



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

## RELAZIONE GEOLOGICA

Rev. 0.0

Data: 12 Marzo 2021

WIND004.REL003a



*Cosma Maatzori*

Committente:

**Siurgus S.r.l.**

Via Michelangelo Buonarroti 39, Milano (MI) CAP 20145

C. F. e P. IVA: 11189260968

PEC: siurgus@pec.it

Incaricato:

**Queequeg Renewables, ltd**

Unit 3.21, 1110 Great West Road TW80GP London (UK)

Company number: 111780524

email: mail@quenter.co.uk



## SOMMARIO

SOMMARIO .....	3
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.....	16
6. Inquadramento geologico.....	18
6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	18
6.1.1 Unità tettonica di Riu Gruppa .....	21
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria .....	21
6.1.2 Unità tettonica del Gerrei .....	24
(SVI) Arenarie di San Vito .....	24
(MRV) Metaconglomerati di Muravera .....	25
(PRF) Porfiroidi (Auct.) .....	26
(MGM) Metarose di Genna Mesa .....	26
(ACN) Argillocisti di Rio Canoni .....	27
(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.).....	27
(PMN) Complesso di Pala Manna.....	28
6.1.3 Unità tettonica di Meana Sardo .....	28
(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria .....	29
(ORR) Formazione di Orroledu:.....	29
(SGAa) Scisti a Graptoliti – litofacies dei metacalcari:.....	29
6.1.4 Corteo filoniano .....	29
6.1.5 Successione sedimentaria Terziaria .....	30
(FMCa) Formazione di Monte Cardiga – Litofacies delle arenarie .....	30
6.3 Depositi Quaternari dell'area continentale.....	32
(a) Depositi di versante .....	33
(b2) Coltri eluvio-colluviali .....	33
7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali .....	34
7.1 Campagna di raccolta dati geostrutturali su affioramento .....	36
7.1.1 Formazione delle Arenarie di San Vito .....	37
7.1.2 Formazione dei Porfiroidi.....	39
7.1.3 Formazione degli Argillocisti di Rio Canoni.....	40

---

7.1.4	Formazione degli Scisti a Graptoliti.....	41
7.1.4	Formazione di Pala Manna.....	43
8.	Analisi qualitativa di stabilità dell'ammasso roccioso .....	45
9.	Inquadramento geomorfologico.....	54
9.1	Lineamenti geomorfologici dell'area di studio.....	55
9.2	Definizione dell'area geomorfologicamente significativa .....	57
10.	Inquadramento idrologico e idrogeologico.....	62
10.1	Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea .....	62
10.2	Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee .....	67
10.3	Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi .....	69
11.	Inquadramento climatico.....	73
11.1	Precipitazioni.....	74
11.2	Temperature.....	75
11.3	Stima dell'Evapotraspirazione.....	77
12.	Inquadramento pedologico.....	81
13.	Uso del Suolo .....	81
14.	Analisi dei vincoli gravanti sui terreni.....	82
14.1	Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.) .....	82
14.2	Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I. ....	85
14.3	Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....	85
14.4	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGR) .....	86
15.	Indagini geognostiche .....	88
15.1	Sondaggi Geognostici.....	89
15.1.1	Attrezzature utilizzate.....	91
15.1.2	Prove SPT (Standard Penetration Test) .....	91
15.2.1	PN_S01.....	93
15.2.2	PN_S02.....	93
15.2.3	PN_S03.....	93
15.2.4	PN_S04.....	94
15.2.5	PN_S05.....	94
15.1	Campagna di prospezione geofisica.....	95
15.3	Sismica a Rifrazione - Tecnica e parametri utilizzati.....	96
15.4	Sismica a Rifrazione – Elaborazioni e risultati .....	97
15.4.1	Base Sismica PN_SISM01_R1 .....	97

---

15.4.2	Base sismica PN_SISM02_R2.....	99
15.4.3	Base Sismica PN_SISM03_R3 .....	100
15.5	M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati .....	102
15.6	MASW – Elaborazioni e risultati.....	103
15.6.1	Base sismica PN-SISM01-M1.....	104
15.6.2	Base Sismica PN-SISM02-M2.....	106
15.6.3	Base Sismica PN-SISM03-M3.....	108
15.7	Considerazioni sull’assetto geostrutturale degli ammassi rocciosi .....	110
15.8	Analisi di Laboratorio .....	112
15.8.1	Prove di Rottura Point Load .....	113
15.8.2	Determinazione della massa volumica apparente (UNI CEN ISO/TS 19892-2 Metodo b).....	115
16.	Modellazione geologica .....	116
16.1	Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi.....	116
16.2	Modello Geologico di sito .....	128
	Modello Geologico 01 – ARENARIE DI SAN VITO – WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005 ..	129
	Modello Geologico 02 – Form. PALAMANNA – WTG006, WTG007, WTG008, WTG009 WTG014 .....	130
	Modello Geologico 03 – ARGILLOSCISTI – WTG010, WTG011, WTG012 .....	131
	Modello Geologico 04 – PORFIROIDI – WTG11, WTG13,.....	132
16.3	Viabilità di impianto e Sottostazione .....	133
17.	Conclusioni: criticità geologiche e suggerimenti operativi.....	133

## 1. Premessa e finalità dello studio

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "Pranu Nieddu" dislocato nei territori comunali di Siurgus Donigala e Selegas - 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 nel foglio 548030 "Siurgus Donigala" e 548040 "Goni"
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000, nel foglio n°226 "Mandas"
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG) nel foglio n°548 "Senorbì".
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguita in data in data 16-24/11/2020 nella zona di interesse.

### 4. Inquadramento geografico generale

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

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

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



Figura 4.1 - Panoramica dalla WTG008



Figura 4.2 - Panoramica verso la WTG007



Figura 4.3 - Panoramica da Monte Maiori verso WTG006

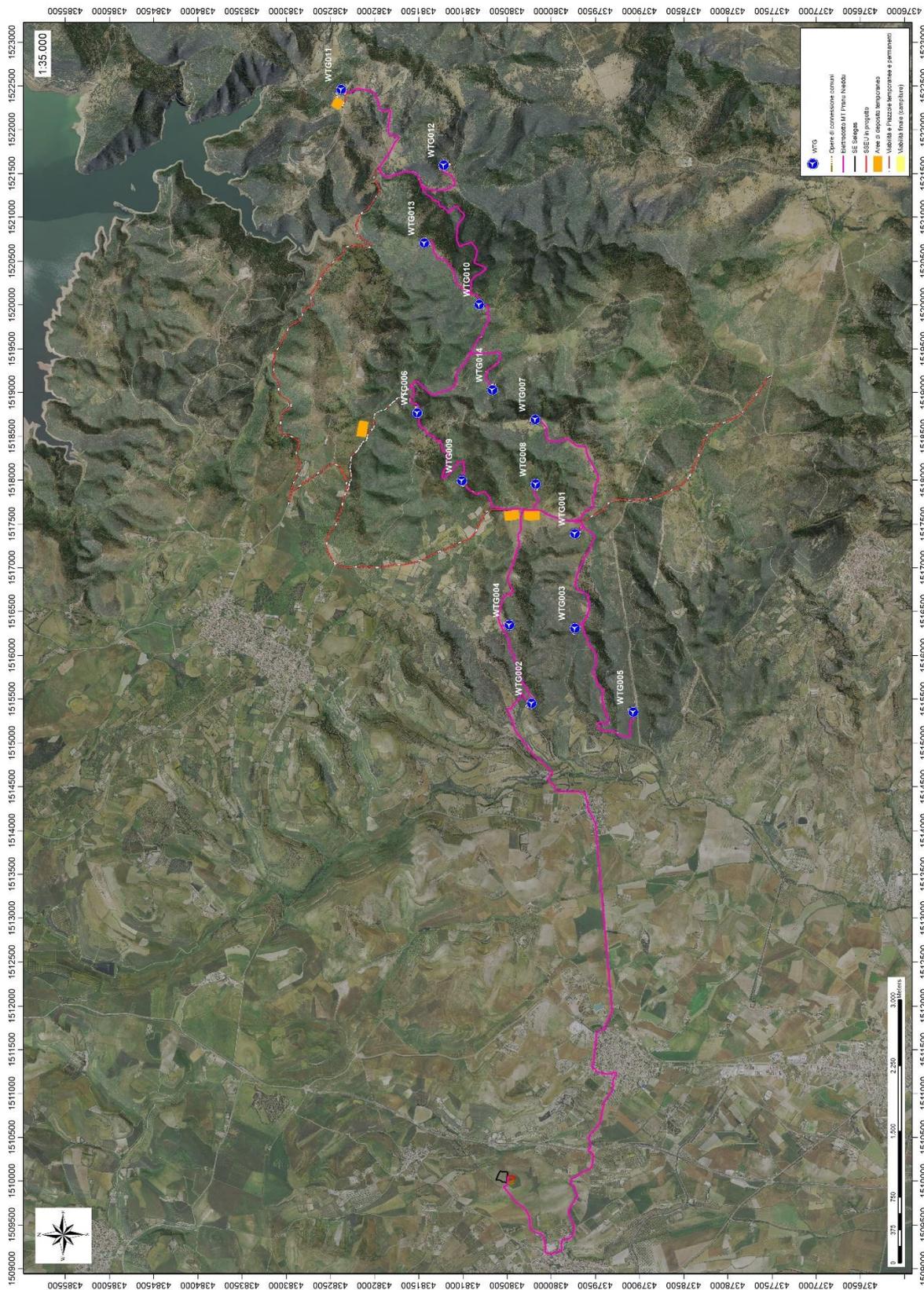


Figura 4.4 -Localizzazione su foto aerea (Fonte RAS, 2016) dell'area interessata dal progetto

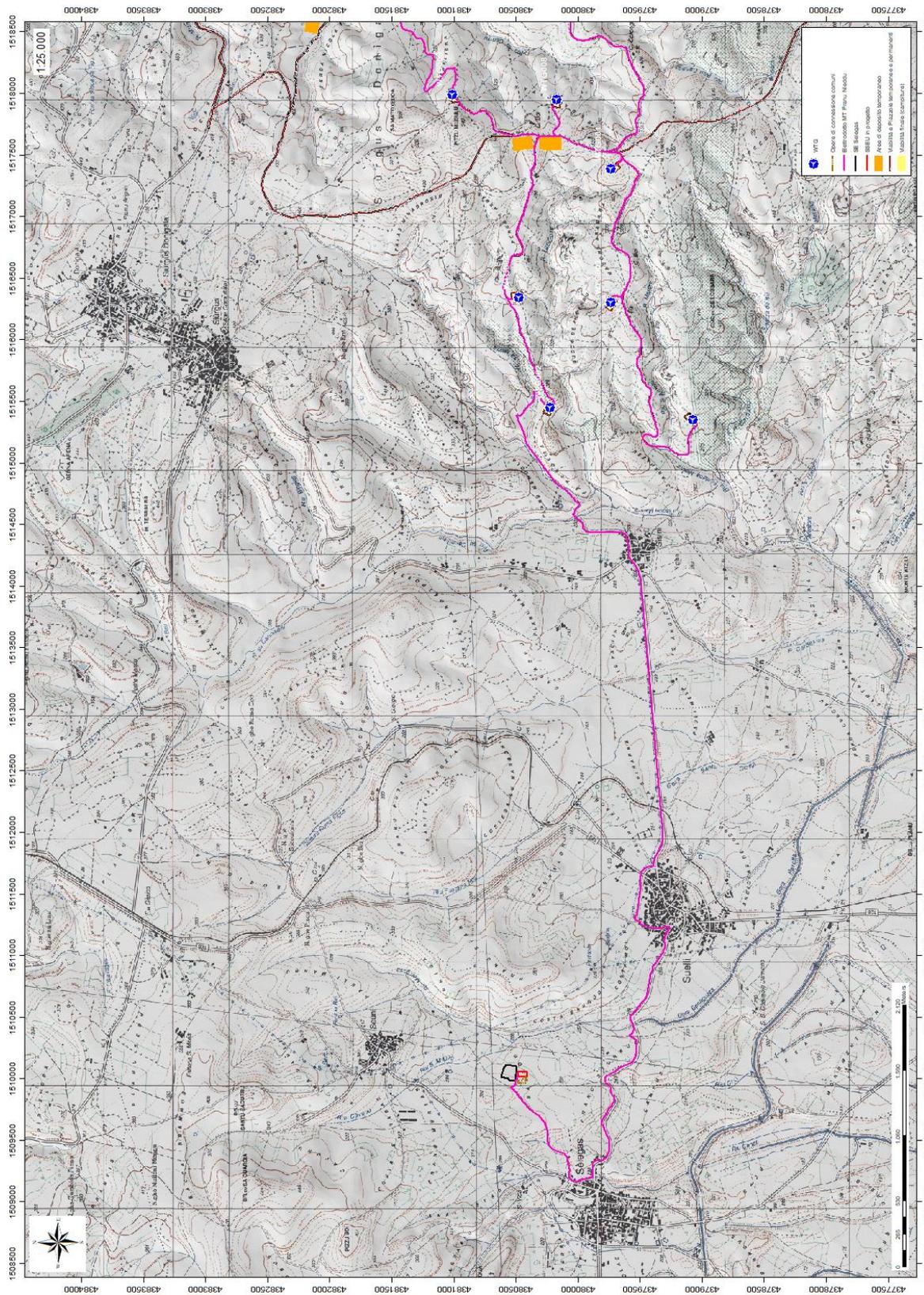


Figura 4.5 -Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 (settore ovest)

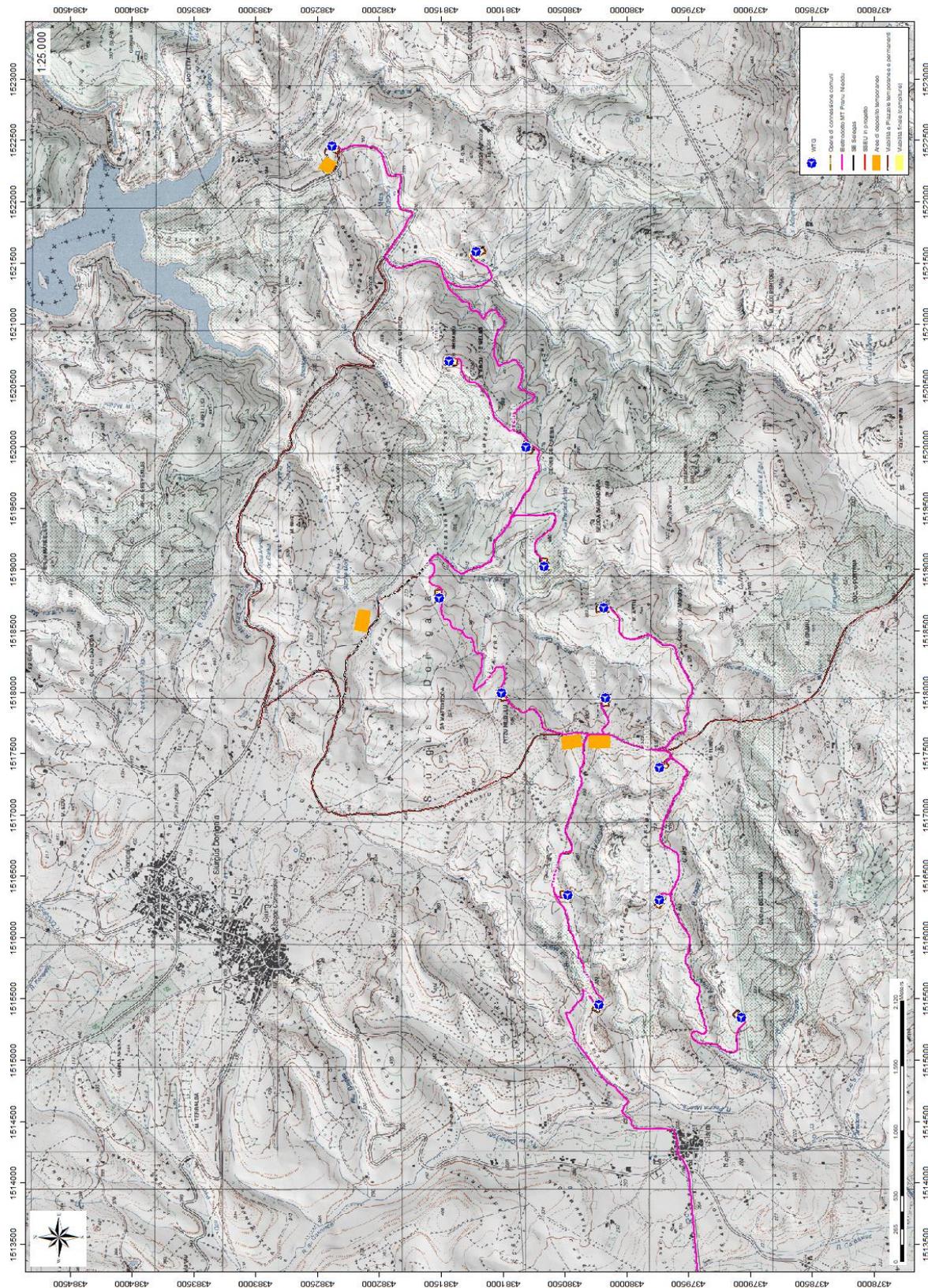


Figura 4.6 - Inquadramento topografico su Carta IGM scala 1:25000 (settore est)

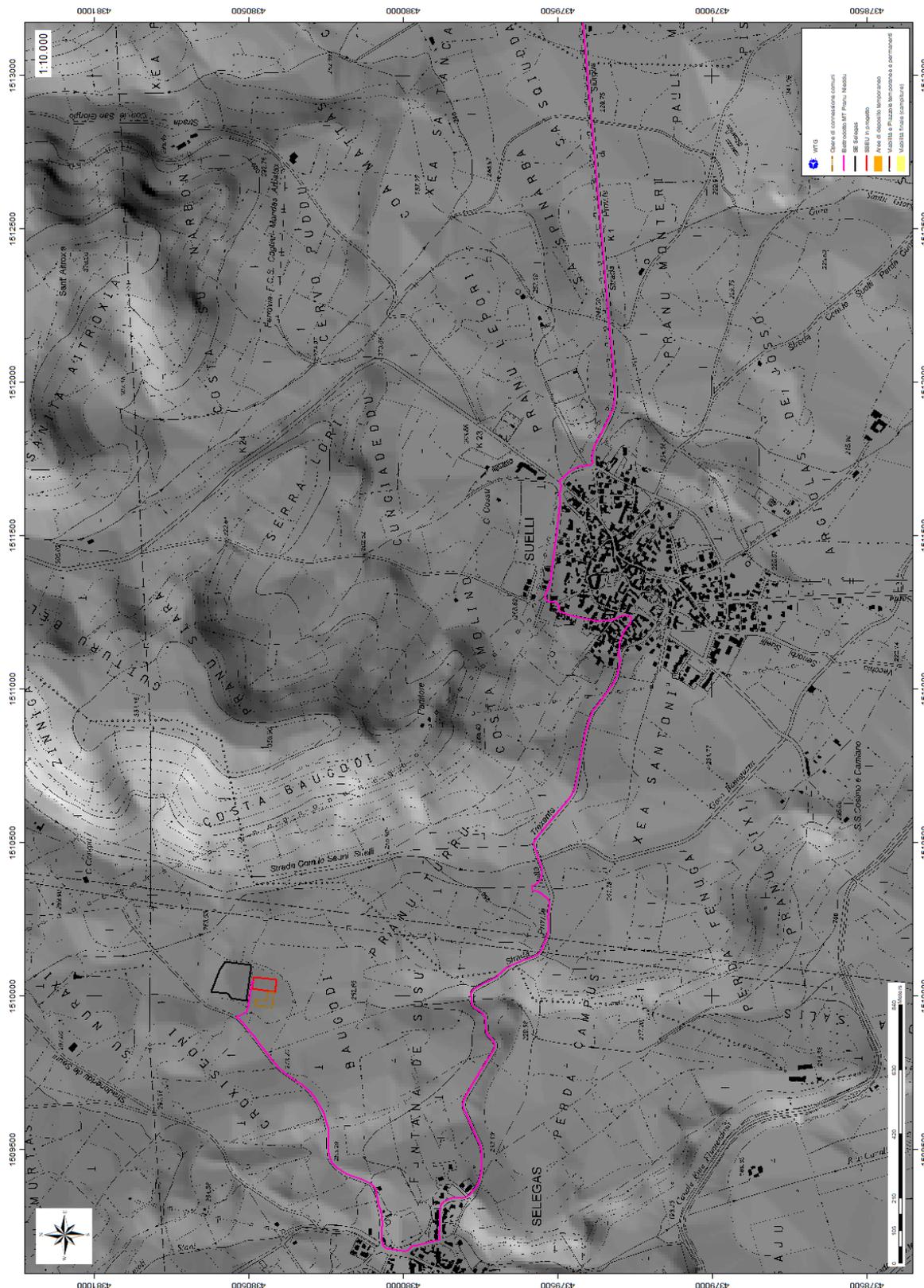


Figura 4.7 - Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore ovest

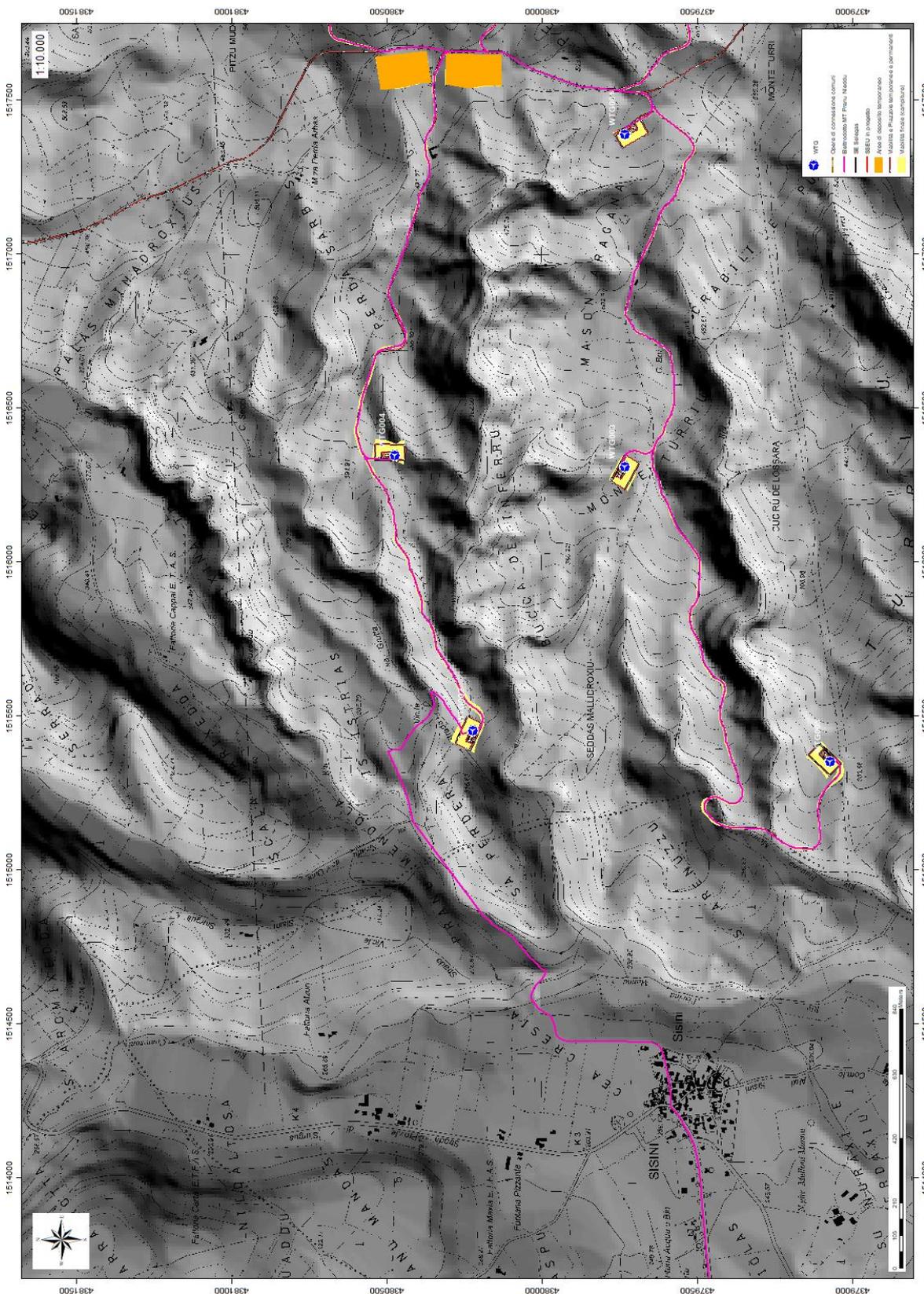


Figura 4.8 - Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore centro-occidentale

