatico del territorio di Ballao e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche presenti nel territorio comunale di Ballao, Armungia e Villasalto, localizzate rispettivamente circa 4 km e 7 km a S del settore in esame, e dalle stazioni dell'ARPAS più prossime all'area (Siurgus Donigala e Villasalto).

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab.10.1) è stato ricavato dai dati relativi agli anni 2016-2015-2014, 1971-2001, e 1922-1992, ricavati dalle stazioni dell'ARPAS, e dalle stazioni pluviometriche di Ballao, Armungia e Villasalto. Alcuni di questi dati sono stati estrapolati dall'Allegato E al P.U.C. del Comune di Ballao, come le osservazioni relative al periodo 1922-1992, i cui autori segnalano la presenza di lacune: nelle misurazioni della stazione di Armungia mancano del tutto le osservazioni del periodo compreso tra il 1922-1927; in quella di Villasalto sono assenti i dati del 1928, 1929, 1930, 1945 mentre in quella di Ballao sono assenti i dati del periodo compreso tra il 1944-1947, 1979 e il periodo compreso tra 1981-1989.

I dati relativi agli anni 2014, 2015, 2016 e il periodo 1971-2000 sono stati invece estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS, e dal Geoportale della R.A.S.

Per quanto riguarda i dati sulle temperature e sull'evapotraspirazione, sono stati utilizzati i valori pubblicati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS.

Alla stazione di Cagliari - Elmas sono riferiti i dati sulla nuvolosità, umidità relativa e ventosità (estrapolati dall'Allegato E al P.U.C. del Comune di Ballao e dalla Rete Mareografica dell'ISPRA).

10.1 Precipitazioni

Nella Fig. 1.1 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni negli anni 2016, 2015, 2014, e negli intervalli 1971-2000 e 1922-1992. Per ogni singola stazione, è riportato il valore medio mensile e annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 1922-1992, nella stazione di Ballao si osserva che i valori di precipitazioni, pur assumendo un andamento analogo alle stazioni di Armungia e Villasalto, presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto (Tab.10.2).

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a 671,34 mm per tutto il periodo compreso tra il 1922 e il 2016, è pari a 760 mm per il periodo dal 1971-2000, mentre per il periodo dal 1922 al 1992 è pari a 646,7 mm.

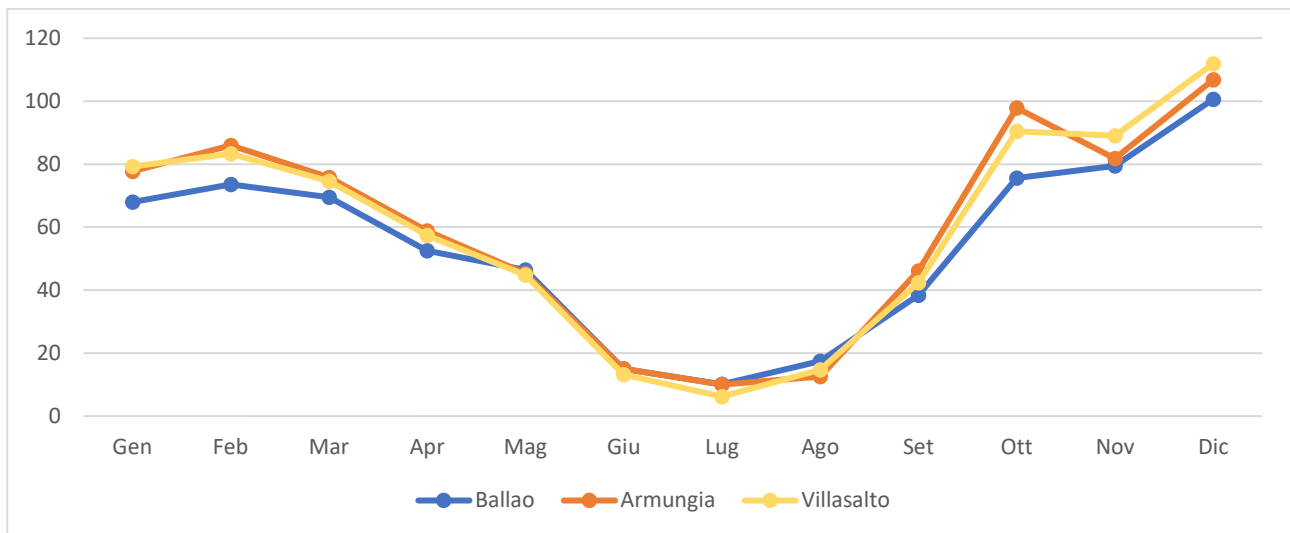


Tabella 0.1: Andamento della pluviometria mensile e annuale (in mm) per le stazioni di Ballao, Armungia e Villasalto nel periodo 1922-1992.

L'andamento pluviometrico dell'area di Ballao nell'arco dell'anno è caratterizzato dal minimo assoluto di piovosità nel periodo estivo e da un massimo in autunno e inverno, per cui i mesi più secchi sono quelli estivi mentre quelli più piovosi sono quelli invernali (Tab. 10.3).

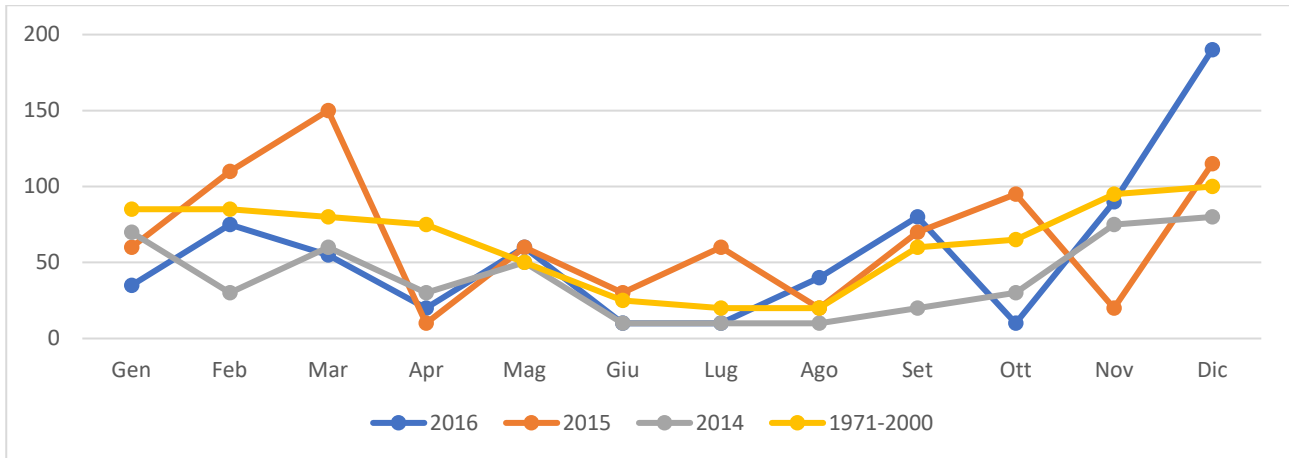


Tabella 0.2: Pluviometria mensile (in mm) registrata nella stazione di Ballao per gli anni 2016, 2015, 2014 e 1971-2000.

10.2 Temperature

I valori termometrici della stazione meteo di Ballao, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell’ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab.10.4. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili degli anni 2016, 2015, 2014, e per il periodo 1971-2000, è di circa 16 °C. Il mese più freddo è Gennaio con circa 8°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 25 °C.

Peri odo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annuale
2016	10	11	10	15	16,5	21,5	25	24	21	18	13,5	10,5	16,5
2015	7	6,5	10	13,5	19	23	28	26	21	15,5	13	9	16
2014	8	9	9	13	16	22,5	23,5	25	22,5	16	13,5	8,5	15,5
1971- 2000	8	9	11	13	17,5	22	25	25,5	22	18	13	10	16

Tabella 0.4: Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Ballao.

Nel grafico di Tab.10.5 è illustrato l’andamento delle temperature medie mensili per gli anni 2016, 2015, 2014 e per il periodo 1971-2000, relativamente alla stazione di Ballao.

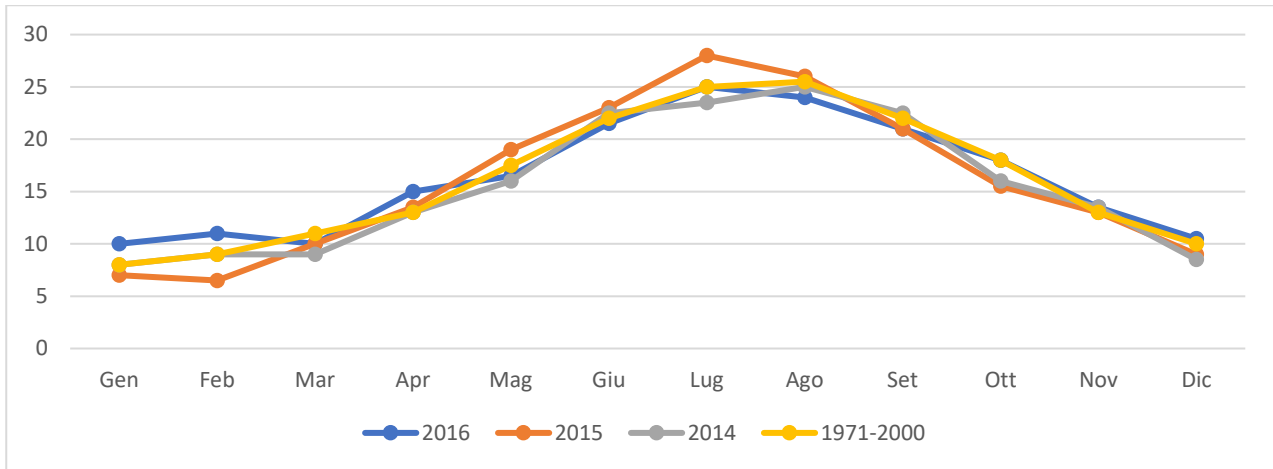


Tabella 0.3: Pluviometria mensile (in mm) registrata nella stazione di Ballao per gli anni 2016, 2015, 2014 e 1971-2000.

10.3 Stima dell’Evapotraspirazione

L’ evapotraspirazione è uno dei parametri più significativi nell’ambito di un bilancio idrologico e rappresenta la perdita di una parte delle acque di precipitazione, per evaporazione dal suolo e per traspirazione della vegetazione. Viene calcolata tenendo conto della temperatura e delle precipitazioni, e viene influenzata dalla nuvolosità, dall’umidità relativa e dalla ventosità.

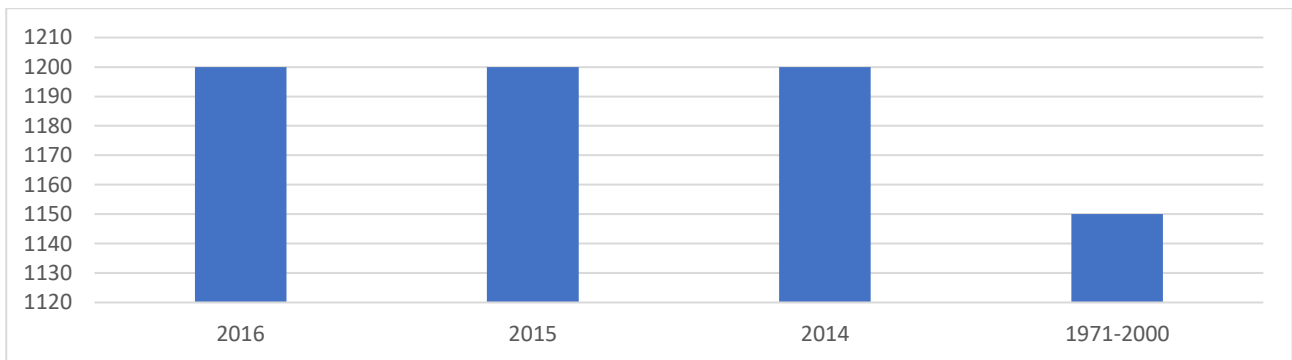


Tabella 0.4: Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Ballao.

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l’irraggiamento solare. Nella tabella di Fig. 1.7, sono rappresentati il numero medio mensile e annuo dei giorni in condizioni di sereno (nuvolosità < 2/8), nuvoloso (2/8 < nuvolosità < 6/8) e coperto (nuvolosità > 6/8), riferiti al periodo 1922 – 1992 per la stazione di Cagliari-Elmas (estrapolati dall’Allegato E al P.U.C. del Comune di Ballao).

Nuvolosità	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annuale
Sereno	6	5	6	7	8	12	22	18	10	6	6	7	113
nuvoloso	14	13	15	14	14	14	7	10	14	17	17	15	164
coperto	11	10	10	9	9	4	2	3	6	7	7	9	88

Tabella 0.5: Media mensile e annuale dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1922-1992, relativa alla stazione di Cagliari – Elmas.

Dall’esame dei valori della tabella si evince che il massimo di giorni sereni si ha in Luglio e Agosto mentre il minimo si registra nei mesi tra Ottobre e Aprile. Il valore minimo di giornate nuvolose si ha nel mese di Luglio e il massimo si osserva nei mesi di Ottobre e Novembre. Le giornate in condizioni di coperto raggiungono il massimo a Gennaio e minimo a Luglio. I dati relativi alla media annua, indicano che si ha circa il 30 % di giornate con tempo sereno, il 25 % di giornate a cielo coperto, e il 45% di giornate nuvolose.

Il clima è influenzato anche dall’andamento del vento al suolo (ventosità), che viene definito analizzandone l’intensità, la direzione e la frequenza.