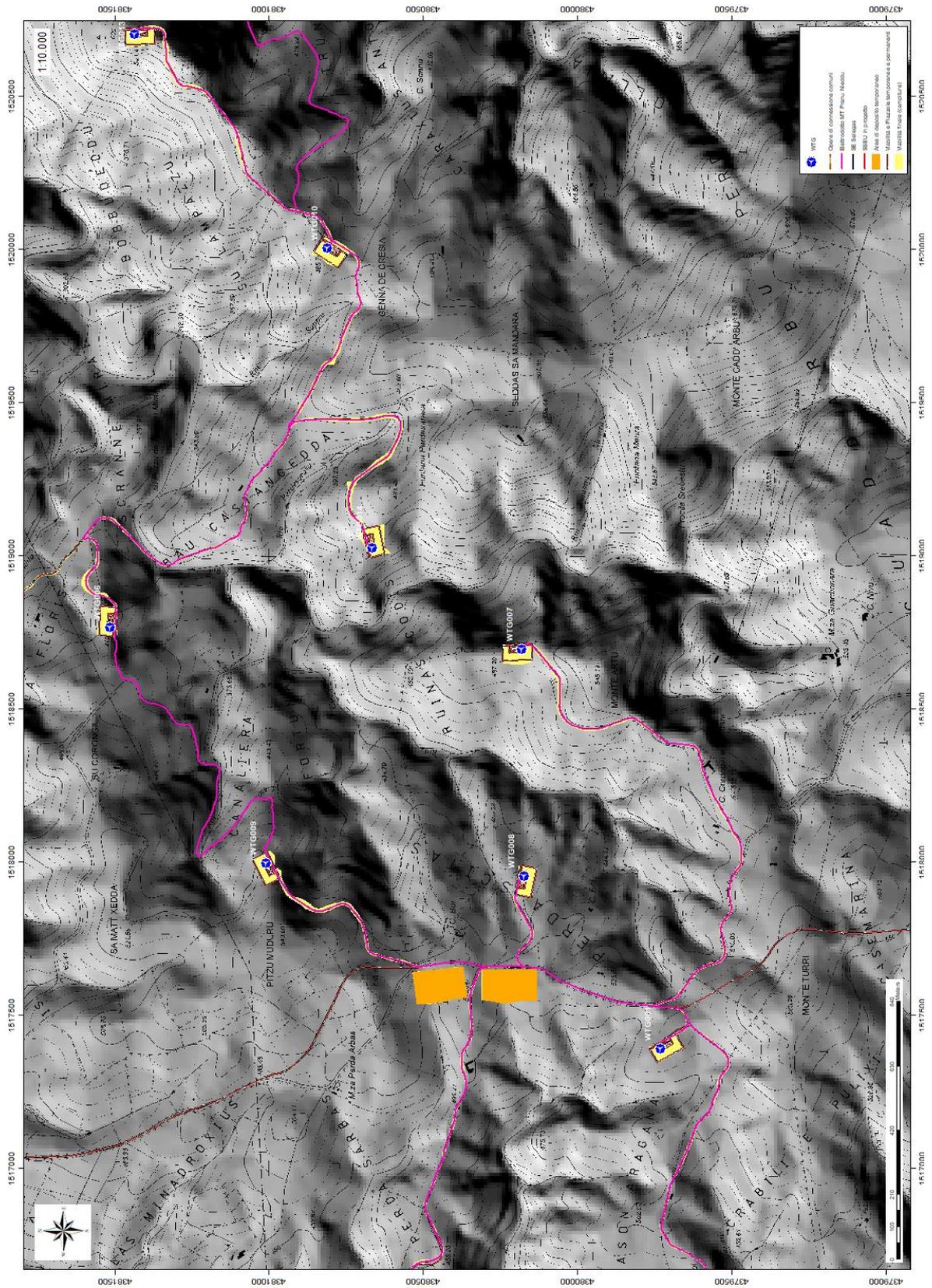


Figura 4.9 - Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore centro-orientale

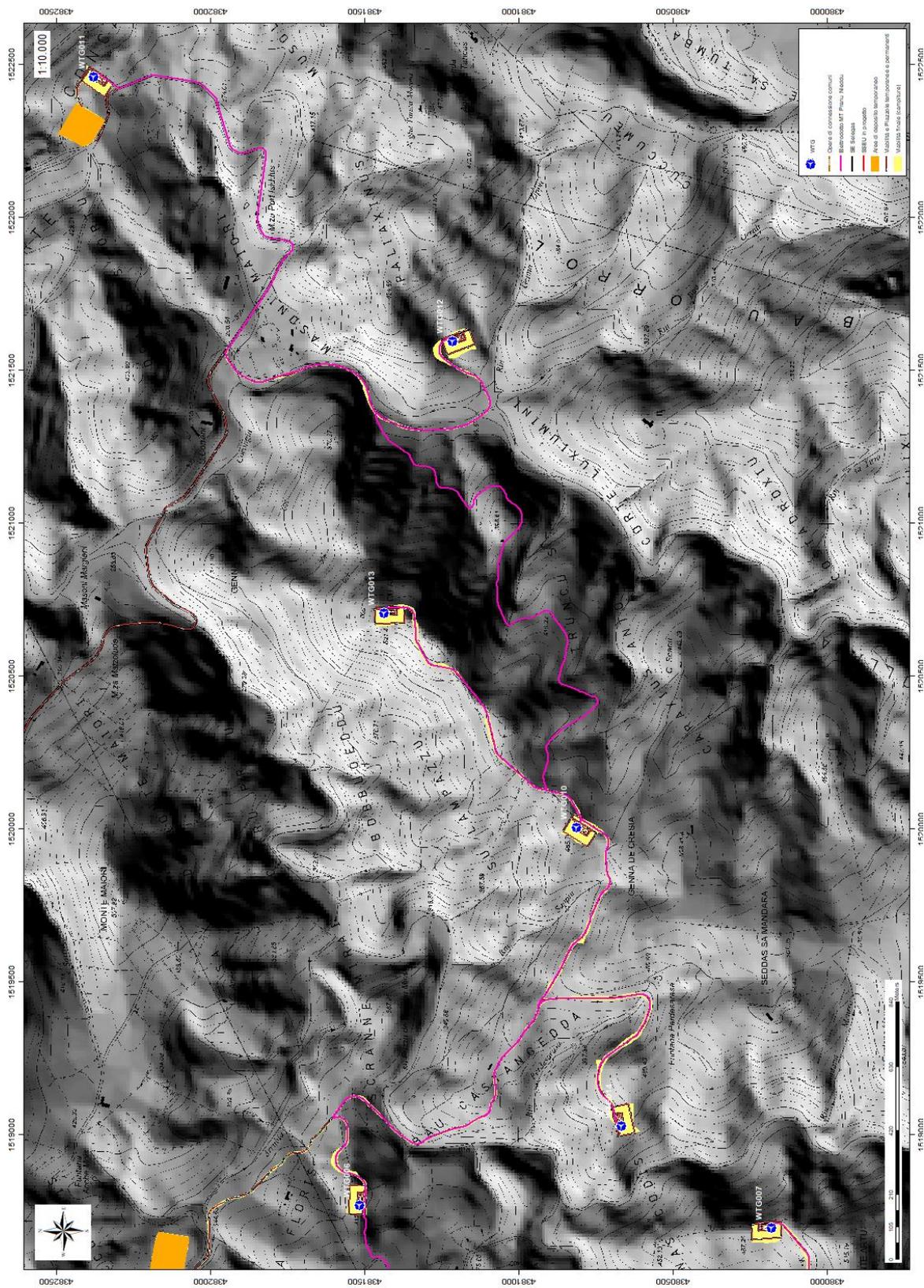


Figura 4.10 - Inquadramento topografico su C.T.R. RAS scala 1:10000 – settore est

## 5. Caratteristiche di progetto dell'opera

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.**

## 6. Inquadramento geologico

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco eolico 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 fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

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

### 6.1 Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento

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

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

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia. Successivamente, nel Cambriano, la messa in posto dei batoliti granitici ercinici ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

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

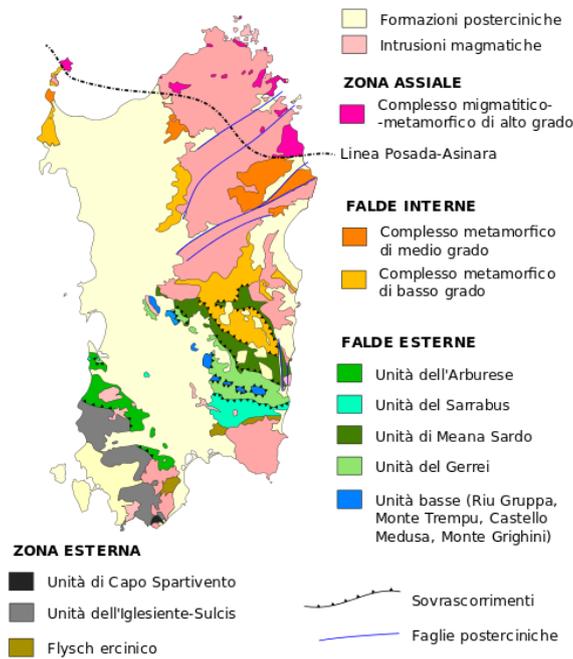


Figura 6.1 – Schema tettonico-strutturale della Sardegna

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

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

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

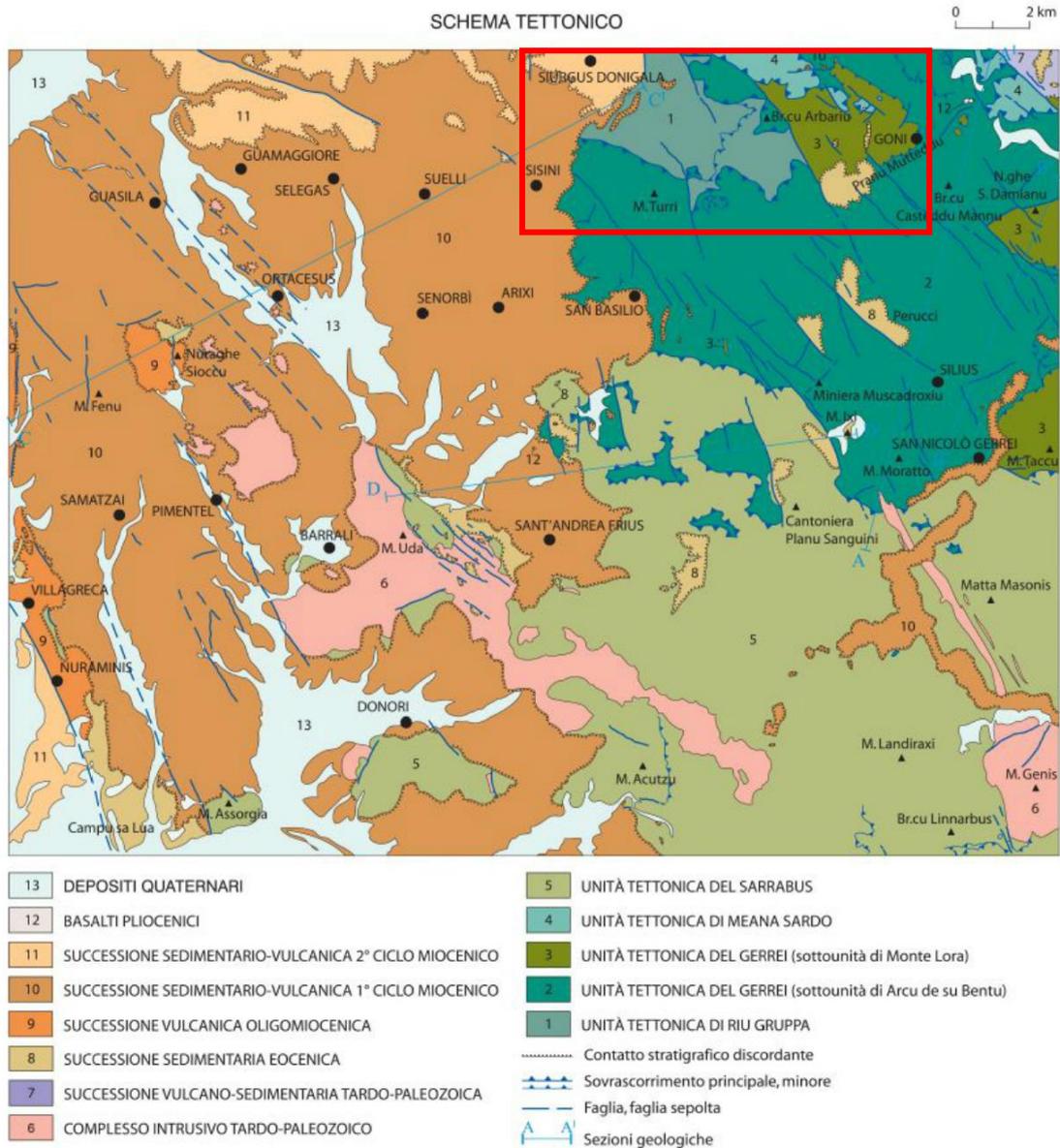


Figura 6. 2: Schema Tettonico dell'area di studio (tratto da Funedda et al., 2014 Note Illustrative Foglio CARG Senorbi)

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

Il basamento 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.

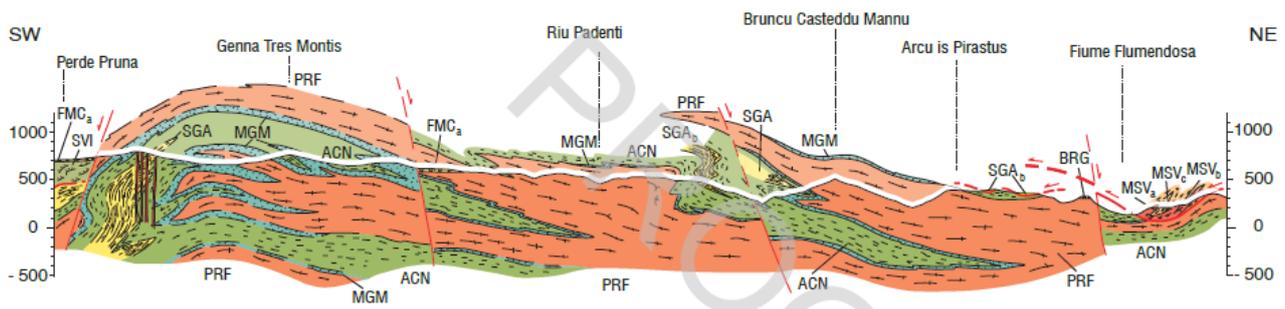


Figura 6. 3: Schema tettonico e sezione geologica SW-NE rappresentativa dell'area vasta ad est di Goni (Funedda et al., 2014).

### 6.1.1 Unità tettonica di Riu Gruppa

È l'unità tettonica più profonda dell'area di studio, che affiora in una finestra tettonica tra Siurgus Donigala e San Basilio. La successione litostratigrafica 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. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

**(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria:** è costituita da metavulcaniti di colore scuro tendente al verde (**MSVb**), e da metavulcaniti chiare (**MSVc**), correlabili rispettivamente con le formazioni di Serra Tonnai e Monte Corte Cerbos riconosciute nell'unità tettonica di Meana Sardo.

Le metavulcaniti di colore scuro (**MSVb**), tendente al verde, presentano chimismo intermedio-basico e sono caratterizzate da una massa filladica in cui sono riconoscibili frammenti di cristalli millimetrici, generalmente feldspati alterati in epidoto e/o clorite, e vacuoli derivanti dall'erosione dei fenocristalli.

Le metavulcaniti chiare (**MSVc**) sono metarioliti caratterizzate da una struttura porfirica per fenocristalli di quarzo di dimensioni inferiori al centimetro immersi in una pasta di fondo costituita in prevalenza da quarzo e fillosilicati (miche).

Lo spessore della formazione non è facilmente individuabile, presumibilmente è inferiore a 150 metri; l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio.

**(MGM) Metarcose di Genna Mesa:** si tratta di metarenarie arcosiche, metagrovacche e metasiltiti grigio-verdi, talora alternate a quarziti grossolane biancastre in bancate metriche, e qualche raro metaconglomerato a ciottoli di quarzo. Stratigraficamente, poggiano sulla formazione di Monte Santa Vittoria e passano verso l'alto alla formazione degli Scisti a graptoliti. Lo spessore è difficilmente valutabile per via dell'intensa deformazione, ma presumibilmente è inferiore ai 50 metri, anche se apparentemente pare doppio. Il rinvenimento di articoli di crinoidi nelle metasiltiti permette di attribuire questi litotipi al Caradoc-Ashgill (Ordoviciano superiore).



Figura 6. 4: UNITA' TETTONICA DI RIU GRUPPA – Metarcose di Genna Mesa (MGM).

**(SGA) Scisti a graptoliti:** sono costituiti da metapeliti carboniose di colore nerastro (SGA), con intercalazioni lentiformi di metacalcari (SGAa) e di metasiltiti beige con sottili intercalazioni di calcari, e selci nere ("liditi"). Il contatto di base con le metarcose di Genna Mesa è spesso laminato, mentre quello di tetto è sempre tettonico. Lo spessore è difficilmente determinabile a causa dell'intensa deformazione, e l'età è ascrivibile al Siluriano – Devoniano Medio per via di rari articoli di crinoide nelle lenti carbonatiche (SGAa), e per analogie con le corrispondenti litologie affioranti nelle unità tettoniche più superficiali.

**Formazione di Pala Manna (PMN):** si tratta di alternanze di metarenarie micacee, metasiltiti e quarziti e rari elementi di metacalcari, caratterizzati da foliazioni e di piano assiale (PMN). Sono presenti metaconglomerati e metabrecce ricche di clasti di liditi (PMNa), e metacalcari di dimensioni da metriche a decametriche interpretati come olistoliti (dv). Lo spessore non è valutabile in quanto non affiora la base della formazione interessata da sovrascorrimenti. La successione è attribuita al Carbonifero inferiore in base alle analogie litologiche e per la posizione stratigrafica rispetto alle altre formazioni, e per via del suo contenuto di olistoliti costituiti da litologie siluro-devoniane.



Figura 6.5: UNITA' TETTONICA DI RIU GRUPPA – Litofacies a Metacalcari della Formazione di Pala Manna (dv).

### 6.1.2 Unità tettonica del Gerrei

Questa unità tettonica 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 i sedimenti dell'Ordoviciano superiore e il complesso vulcano-sedimentario dell'Ordoviciano medio, che risulta costituito da metaepiclastiti, metandesiti e porfiroidi a piccoli fenocristalli nella sottounità di Monte Lora, e da porfiroidi a grandi e piccoli fenocristalli in quella di Arcu de su Bentu. Le successioni presenti sono descritte in ordine cronostratigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).



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

**(SVI) Arenarie di San Vito:** questa formazione, che affiora a sud di Siurgus Donigala, è costituita da metarenarie quarzoso-micacee, 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. Le metarenarie formano regolari alternanze, da centimetriche a metriche, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e raramente metapeliti scure. Localmente affiorano metaquarzoareniti grigio-chiare, massive, in bancate di alcuni metri di spessore.

Lo spessore delle Arenarie di San Vito nell'Unità tettonica del Gerrei è difficilmente valutabile a causa delle intense strutture plicative isoclinali e del contatto di base sempre tettonico. Per questa motivazione, lo spessore non è valutabile. Questa formazione, è stata attribuita al Cambriano medio- Ordoviciano inferiore sulla base di associazioni ad acritarchi.

**(MRV) Metaconglomerati di Muravera:** affiora a nord di San Basilio ed è costituita da conglomerati matrice-sostenuti poligenici, eterometrici, con clasti arrotondati (i clasti costituiscono il 40-50% del totale della roccia) di dimensioni fino a 20 cm immersi in matrice pelitica, alternati a livelli di metapeliti. I clasti sono principalmente costituiti da quarzoareniti e più raramente da siltiti scure, provenienti dalla formazione delle Arenarie di San Vito. Lo spessore della formazione è molto variabile: da 0 m a un massimo osservabile sul campo di 100 m, probabilmente dovuto alla deformazione. Il contatto di base della formazione è erosivo sulla Formazione di San Vito, mentre quello superiore è netto coi Porfiroidi. L'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio per via della posizione stratigrafica.



Figura 6.7: UNITA' TETTONICA DEL GERREI – Metaconglomerati di Muravera (MRV) presso Monte Turri.