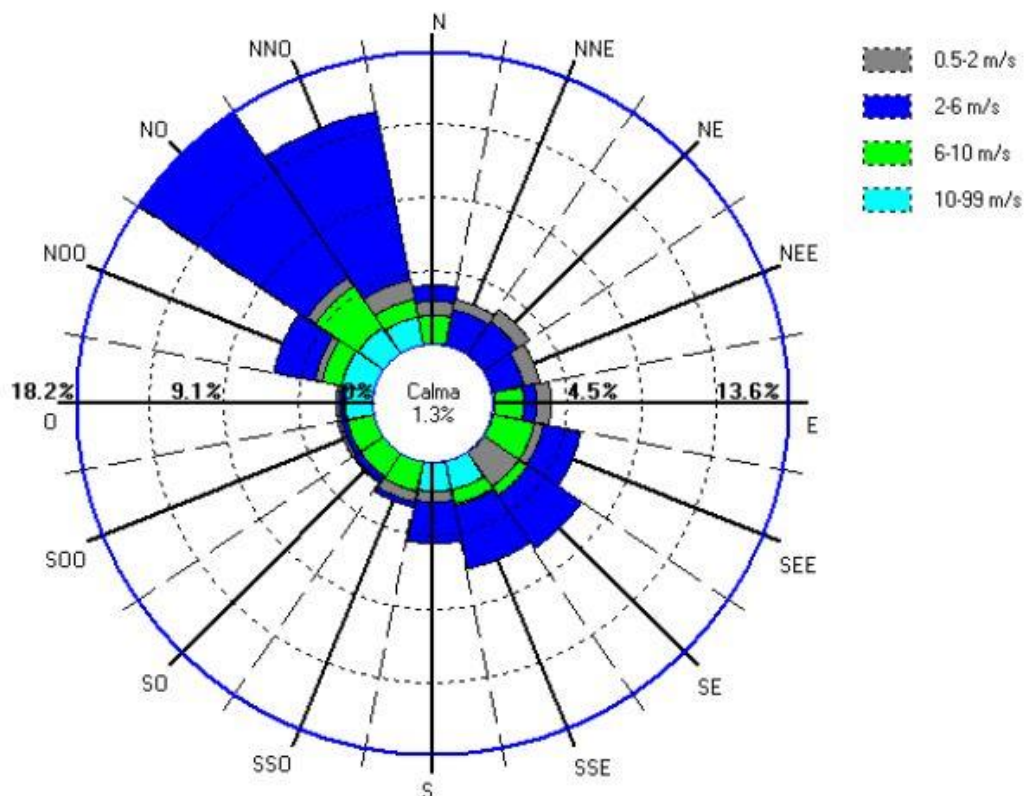


Figura 0.8: Ventosità media annuale per la stazione di Cagliari – Elmas relativa all’anno 2014.

Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali sono in netta dominanza, in particolare quello più frequente proviene da NW. Per l'anno 2014 nella stazione di Cagliari – Elmas il vento proveniente dai quadranti nord-occidentali ha avuto un'intensità compresa tra 0,5 e 2 m/s (17%), tra 2 e 6 m/s (67%), tra 6 e 10 m/s (14%), e maggiore di 10 m/s (0,55%). Le calme risultano il 1,3% delle osservazioni.

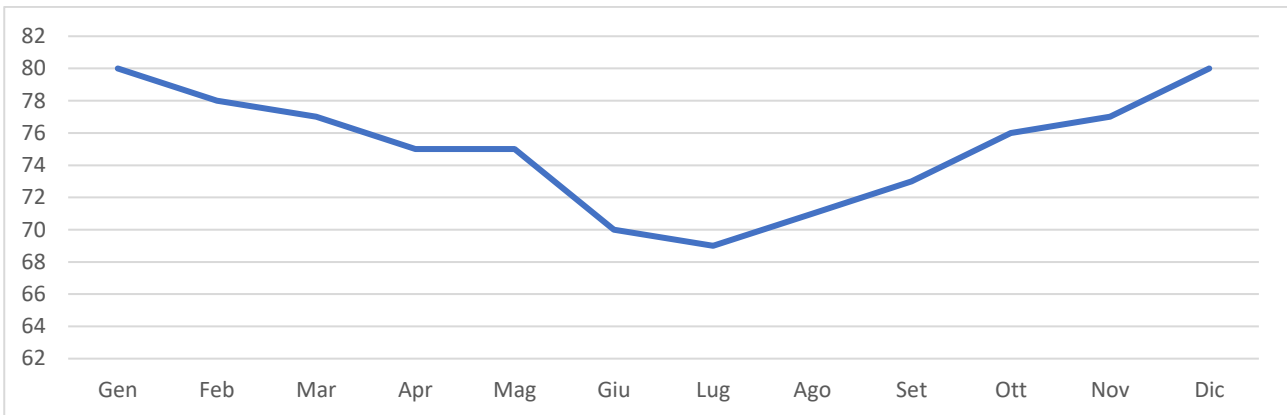


Figura 0.9: Umidità relativa per la stazione di Cagliari-Elmas, per l'anno 1975.

L'ultima variabile significativa che condiziona l'evapotraspirazione è l'umidità relativa, ossia il rapporto tra la quantità di vapore d'acqua contenuta in una massa d'aria rispetto e quella massima potenziale in relazione alla sua temperatura. Dalla tabella sottostante (Fig.10.2) che riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Cagliari-Elmas per l'anno 1975 (estrapolati dall'Allegato E al P.U.C. del Comune di Ballao), si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Dicembre-Gennaio) e valori minimi nel mese di Luglio.

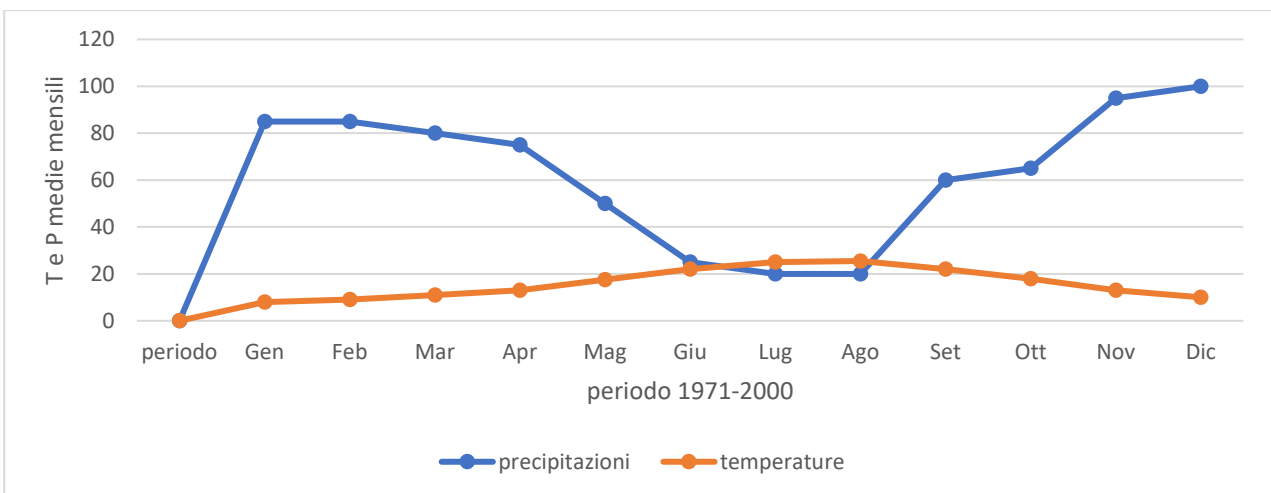


Figura 0.10: Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Ballao.

Il diagramma ombrotermico elaborato per il settore di Ballao (Fig. 10.10), a partire dai dati sulla temperatura media e precipitazioni medie, permette di comparare contemporaneamente i regimi medi mensili termici e pluviometrici nell'arco del periodo 1971-2000. L'andamento delle curve consente di visualizzare che nei mesi estivi, dove la temperatura media mensile raggiunge valori superiori ai 21 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili oscillano tra i 8 °C e i 16 °C, si raggiungono le piovosità più elevate.

Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel grafico di Fig.10.10 si nota che la curva delle precipitazioni giace al di sotto di quella delle temperature nei mesi estivi, che rappresentano il periodo secco in quanto prevale l'evapotraspirazione rispetto agli apporti idrici.

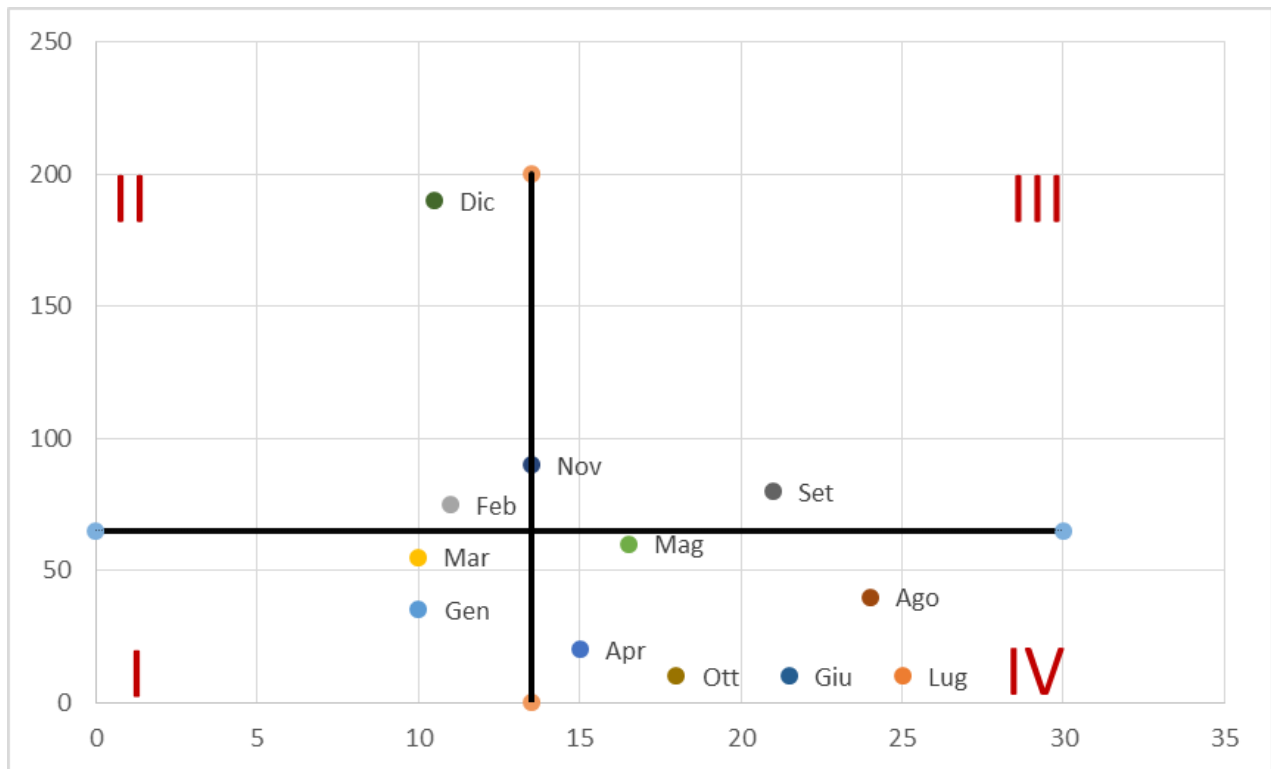


Figura 0.11: Climogramma relativo alla regione di Ballao

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 1971-2000 permette di classificare il clima dell'area di Ballao come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (16 °C), non scende mai sotto agli 8 °C, e per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 22 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

Dal climogramma (Fig.10.11) realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 1971-2000 per l'area di Ballao, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia

freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

La classificazione fatta sul clima della regione, è confermata anche dall'indice di aridità medio di Demartonne stimato per l'area in oggetto che ricade nel settore "subumido" per il periodo 1971-2000.

L'analisi dei parametri meteorologici permette di confermare l'andamento climatico rilevato in quasi tutta la Sardegna, nettamente bistagionale con le stagioni caldo arida e fresca umida che si alternano nel corso dell'anno, intervallate da due brevi stagioni a carattere intermedio.

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.cu '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 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.

Le turbine WTG004, 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.

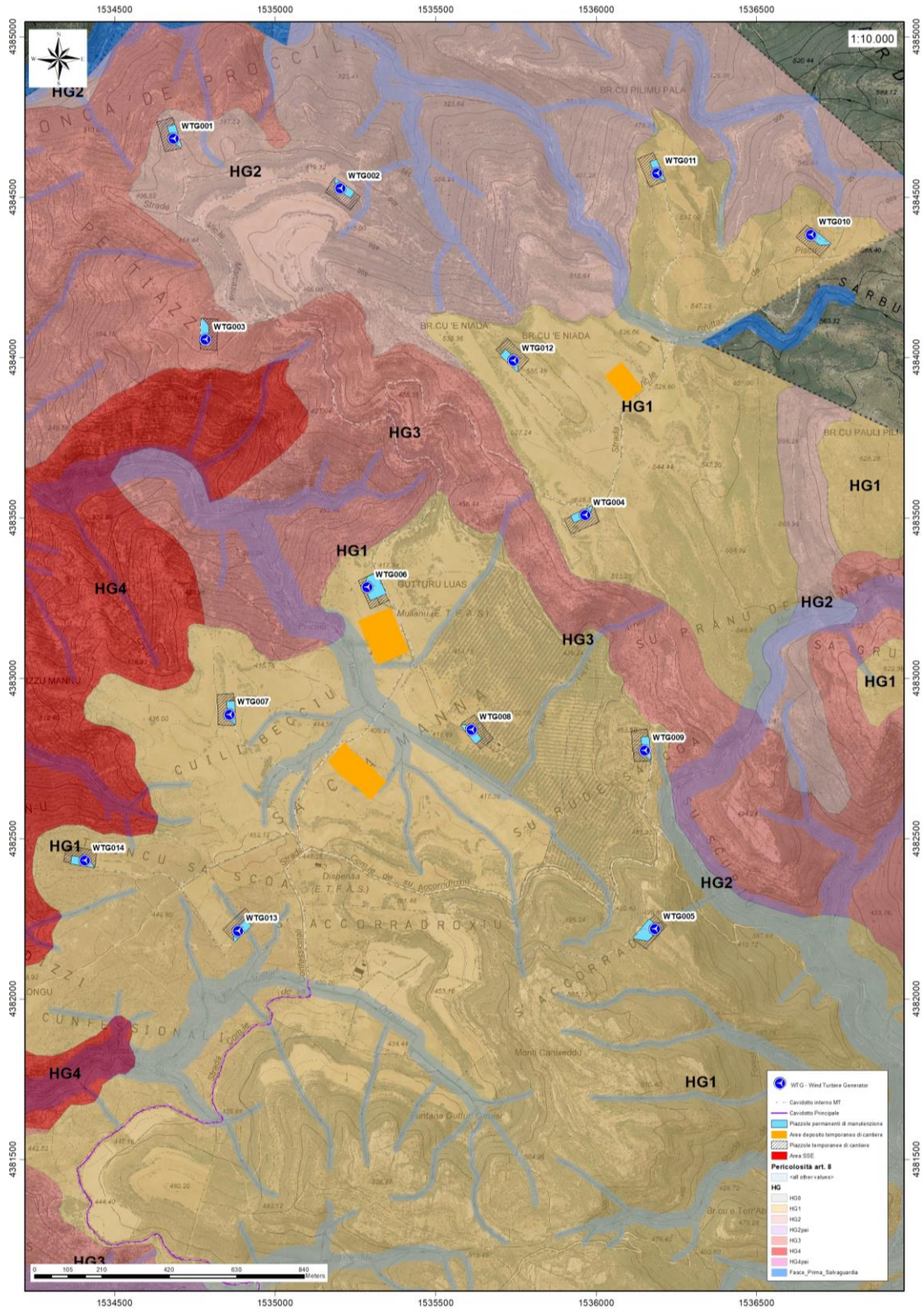


Figura 13. 1: Pericolosità da frana e fasce di salvaguardia dei corpi idrici - Studio di dettaglio Art.8,30ter NTA PAI Comune di Ballao – Settore Nord