**(PRF) Porfiroidi (Auct.):** Si tratta di metavulcaniti (originarie lave riolitiche e riodacitiche) di colore dal grigio scuro al verde chiaro, a volte rossastro per alterazione, con struttura marcatamente occhiadina conferita da porfiroclasti di K-feldspato e quarzo con dimensioni massime di 1-2 cm (PRF) in una massa di fondo felsitica. Una particolare litofacies, i Porfiroidi a grossi fenocristalli (PRFa), affiora esclusivamente nella Sottounità di Arcu de su Bentu ed 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 8 cm. Lo spessore della formazione non è facilmente individuabile, presumibilmente almeno un centinaio di metri, mentre l'età della successione è riferibile all'Ordoviciano medio.



Figura 6.8: UNITA' TETTONICA DEL GERREI - Porfiroidi, Litofacies a fenocristalli

**(MGM) Metarcose di Genna Mesa:** questa formazione è costituita da metarcose, metarenarie quarzose, metaconglomerati minuti e metagrovacche, di colore grigio-bianco, in banchi metrici costituiti quasi esclusivamente da quarzo vulcanico proveniente dal rimaneggiamento dei sottostanti Porfiroidi. Lo spessore è variabile tra 0 m e qualche decina di metri. La formazione è discordante sulla successione vulcano-sedimentaria dell'Ordoviciano medio, marcando così la Trasgressione caradociana Auct. nell'Unità tettonica del Gerrei. Mentre il contatto superiore con gli Argilloscisti di Rio Canoni è graduale. Per la presenza di rari

articoli di crinoide, e per analogie stratigrafiche con la formazione di Punta Serpeddi (che affiora nell'unità tettonica del Sarrabus), le Metarcose di Genna Mesa sono attribuite all'Ordoviciano superiore (Caradoc).

**(ACN) Argilloscisti di Rio Canoni:** alla base, la formazione è costituita da metarenarie fini grigio scuro, con livelli più grossolani, seguiti da metasiltiti arenacee o carboniose grigio-nocciola. Il contenuto fossilifero di questa formazione, ricco in brachiopodi, crinoidi e trilobiti, permette di attribuire questa formazione all'Ashgill (Ordoviciano superiore).



Figura 6.9: UNITA' TETTONICA DEL GERREI – Scisti a Graptoliti – litofacies a metacalcari nodulari (SGAa)

**(SGA) Scisti a Graptoliti (Auct.):** costituiti da metapeliti grafitose nere (giallastre o grigie per alterazione), intercalate a livelli di selci nere (liditi), e livelli di metasiltiti grigio-nere e metasiltiti carbonatiche (**SGAb**) chiari o nocciola con tentaculiti, intercalate a livelli di metacalcari nodulari (**SGAa**) di colore scuro, con crinoidi ed orthoceratidi. 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, mentre il limite superiore è spesso tettonico. Lo spessore delle lenti carbonatiche intercalate nella successione pelitico-siltitica 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 grazie alla ricca associazione fossilifera a graptoliti, conodonti, scifocrinoidi, crinoidi, tentaculiti e trilobiti.

**(PMN) Complesso di Pala Manna:** la formazione di Pala Manna comprende limitati affioramenti di metaconglomerati da clasto-sostenuti a matrice-sostenuti alternati a livelli di metarenarie grossolane micacee. I clasti, da poco a molto elaborati, sono costituiti da originarie siltiti, liditi e rare vulcaniti acide, e clasti carbonatici della sottostante formazione di Villasalto. Lo spessore del complesso, di difficile stima a causa degli effetti della deformazione varisica e dei contatti tettonici che spesso lo delimitano al tetto e alla base, è limitato a poche decine di metri. L'età della successione è riferibile al Carbonifero inferiore.



Figura 6. 10: UNITA' TETTONICA DEL GERREI Formazione di Monte Santa Vittoria (MSVb).

### 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 cronostatigrafico (dalla formazione più antica verso la più giovane).

**(MSV) Formazione di Monte Santa Vittoria:** è costituita da un complesso vulcanico-epiclastico suddiviso in tre litofacies: metaepiclastiti e metaconglomerati centimetrici con clasti di rioliti (MSVa); metagrovacche e metandesiti (MSVb) in banchi di alcuni metri di spessore, verdastre, alternate a metavulcaniti grigio scure a composizione da andesitica a basaltica; metarioliti afanitiche (MSVc) bianco-giallastre con rari cristalli di feldspato potassico immersi in una massa di fondo sericitica o silicizzata, di spessore di varie decine di metri. Le tre litofacies sopra descritte sono rispettivamente correlabili con le formazioni di Manixeddu, Serra Tonnai e Monte Corte Cerbos affioranti nella Barbagia. L'età attribuita è Ordoviciano medio.

**(ORR) Formazione di Orroledu:** costituito da alternanze di metarenarie e metasiltiti grigie, distinte in due litofacies: metagrovacche e metarenarie arcose (ORRa) affioranti alla base della successione, e metacalcari (ORRc) grigio-bluastri, spesso silicizzati. Lo spessore è estremamente variabile in quanto il contatto di base è trasgressivo, mentre quello di tetto non è esposto visto che attraverso la formazione di Orroledu l'Unità tettonica di Meana Sardo sovrascorre su quella del Gerrei.

**(SGAa) Scisti a Graptoliti – litofacies dei metacalcari:** affiora ad est di Siurgus, ed è costituita da metacalcari scuri fossiliferi. L'età attribuita è Siluriano – Devoniano medio.

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

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

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



Figura 6. 11: Filone di porfido granitico

### 6.1.5 Successione sedimentaria Terziaria

La successione sedimentaria terziaria, che poggia sul basamento paleozoico in discordanza, è ben rappresentata dalle coperture dell'Eocene inferiore.

**(FMCa) Formazione di Monte Cardiga – Litofacies delle arenarie:** nell'area di studio questa formazione affiora in giacitura sub-orizzontale ad ovest di Goni; direttamente discordante sui depositi paleozoici. Si tratta della litofacies basale (**FMCa**) ad arenarie a cemento carbonatico e conglomerati poligenici grossolani a prevalenti clasti elaborati di quarzo, liliti e porfidi in matrice arenacea, in grossi strati, talora intercalate con livelli marnosi fossiliferi. Lo spessore di questa litofacies varia tra 15 e 20 m, e l'età è riferibile all'Eocene inferiore.



Figura 6. 12: Conglomerato basale nella formazione di Nurallao.

## 6.2 Successione vulcano-sedimentaria Oligo-Miocenica

**(USS) Formazione di Ussana:** affiora tra Siurgus Donigala e San Basilio, ed è costituita da conglomerati eterometrici grossolani, con ciottoli e blocchi di dimensioni da centimetriche a decimetriche di rocce del Paleozoico, ben elaborati, alternati a livelli di argille siltose arrossate. Il contatto di base è posto in corrispondenza di una marcata variazione litologica dalle arenarie della formazione sottostante del Cixerri (che non affiora nell'area di studio) e i conglomerati della formazione di Ussana, mentre il contatto superiore con la formazione di Nurallao è graduale.

L'età dei depositi è Oligocene superiore – Miocene inferiore.

**(NLL) Formazione di Nurallao:** affiora a sud di Siurgus Donigala, ed è composta da un membro basale noto come "conglomerato di Duidduru" (NLL1), costituito da depositi conglomeratici eterometrici a ciottoli e blocchi da arrotondati a subarrotondati in matrice grossolana e spesso carbonatica e mediamente cementata, con rare lenti arenacee e/o biocalcareni, e dal membro sommitale delle arenarie di Serra Longa (NLL2), costituite da arenarie da poco a molto cementate, con rari ciottoli paleozoici. Lo spessore totale della formazione, che superiormente passa eteropicamente ai depositi delle formazioni della Marmilla e dei calcari di Villagrecia, non

supera i 100 m. Per il contenuto fossilifero a foraminiferi, echinidi, bivalvi e turrnellidi, la formazione è datata Oligocene superiore – Burdigaliano inferiore.

**(GSTc) Formazione delle Marne di Gesturi** – Litofacies basale: affiora a Siurgus Donigala ed è costituita da arenarie microconglomeratiche e conglomerati discontinui. Lo spessore nell'area di studio arriva a 100 metri, mentre l'età attribuita a tali depositi è Burdigaliano superiore – Langhiano medio-superiore.

### 6.3 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.



Figura 6.13: Depositi alluvionali recenti.

**(bnb) Depositi alluvionali terrazzati:** si tratta di depositi prevalentemente sabbiosi (bnb), di spessore non superiore di 4-5 m, di ambiente di conoide o piana alluvionale e situati in prossimità dei corsi d'acqua. Olocene.

**(a) Depositi di versante:** sono costituiti da 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. 14: Depositi di versante.

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



Figura 6.15: Coltri eluvio-colluviali.

## 7. Analisi delle condizioni geostrutturali generali

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **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 diverse litologie afferenti alle formazioni paleozoiche di San Vito (SVI), dei Porfiroidi (PRFa), dei Metaconglomerati di Muravera (MRV), degli Argilloscisti di Rio Canoni (ACN), della Formazione degli Scisti a Graptoliti (SGAa e SGAb), e della Formazione di Pala Manna (PMN).

Per la determinazione dei parametri geomeccanici delle suddette litologie, sono stati presi in considerazione n° 6 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 giaciture 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), è stato fatto un rilievo geostrutturale (SVI-1), in località Monte Turri, vicino al sito dove verrà installata la turbina WTG001. In questa località le rocce della formazione di San Vito appartengono all'Unità tettonica del Gerrei (subunità di Arcu de Su Bentu).

Il rilievo SVI-1 è stato fatto lungo una linea di 10 m orientata N170 (Fig. 7.1), presso il taglio stradale a sud della turbina WTG001. 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 30 cm, e sono riconoscibili almeno tre famiglie di giunti, due dei quali 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 giaciture delle suddette superfici nella proiezione stereografica (Fig. 7.2 - 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 può riconoscere un set di piani orientato circa NE-SW, con inclinazione media di 40° verso SE.

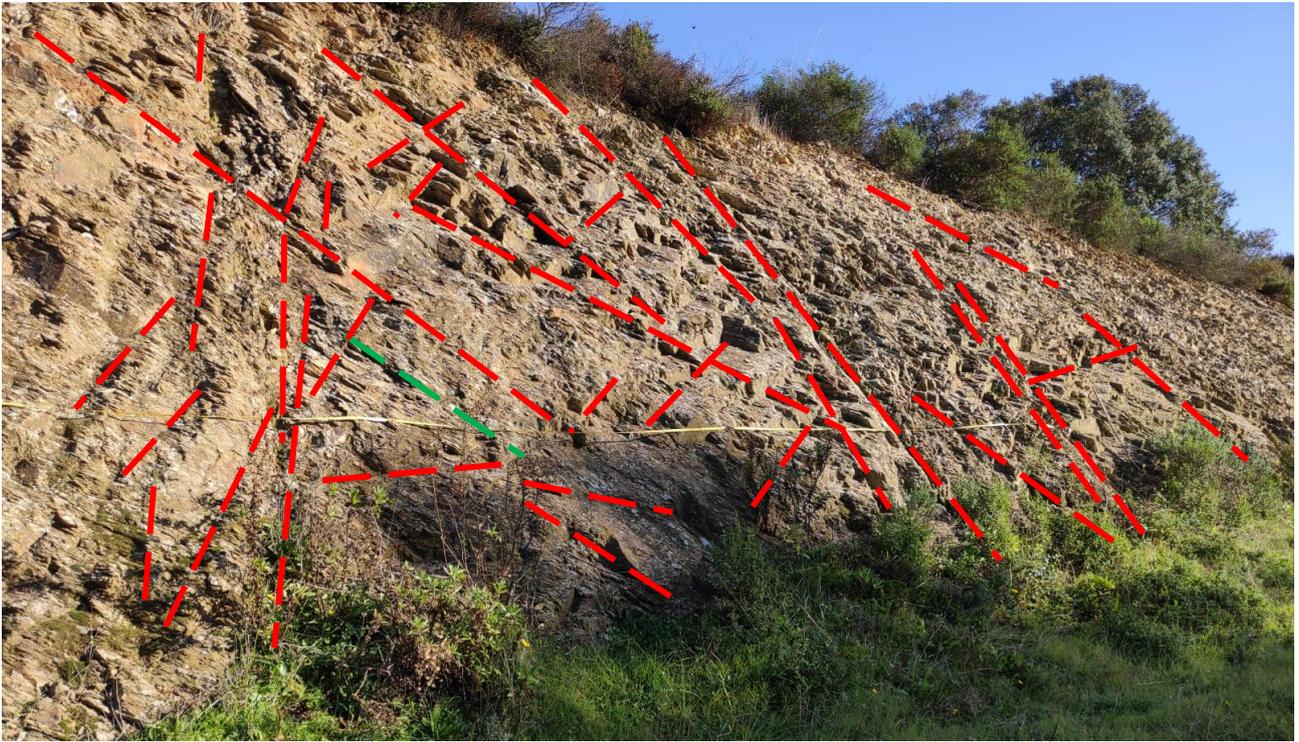


Figura 7. 1: Vista sull'affioramento della Fm. S. Vito (SVI-1) con tracce dei giunti di fratturazione (in rosso)

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

- Un sistema dominante orientato NNW-SSE, con piani subverticali,
- Un sistema orientato NNE-SSW con piani verticali,
- Un sistema minore orientato WNW-ESE con piani subverticali immergenti a S.

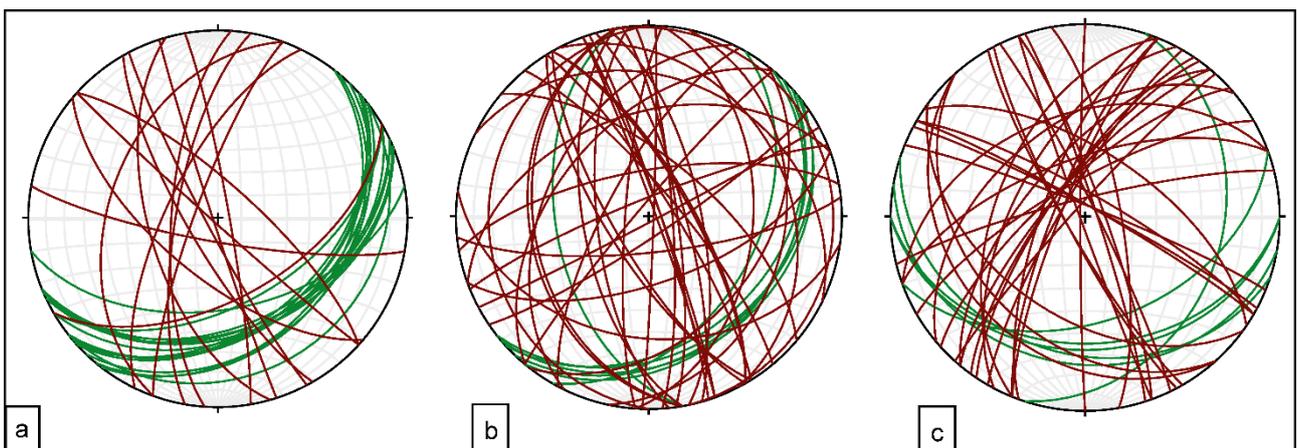


Figura 7. 2: Proiezioni stereografiche delle discontinuità (foliazione in verde, giunti di frattura in rosso) rilevate sugli affioramenti SVI-1 (a) e PRF-1 (b), e ACN-1(c).

### 7.1.2 Formazione dei Porfiroidi

Anche per i Porfiroidi (PRFa) è stato fatto un rilievo geostrutturale (PRFa-1) vicino al sito dove verrà installata la turbina WTG011, in località Conca de Iridu, che ricade nell'Unità tettonica del Gerrei (subunità di Arcu de su Bentu).

Il rilievo PRFa-1 è stato misurato lungo una linea di scansione di 10 m, orientata N180. L'ammasso roccioso si presenta massivo, con una struttura scistosa, e debolmente alterato (Fig. 7.3).

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 25 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 30-40 cm di lato.

Riportando i dati giacitureali delle superfici misurate per il PRFa-a nella proiezione stereografica (Fig. 7.2 – b) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione (in rosso). Si può riconoscere un set di piani di foliazione dominante, con orientamento NE-SW, immersione verso E, debolmente inclinato (circa 30°), e una foliazione meno sviluppata riconoscibile per le lineazioni di intersezione, orientata circa N-S e immergente verso W con piani poco inclinati (40°).

I poli dei giunti di fratturazione sono distribuiti in 2 famiglie, come si può evincere dalla concentrazione degli stessi:

- a) Un sistema orientato NNW-SSE, con immersione verso NE, e giacitura subverticale (80° - 85 °), e un sistema coniugato a 90° che immerge verso W.
- b) Un sistema orientato NE-SW, con immersione verso NW e SW e giacitura da subverticale a mediamente inclinata.



Figura 7.3: Vista sull'affioramento dei Porfiroidi (PRFa-1) con le tracce dei giunti di fratturazione (in rosso).

### 7.1.3 Formazione degli Argillocisti di Rio Canoni

Per gli Argillocisti di Rio Canoni è stato effettuato un rilievo geostrutturale lungo una linea di scansione di 9 metri orientata N180 prossima a dove verrà installata la turbina WTG011, in località Conca de Iridu, ricadente nell'Unità tettonica del Gerrei (subunità di Arcu de su Bentu). L'ammasso roccioso si presenta fratturato, con una struttura scistosa, e debolmente alterato (Fig. 7.3).

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 17 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 decimetri.

Riportando i dati giacitureali delle superfici misurate lungo la linea di scansione nella proiezione stereografica (Fig. 7.2 – c) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione (in rosso). Si possono riconoscere due set di piani di foliazione, di cui una dominante con orientamento E-W, immersione verso S, debolmente inclinato (circa 30°), e una foliazione meno sviluppata riconoscibile per le lineazioni di intersezione, orientata circa NNE-SSW e immergente verso E con piani poco inclinati (30°).

I giunti di fratturazione sono distribuiti in 3 famiglie:

- a) Un sistema orientato WNW-ESE, con immersione verso NE, e giacitura subverticale (80° - 85°), e un sistema coniugato a 90° che immerge verso SW.
- b) Un sistema orientato ENE-WSW, e giacitura subverticale.
- c) Un sistema NNW-SSE a giacitura verticale.



Figura 7. 4: Vista sull'affioramento degli Argilloscisti di Rio Canoni (ACN-1) con le tracce della foliazione (in verde), e dei giunti di fratturazione (in rosso).

#### 7.1.4 Formazione degli Scisti a Graptoliti

Per gli Scisti a Graptoliti è stato effettuato un rilievo geostrutturale lungo una linea di scansione di 10 metri orientata N110, tra i siti di installazione delle turbine WTG011 e WTG012 e WTG013, in località Masoni Maiori. Tale località ricade nell'Unità tettonica del Gerrei (subunità di Monte Lora). L'ammasso roccioso si presenta fratturato, con una struttura scistosa, e debolmente alterato (Fig. 7.5).

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 tre famiglie di giunti, quasi ortogonali tra loro, che intersecandosi creano un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di decimetrici.

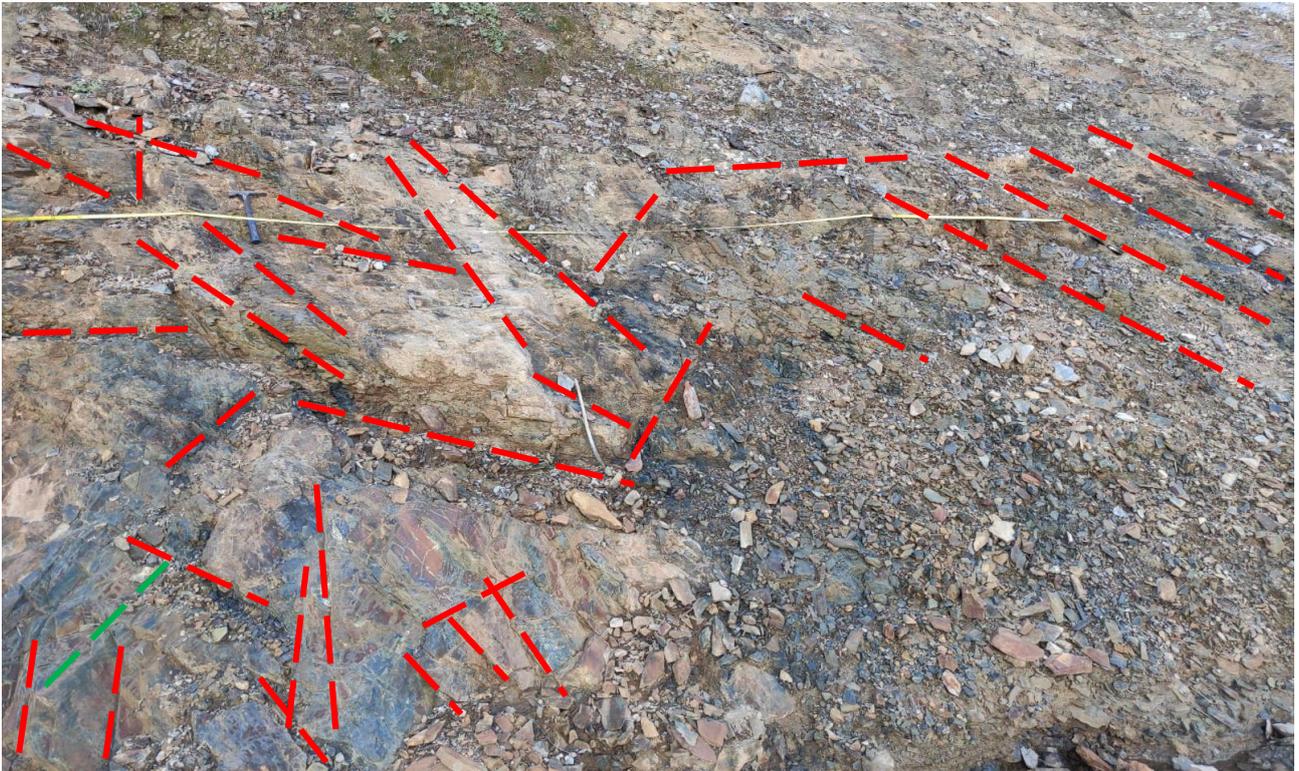


Figura 7.5: Vista sull'affioramento degli Scisti a Graptoliti (SGA-1) con le tracce della foliazione (in verde), e dei giunti di fratturazione (in rosso).

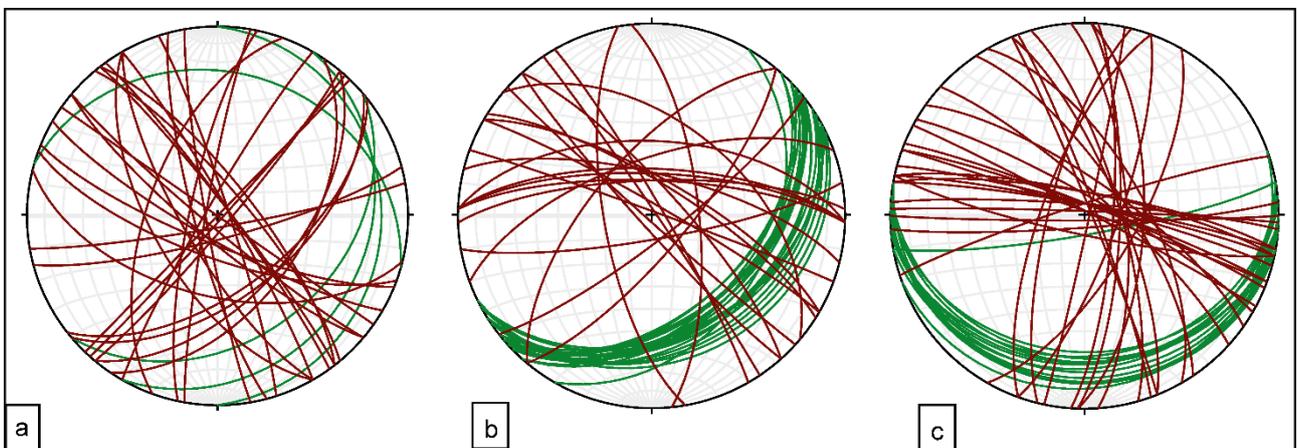


Figura 7.6: Proiezioni stereografiche delle discontinuità (foliazione in verde, giunti di frattura in rosso) rilevate sugli affioramenti SGA-1 (a) e PMN-1 (b), e DV-1(c).

Riportando i dati giacitureali delle superfici misurate lungo la linea di scansione nella proiezione stereografica (Fig. 7.6 – a) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione (in rosso). Si possono riconoscere due set di piani di foliazione, di cui una dominante con orientamento NNE-SSW, immersione verso E, debolmente inclinato (circa 15-30°), e

una foliazione meno sviluppata riconoscibile per le lineazioni di intersezione, orientata circa WNW-ESE e immergente verso NE con piani poco inclinati ( $25^\circ$ ).

I giunti di fratturazione sono distribuiti in 3 famiglie:

- a) Un sistema orientato NW-SE, con immersione verso SE, e giacitura da subverticale a verticale ( $70^\circ - 85^\circ$ ).
- b) Un sistema orientato NE-SW, e giacitura subverticale immergente a SE.
- c) Un sistema ENE-WSW a giacitura verticale.

#### 7.1.4 Formazione di Pala Manna

Per la Formazione di Pala Manna, affiorante nell'Unità tettonica di Riu Gruppa, sono stati effettuati due rilievi geostrutturali: uno per la litofacies silicatica (PMN) e uno per quella dei Metacalcari (dv). Il rilievo per la prima (PMN-1) è stato effettuato lungo una linea di scansione di 10 metri orientata N162, in località Pitzu Muduru. In tale località, l'ammasso roccioso si presenta fratturato, con una struttura scistosa, e moderatamente alterato (Fig. 7.7).

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 17 cm, talora riempite con quarzo. Sono riconoscibili tre famiglie di giunti, quasi ortogonali tra loro, che intersecandosi creano un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di 20-40 cm.

Riportando i dati giacitureali delle superfici misurate lungo la linea di scansione nella proiezione stereografica (Fig. 7.6 – b) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione (in rosso). Si può riconoscere un set di piani di foliazione con orientamento NE-SW, immersione verso SE, mediamente inclinato (circa  $30^\circ-45^\circ$ ), e tre famiglie di giunti di fratturazione:

- a) Un sistema orientato NW-SE, con immersione verso SE, e giacitura da subverticale a verticale ( $70^\circ - 85^\circ$ ).
- b) Un sistema orientato E-W, e giacitura molto inclinata ( $70^\circ$ ) immergente a N.
- c) Un sistema NE-SW a giacitura da inclinata ( $60^\circ$ ) a subverticale, che immerge alternativamente verso NW e SE.

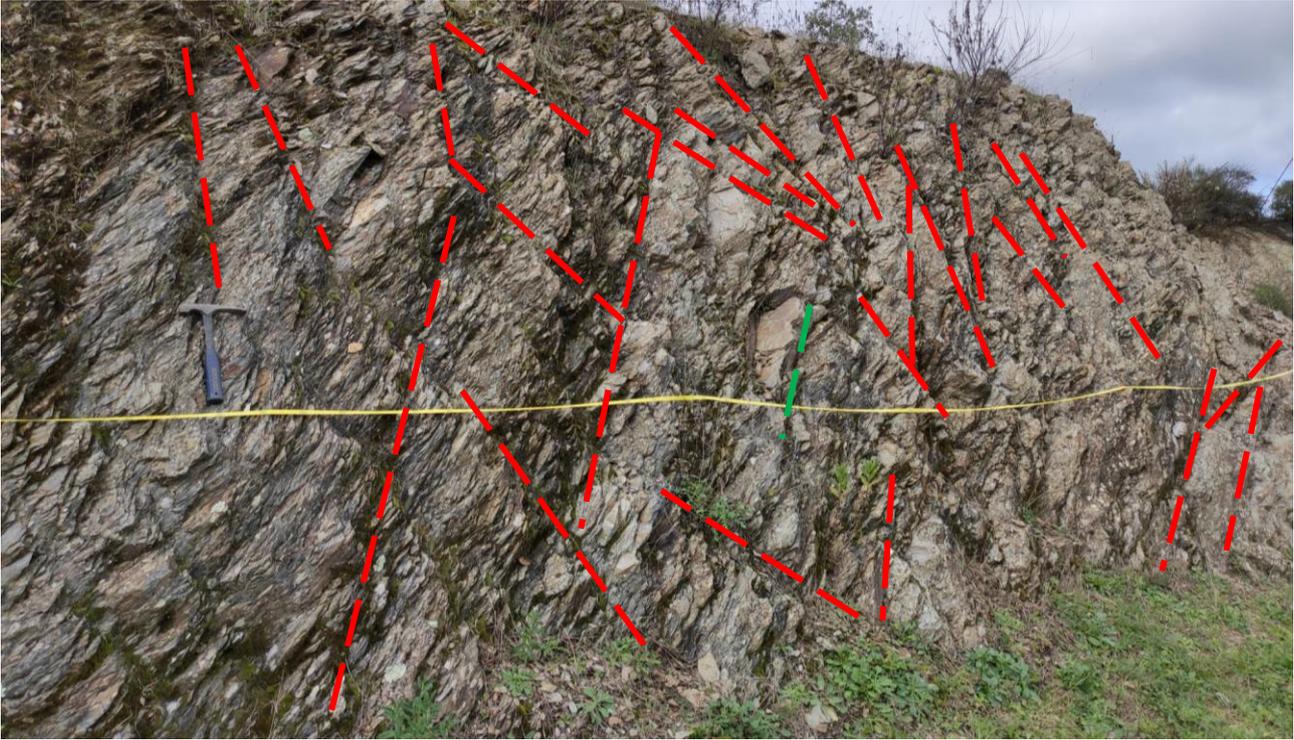


Figura 7.7: Vista sull'affioramento della Formazione di Pala Manna (PMN-1) con le tracce della foliazione (in verde), e dei giunti di fratturazione (in rosso).

Per la Litofacies dei Metacalcari (dv) è stato effettuato un rilievo geostrutturale lungo una linea di scansione di 10 metri orientata N012, in località Perda Scitas. L'ammasso roccioso, affiorante lungo una trincea stradale, si presenta irregolare e fratturato, con una struttura scistosa, e debolmente alterato (Fig. 7.7).

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 18 cm, spesso riempite di calcite. Sono riconoscibili almeno tre famiglie di giunti, quasi ortogonali tra loro, che intersecandosi creano un reticolo di fratturazione che scompone la roccia in blocchi di 20-30 cm.

Riportando i dati giacaturali delle superfici misurate lungo la linea di scansione nella proiezione stereografica (Fig. 7.6 – c) è possibile individuare una serie di piani che rappresentano i piani di foliazione (tracce ciclografiche in verde) e i giunti di fratturazione (in rosso). Si possono riconoscere due set di piani di foliazione, di cui una dominante con orientamento E-W, immersione verso S, debolmente inclinato (circa 15-28°), e una foliazione meno sviluppata, orientata circa E-W a giacitura verticale.

I giunti di fratturazione sono distribuiti in 3 famiglie:

- a) Un sistema orientato NNW-SSE, a giacitura da subverticale a verticale (70° - 85°) immergente verso NE.
- b) Un sistema orientato E-W, a giacitura subverticale e immersione alternativamente verso N e S.

c) Un sistema NNW-SSE a giacitura subverticale con immersione verso NE.



Figura 7. 8: Vista sull'affioramento della Litofacies dei Metacalcari (dv) della Formazione di Pala Manna, con le tracce della foliazione (in verde), e dei giunti di fratturazione (in rosso).

## 8. 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 geostrukturali lo permettono (piani a franapoggio o intersezione di piani con direttrice a franapoggio):

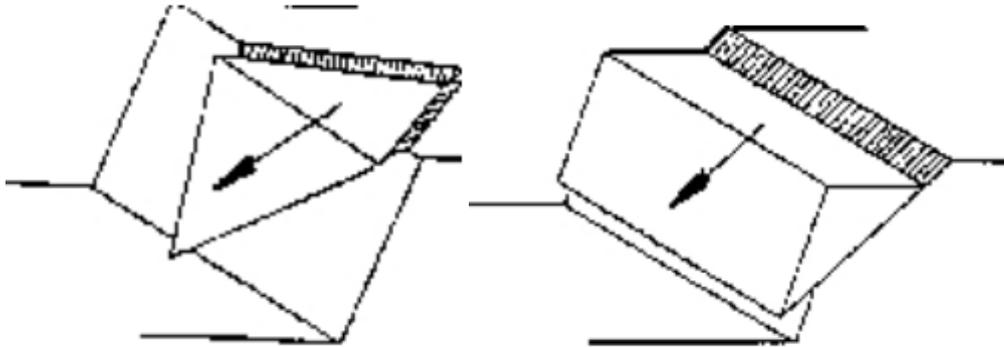


Figura 8.1 – tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

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

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

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

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

A scala media 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 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.

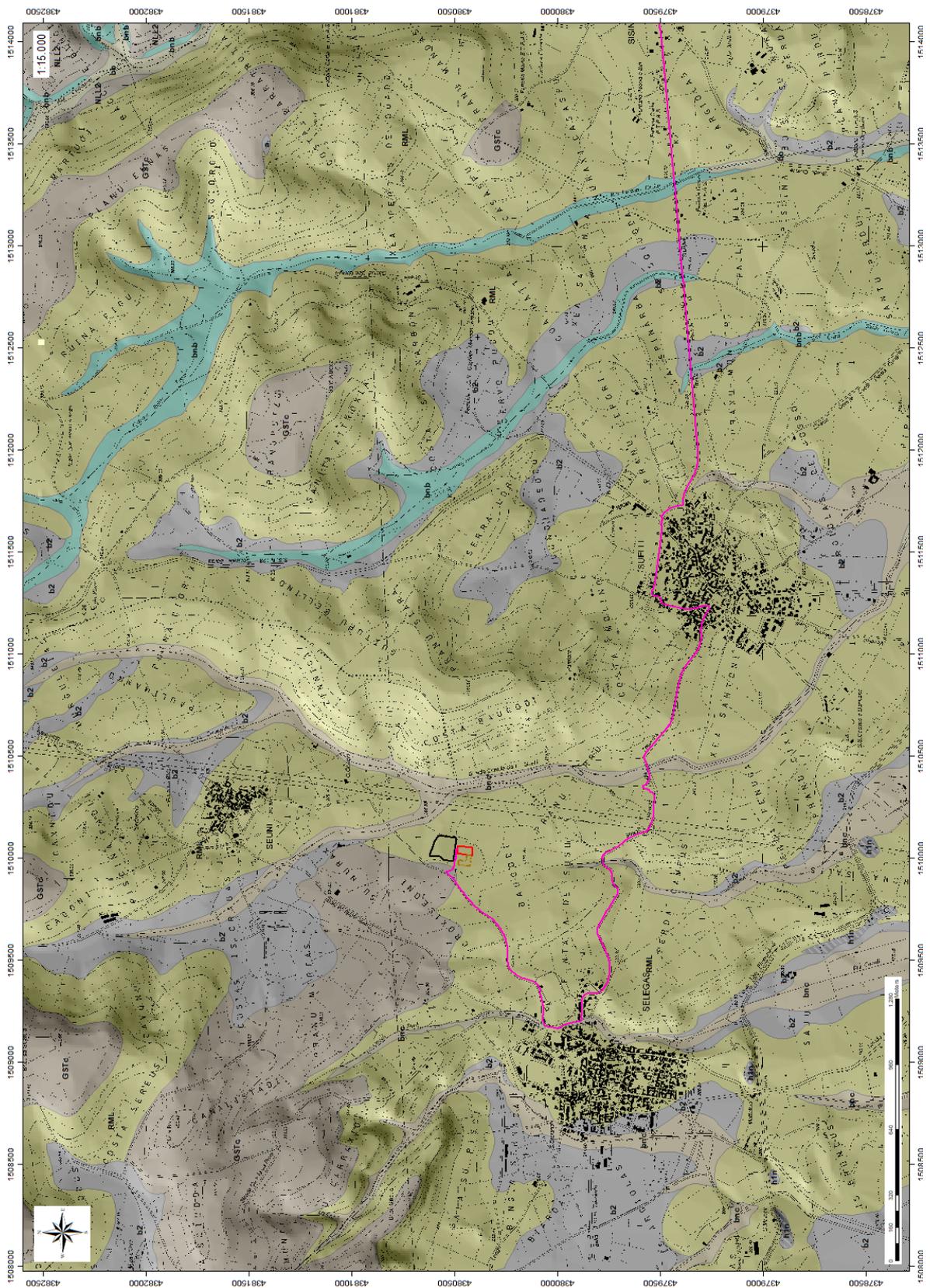


Figura 8.2 -Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu\_INQ\_10k\_Ovest).

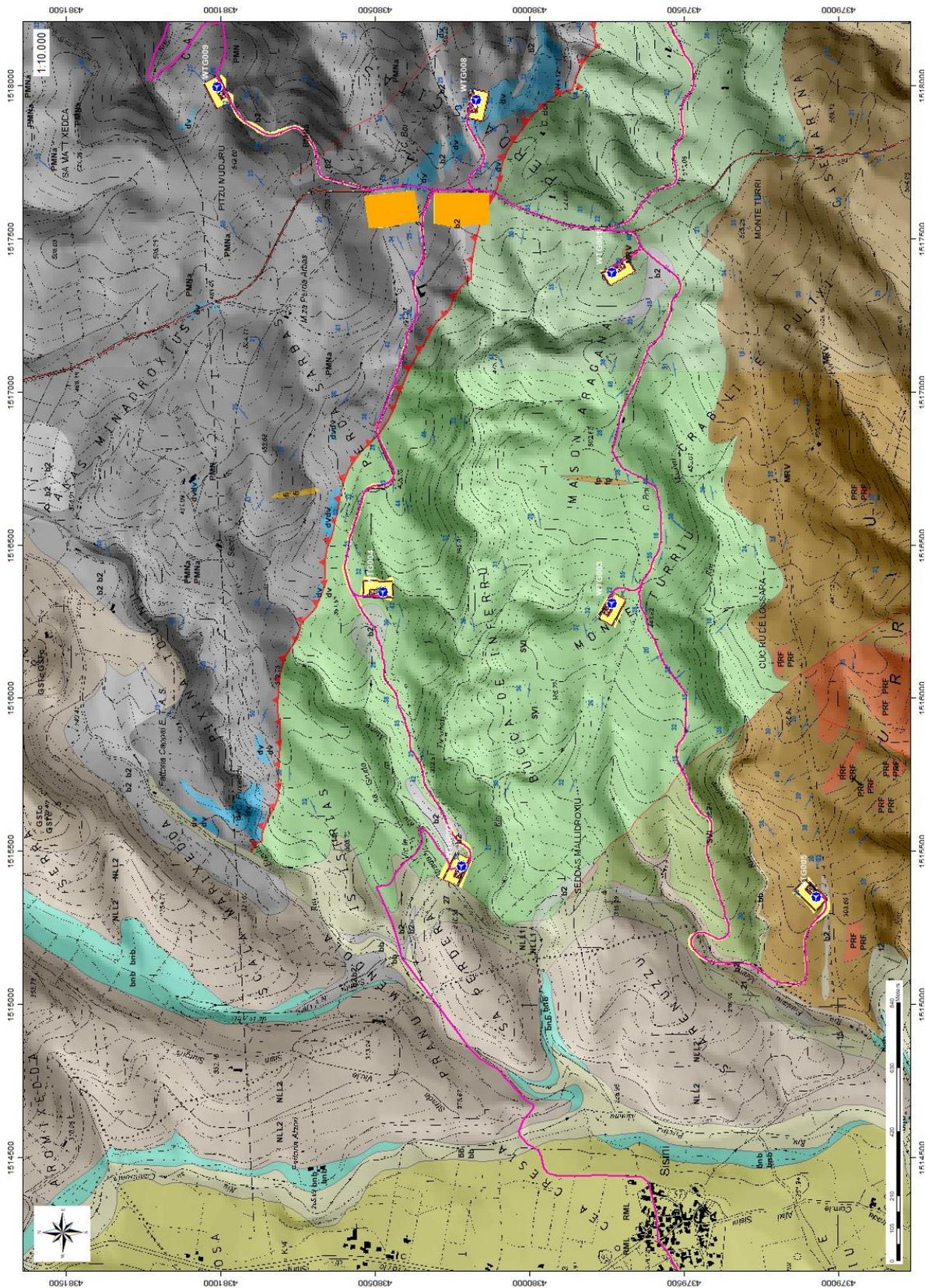


Figura 8.3 - Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu\_INQ\_10k\_Centro-occidentale).

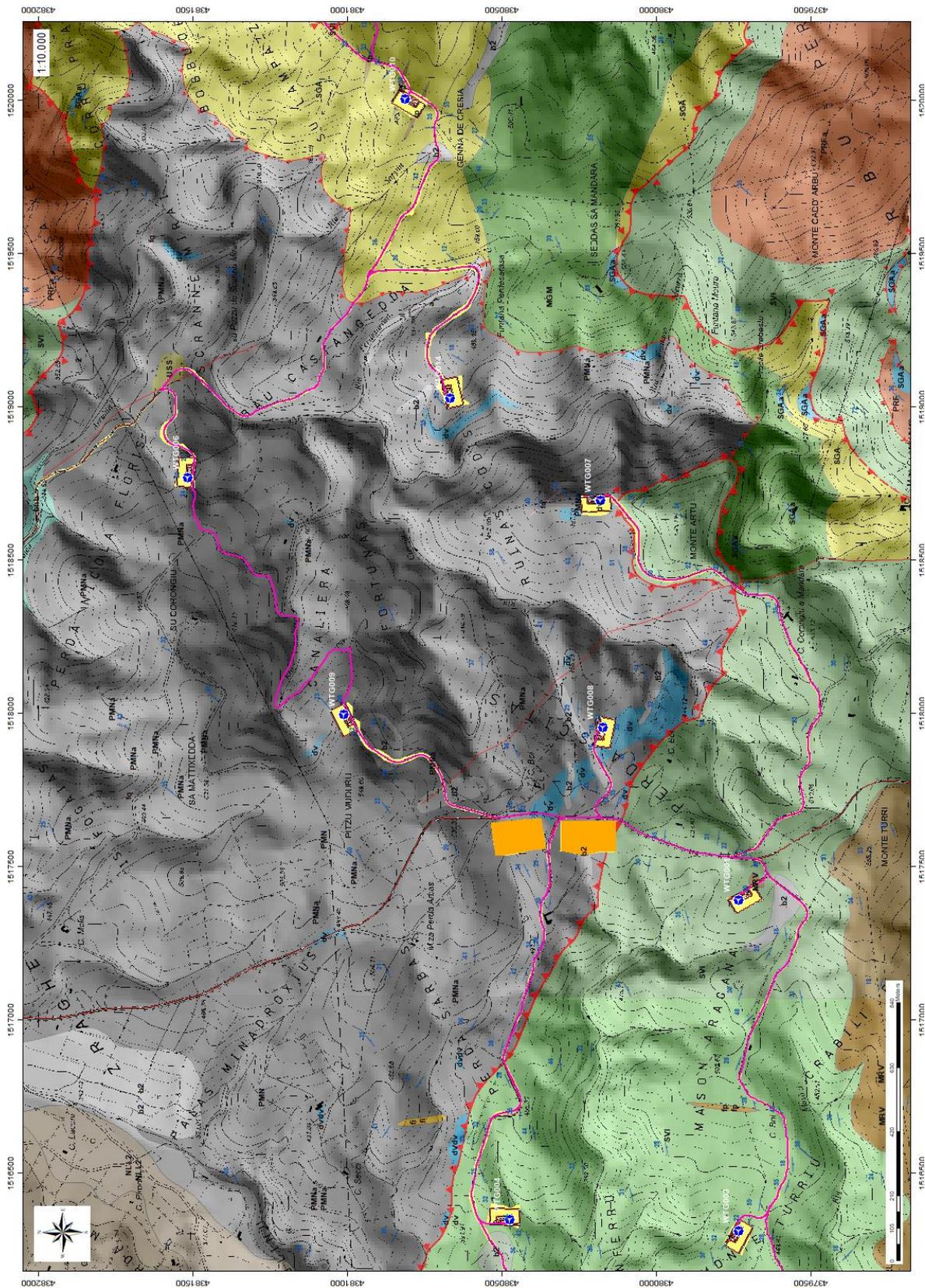


Figura 8.4 - Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu\_INQ\_10k\_Centro-orientale)