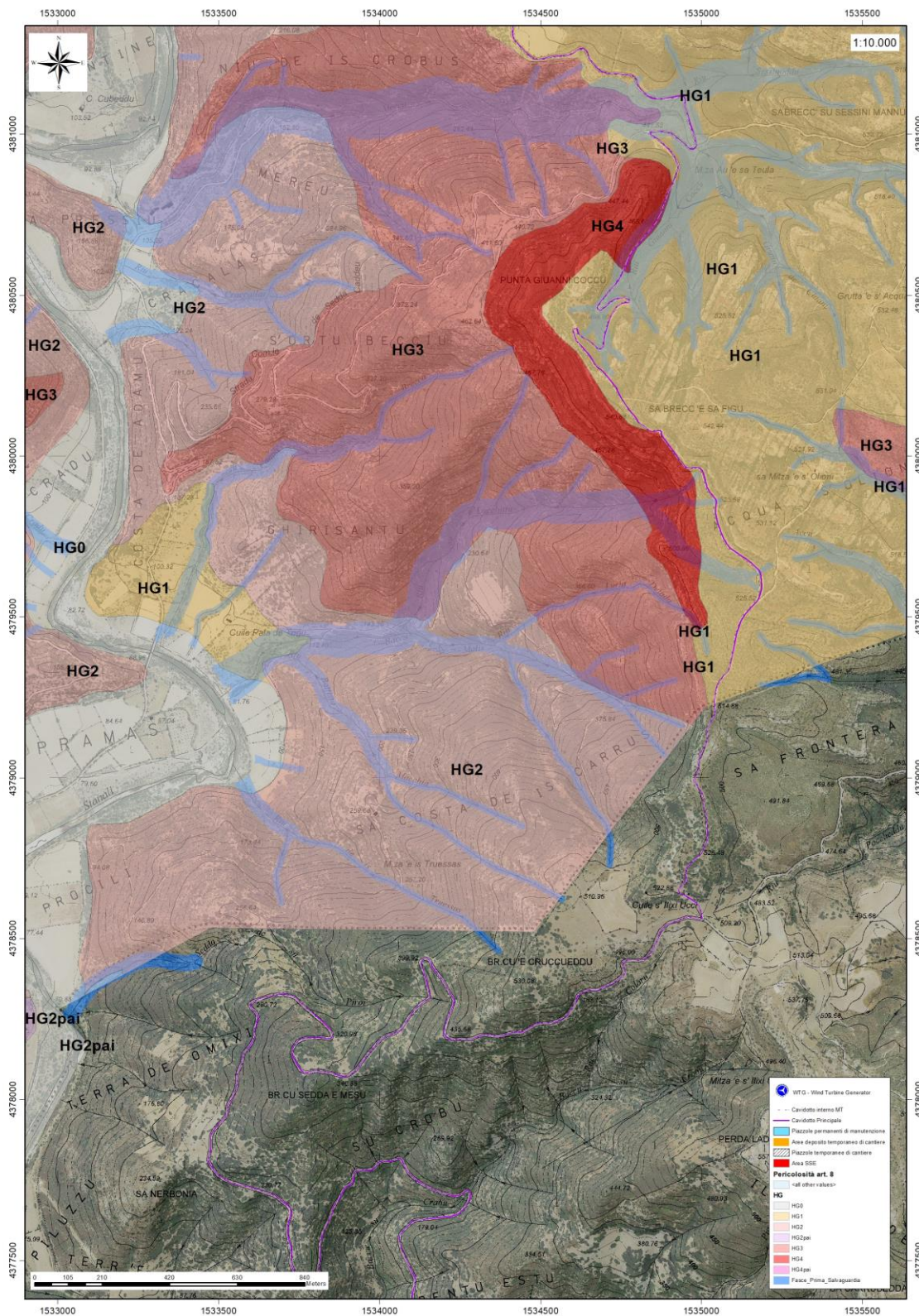


Figura 13. 2: Pericolosità da frana e fasce di salvaguardia dei corpi idrici - Studio di dettaglio Art.8,30ter NTA PAI Comune di Ballao – Settore Sud

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.

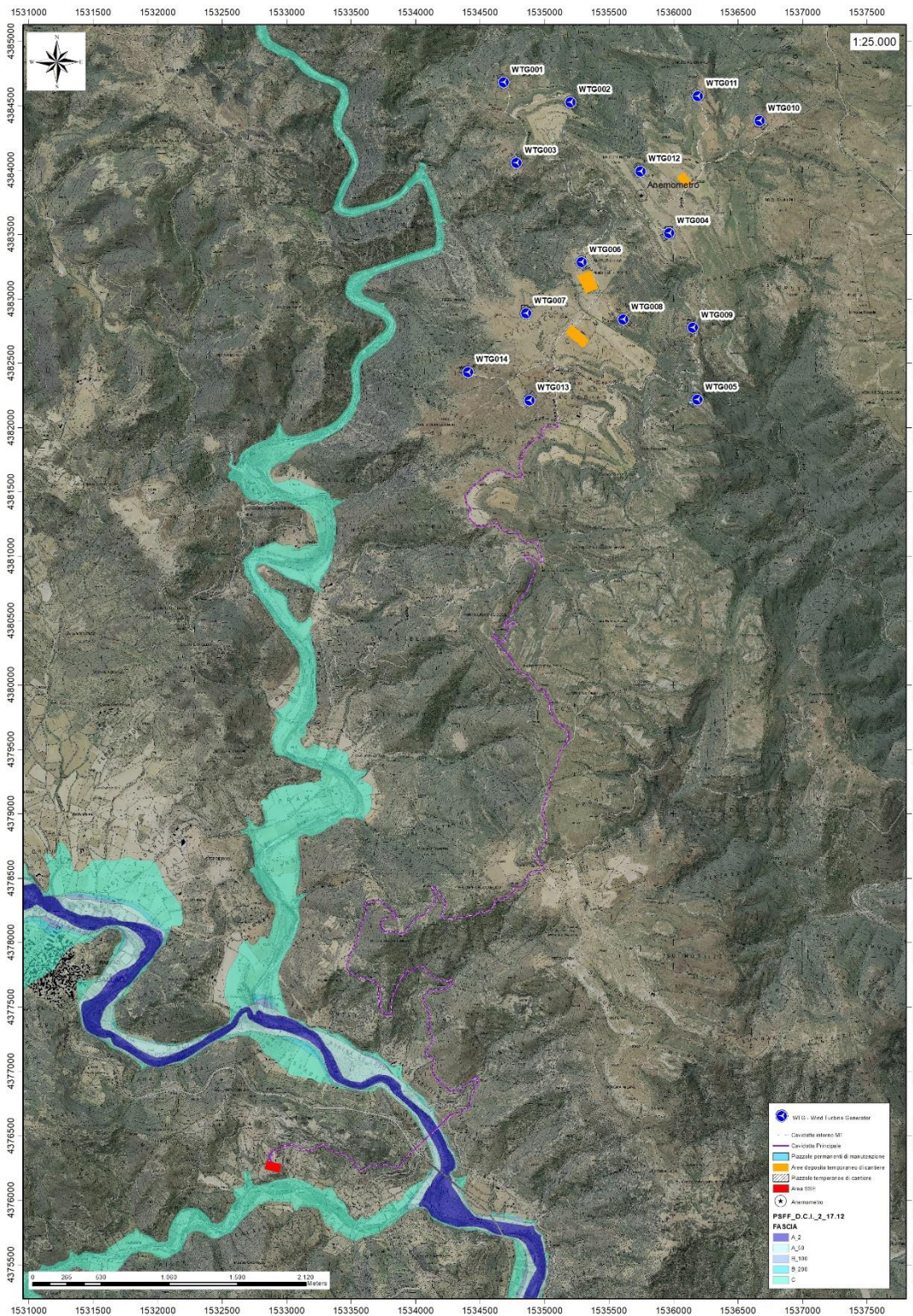


Figura 13. 3: Pericolosità idraulica da perimetrazione fasce fluviali – RAS Piano Stralcio Fasce Fluviali rev.2015

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.

14 Indagini geognostiche

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;
- Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni, piazzole, trincee e rilevati stradali, stabilità dei pendii)

Sono state utilizzate due metodiche di indagine:

Diretta in sito – mediante l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo con il prelievo e la conservazione delle carote in apposite cassette per lo studio e il prelievo di campioni da caratterizzare in laboratori e l'esecuzione di prove in foro per la stima delle caratteristiche di resistenza dei terreni (SPT);

- 1) Indiretta in sito – mediante l'utilizzo delle metodiche di indagine geofisica - esecuzione di profili di sismica a rifrazione e MASW;
- 2) Diretta in Laboratorio Geotecnico: caratterizzazione geotecnica di campioni di roccia e terreni prelevati dai sondaggi (point load, classificazione delle terre, prove di taglio diretto)

Le indagini in sito sono state realizzate tra il 05 e il 12 agosto 2020 dalla Ditta Dr. Antonello Angius con sede in Cagliari (CA). Le analisi di tipo geotecnico sono state effettuate presso il Laboratorio Geotecnico GEOSYSTEM con sede in Quartu Sant'Elena (CA). Le operazioni si sono svolte sotto la Direzione Lavori della scrivente. Le sedi di indagine sono state scelte in modo da essere rappresentative dei diversi assetti geologico-strutturali che interesseranno le opere di progetto.

Nello specifico il piano delle indagini è stato eseguito come segue:

1. n.5 sondaggi a carotaggio continuo della profondità massima di 15,00 mt con l'esecuzione di prove n° 2 SPT in foro;
2. prelievo di campioni di carota a quote definite e successiva caratterizzazione geotecnica dei terreni con analisi in laboratorio (analisi granulometrica e limiti Atterberg con classificazione UNI EN 11531-1, peso di volume e grado di umidità, prova di taglio diretto in scatola di Casagrande, prove su spezzoni di carota Point Load);

Viene di seguito riportata una tabella con l'ubicazione delle stesse corredata da una tabella riassuntiva.

Sondaggio	Località	Coordinate EST (GB)	Coordinate NORD (GB)	Profondità (m) da p.c.
S_01	Truncu Sa Scoa	1534363	4382441	7,00
S_02	Gutturu Luas	1535351	4383304	7,70
S_03	Strada Vic.le Marcasua	1534766	4384420	14,30
S_04	Strada Vic.le Gruttas de Piscu – loc. Br.cu 'e Niada	1536038	4383641	15,00
S_05	Strada Vic.le Gruttas de Piscu - Sarbusargiu	1536847	4384361	15,00

Tabella 14. 1: Ubicazione dei sondaggi geognostici

14.1 Sondaggi Geognostici

I sondaggi geognostici e geotecnici consentono di verificare direttamente la successione stratigrafica lungo una verticale di esplorazione, di prelevare i campioni per le analisi di laboratorio, e di eseguire le prove meccaniche e idrauliche a fondo foro, durante la perforazione.

Poiché lo scopo delle indagini è quello di definire le caratteristiche del sottosuolo all'interno del volume significativo, il numero, la profondità, e la disposizione planimetrica delle verticali di esplorazione sono state definite in base alla forma e all'estensione del volume significativo, ed al grado di dettaglio richiesto in relazione alla categoria geotecnica delle opere da realizzare.

Sono stati eseguiti **nr.5 sondaggi a carotaggio continuo della profondità massima di 15m** scelti in ordine a quanto previsto dalle NTC2018 - §Cap.6.2.2, facendo riferimento al volume significativo delle opere di fondazioni ipotizzando una profondità presunta del piano di posa delle fondazioni a circa 5m da piano campagna e una estensione presunta della fondazione (diretta a pianta circolare troncoconica) di circa 30m di diametro.

Sulle componenti terrose incontrate, di interesse alla stima della componente portante del sottosuolo, sono stati realizzate prove di resistenza in foro di sondaggio (prova di penetrazione di una punta - SPT Standard Penetration Test) e prove di taglio diretto in laboratorio geotecnico.

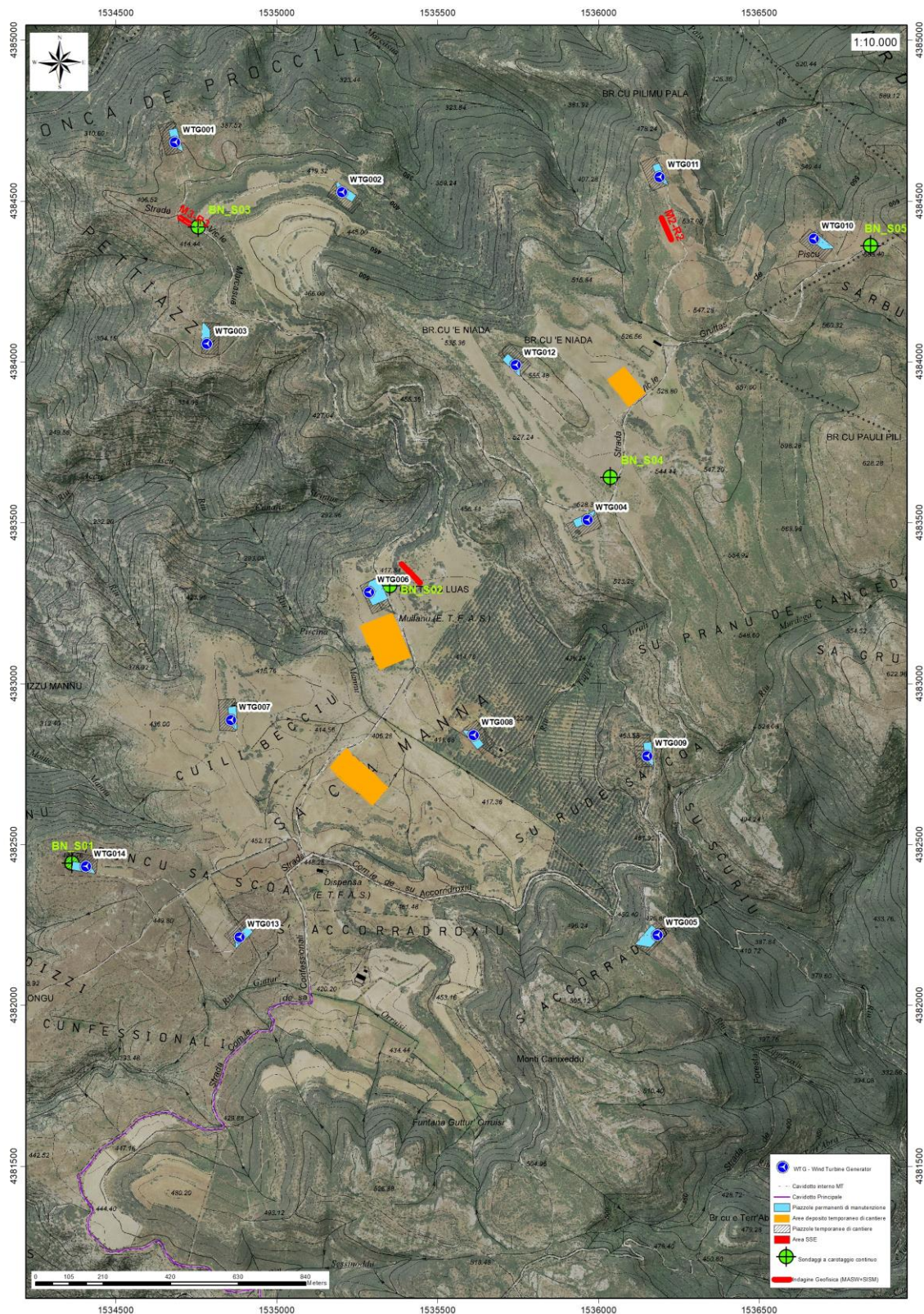


Figura 14. 1: Ubicazione delle indagini geognostiche

14.1.1 Attrezzature utilizzate

I sondaggi sono stati eseguiti mediante le seguenti attrezzature:

- Sonda idraulica Hydra mod. Joy3 matr. H02490 con motore diesel, montata su autocarro Fresia F120C 4x4; Tiro e spinta 4000 Kg, testa di rotazione con motoriduttore epicicloidale da 1000 Kgm, velocità di rotazione 0-400 giri/min, certificazione CE, Pompa triplex 90, verricello 1000 Kg, doppia morsa con svitatore 0-220 mm, corsa slitta 3400 mm; Motore KUBOTA V 3300-T-EU2, SERIAL: 4A2156, CODE: 1GS64-00000

Sonda BOART LONGYEAR SPA Mod. DELTBASE 520, MATRICOLA: 87/2000 CERTIFICAZIONE CE N.23/00, PESO KG 6700: Sonda idraulica su carro cingolato completa di pompa triplex 200 lt/min a 50 bar, argano 2000 kg, doppia morsa con svitatore 50-203 mm, controslitta 1000 mm, corsa testa da 3400 mm, TIRO 5700 KG, SPINTA 3800 KG, MOTORE DEUTZ F42 912 INSONORIZZATO, n. giri testa di rotazione (8 marce) 30-550, coppia max 6000 Nm

Le perforazioni sono state realizzate utilizzando il carotaggio continuo, senza l'utilizzo di fluidi di perforazione, tramite un carotiere semplice per rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati consentendo quindi il prelievo di campioni rappresentativi.

Le carote estratte sono state poste all'interno di apposite cassette catalogatrici da 5m, opportunamente identificate con: nr. della cassetta, nome del sondaggio, data del sondaggio, luogo e profondità di avanzamento.



Figura 14. 2: a) Sonda BOART LONGYEAR SPA Mod. DELTBASE 520 e b) Sonda idraulica Hydra mod. Joy3

14.1.2 Prove SPT (Standard Penetration Test)

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno, durante la perforazione, sono state eseguite n°2 prove SPT (Standard Penetration Test) esclusivamente sul sondaggio **BN_S03**.

Le prove penetrometriche dinamiche (SPT) consistono nella misura della resistenza offerta dal terreno alla penetrazione di un campionatore standard fatto avanzare per battitura collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Caratteristiche Dispositivo prova SPT (Standard Penetration Test)

- Tubo campionatore apribile longitudinalmente: * est= 50.8 mm; * int= 35 mm; L minima (escluso tagliente principale) > 457 mm; L utile = 630 mm; L scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm; il campionatore è munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato;
- Punta Conica: apertura della punta conica 60° e diametro esterno 50.8 mm;
- Massa battente: di peso 63,4 kg che cada da 75 cm di altezza con dispositivo di sgancio automatico;
- Aste collegate al campionatore: aventi peso per metro lineare 6.5 kg (*0.5 kg/ml). Aste diritte ed avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova < 1°/°°.

Durante la prova si misurano i seguenti parametri:

N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";

N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;

N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

Risultati delle prove SPT

ID Sondaggio	Sigla	SPT	Profondità (m) da p.c.	N1	N2	N3	Nspt
BN_S03	SPT_BN_S03_01	1	6,30-6,75	1	-	1	-
	SPT_BN_S03_01	1	1,60-2,05	3	1	2	3

Tabella 0.1 - Tabella riassuntiva dati SPT

14.2 Stratigrafia dei sondaggi

Si riportano di seguito in sintesi le stratigrafie dei sondaggi eseguiti. Per un maggior dettaglio si faccia riferimento all'*Allegato A – Stratigrafie e documentazione fotografica*.

14.2.1 BN_S01

È presente una prima coltre di suolo in fase pedogenetica molto iniziale, dello spessore di circa 50cm in appoggio ad un orizzonte argilloso proveniente dal disfacimento della roccia madre, ossidato di circa 20cm. Al di sotto si incontrano le rocce di natura effusiva denominate Porfiroidi che si presentano per uno spessore di circa 2,40m color rosso violaceo a fenocristalli centimetrici rosa, intensamente fratturata, con fratture serrate localmente aperte e riempimento argilloso. Al di sotto fino alla profondità finale di indagine (15m) è presente roccia porfirica, a grossi fenocristalli, massiva o poco fratturata. È stato prelevato il campione BN_S01_C1 sottoposto a rottura per punzonamento (Point Load). Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

14.2.2 BN_S02

È presente una prima coltre di suolo dello spessore di circa 80cm in appoggio ad un orizzonte argilloso-sabbioso passante a sabbioso-argilloso dello spessore complessivo 0,60m. Al di sotto si incontra per uno spessore di circa 2,30 un orizzonte costituito da sabbie da medie a fini argillose di color bruno nocciola sciolte con intercalazioni decimetriche di arenaria compatta (?trovanti). Da quota 3,70 fino a fondo foro (7,80m da p.c.) sono presenti arenarie stratificate medio-fini grigie e oca, con intercalazioni di livelli conglomeratici. Dai 6,5 metri in poi sono presenti fratturazioni con apertura da pochi millimetri fino al centimetro con successivo riempimento carbonatico. È stato prelevato il campione BN_S02_C1 sottoposto a rottura per punzonamento (Point Load) Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

14.2.3 BN_S03

È presente una prima coltre di suolo dello spessore di circa 30 cm in appoggio ad un orizzonte argilloso-sabbioso passante a sabbioso-argilloso dello spessore complessivo 3,00m. Al di sotto è presente un orizzonte costituito da arenarie stratificate medio-fini grigie e oca, con intercalazioni di livelli conglomeratici. Da 7,30m a 11,40m si incontrano argille debolmente sabbiose a comportamento

plastico color marrone chiaro /ocra, umide in alternanza a livelli più sabbiosi e con clasti litici centimetrici. Al di sotto è presente roccia porfirica grigio verde e lenti rossastre, fratturata.

Sono stati prelevati i campioni BN_S03_C1 e BN_S03_C2 sottoposti a classificazione e taglio diretto in laboratorio geotecnico.

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine. Il livello da 7,30 a 11.40 si presenta umido.

14.2.4 BN_S04

È presente una prima coltre di suolo dello spessore di circa 50 cm in appoggio ad un orizzonte argilloso-sabbioso passante a sabbioso-argilloso fino a limoso dello spessore complessivo 1,20m.

Al di sotto si incontra per uno spessore di circa 2,10 un orizzonte costituito da arenaria media con intercalazioni di livelli conglomeratici color grigio. Dalla quota di 3,80m da p.c. a fondo foro (15m) sono presenti arenarie fini con intercalazioni di livelli conglomeratici color grigio con sporadiche cavità riempite da carbonato (13.70-13.90)

È stato prelevato il campione BN_S04_C1 sottoposto a rottura per punzonamento (Point Load)

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

14.2.5 BN_S05

È presente roccia in affioramento. Fino alla profondità di 5,70m da p.c. si incontrano metarenarie color grigio chiaro a tratti marron/ocra per ossidazione, con livelli da moderatamente fratturati ad intensamente fratturati. Fratturazione lungo i piani di scistosità.

Al di sotto e fino a fondo foro (15m) si incontrano Metargilliti e metasiltiti da grigio-scure a nere, intensamente fratturate, carboniose nelle facies argillose, a tratti con livelli metarenacei decimetrici. Presenza di fratture saldate isoorientate con i piani di scistosità.

È stato prelevato il campione BN_S05_C1 sottoposto a rottura per punzonamento (Point Load)

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

14.3 Sismica a Rifrazione - Tecnica e parametri utilizzati

In ambito d'indagini indirette l'esplorazione geofisica la sismica a rifrazione risulta tra le metodologie più affermate e meglio sperimentate. Il metodo si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in

corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica inferiore.

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica.

Varie metodologie di interpretazione si sono susseguite nel tempo, passando dalle valutazioni di spessori e velocità in funzione del tempo all'intercetta fino a giungere alle più classiche interpretazioni mediante il General Reciprocal Method di Palmer '72.

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni e il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Le profondità raggiunte sono al massimo la metà della distanza compresa tra lo shot esterno e l'ultimo geofono della stesa sismica sviluppata. È comunque generalmente considerato che la profondità esplorata non superi 1/3 dello sviluppo geometrico sopradescritto.

La capacità risolutiva in termini di spessore degli strati sismici viene ad essere valutato in circa il 25/30% della distanza geofonica.

Nel caso in esame, in funzione della lunghezza degli stendimenti sono state eseguite 9 energizzazioni-shot al fine di meglio descrivere la geometria degli orizzonti rifrattori lungo l'intera base sismica come meglio specificato nello schema di seguito rappresentato.



Figura 14. 3: Stendimento di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m

Attraverso l'elaborazione tomografica dei dati acquisiti è possibile ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, del substrato indagato. Tale ricostruzione permette di migliorare la caratterizzazione dei primi 15-20 m di profondità degli ammassi rocciosi investigati, fornendo importanti informazioni sul loro stato di fratturazione e di alterazione, e sulle loro caratteristiche geotecniche propedeutiche allo studio di instabilità potenziale dei versanti direttamente connessi al layout di progetto.

14.4 M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo." (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006). L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.

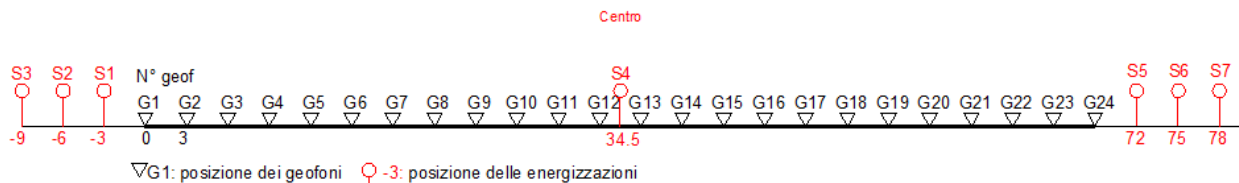


Figura 14. 4: Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza $L = 72,0$ m

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 3,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema Fig. 14.4).

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.

In data 06/08/2020 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa al piano di indagini dirette effettuate tramite l'esecuzione di sondaggi. La prospezione è stata articolata in:

- Esecuzione di n° 3 stendimenti di sismica MASW (M1 – M2 – M3) e n° 3 rifrazioni (R1 – R2 – R3). Le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle Rifrazioni in onde P.
- Rilievo topografico tramite livella laser di tutti i punti di misura (geofoni, punti di shot, picchetti in acciaio) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni sismiche;
- Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software ZondST2D.

Gli stendimenti sono stati posizionati in modo da esser rappresentativi delle condizioni litostratigrafiche e geostrutturali, in accordo con quanto rilevato dai sondaggi e dai rilievi di superficie. Le indagini sono state eseguite dalla ditta Geoservice Sas.

Nella Tab. 14.3 è riportato il quadro riassuntivo delle indagini svolte, con le sigle identificative, la direzione di esecuzione (da elettrodo/geofono iniziale a quello finale), e la loro lunghezza complessiva, mentre nella Fig. 14.1 sono rappresentati i punti dove sono state effettuate le indagini.

Stendimento	Orientamento	Lunghezza (m)
M1	SE-NW	72,0
M2	SSE-NNW	72,0
M3	SE-NW	72,0
R1	SE-NW	72,0
R2	SSE-NNW	72,0
R3	SE-NW	72,0

Tabella 0.2: Quadro riassuntivo indagine geofisica

Di seguito si riportano le specifiche di rilievo e gli esiti dell'elaborazione dei profili sismici acquisiti.

14.5 Sismica a Rifrazione – Elaborazioni e risultati

Si riportano di seguito gli elementi identificati nelle sezioni sismiche elaborate. Sulla base delle velocità misurate e dei dati bibliografici, sono stati definiti i seguenti sismostrati nelle sezioni tomografiche:

A - Sismostrato A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente e molto addensate/i (rippabili);

B - Sismostrato B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti;

C - Sismostrato C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili).

La delimitazione dei sismostrati ha un valore indicativo, può presentare delle oscillazioni locali a causa delle variazioni delle caratteristiche dei litotipi.

Nelle descrizioni che seguono le profondità sono riferite al piano di campagna e per direzione dello stendimento si intende l'orientamento geografico formato dalla linea che unisce il geofono iniziale con quello finale, che nella planimetria di ubicazione è stato indicato con una freccia.