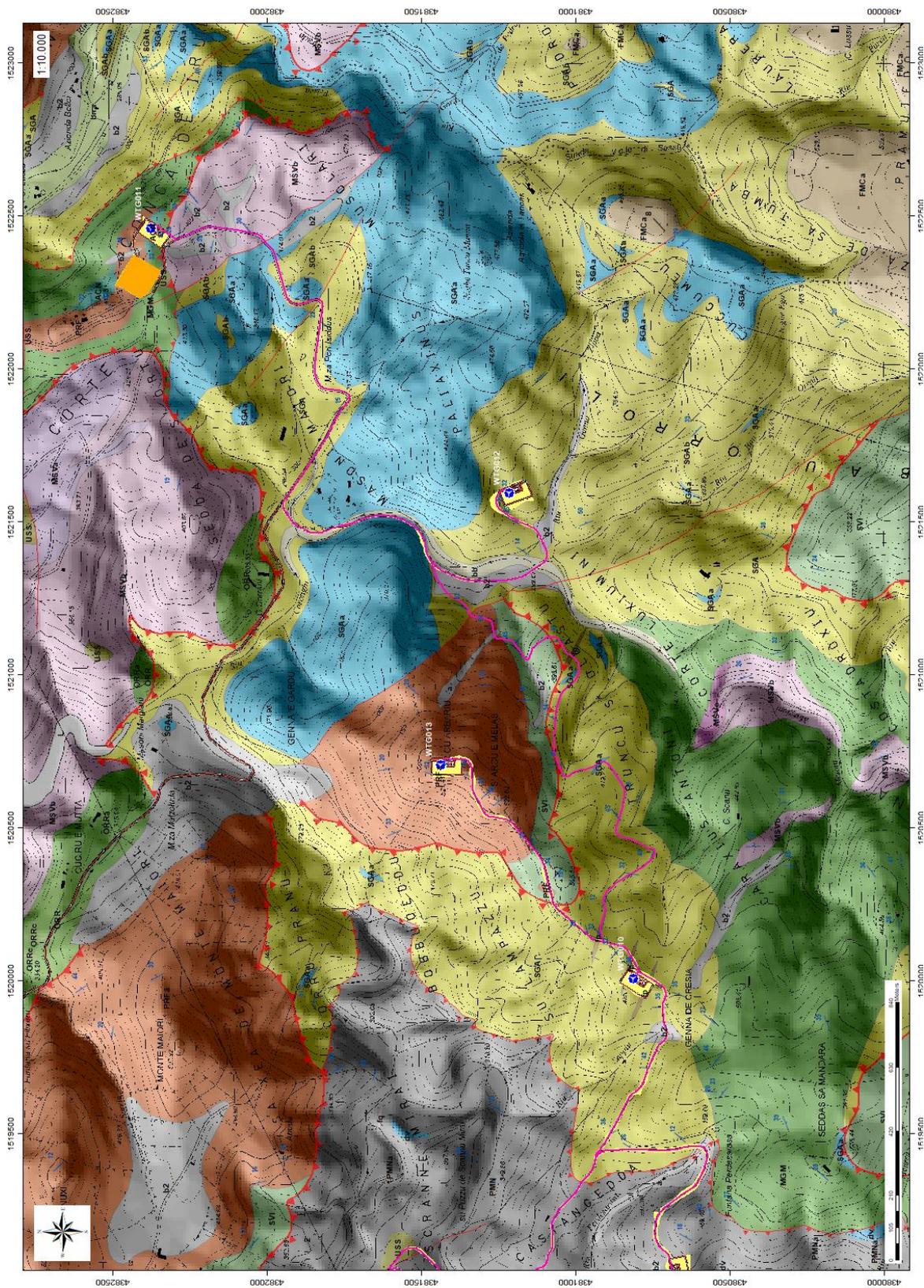


Figura 8.5 - Carta Geologica dell'area di studio (Settore PranuNieddu\_INQ\_10k\_Est)

## Legenda

### Simbologia

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

### Depositi Quaternari

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

### Successione Vulcano-Sedimentaria Terziaria

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

### BASAMENTO VARISCO

#### Corteo Filoniano

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

Figura 8.6 – a): Legenda Carta geologica dell'area di studio.

### Unità Tettonica di Menana Sardo

- ORR<sub>c</sub>** Litofacies nella FORMAZIONE DI ORROELEDU. Intercalazioni di m etacalcari talora silicizzati. ORDOVICIANO SUP
- ORR<sub>a</sub>** Litofacies nella FORMAZIONE DI ORROELEDU. Alternanze di livelli di m etarose e m etagrovacche arcose, quarziti e metaconglomerati quarzosi, in grossi banchi o massivi. ORDOVICIANO SUP.
- ORR** FORMAZIONE DI ORROELEDU. Alternanze irregolari di m etarenarie, m etarenarie quarzose talora grossolane, filladi e m etasiltiti talora fossilifere, con intercalazioni di m etaconglomerati minuti in strati decimetri. ORDOVICIANO SUP.
- MSV<sub>b</sub>** Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metagrovacche vulcaniche e m etavulcaniti; probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonna" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO
- MSV<sub>a</sub>** Litofacies nella FORMAZIONE DI MONTE SANTA VITTORIA. Metaepiclastiti: m etaeiclastiti a matrice vulcanica, metaquarzagrovacche e m etarenarie, metaconglomerati prevalenti con ponenti di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.). ORDOVICIANO ?MEDIO

### Unità Tettonica del Gerrei

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

### Unità Tettonica di Riu Gruppa

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

Figura 8.7 - b): Legenda Carta Geologica dell'area di studio.

## 9. Inquadramento geomorfologico

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi arrotondati e dislivelli dell'ordine di 250 m circa tra monte e valle.

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

I successivi fenomeni di sollevamento tettonico, imputabili all'orogenesi alpina, hanno ridefinito la morfologia del paesaggio operando un ringiovanimento del rilievo. La superficie strutturale paleozoica si è quindi trovata ad una quota maggiore.

Questo ha innescato una nuova azione geomorfogenetica ad opera degli agenti atmosferici (acqua, vento in primis) che hanno rimodellato l'altopiano così come lo conosciamo, ovvero solcato da profonde incisioni vallive che riprendono le linee di fratturazione tettoniche, che isolano il settore montano distinguendolo nettamente dalle aree pianeggianti circostanti.

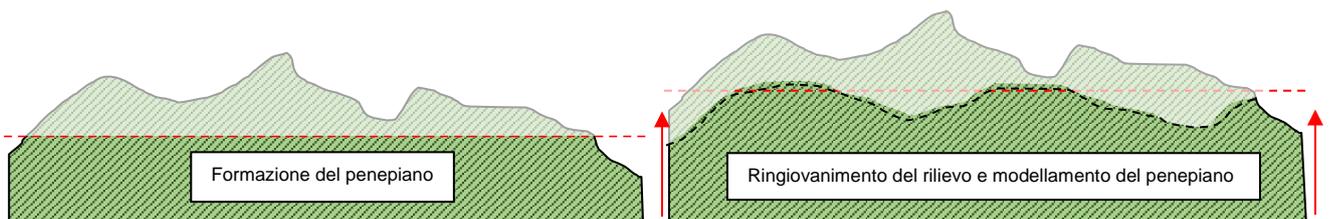


Figura 9.1 - Schema dell'evoluzione geomorfologica del complesso paleozoico (non in scala)

I prodotti di erosione sia della prima fase che della seconda e attuale vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie.

Le morfologie osservabili in quest'area sono strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto delle litologie e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti.

## 9.1 Lineamenti geomorfologici dell'area di studio

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

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

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

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

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



Figura 9.2 - Morfologia del paesaggio nei pressi dell'area di Studio.



Figura 9.3 - Superfici sub-strutturali sulle coperture eoceniche

## 9. 2 Definizione dell'area geomorfologicamente significativa

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

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

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

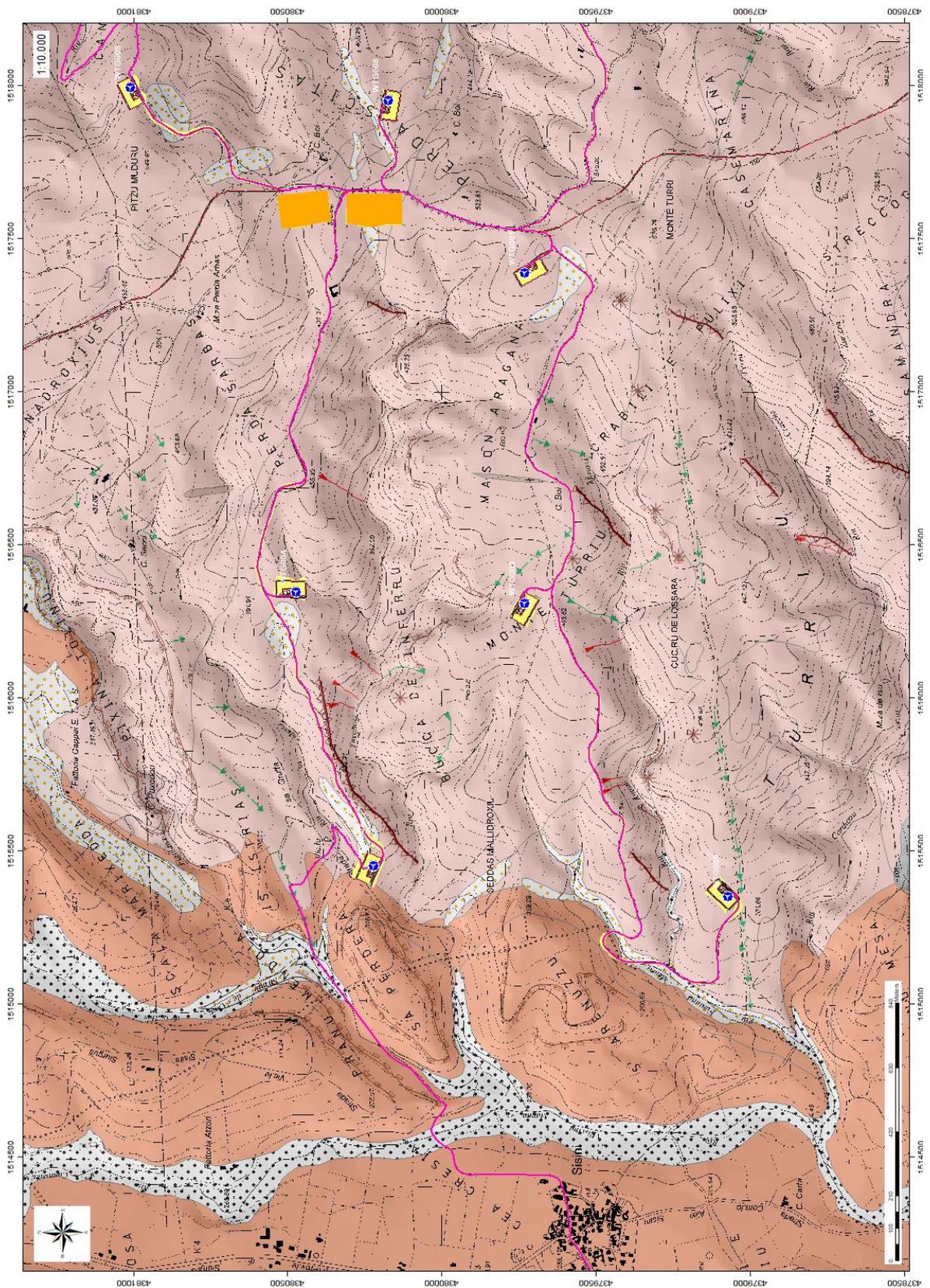


Figura 9.4 - Stralcio Carta Geomorfologica OVEST



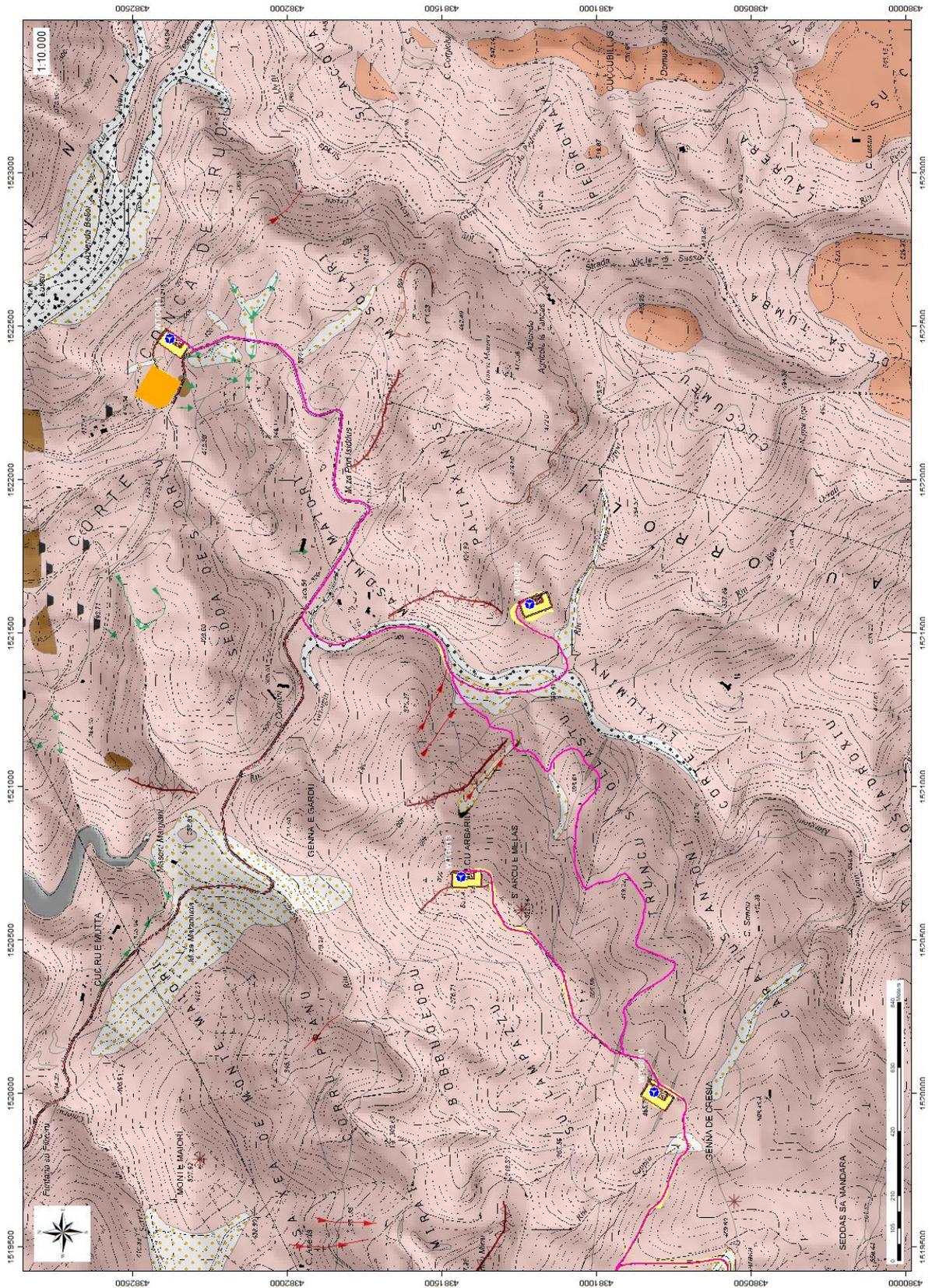


Figura 9.6 - Stralcio Carta Geomorfologica OVEST

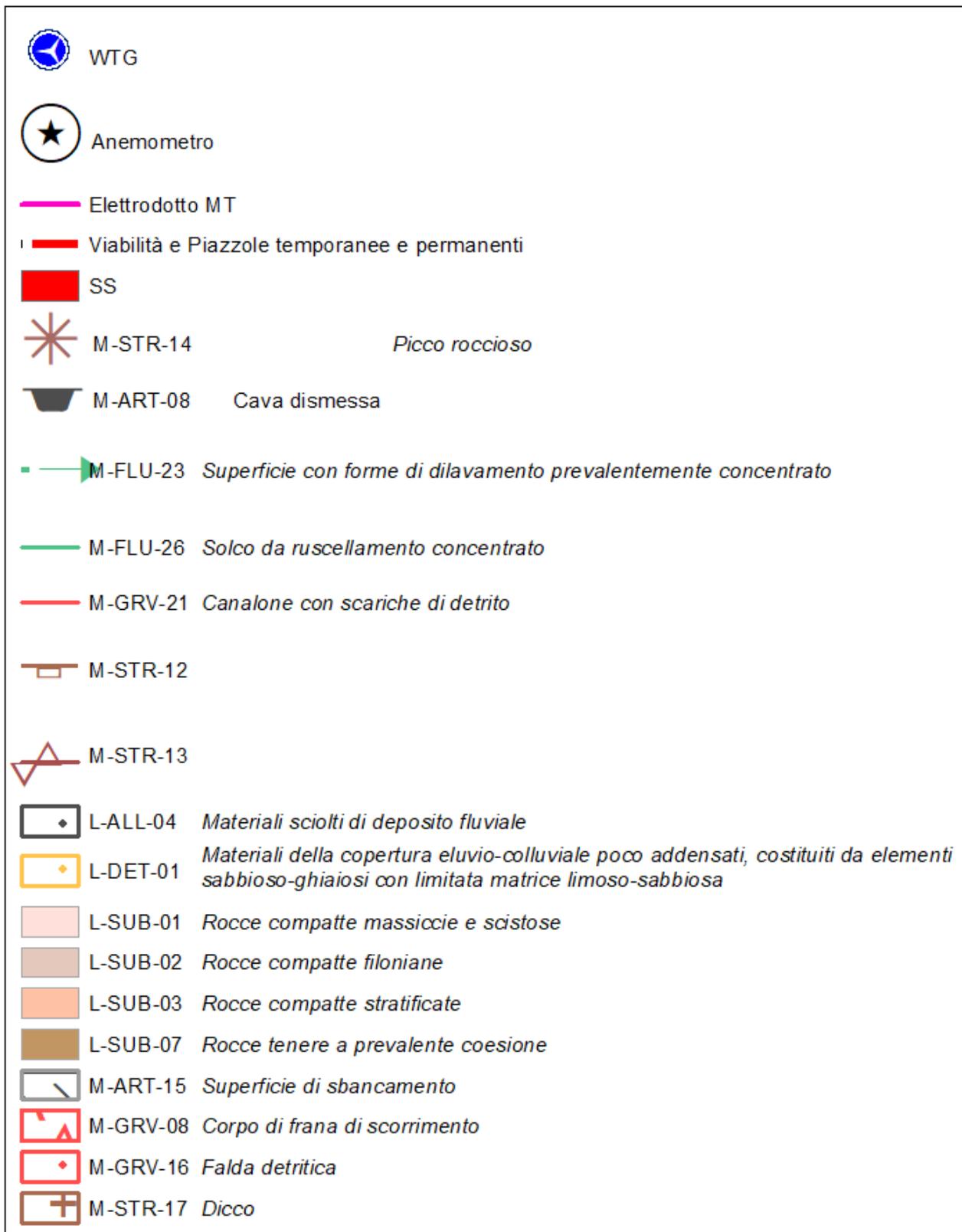


Figura 9.7 - Legenda della Carta Geomorfologica

## 10. Inquadramento idrologico e idrogeologico

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

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



### 10.1 Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea

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

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

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

Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni. Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d'acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione di coltri alluvionali di spessore molto modesto.

Il progetto prevede l'installazione delle torri eoliche sugli alti topografici, e i corsi d'acqua presenti scorrono allontanandosi da queste aree. Ne consegue che, le aree in studio si collocano in concomitanza con gli spartiacque dei bacini idrografici dei fiumi che interessano la zona.

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

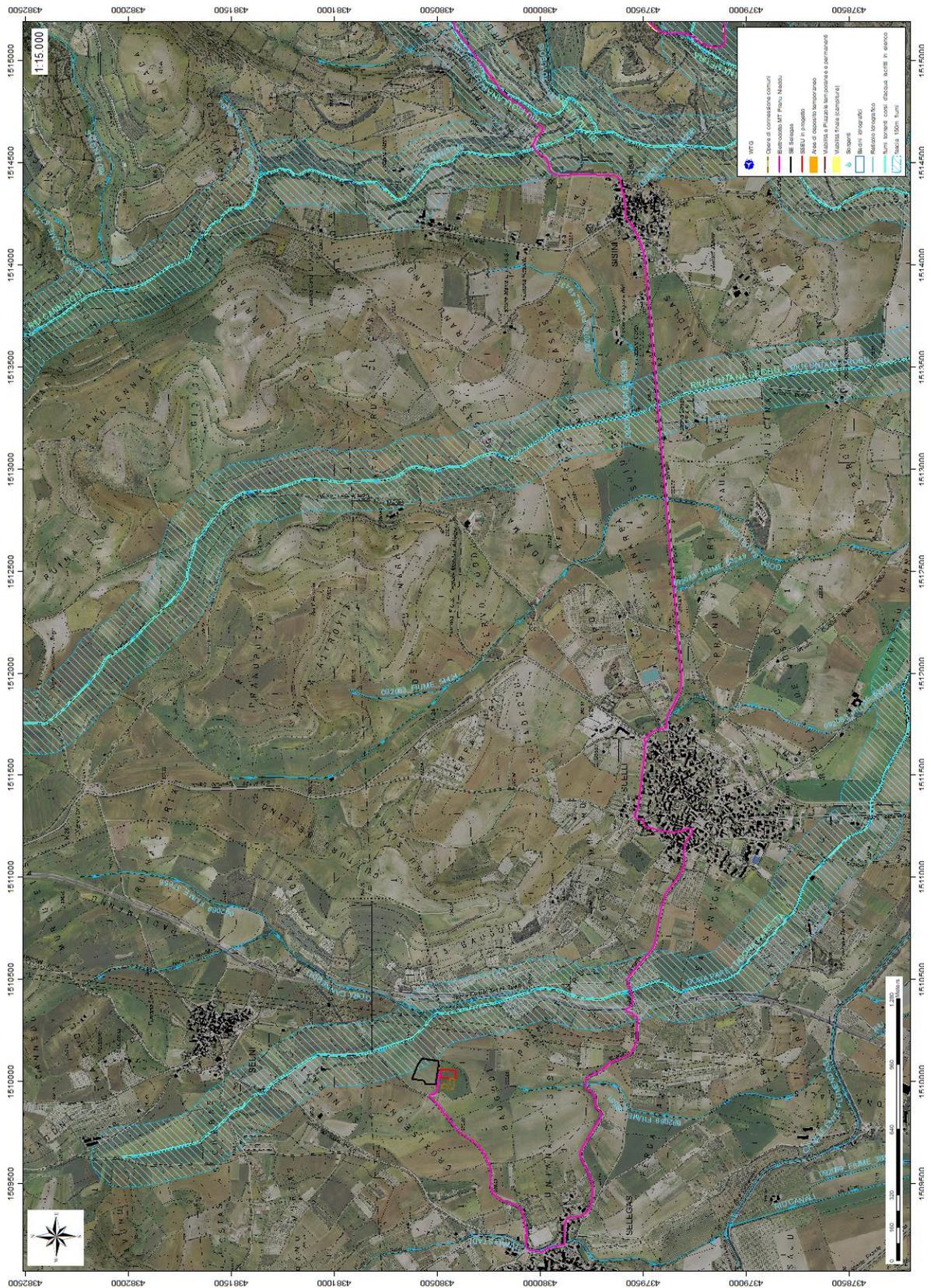


Figura 10.1 - Reticolo Idrografico – Settore OVEST



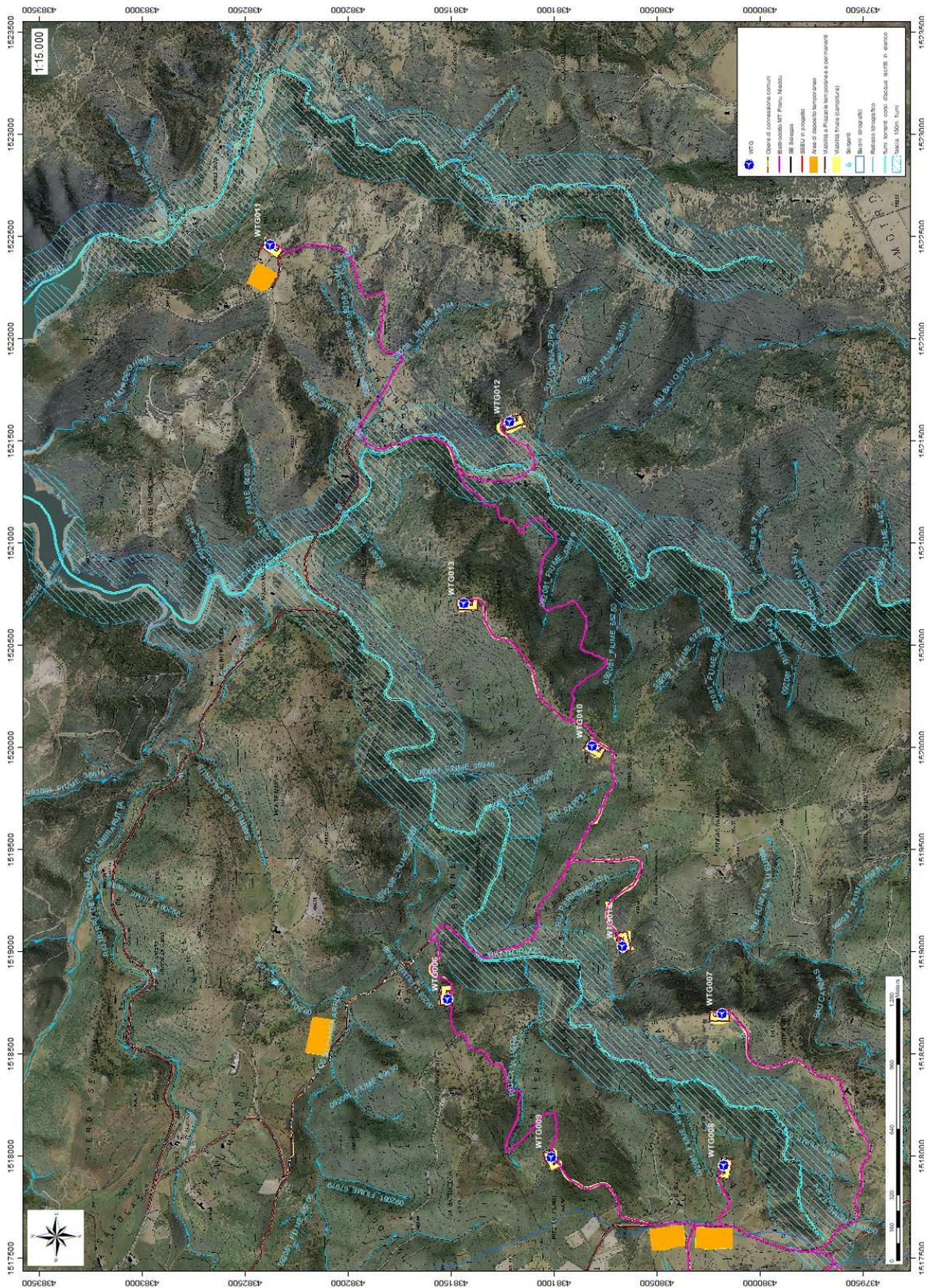


Figura 10.3 - Reticolo Idrografico – Settore EST

## 10.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee

Uno studio idrogeologico ha lo scopo di identificare lo schema di circolazione idrica sotterranea relativo ad una determinata area per poter ricavare informazioni circa i rapporti tra litotipi presenti, la presenza di acqua e le possibili conseguenze derivanti dalla realizzazione di un'opera.

Le rocce si presentano raramente compatte. La proprietà di contenere spazi vuoti tra gli elementi solidi che le compongono, detta porosità, esprime l'attitudine che ha la roccia ad immagazzinare ed a liberare acqua sotterranea.

Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche. A causa dell'acclività dei versanti, i suoli mancano quasi del tutto su molti rilievi, questo è particolarmente evidente in corrispondenza del basamento Paleozoico. L'impermeabilità del bacino, l'acclività dei versanti con la concentrazione stagionale delle precipitazioni, possono determinare deflussi unitari fra i maggiori di tutti i corsi d'acqua della Sardegna soprattutto in corrispondenza degli eventi alluvionali, che interessano con una certa cadenza, gran parte della Sardegna orientale. Complessivamente, le forti pendenze dei versanti non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche: la circolazione idrica profonda è di modesta entità e strettamente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

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

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

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

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

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

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

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

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

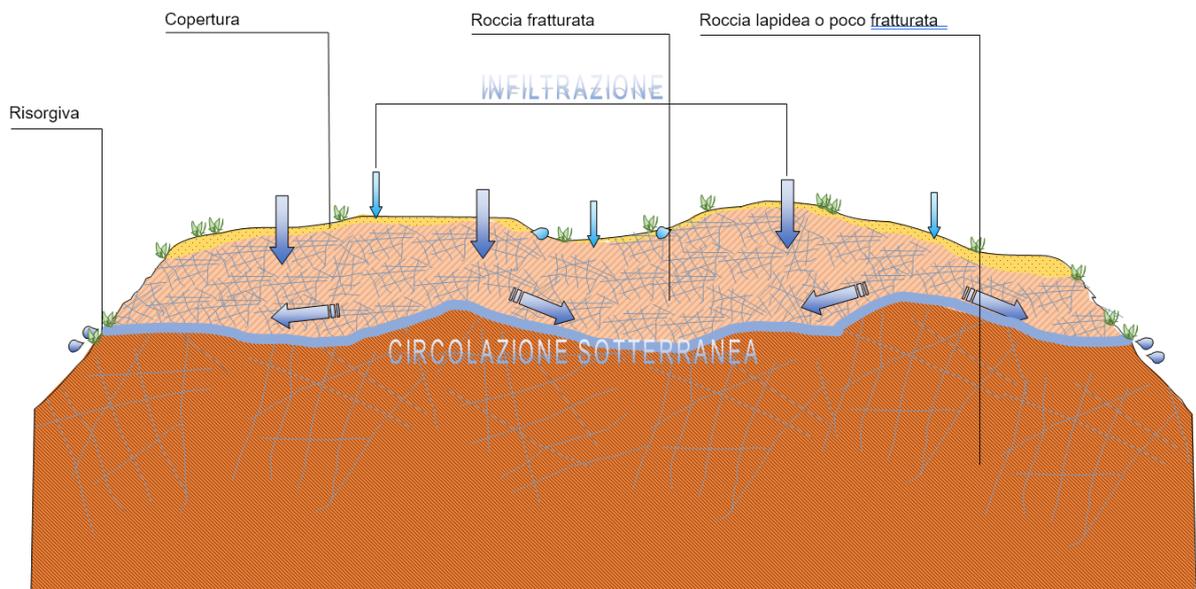


Figura 10.4 -Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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

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

- Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate e raggiungono spessori poco significativi, la permeabilità è di tipo medio-alta per porosità. Le alluvioni terrazzate recenti hanno permeabilità medio-alta e sono di solito sede di una falda freatica di subalveo. I depositi di versante invece essendo in gran parte costituiti da una struttura clasto-sostenuta e scarsa matrice (falde di detrito), presentano una permeabilità molto elevata, in ogni caso i loro spessori esigui non garantiscono una potenza sufficiente per generare acquiferi significativi.

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

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

### 10.3 Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi

Ai fini della tutela della risorsa idrica si è operata una valutazione qualitativa della vulnerabilità degli acquiferi presenti in relazione alle opere da realizzare e in relazione alle varie attività di cantiere.

Non sono presenti sorgenti alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e aree di deposito temporaneo) e la profondità dell'acquifero così come deriva dalle informazioni geologiche è tale che quest'ultimo non venga influenzato dalle opere in possesso e con il normale deflusso delle acque sotterranee. Altresì le opere in progetto non determinano per loro natura produzione di agenti inquinanti che possono riversarsi nella circolazione idrica sotterranea se non per accidentale guasto meccanico che andrà trattato con le opportune misure di salvaguardia dettate dal T.U. sull'Ambiente.

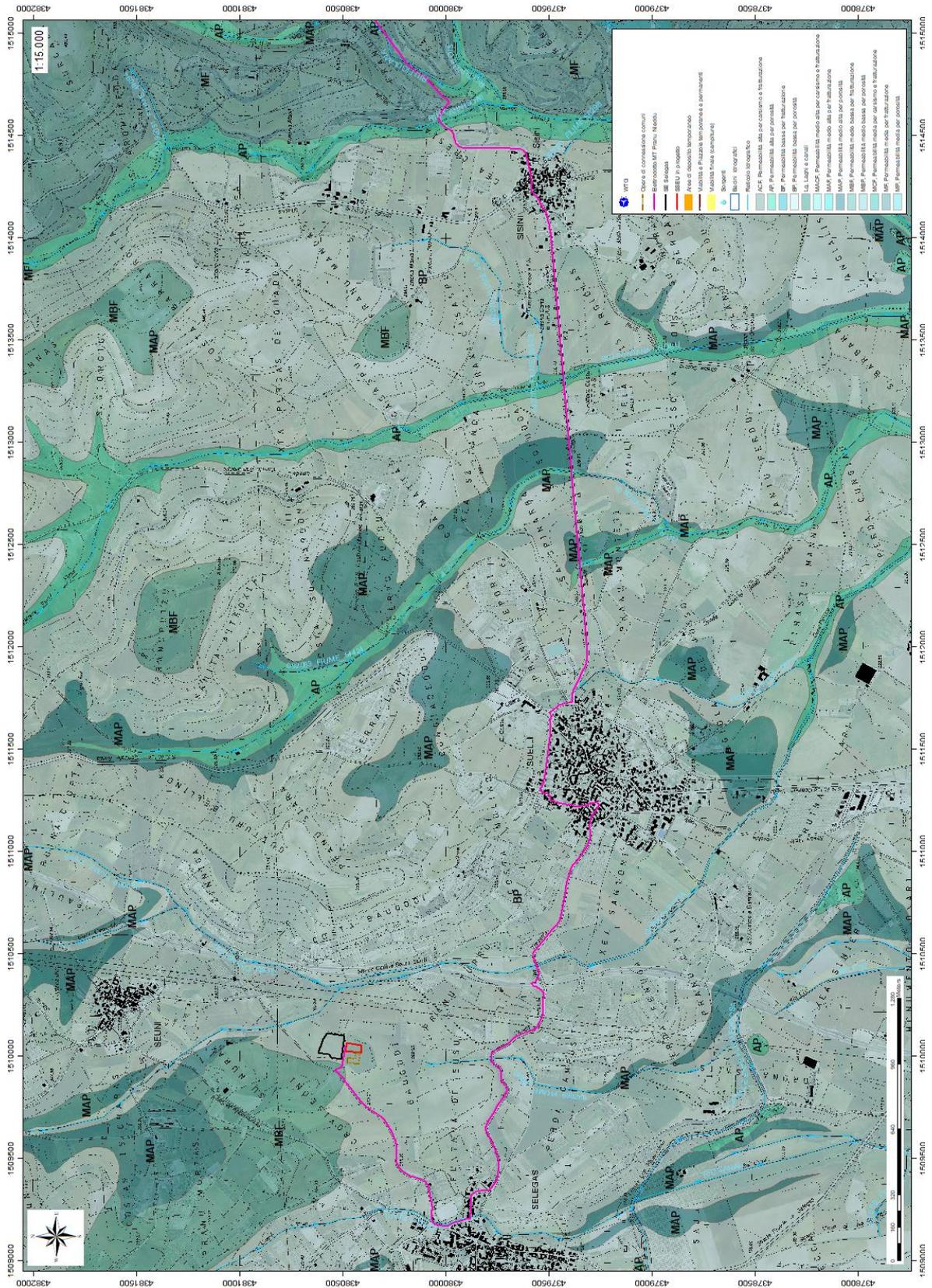


Figura 10.5 - Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Ovest (Fonte RAS)

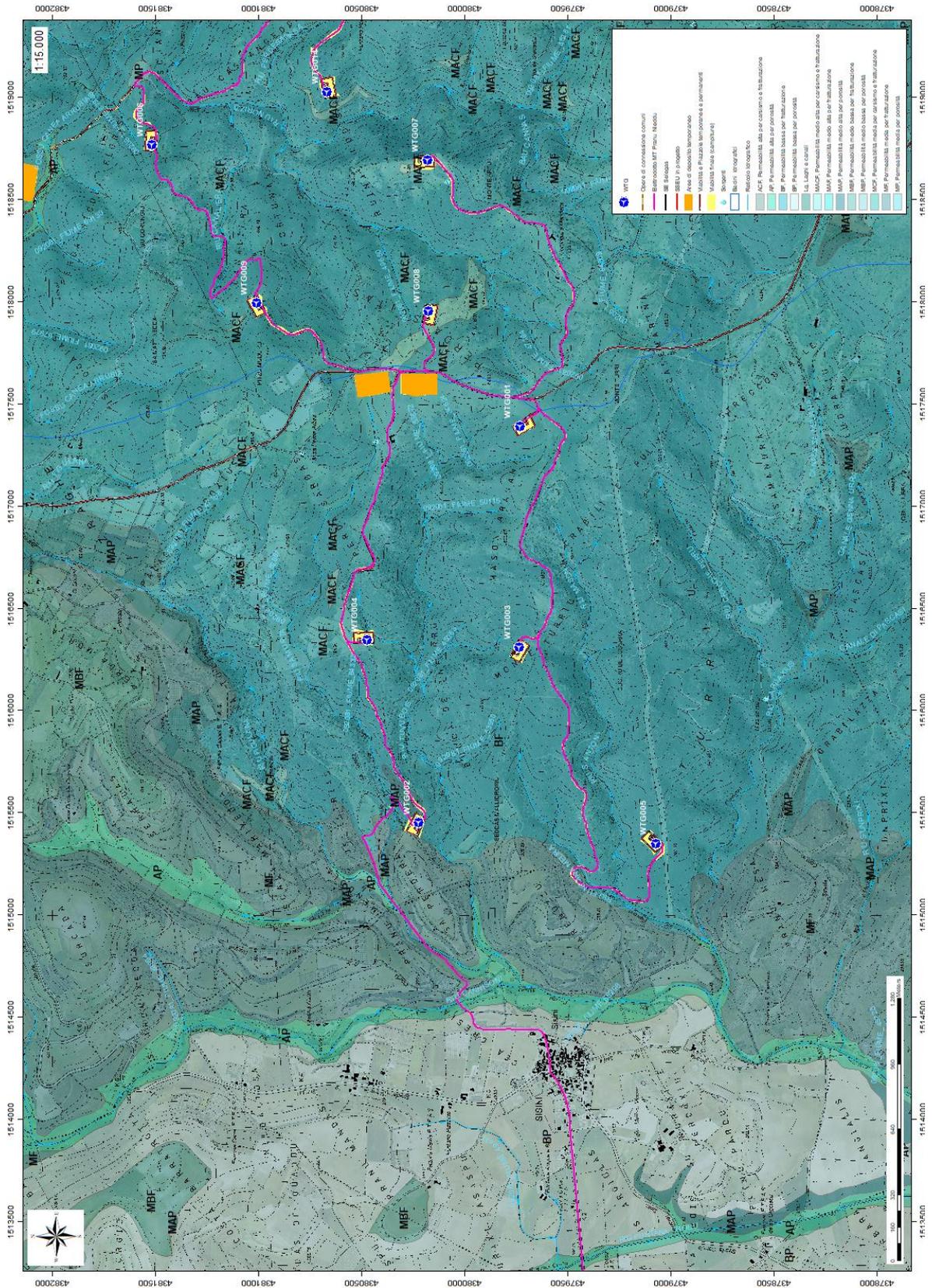


Figura 10.6 - Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore centrale (Fonte RAS)



Figura 10.7 - Carta delle Permeabilità dei Substrati e dei Suoli - settore Est (Fonte RAS)

## 11. Inquadramento climatico

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

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

Nelle zone più interne, come gli altopiani e le vallate spesso incastonate tra i rilievi, il clima acquista caratteri continentali con forti escursioni termiche, risultando particolarmente basse le minime invernali in caso di inversione termica, con temperature che possono scendere anche al di sotto dei -10/-12 C. Sui massicci montuosi nei mesi invernali 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.

**Tabella 11.1 - Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Senorbì (per l'anno 2016) e di Goni (per tutto l'arco 2008-2018) .**

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2018	14,4	66,6	201,3	53,5	140	81,2		106	28,2	215,4	166,5	6,9	1080
2017	121,4	58,2	5,8	37,6	0,2	1	0	0	23,8	3,7	45,8	74,2	371,7
2016	0	23,8	57,4	4,8	38,2	0,4	6,2	0,2	123,6	3,4	74	78	410
2015	41,8	114	94,6	4,6	11,6	27,8	0	22,8	32,2	81,6	31,8	0,6	436,4
2014	113	44,5	87,1	23,2	41,4	1,8	6,6	2,2	1,4	33,4	68	89,8	512,4
2013	90	66,1	126,1	49	28,9	2,1	73,8	10,4	65,6	14,7	168,8	100,2	795,7
2012	32	81,2	2,4	100,9	71,4	0,1	8,6	2	24,8	90	69	31,6	514
2011	35,4	102,6	83,8	38	27,2	2,6	4,4	10	21,6	7,6	222,2	50,4	605,8
2010	154,6	79,6	41	55,8	48,4	49,6	27,8	4,4	4,2	94,6	147,2	103	810,2
2009	96,2	41,8	31	128	31,4	10,6	4,8	1,8	225	24,4	29,6	57,2	681,8
2008	37	23,4	55,6	25	16	2,8	2	4,8	23,6	48,2	96,4	79,2	414

L'andamento climatico del territorio di Siurgus Donigala e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Senorbì e Goni, localizzate rispettivamente circa 8,8 km e 8,3 km a SW e E del settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio (Tab.10.1) è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2018 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S., così come i dati termometrici, relativi però alla stazione di Senorbì.

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

Alla stazione di Cagliari - Elmas sono riferiti i dati sulla nuvolosità, umidità relativa e ventosità, estrapolati dalla Rete Mareografica dell'ISPRA.

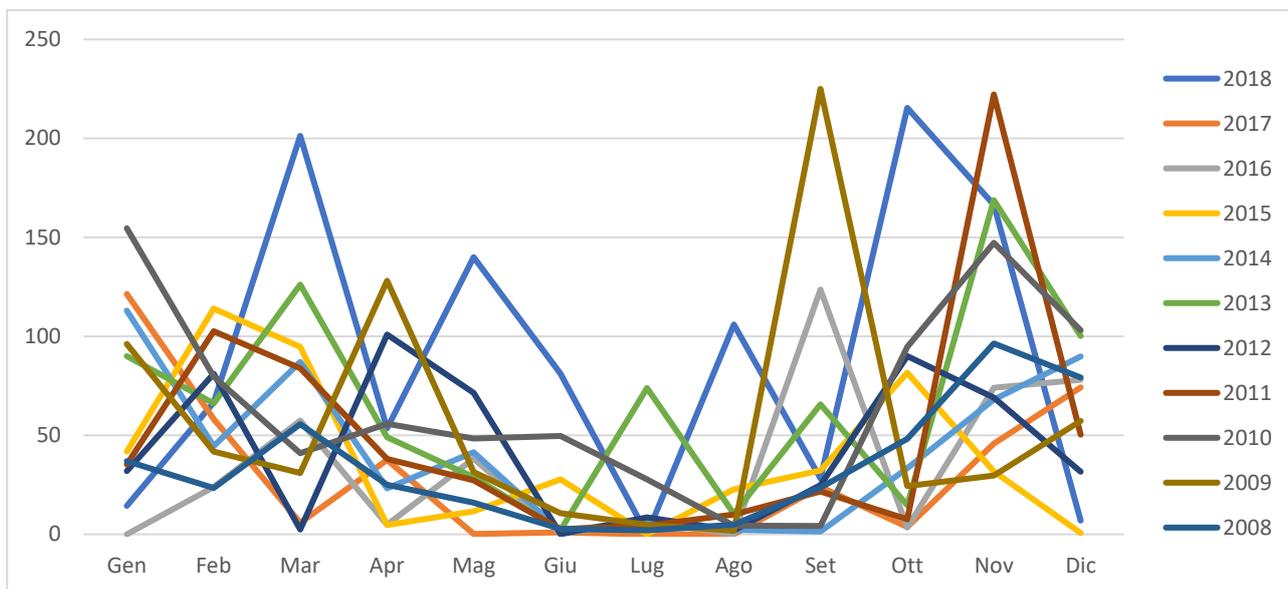
## 11.1 Precipitazioni

Nella Fig. 10.1 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2018 registrati nella stazione di Goni e di Senorbì (unicamente per l'anno 2015). Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale

di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2018 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto (Tab.10.2).

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 663 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2018.

**Tabella 11.2 - Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Goni (e Senorbì per il solo 2015) nel periodo 2008-2018.**



L'andamento pluviometrico dell'area di Siurgus Donigala 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. 10.2).