14.5.1 Base Sismica R1

Nella sezione sismica R1 è stato possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1 Sismostrati	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0 a 2,0/3,5	400-1500
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti	da 2,0/3,5 a 3,0/12,0	1500-2500
C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili)	da 3,0/12,0 a 17,0	2500-3500

Tabella 0.3: Sismostrati individuati nella sezione R1.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella tabella di Tab.14.4 sono schematizzati i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_s , V_p e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-3,0	10%	1.900	1 230	615	0,33	1 912	191	716	1 912
2	3,0-8,2	10%	1.900	1 340	670	0,33	2 275	228	853	2 275
3	8,2-17,1	30%	2.000	1 620	810	0,33	3 501	1 050	1 314	3 501
4	17,1-31,0	40%	2.100	3 200	1 600	0,33	14 338	5 735	5 374	14 338
5	>31,0	60%	2.400	5 800	2 900	0,33	53 830	32 298	20 182	53 830

Tabella 0.4: Parametri di deformazione dinamici medi per la sezione R1 (CT rappresenta il coefficiente di trasformazione)

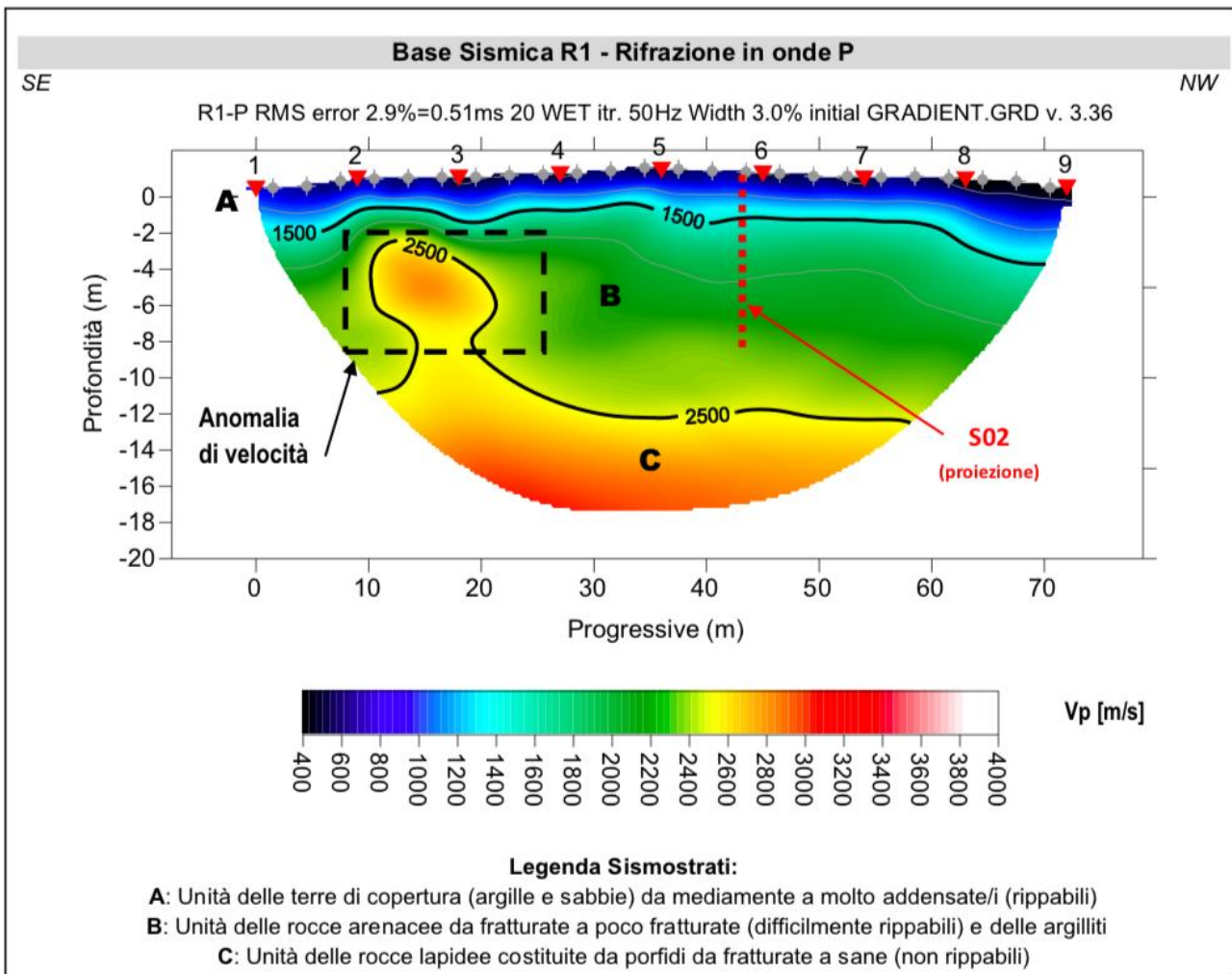


Figura 14. 5: Sezione tomografica della sezione R1.

14.5.2 Base sismica R2

Nella sezione sismica R2 è stato possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R2 Sismostrati	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0 a 2,5/3,0	400-1500
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti	da 2,5/3,0 a 5,0/9,0	1500-2500
C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili)	da 5,0/9,0 a 17,5	2500-3500

Tabella 0.5: Sismostrati individuati nella sezione R2.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella Tab.14.7 sono schematizzati i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-3,0	20%	2.000	1.800	900	0,33	4.325	865	1.618	4.325
2	3,0-7,5	30%	2.100	2.080	1.040	0,33	6.061	1.818	2.275	6.061
3	7,5-13,5	40%	2.100	2.720	1.360	0,33	10.356	4.142	3.883	10.356
4	13,5-34,9	40%	2.200	3.760	1.880	0,33	20.732	8.293	7.777	20.732
5	>34,9	60%	2.400	5.700	2.850	0,33	51.986	31.192	19.496	51.986

Tabella 0.6: Parametri di deformazione dinamici medi per la sezione R2 (CT rappresenta il coefficiente di trasformazione)

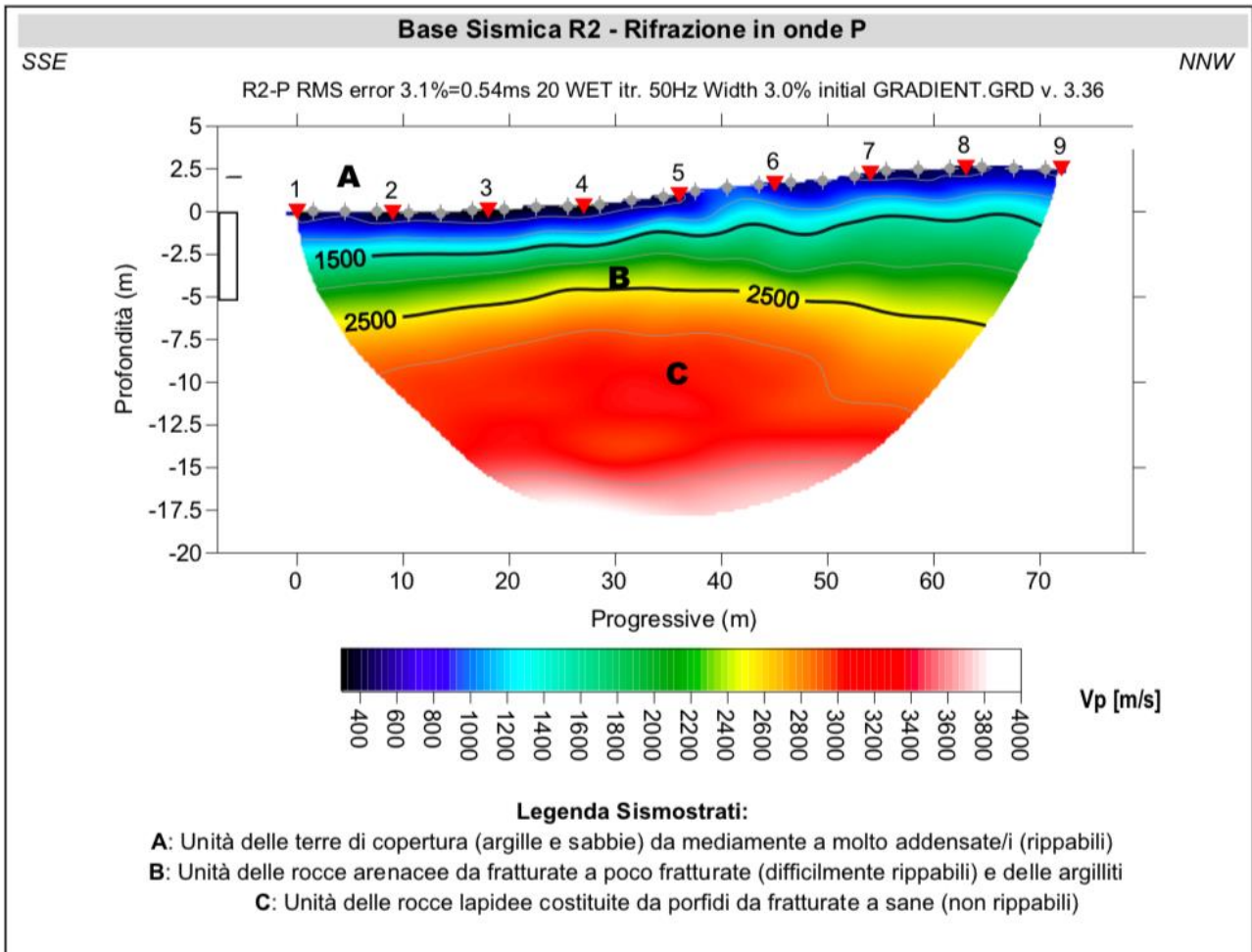


Figura 0.1: Sezione tomografica della sezione R2.

14.5.3 Base Sismica R3

Nella sezione sismica R3 è stato possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R3 Sismostrati	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0,0 a 3,0/5,0	400-1500
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti	da 3,0/5,0 a 10,0/12,0	1500-2500
C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili)	da 10,0/12,0 a 15,0	2500-4000

Tabella 0.7: Sismostrati individuati nella sezione R3.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella Tab. 14.9 sono schematizzati i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-3,0	10%	1.800	900	450	0,33	971	97	363	971
2	3,0-7,5	10%	1.900	1.380	690	0,33	2.412	241	902	2.412
3	7,5-14,3	30%	2.000	2.400	1.200	0,33	7.679	2.304	2.883	7.679
4	14,3-30,8	40%	2.100	3.900	1.950	0,33	21.291	8.516	7.983	21.291
5	>30,8	60%	2.400	4.880	2.440	0,33	38.099	22.860	14.289	38.099

Tabella 0.8: Parametri di deformazione dinamici medi per la base M3 (CT* indica il coefficiente di trasformazione per la roccia)

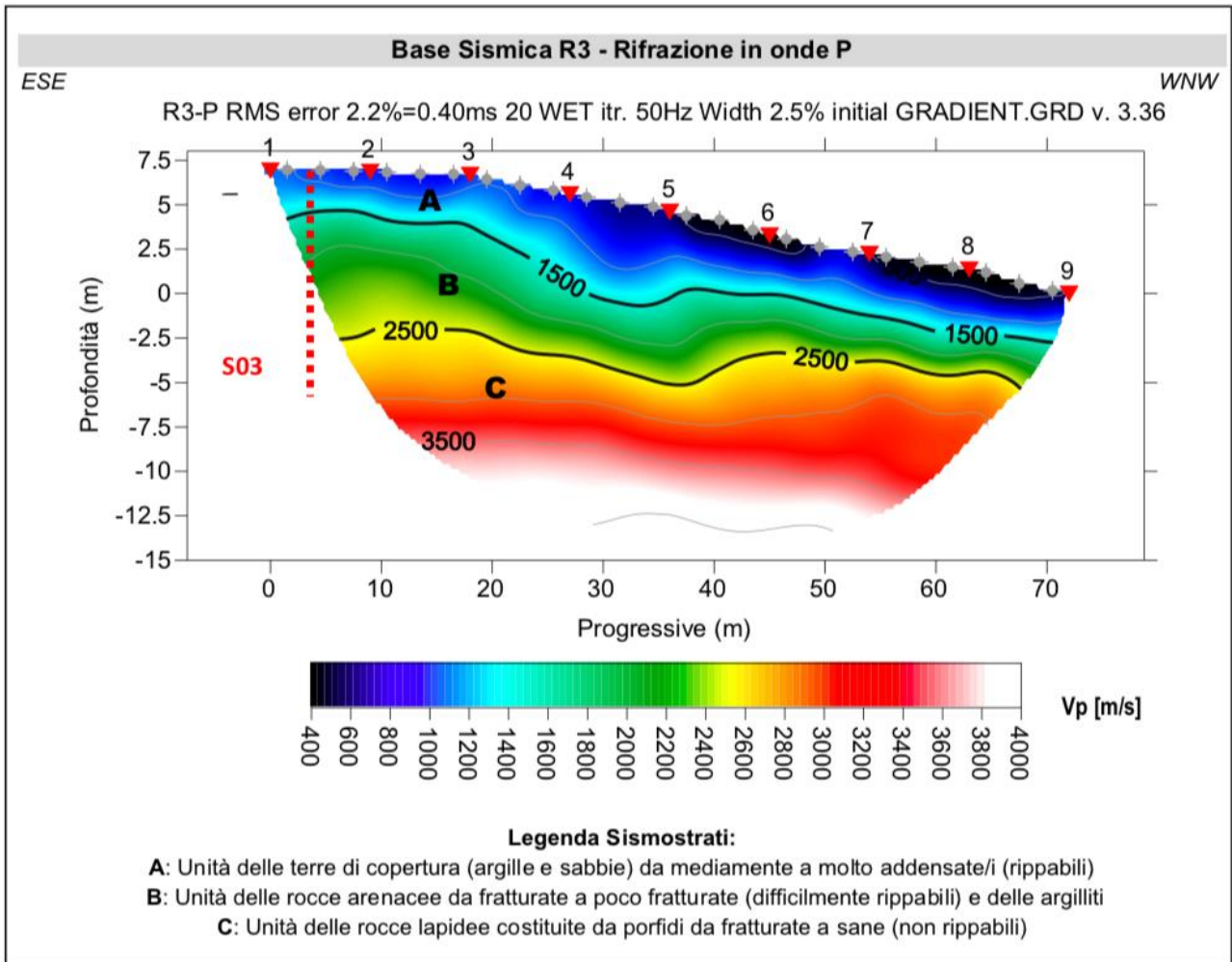


Figura 0.10: Sezione tomografica della sezione R3.