### 11.2 Temperature

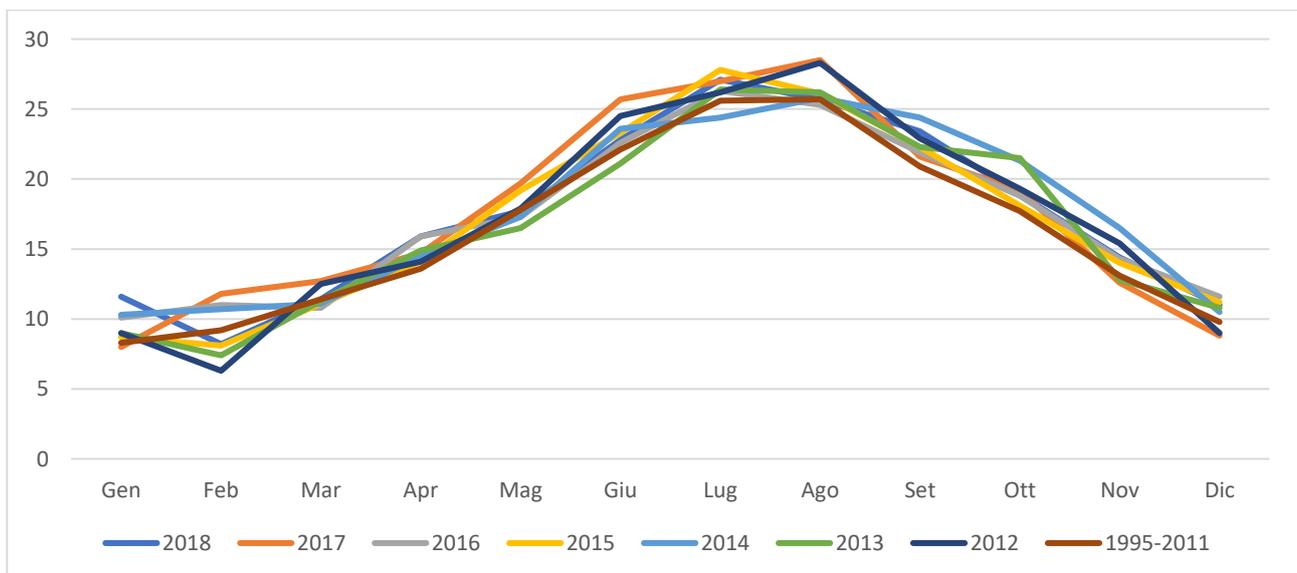
I valori termometrici della stazione meteo di Siurgus Donigala, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab.10.3 e sono relativi alla stazione di Senorbì per gli anni dal 2012 al 2018, e alla stazione di Goni per l'intervallo 1995-2011. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 17 °C. Il mese più freddo è Gennaio con una media di circa 9°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 26 °C.

Tabella 11.3 - Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Senorbì negli anni dal 2018 al 2012, e presso la stazione di Goni per il periodo 1995-2011.

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

Nel grafico di Tab.10.4 è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 1995-2011 registrate nella stazione di Goni, e per gli anni dal 2012 al 2018, relativamente alla stazione di Senorbì.

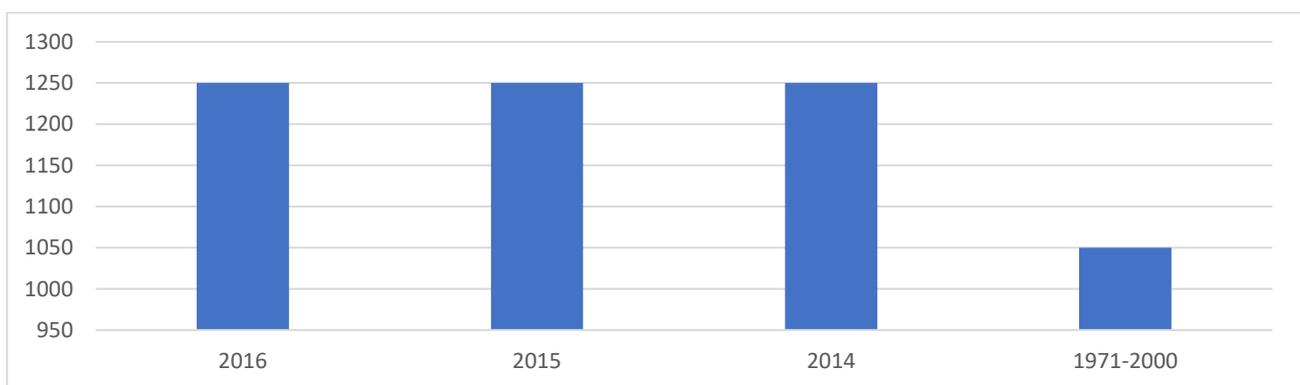
Tabella 11.4 - Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Senorbì per gli anni 2012-2018, e nella stazione di Goni per il periodo 1995-2011.



### 11.3 Stima dell'Evapotraspirazione

L' evapotraspirazione è uno dei parametri più significativi nell'ambito di un bilancio idrologico e rappresenta la perdita di una parte delle acque di precipitazione, per evaporazione dal suolo e per traspirazione della vegetazione. Viene calcolata tenendo conto della temperatura e delle precipitazioni, e viene influenzata dalla nuvolosità, dall'umidità relativa e dalla ventosità. Nel grafico di Figura 10.6 è illustrata l'evapotraspirazione per la zona di Siurgus Donigala ricavata dai dati reperibili sul WebGIS dell'ARPAS.

Tabella 11.5 - Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Siurgus Donigala.



La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. Nella tabella di Fig. 10.7, 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.

Tabella 11.6 - Media mensile e annuale dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1922-1992, relativa alla stazione di Cagliari – Elmas.

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

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.

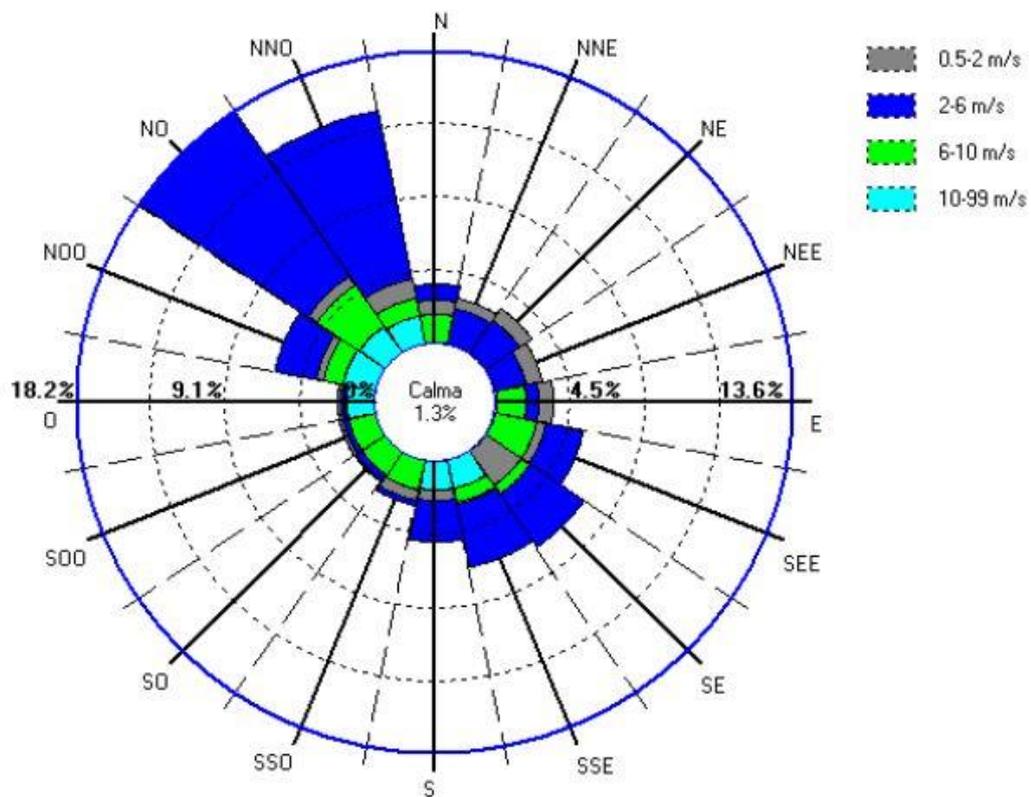


Figura 11.8: Ventosità media annuale per la stazione di Cagliari – Elmas relativa all'anno 2014.

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.

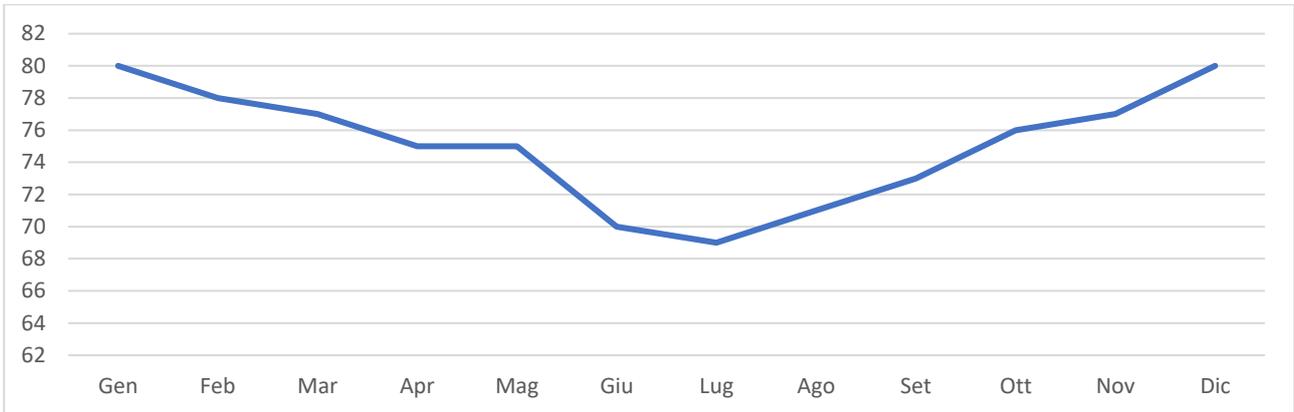


Figura 11.9: Umidità relativa per la stazione di Cagliari-Elmas, per l’anno 1975.

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.10.10) che riporta i valori dell’umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Cagliari-Elmas per l’anno 1975, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Dicembre-Gennaio) e valori minimi nel mese di Luglio.

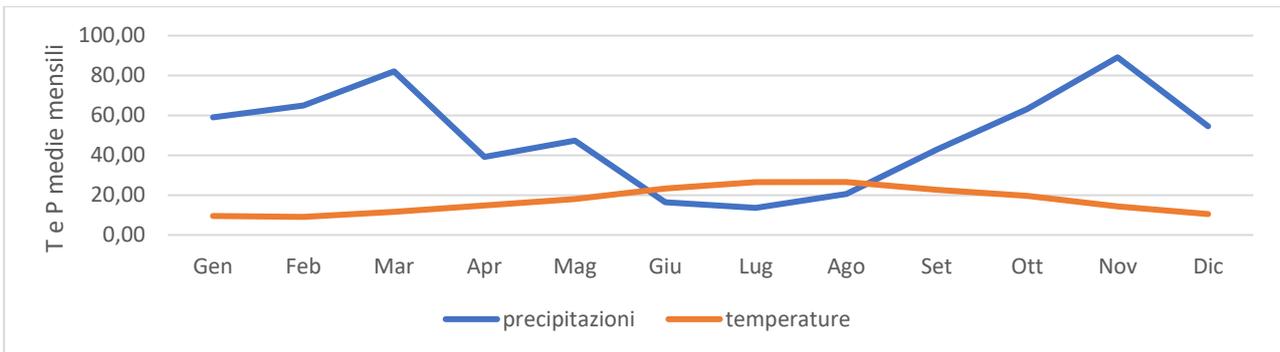


Figura 11.10: Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Siurgus Donigala.

Il diagramma ombrotermico elaborato per il settore di Siurgus Donigala (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 considerato. 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.

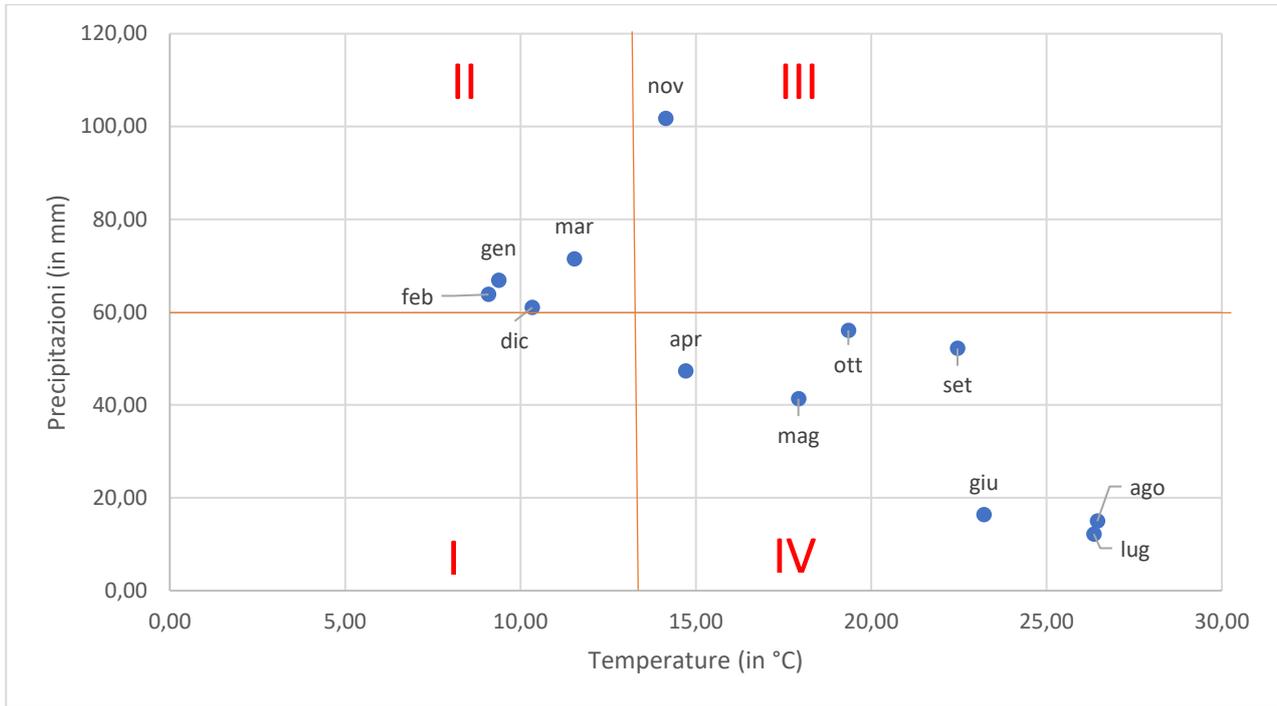


Figura 11.1 - Climogramma relativo alla regione di Siurgus Donigala

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 2012-2018 permette di classificare il clima dell'area di Siurgus Donigala 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 2012-2018 per l'area di Siurgus Donigala, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

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

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

## 12. Inquadramento pedologico

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

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

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

Nell'area di progetto dove verranno installate le turbine WTG001, WTG002, WTG003, WTG004, WTG005, WTG006, WTG007, WTG008, WTG009, WTG010, WTG013, e WTG014 sono presenti suoli dell'unità B2 della Carta dei Suoli della Sardegna - Profili A-C, A-Bw-C e subordinatamente roccia affiorante, da poco a mediamente profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subacidi, parzialmente desaturati.

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

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

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

## 13. Uso del Suolo

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

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

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

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

## 14. Analisi dei vincoli gravanti sui terreni

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

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

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

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

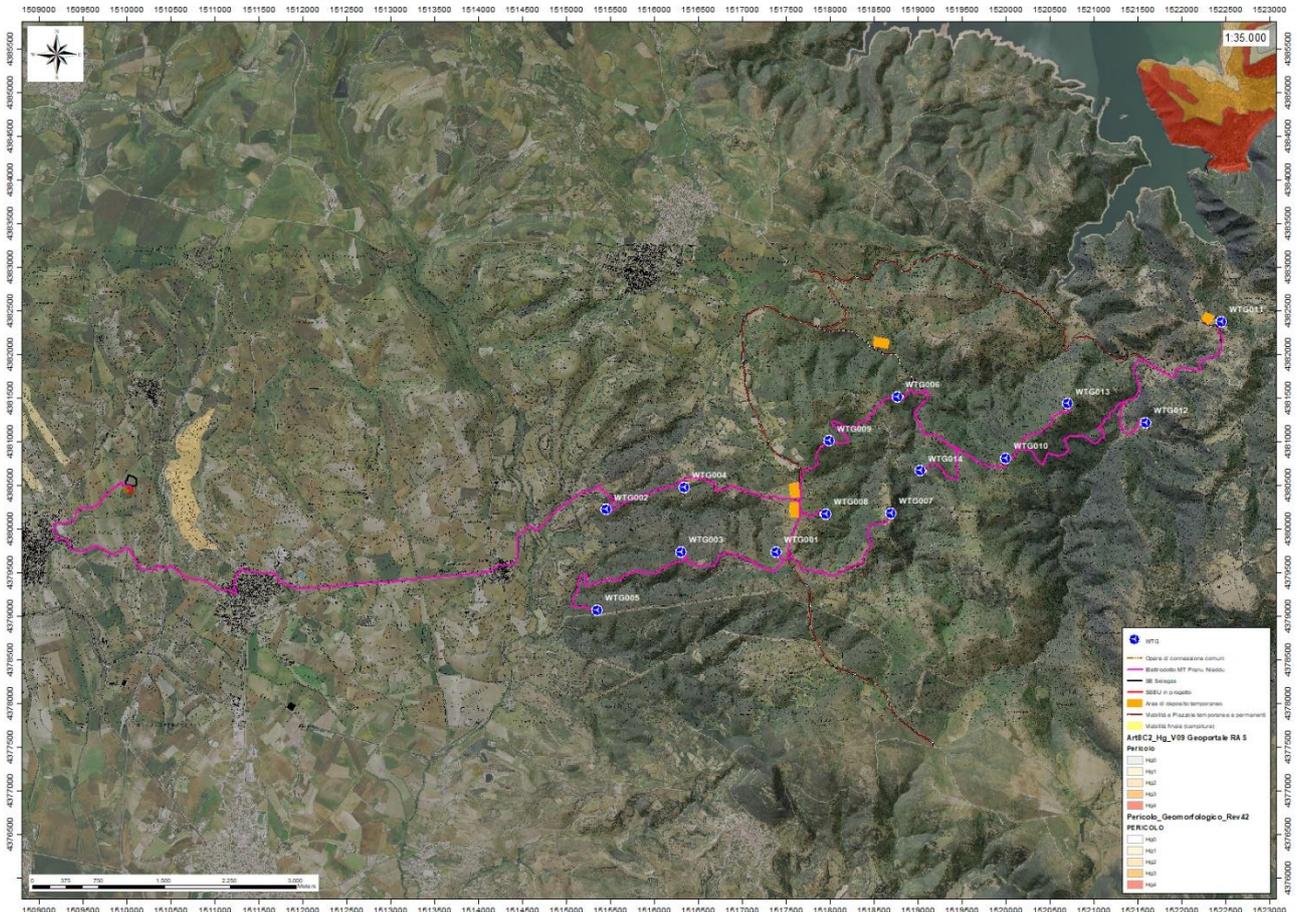


Figura 14.1 - Pericolosità da frana PAI

Nello specifico del progetto, le turbine sono state posizionate in aree con pendenze minori o uguali al 15%. Generalmente tutto il complesso rappresentato da turbina, piazzola temporanea e permanente occupano aree subpianeggianti sufficientemente ampie da garantire la non influenza dell'opera con la dinamica del versante attiguo. Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha inoltre evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti.

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

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

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

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

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

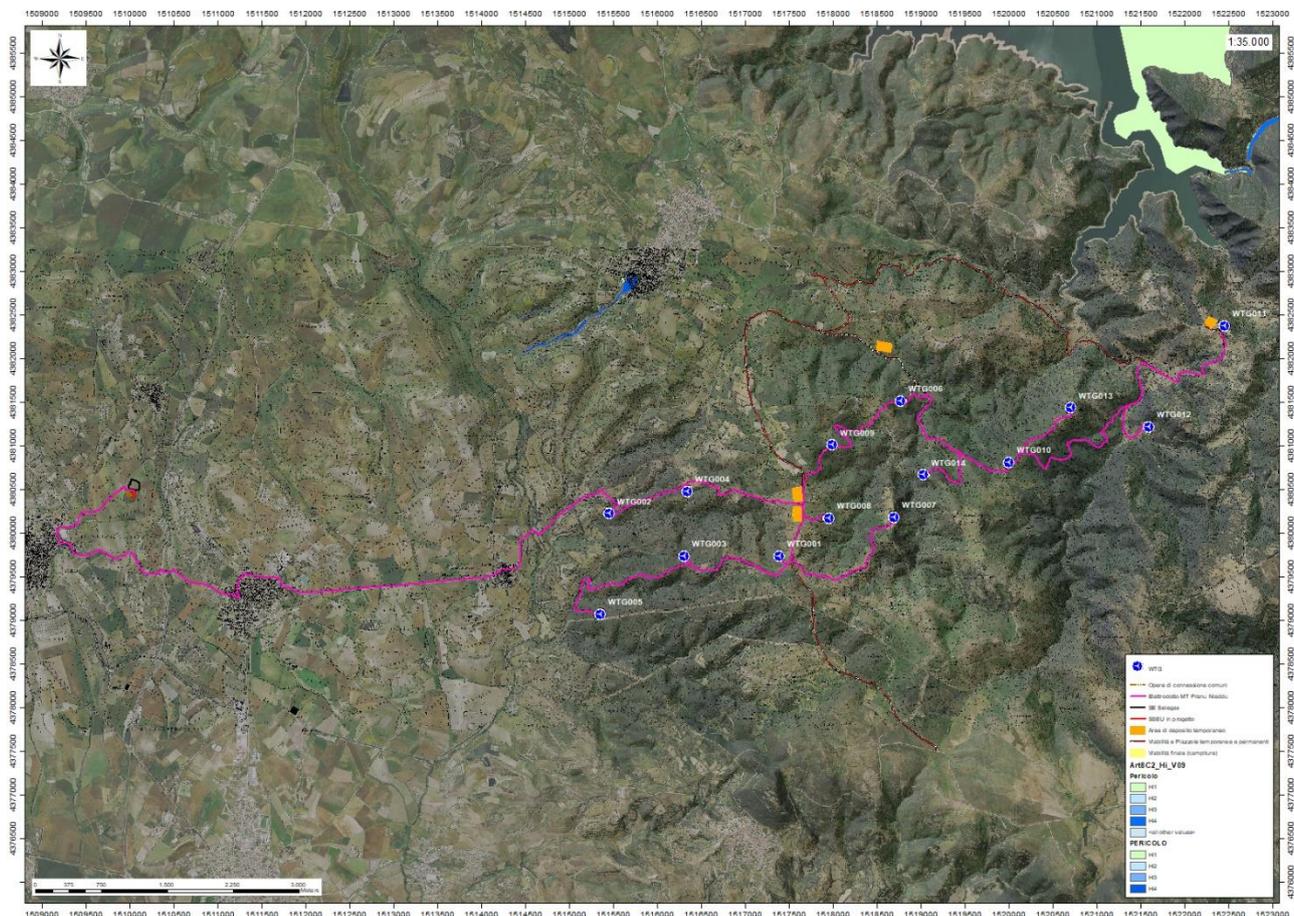


Figura 14.2 - Pericolosità idraulica PAI

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

Con riferimento alle misure di prima salvaguardia di cui all'articolo 30 ter delle NTA PAI mediante l'istituzione di fasce di pericolosità Hi4, in assenza o nelle more dell'approvazione dello studio di dettaglio ex art.8 comma 2, gli interventi ammissibili ascrivibili a quelli di progetto sono previsti all'art.27 NTA PAI al comma 3.