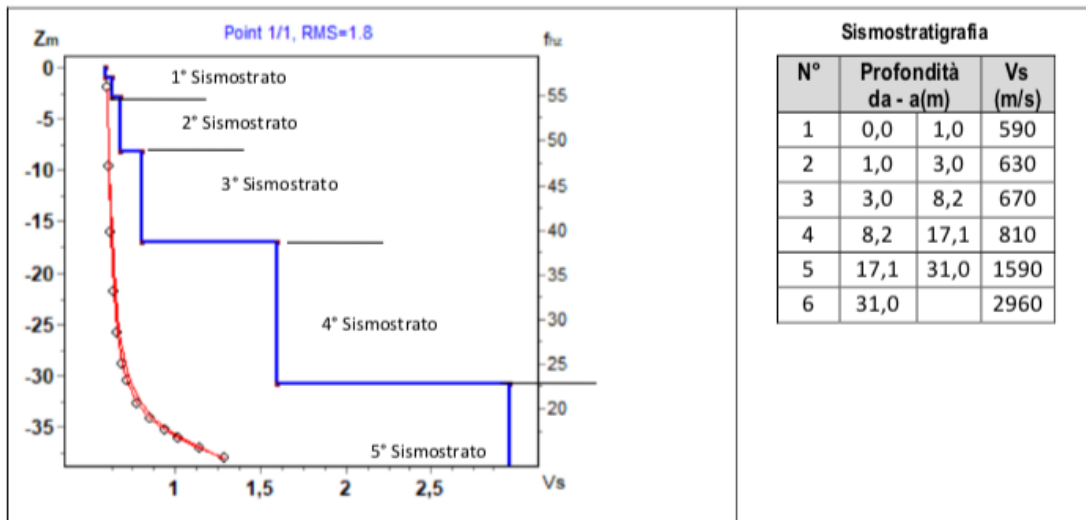
14.6 MASW – Elaborazioni e risultati

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione MX, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

16.6.1 Base sismica M1

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,0	1° sismostrato con Vs tra 590 e 630m/s, Terre molto addensate
3,0– 7,2	2° sismostrato con Vs di 670 m/s,Roccia molto fratturata
7,2 – 16,2	3° sismostrato con Vs di 810 m/s Roccia debolmente fratturata
16,2– 30,0	4° sismostrato con Vs di 1600 m/s,Substrato roccioso debolmente fratturato
>30,0	5° sismostrato con Vs di 2900 m/s,Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 574 m/s)



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

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

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

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 8,2 m (Vs>800 m/s).La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 8,2 m di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq= 8,2/0,0126= 653 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

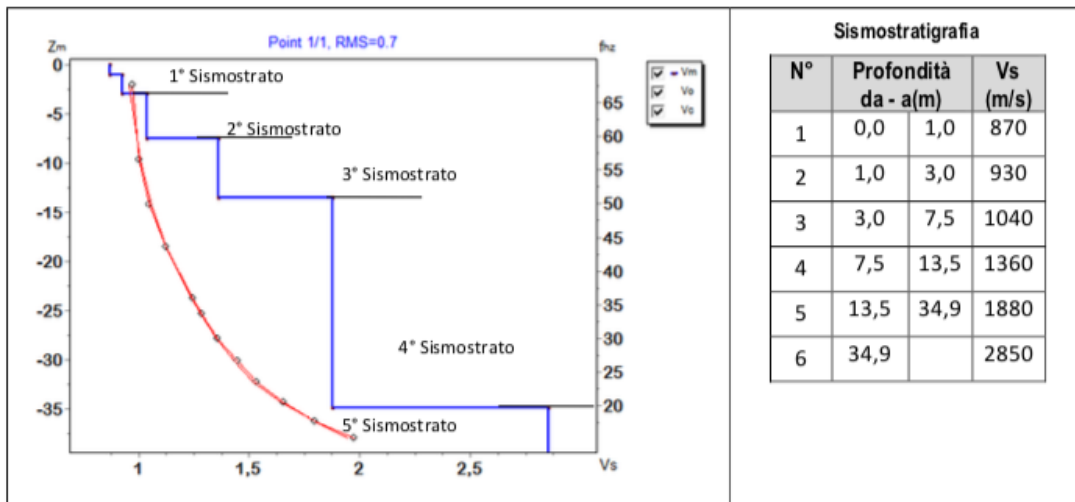
Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

14.6.2 Base Sismica M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,0	1° sismostrato con Vs tra 870 e 930m/s ,Substrato roccioso fratturato
3,0– 7,5	2° sismostrato con Vs di 1040 m/s ,Substrato roccioso fratturato
7,5 – 13,5	3° sismostrato con Vs di 1360m/s Substrato roccioso debolmente fratturato
13,5– 34,9	4° sismostrato con Vs di 1880m/s ,Substrato roccioso sano
>34,9	5° sismostrato con Vs di 2850 m/s ,Substrato roccioso sano

MASW M2 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 869 m/s)



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

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

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

Esaminato il profilo delle Vs si rileva un substrato a quota di campagna (Vs>800 m/s) che dà luogo ad una categoria A, ossia:
Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

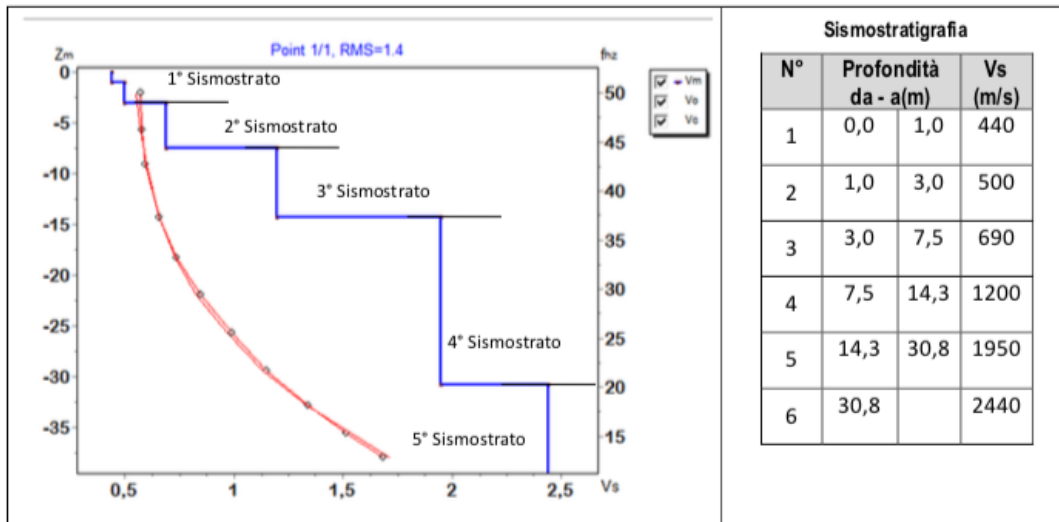
Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

14.6.3 Base Sismica M3

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M3, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,0	1° sismostrato con Vs tra 400 e 500m/s , Terre molto addensate
3,0– 7,5	2° sismostrato con Vs di 690 m/s , Roccia molto fratturata
7,5 – 14,3	3° sismostrato con Vs di 1200m/s Rocciafratturata
14,3– 30,8	4° sismostrato con Vs di 1950 m/s , Substrato roccioso sano
>30,8	5° sismostrato con Vs di 2440 m/s , Substrato roccioso sano

MASW M3 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c.= 586 m/s)



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

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **7,5 m** (Vs>800 m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **7,5 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 7,5/0,0128 = 586 m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Si precisa che per fondazioni con piano di imposta sito a profondità maggiore di 1,0 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la V_s diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

14.7 Considerazioni sull'assetto geostrutturale degli ammassi rocciosi

La prospezione geofisica, attraverso l'impiego della tecnica della sismica a rifrazione con elaborazione tomografica e della MASW, ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto litostratigrafico dell'area in esame, e di dedurre le caratteristiche sismiche. In particolare, nelle basi sismiche realizzate, è stato possibile individuare i diversi rifrattori associabili alle diverse formazioni di cui si compongono i terreni che caratterizzano l'area di indagine. Lungo tutti gli stendimenti si evince la presenza di sismostrati con velocità V_p e V_s crescente con la profondità, schematizzati nelle tabelle seguenti.

Stendimento R1	ONDE P	
	Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0 a 2,0/3,5	400-1500
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti	da 2,0/3,5 a 3,0/12,0	1500-2500
C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili)	da 3,0/12,0 a 17,0	2500-3500

Stendimento R2	ONDE P	
	Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0 a 2,5/3,0	400-1500
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti	da 2,5/3,0 a 5,0/9,0	1500-2500
C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili)	da 5,0/9,0 a 17,5	2500-3500

Stendimento R3	ONDE P	
	Sismostrati	Profondità da pc (m)
A: Unità delle terre di copertura (argille e sabbie) da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0,0 a 3,0/5,0	400-1500
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (difficilmente rippabili) e delle argilliti	da 3,0/5,0 a 10,0/12,0	1500-2500
C: Unità delle rocce lapidee costituite da porfidi da fratturate a sane (non rippabili)	da 10,0/12,0 a 15,0	2500-4000

Tabella 14.10: Sintesi dei sismostrati riscontrati.

I dati derivati dalla MASW hanno permesso di determinare i parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni che, debitamente correlati, consentono di definire preliminarmente i parametri di resistenza al taglio.

La Vs calcolata per i diversi siti di indagine è riassunta nello schema di Tab 14.11.

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	V _{seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	8,2	653	B
M2	1,0	>800	A
M3	7,5	586	B

Tabella 0.9: Categoria di sottosuolo e Vs30

Dai dati ricavati dalle indagini della sismica a rifrazione è possibile riconoscere per le tre basi sismiche la presenza di una coltre di terreno sabbioso-argilloso, un substrato arenaceo e porfirico inizialmente fratturato e poi sempre più litoide con l'aumentare della profondità. In termini di grado di rippabilità, si evidenzia che a partire da profondità di 2,0 e 5,0 m dal p.c., seppur con leggere variazioni tra un sito e l'altro, i terreni risultano difficilmente rippabili.

14.8 Analisi di Laboratorio

Per la determinazione dei parametri geotecnici, sono stati prelevati nr.7 campioni di carota riposti in appositi contenitori muniti di etichetta catalogatrice ed inviati in laboratorio.

Campione	Profondità (m) da p.c.	Analisi eseguite
BN_S05_C1	4,20-4,60	PL + PV
BN_S05_C2	12,20-12,40	PL + PV
BN_S04_C1	7,50-7,40	PL + PV
BN_S02_C1	6,70-7,00	PL + PV
BN_S03_C1	5,80-6,00	TD + CL
BN_S03_C2	10,40-10,60	TD + CL
BN_S01_C1	5,70-6,00	PL + PV

Tabella 0.12: Campioni inviati in laboratorio (PL = Point Load; PV = Peso di Volume; TD = Taglio Casagrande; CL = Classificazione Terre (limiti Atterberg + Analisi Granulometrica))

ID sondaggio	Sigla	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	I.P.	UNI EN 11531-1	Massa Vol. Naturale mg/mc	Contenuto d'acqua (%)
BN_S01	BN_S01_C1	-	-	-	-	2,671	-
BN_S02	BN_S02_C2	-	-	-	-	2,550	-
BN_S04	BN_S04_C1	-	-	-	-	2,463	-
BN_S05	BN_S05_C1	-	-	-	-	2,687	-
BN_S05	BN_S05_C2	-	-	-	-	2,829	-
BN_S03	BN_S03_C1	31	18	13	A6	-	-
BN_S03	BN_S01_C2	21	12	9	A4	-	-

Tabella 0.13: Parametri geotecnici determinati in laboratorio

14.7.2 Prove di Rottura Point Load

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati vari spezzoni di carota lapidea. Le caratteristiche litologiche hanno fatto optare per l'immediata esecuzione di nr.6 prove Point Load al fine di evitare che il detensionamento dei campioni alterasse i valori di resistenza.

E' stata utilizzata l'apparecchiatura: Point Load digitale CONTROLS mod. 45-D0550/D matr.06053686, applicando le Norme di riferimento: ASTM D5731, Raccomandazioni ISRM (in allegato si riporta il certificato di taratura).



Figura 0.2- Esecuzione delle prova Point Load

Tipo del provino: carote \varnothing 85 mm

La resistenza al punzonamento (Point Load Strength Index) è data dalla seguente espressione

$$I_s = (P \times 1000)/D_e^2$$

IS (MPa) = Point Load Strength Index

P (kN) = Resistenza massima a rottura

DE (mm) = Diametro equivalente della carota (diametro del provino) DE = 89 mm, DE2 = 7921)

Il valore IS deve essere corretto per rapportarlo a provini con Ø 50 mm, come segue:

$$IS(50) = F \times IS \quad F = (DE/50)^{0,45} \quad (F = 1,296)$$

Per ottenere una stima della resistenza a compressione monoassiale si dovrà moltiplicare il valore IS50 per un coeff. K variabile in funzione del litotipo testato.

LITOTIPO	K
<i>Rocce effusive</i>	22
<i>Rocce intrusive</i>	18
<i>Rocce sedimentarie a grana grossa</i>	18
<i>Rocce sedimentarie a grana fine</i>	8
<i>Rocce metamorfiche a basso metamorfismo</i>	18-24
<i>Rocce metamorfiche a medio metamorfismo</i>	16-19
<i>Rocce metamorfiche ad alto metamorfismo</i>	14

Tabella 0.14: Valori del coeff. di correlazione K (Bruschi, 2004)

Campione	Profondità (m)	P (kN)	Tipo rottura	Is (MPa)	Is (50) (MPa)	K e Su (MPa)	Litotipo	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)
BN_S01_C1	5,70-6,00	42	Diametrico	5,3	6,87	22	Rocce effusive	151,14
BN_S02_C1	6,70-7,00	13,1	Diametrico	1,65	2,14	18	Rocce sedimentarie a grana grossa	38,52
BN_S04_C1	6,20-6,50	8,2	Diametrico	1,06	1,37	18	Rocce sedimentarie a grana grossa	24,66
BN_S04_C2	7,50-7,70	19	Diametrico	2,4	3,11	18	Rocce sedimentarie a grana grossa	55,98
BN_S05_C1	4,20-4,50	1,2	Piano di scistosità	0,15	<0,3	16	Rocce metamorfiche a medio metamorfismo	3,2
BN_S05_C2	12,20-12,40	5,6	Diametrico	0,71	0,92	16	Rocce metamorfiche a medio metamorfismo	14,72

Tabella 0.15: prove Point load

I campioni hanno dunque resistenza molto variabile, da molto bassa a media-elevata salvo per il campione BN_S01_C1 per cui risulta molto elevata (Brown E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM suggest methods, Tab.14.13).

Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	Descrizione resistenza
>250	Estremamente elevata
100 – 250	Molto elevata
50 – 100	Elevata
25 – 50	Media
5 – 25	Bassa
1 – 5	Molto bassa
0,25 - 1	Estremamente bassa

Tabella 0.16: Stima della resistenza in relazione al valore di resistenza a compressione monoassiale (MPa)

14.7.1 Prove di taglio diretto in scatola di Casagrande

Nell'ambito della caratterizzazione geotecnica in laboratorio sono state effettuate due prove di taglio diretto in scatola di Casagrande sui materiali della lente argilloso-sabbiosa riscontrati tra la quota 5,60m e la quota 11,40 del sondaggio BN_S03.

Il **campione C1**, prelevato tra la quota 5,80m e 6,00m risulta un'argilla limosa mediamente consistente per la quale si è determinato, in base ai valori di sforzo normale e resistenza al taglio un valore di $\phi = 20^\circ$ e una coesione non drenata **c = 34,3 kPa**

mentre il campione C2, prelevato nell'intervallo 10,40-10,60 risulta un'argilla limosa consistente per la quale si è determinato, in base ai valori di sforzo normale e resistenza al taglio un valore di $\phi = 24^\circ$ e una coesione non drenata **c = 31,6 kPa**

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 mi (Funzione del tipo di roccia)*: i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e mi) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig. 15.3, che riassume i valori della costante mi 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
<p>[*] 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.</p>					

Figura 15. 1: Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

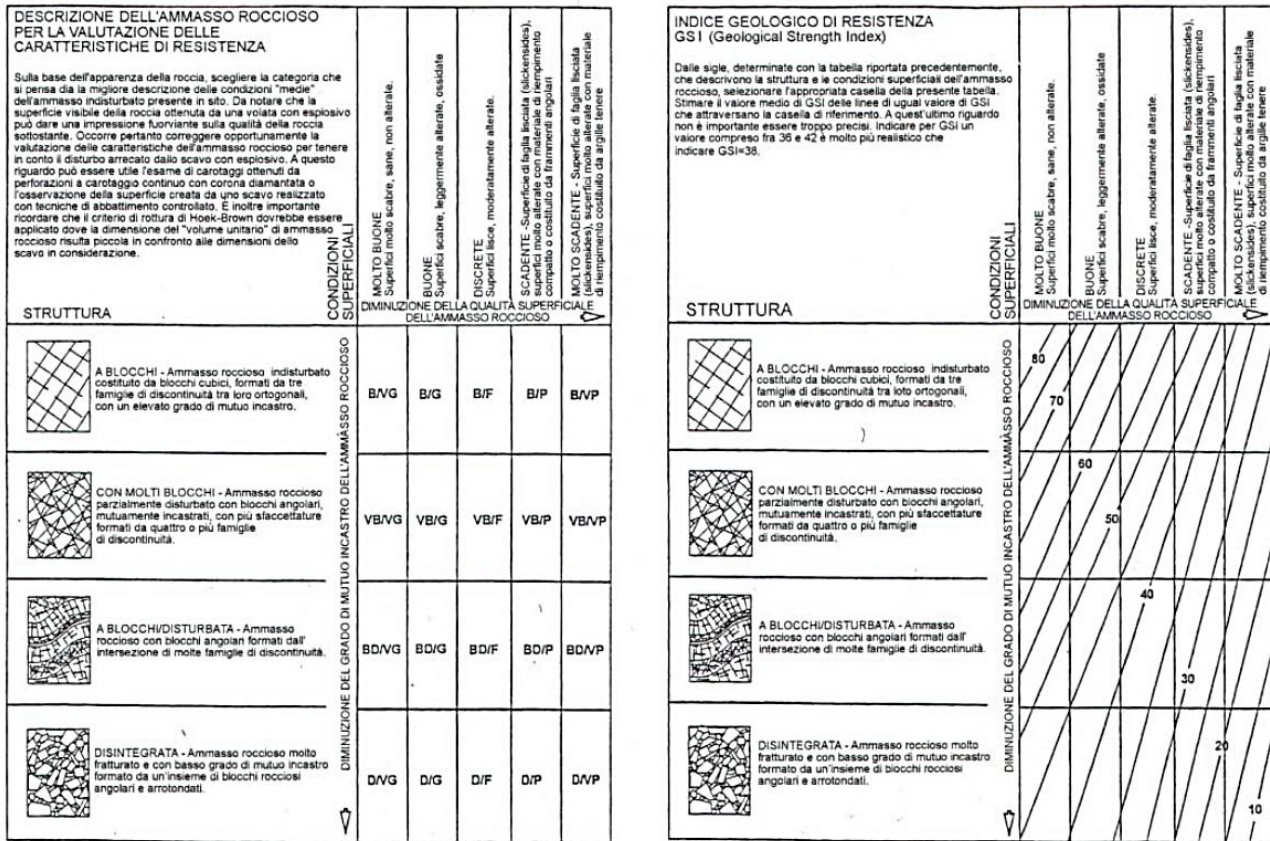


Figura 15. 2: Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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 Grovacche (18)	Siltite 9	Argillite 4
	Non clastiche	Organogene		Calcare bianco (7) Carbone (8-21)		
		Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
	Scure		Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
Effusive piroclastiche		Norite 22				
			Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)	

Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m, sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Figura 15. 3: Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

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

Per il calcolo degli indici e della relativa trasformazione in parametri di coesione e angolo di attrito interno secondo Mohr- Coulomb è stato utilizzato il software RocData vers.3.013 della Rocscience Inc.

<p>Criterio di rottura empirico</p> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma^2_{u(r)}}$ <p>σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima $\sigma_{u(r)}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche</p>	COSTANTI DEL MATERIALE: m, s	<p>ROCCIE CARBONATICHE CON CLIVAGGIO CRISTALLINO BEN SVILUPPATO</p> <p>Dolomite, calcare e marmo.</p>	<p>ROCCIE ARGILLOSE LITIFICATE</p> <p>Argille, siltite, scisti argillosi con clivaggio ben marcato.</p>	<p>ROCCIE ARENACEE CON ELEVATA CRISTALLIZZAZIONE E LIMITATO SVILUPPO DI CLIVAGGIO PER CRISTALLIZZAZIONE</p> <p>Arenaria e quarzite</p>	<p>ROCCIE CRISTALLINE IGNEE E GRANA FINE</p> <p>Andesite, dolerite, diabase e nolle</p>	<p>ROCCIE IGNEE A GRANA GROSSOLANA E ROCCIE CRISTALLINE METAMORFICHE</p> <p>Amfibolite, gabbro, gneiss, novite, quarzo-diorite</p>
<p>CAMPIONI DI ROCCIA INTATTA</p> <p>Campioni di laboratorio senza discontinuità (matrice rocciosa)</p> <p>Indice CSIR: RMR = 100</p> <p>Indice NGI: Q = 500</p>	m s	7.00 1.00	10.00 1.00	15.00 1.00	17.00 1.00	25.00 1.00
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI OTTIMA QUALITÀ</p> <p>Ammasso roccioso indisturbato con giunti non alterati di spaziatura compresa fra 1 e 3 m</p> <p>Indice CSIR: RMR = 85</p> <p>Indice NGI: Q = 100</p>	m s	2.40 0.082	3.43 0.062	5.14 0.082	5.82 0.082	8.56 0.062
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI BUONA QUALITÀ</p> <p>Roccia sana o leggermente alterata, leggermente disturbato con giunti di spaziatura compresa fra 1 e 3 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 65</p> <p>Indice NGI: Q = 10</p>	m s	0.575 0.00293	0.821 0.00293	1.231 0.00293	1.395 0.00293	2.052 0.00293
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI DISCRETA QUALITÀ</p> <p>Numerose famiglie di giunti moderatamente alterati, con spaziature comprese fra 0.3 e 1 m.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 44</p> <p>Indice NGI: Q = 1</p>	m s	0.128 0.00009	0.183 0.00009	0.275 0.00009	0.311 0.00009	0.458 0.00009
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti alterati con spaziatura compresa fra 30 e 500 mm, alcuni con riempimento. Detrito di roccia pulita compattata.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 23</p> <p>Indice NGI: Q = 0.1</p>	m s	0.029 0.000003	0.041 0.000003	0.061 0.000003	0.069 0.000003	0.102 0.000003
<p>AMMASSO ROCCIOSO DI QUALITÀ MOLTO SCADENTE</p> <p>Numerosi giunti molto alterati con spaziatura inferiore a 50 mm e con riempimento. Detrito di roccia con materiale fine.</p> <p>Indice CSIR: RMR = 3</p> <p>Indice NGI: Q = 0.01</p>	m s	0.007 0.0000001	0.010 0.0000001	0.015 0.0000001	0.017 0.0000001	0.025 0.0000001

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

Figura 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

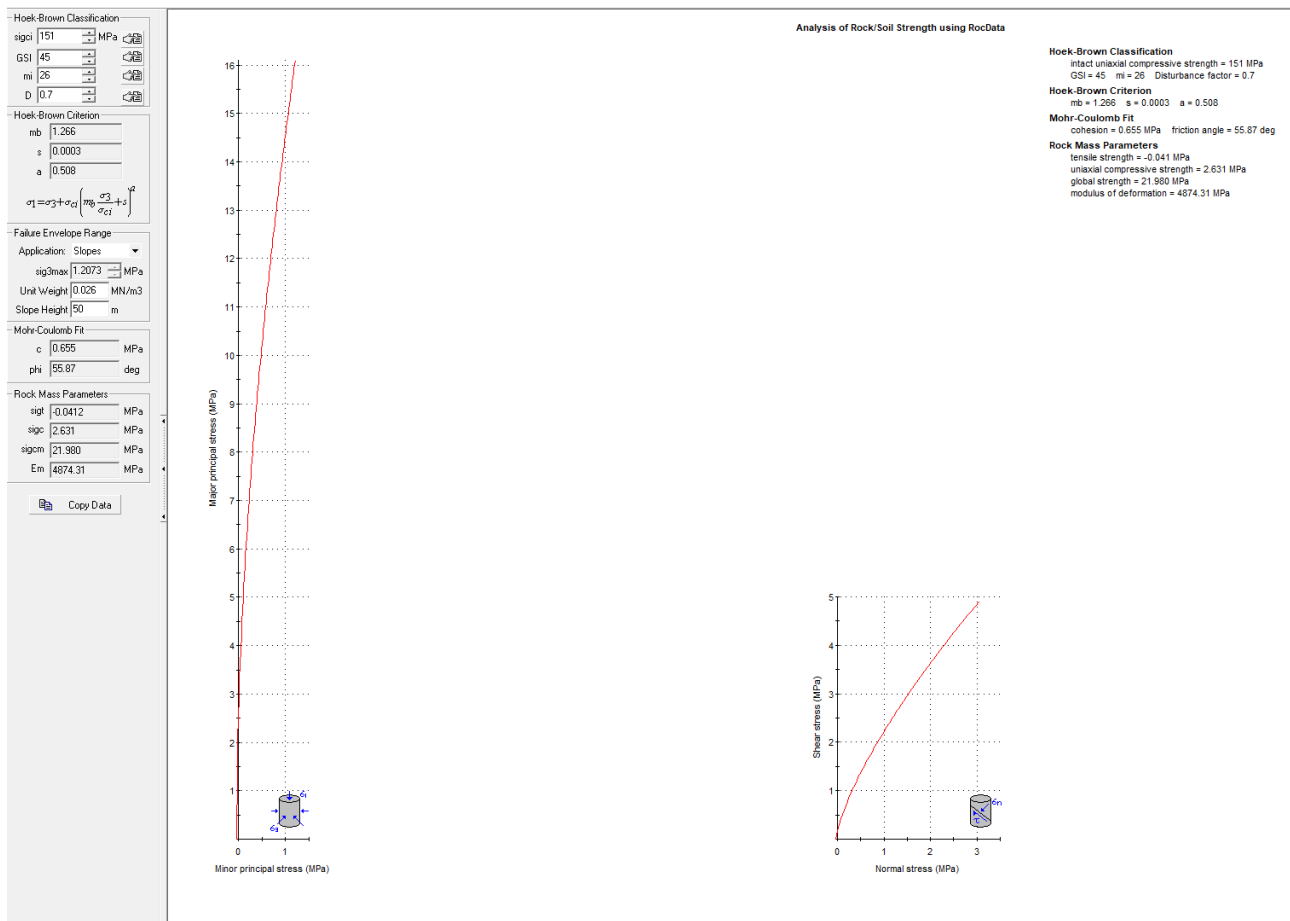
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

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

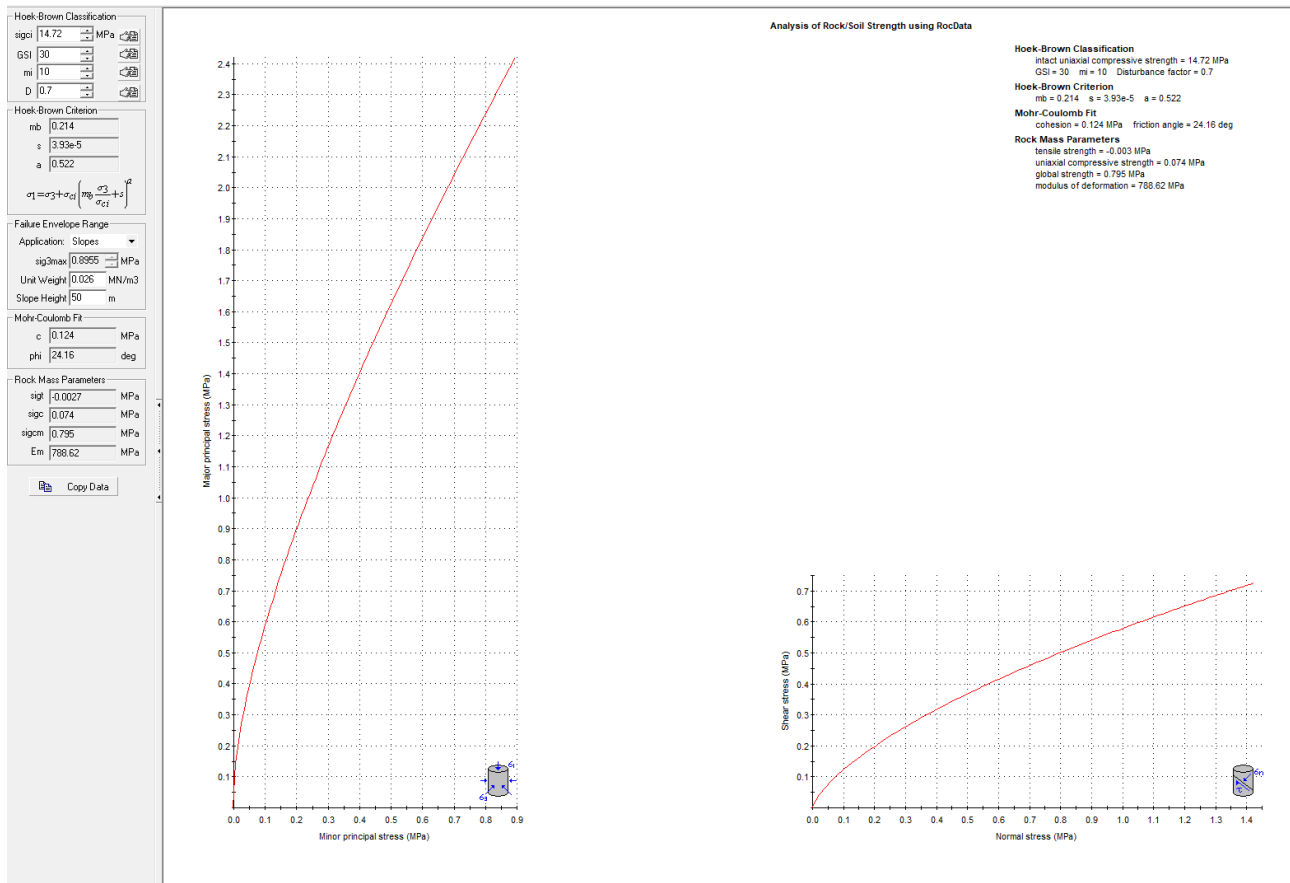
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

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

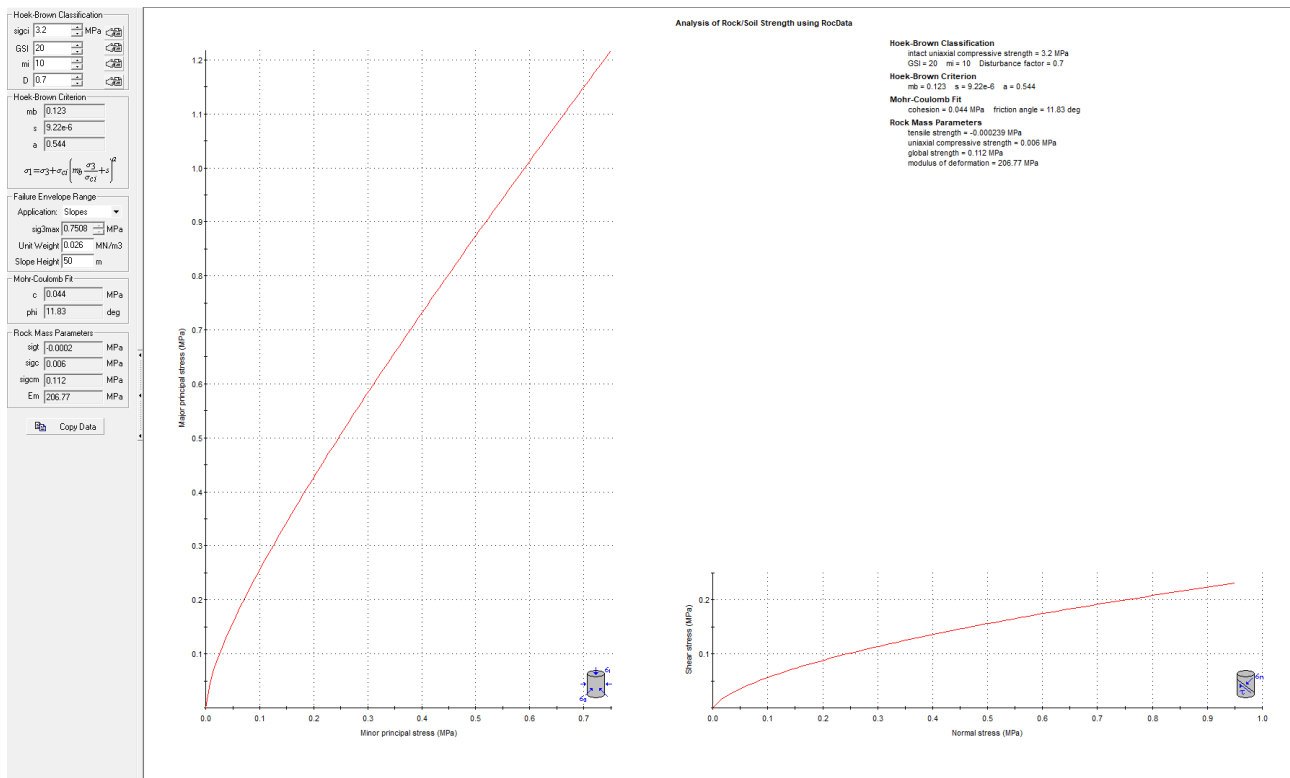
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

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

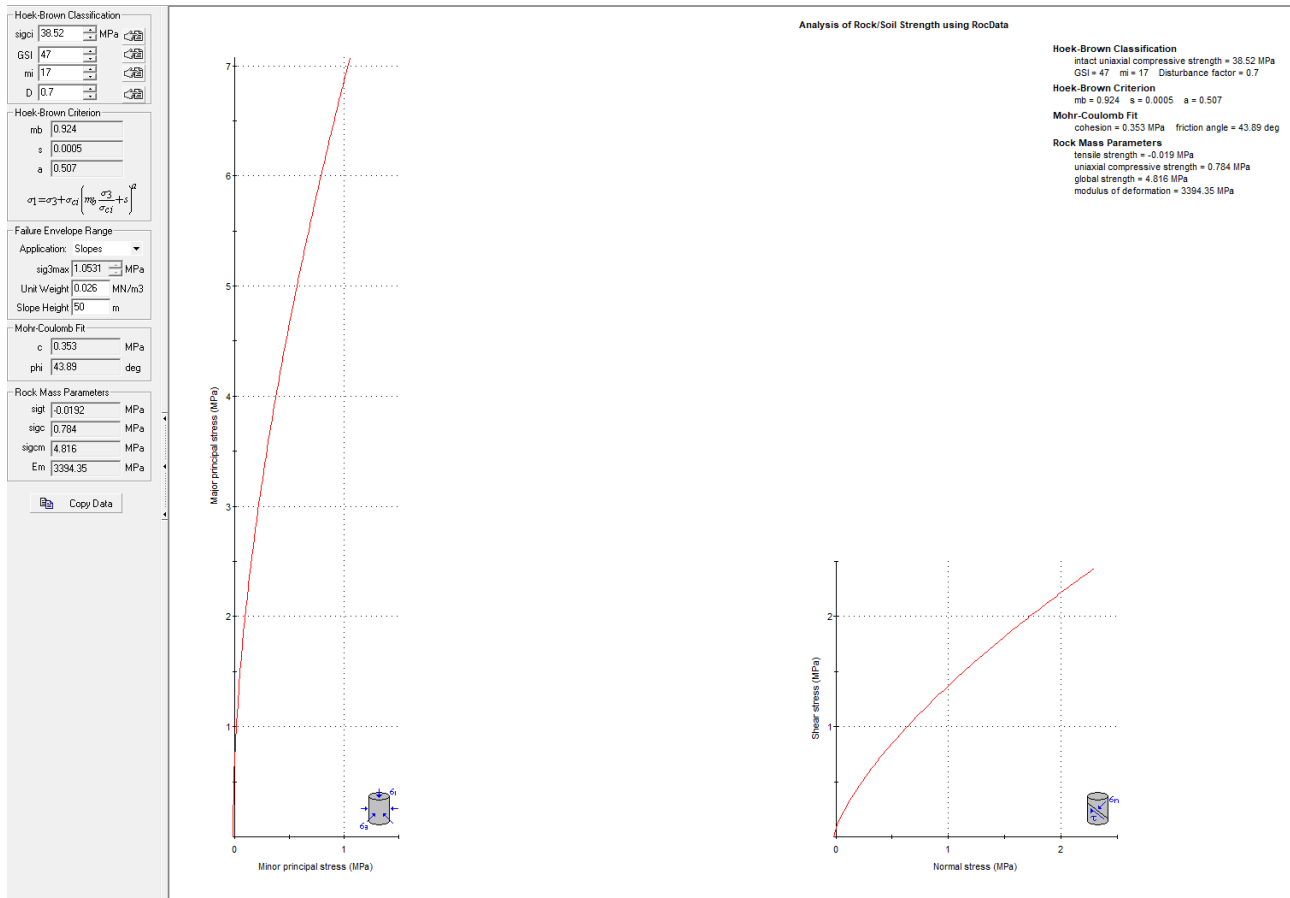
Apertura del giunto = 1 - 5 mm

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 essere 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

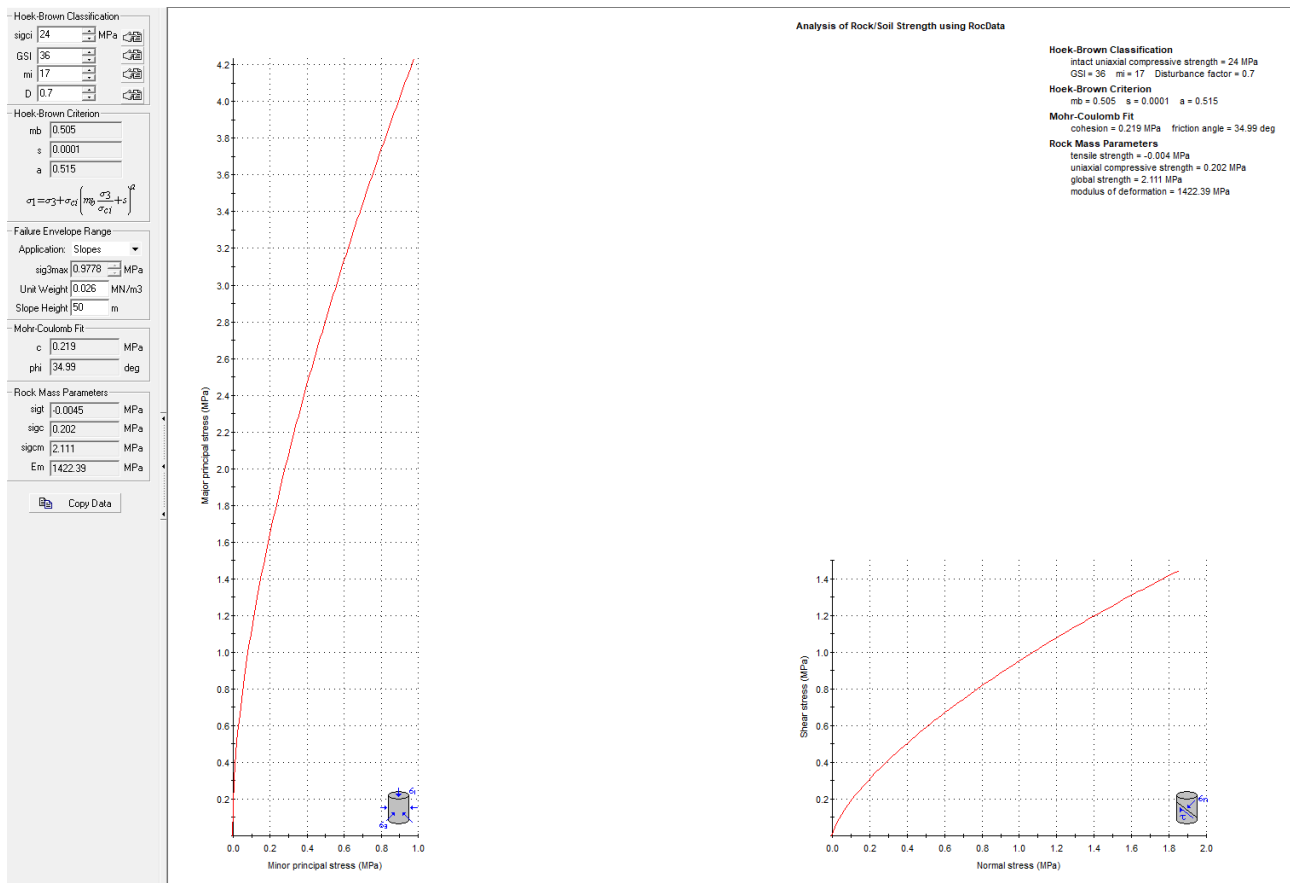
Apertura del giunto = 0,1 - 2 mm

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 metamorfiti e i porfiroidi hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
- Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia – pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di alterazione di arenarie eoceniche e metamorfiti. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico del sito che viene di seguito riassunto. In particolare, in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, sono stati individuati nr.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/cm ^q]	0	0,2	2,03	
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm ^q]	989	989	2457	
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cm ^q]	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/cmq]	0	0	0	3,6
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cmq]	1948	1948	1948	2325
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[kg/cmq]	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 ²]	0	0	0	0.32	0.35	6,67
Dati Parametri Deformabilità							
Modulo elastico	[kg/cm ²]	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 ²]	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/cmq]	0,45	1,26		
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cmq]	2108	8045		
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33		
Modulo di taglio (G)	[kg/cmq]	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.

16 Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi.

Lo studio condotto finalizzato ad individuare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche idrogeologiche e geostrutturali dell'area di interesse alle opere di progetto ha permesso, attraverso il rilievo diretto in sito, le indagini geognostiche e l'interpretazione sinergica tra le informazioni derivate di definire **nr. 5 modelli geologici e geotecnici ai sensi delle NTC 2018 rappresentativi delle diverse condizioni del sito, con particolare riferimento alle posizioni degli aerogeneratori e alla viabilità di accesso e di servizio al sito.**

Per quanto concerne l'installazione degli aerogeneratori, gli stessi prevedono opere fondanti costituite da plinti circolari a sezione troncoconica il cui piano di posa è previsto ad una profondità di riferimento di 5m da piano campagna.

L'analisi geologica ha restituito per queste profondità di scavo una condizione generalmente rappresentata da ammassi rocciosi da molto fratturati a poco fratturati e/o massivi in relazione alla tipologia litologica come definito nei diversi modelli geologici individuati.

In relazione al grado di fratturazione si identificano le seguenti criticità alle quali tener conto in fase di progettazione esecutiva quando i modelli geologici individuati verranno confermati da indagini specifiche e puntuali sui siti di imposta dei singoli aerogeneratori:

- Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione 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. Qualora in fase esecutiva a seguito di indagini maggiormente dettagliate, nell'utilizzo di fondazioni profonde maggiori di 15m (eventualità esclusa allo stato attuale delle conoscenze in relazione all'assetto geologico dell'area e agli esiti del piano indagini condotto) o nel caso di fondazioni superficiali (entro i 5m) si rinvenissero interferenze con la falda, sarà definito un piano di monitoraggio dell'influenza della fondazione sulla piezometrica realizzando apposito sistema di piezometri a monte e a valle della fondazione con misure stagionali e/o a seguito di eventi piovosi.

-

-
- si intenda applicare nel caso di fondazioni profonde (oltre i 15 metri) o di fondazioni entro i 5 metri, che dovessero intercettare l'eventuale falda idrica sotterranea
-

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 superficiali 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. Tale condizione andrà confermata in fase di progettazione esecutiva con idonee indagini in sito.