## 14.2 Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario non sono menzionate aree che ricadono nell'ambito territoriale del comune di Siurgus Donigala.

## 14.3 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.)

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

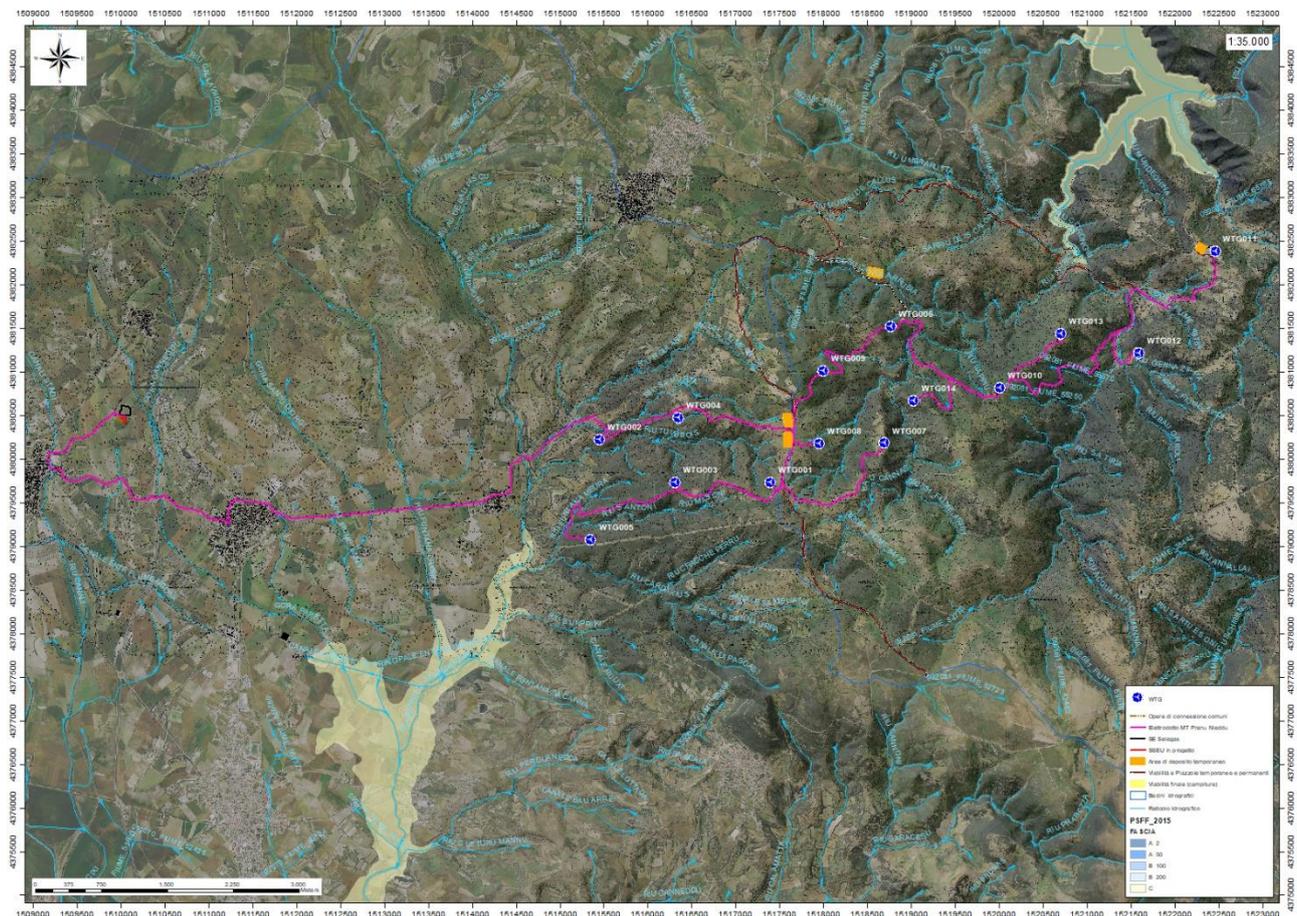


Figura 14.3 - Stralcio perimetrazione Piano Stralcio fasce Fluviali PSFF

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a

consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

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

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, si evince che nel territorio comunale di Siurgus Donigala sono presenti due aree di fascia C (Fascia Geomorfologica) individuabili nella parte settentrionale del territorio in corrispondenza delle sponde del Lago Mulargia, e nella parte sud-occidentale lungo l'alveo del Riu Cannisoni verso la confluenza col Riu Mannu di San Sperate. Le aree descritte sono localizzate fuori dall'area oggetto di studio.

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

#### **14.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)**

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

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

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

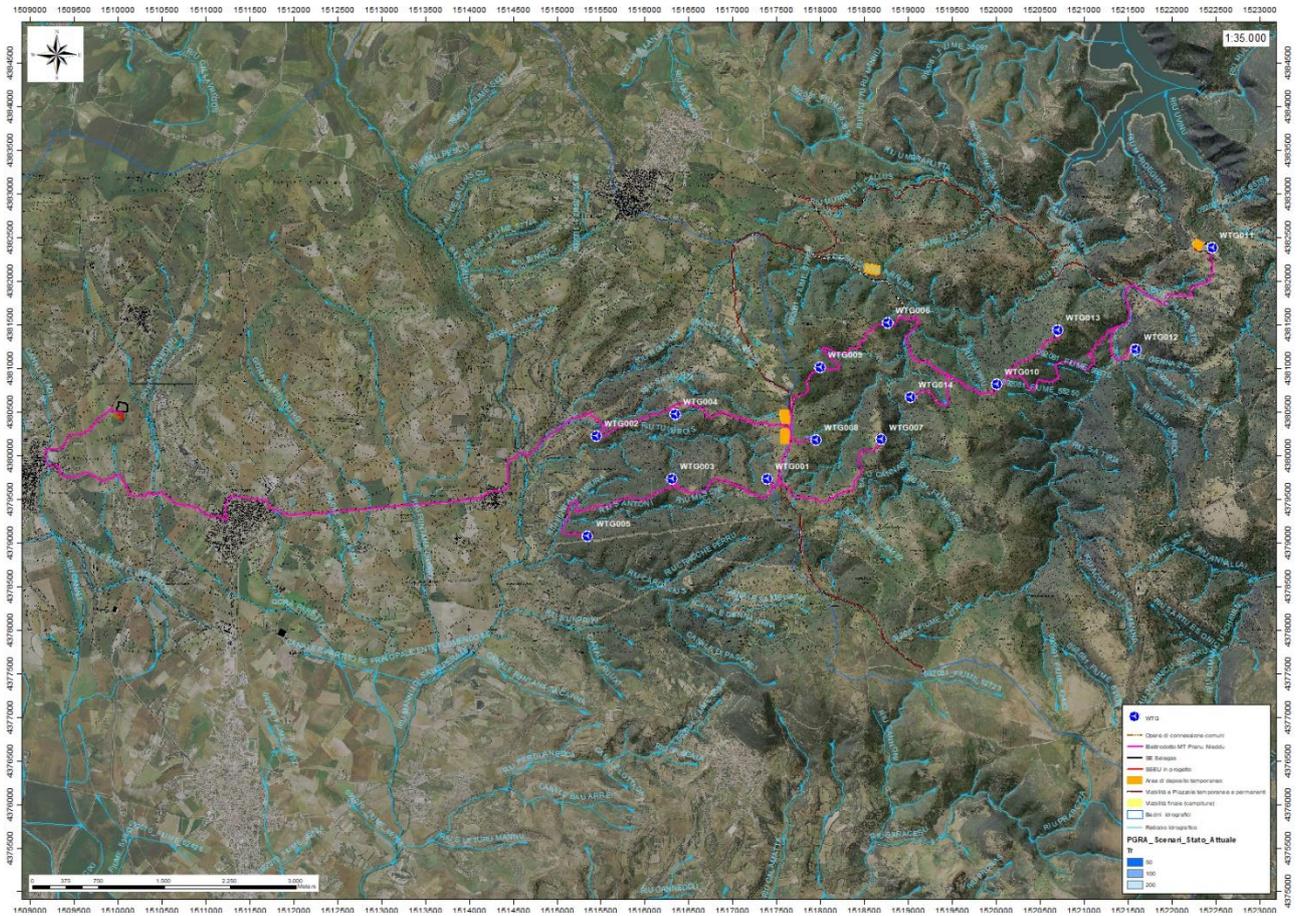


Figura 14.4 - Stralcio perimetrazione PGRA

## 15. 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 12 e il 24 agosto 2020 dalla Ditta Dr. Antonello Angius con sede in Cagliari (CA) e dalla ditta GEOSERVICE con sede in Villa San Pietro (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 raggiunta di 13,00 mt con l'esecuzione complessiva 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 (peso di volume e grado di umidità, prove su spezzoni di carota Point Load);

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

Tabella 15.1 - Ubicazione dei sondaggi geognostici

Sondaggio	Località	Coordinate Nord	Coordinate Est	Profondità (m) da p.c.
S_01	Masoni Aragana	39°33'59"	9°12'10"	7,00
S_02	Genna de Crexia	39°34'32"	9°13'55"	7,70
S_03	Genna de Crexia	39°34'40"	9°13'33"	14,30
S_04	Pressi "Sedda de s'ortu"	39°35'26"	9°15'31"	15,00
S_05	Corte Luxiumini	39°34'44"	9°14'55"	15,00

### 15.1 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 raggiunta di 13m** 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 rottura Point Load su spezzoni di carota.

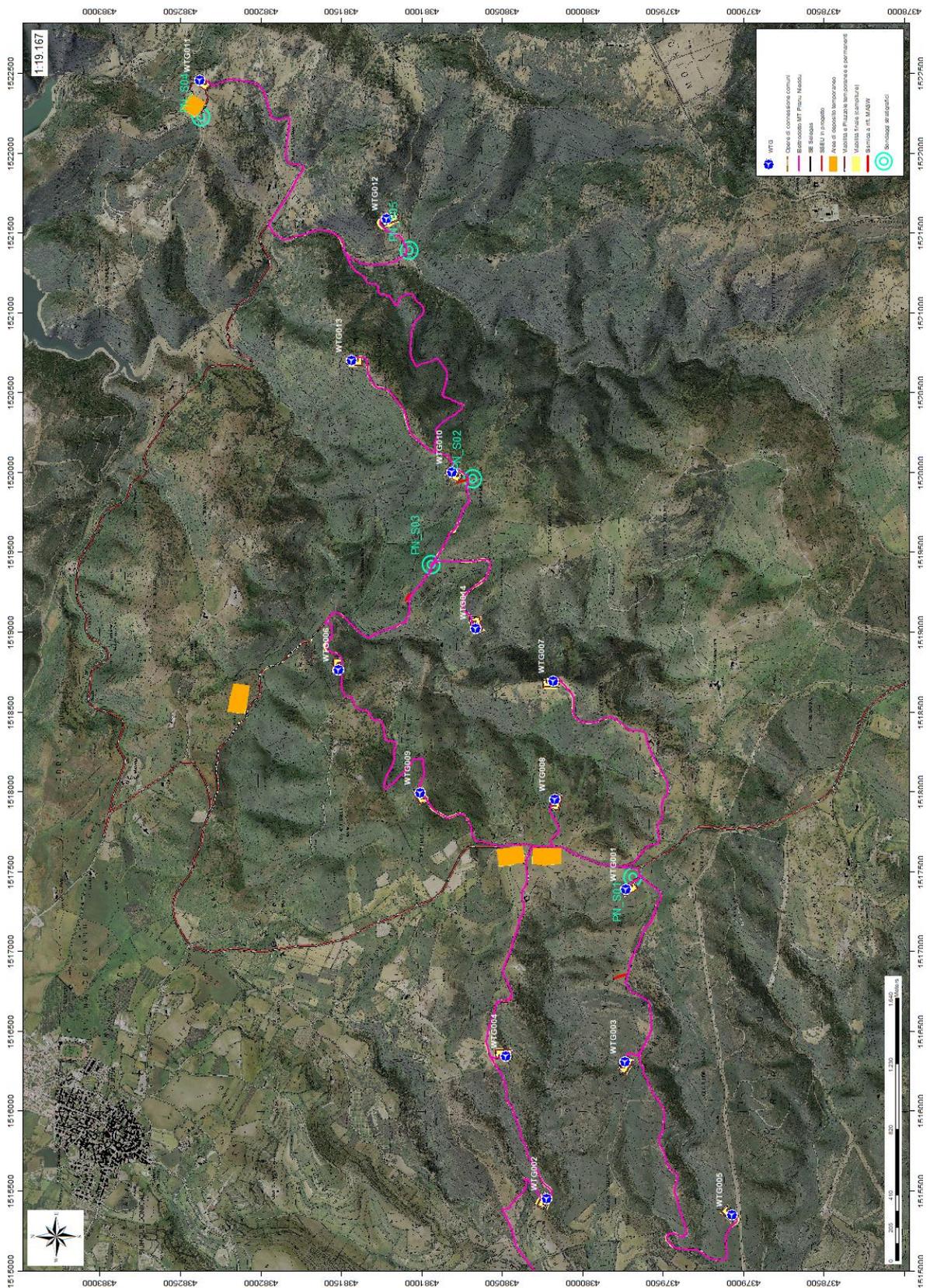


Figura 15.1 - Ubicazione delle indagini geognostiche

### 15.1.1 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

Le perforazioni sono state realizzate utilizzando il carotaggio continuo, per quanto possibile 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 15.2 - Sonda idraulica Hydra mod. Joy3

### 15.1.2 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 **PN\_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:

$$NSPT = N2 + N3$$

Tabella 15.2 - Tabella riassuntiva dati SPT

ID Sondaggio	Sigla	SPT	Profondità (m) da p.c.	N1	N2	N3	Nspt
<b>PN_S03</b>	SPT_PN_S03_01	1	3,00	>50	-	-	-
	SPT_PN_S03_01	1	9,00	18	>50	-	-

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*.

### 15.2.1 PN\_S01

È presente una prima coltre di suolo di colore bruno, dallo spessore di circa 30cm, questa poggia su un livello di basamento metamorfico scistoso alterato, con presenza di argille e ossido di Ferro.

Si passa poi verso il basso a metargilliti e metasiltiti mediamente fratturate, con presenza di lamine millimetriche a Ossidi di Fe e livelli millimetrici Carboniosi, la roccia presenta poi fratturazione dallo spessore medio di 1cm riempito da Quarzo.

Sotto i 3,5m da P.C. si passa da metasiltiti a metarenarie mediamente fratturate con presenza di livelli centimetrici di livelli ossidati color bordeaux e di livelli di quarzo pluricentimetrici. La fratturazione va ad aumentare fino agli 11m da P.C. per poi diminuire nuovamente dagli 11m ai 12m con un RQD del 55%.

Sono stati prelevati i campioni PN\_S01\_C1, PN\_S01\_C2, PN\_S01\_C3, PN\_S01\_C4, PN\_S01\_C5 sottoposti a rottura per punzonamento (Point Load).

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

### 15.2.2 PN\_S02

Al di sotto di una coltre di 30cm di suolo il substrato si presenta come un'alternanza livelli a ciottoli subangolari eterometrici di diversa natura (principalmente quarzo e scisto) immersi in matrice limo-argillosa con una discreta componente sabbiosa con livelli di basamento scistoso estremamente fratturato con presenza di argilla tra le fratture. Tra i 5m e i 6m da P.C. è presente un livello di basamento scistoso profondamente alterato di cui sembra riconoscersi la struttura della roccia madre, si sgretola con la pressione delle dita. Sotto gli 8m di profondità si passa a scisti neri siluriani molto fratturati che presentano una prima fratturazione silicizzata e una seconda riempita da ossidi di Ferro e argilla.

Sono stati prelevati i campioni PN\_S02\_C1 e PN\_S02\_C2 sottoposti a rottura per punzonamento (Point Load).

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

### 15.2.3 PN\_S03

Ciottoli di basamento scistoso subangolari eterometrici immersi in matrice limo-argillosa con frazione sabbiosa variabile, la matrice passa da un colore bruno ad un colore grigio-beige a circa 1m dal P.C. (Pleistocene Sup.-Olocene).

Tali depositi poggiano su basamento scistoso fortemente alterato (Scisti a graptoliti Auct. Siluriano-Devoniano Medio) alternati in livelli in cui la matrice varia in colorazione e in quantità della frazione sabbiosa; passa da

color nocciola fino ai 4,5m a grigio fino ai 4,8m, per poi prendere colorazioni sul rosso fino ai 6m terminando con un color beige a fino a 10m, lungo tutta la colonna lo scheletro non sembra variare particolarmente in tessitura e grado di alterazione.

Dopo circa 10,5m il basamento scistoso risulta poco fratturato e poco alterato.

E' stato prelevato il campione PN\_S01\_C3, sottoposto a rottura per punzonamento (Point Load).

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

#### 15.2.4 PN\_S04

È presente una prima coltre di suolo (Olocene) dello spessore di circa 20 cm in appoggio ad un orizzonte argilloso-sabbioso con ciottoli subangolari eterometrici prevalentemente di natura scistosa (Pleistocene Sup). Tali depositi poggiano su basamento roccioso fortemente alterato, costituito da limi e argille compatte con ciottoli di Quarzo e scisto da subcentimetrici a pluricentimetrici, colore rosso oca tenue. Sotto i 2,5m da P.C. sono presenti livelli litoidi decimetrici appartenenti agli Argilloscisti di Rio Canoni dell' Ordoviciano Superiore (metasiltiti grigio-verdastre e metasiltiti carbonatiche intercalate a metacalcari talora silicizzati) alternati a livelli di argille compatte e sabbie con ciottoli di diversa natura (Quarzo, scisti neri e Porfiroidi Auct.) eterometrici. A partire da circa 9m da P.C. si rinvengono livelli litoidi decimetrici appartenenti alle Metarcose di Genna Mesa dell' Ordoviciano Superiore (Metarcose e metagrovacche arcosiche, metaquazoareniti e metaconglomerari quarzosi, colore grigio beige) alternati a livelli di argille compatte e sabbie con ciottoli di diversa natura (Quarzo, scisti neri e Porfiroidi Auct.) eterometrici.

Possibile breccia di faglia.

Sono stati prelevati i campioni PN\_S04\_C1, PN\_S04\_C2, PN\_S04\_C3, PN\_S04\_C4, sottoposti a rottura per punzonamento (Point Load).

Non è stata rinvenuta falda alle profondità di indagine.

#### 15.2.5 PN\_S05

E' presente una coltre di suolo colore bruno di 20cm che poggia su depositi a ciottoli eterometrici e di diversa natura (scisto, porfiroidi, metavulcaniti, quarzo) immersi in matrice limoargillosa bruno-nocciola (Pleistocene Sup.).

Sotto gli 1,1m da P.C si incontrano scisti neri estremamente fratturati appartenenti alla Formazione degli Scisti a graptoliti Auct.) del Siluriano-Devoniano Medio con presenza di livelli limo-argillosi, sotto gli 1,9m la

fratturazione degli scisti tende a diminuire, è ancora presente argilla tra le fratture, sotto i 3,4m la fratturazione lungo scistosità è ricementata da Quarzo.

Dagli 11m ai 13m da P.C la fratturazione è nuovamente elevata, la roccia è più ricca in carbonio e meno cementata (RQD 10%).

Sono stati prelevati i campioni PN\_S05\_C1, PN\_S05\_C2, PN\_S05\_C3, PN\_S05\_C4, sottoposti a rottura per punzonamento (Point Load).

### 15.1 Campagna di prospezione geofisica

In data 12/11/2020 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa al piano di indagini dirette effettuate tramite l'esecuzione di sondaggi geognostici. La prospezione è stata articolata in:

- Esecuzione di n° 3 stendimenti di sismica MASW (PN-SISM-01-M1, PN-SISM-02-M2, PN-SISM-03-M3) e n° 3 rifrazioni (PN-SISM-01-R1, PN-SISM-02-R2, PN-SISM-03-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. 14.2 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.

Tabella 15.3 -Quadro riassuntivo indagine geofisica

Stendimento	Orientamento	Lunghezza (m)
<i>PN-SISM01-M1</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM02-M2</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM03-M3</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM01-R1</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM02-R2</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM03-R3</i>	SE-NW	69,00

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

### 15.3 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.

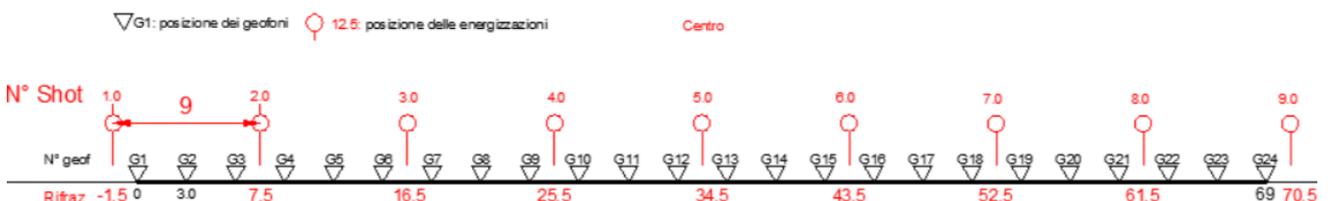
Varie metodologie di interpretazione si sono susseguite nel tempo, passando dalle valutazioni di spessori e velocità in funzione del tempo all'intercetta fino a giungere alle più classiche interpretazioni mediante il General Reciprocal Method di Palmer '72.

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.



Schema 15. 1: 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.

#### 15.4 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 da mediamente e molto addensate/i (rippabili);

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

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

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

Di seguito si riportano i risultati dell'elaborazione tomografica delle 3 acquisizioni di sismica a rifrazione. Una prima osservazione evidenzia come il profilo R1 presenti delle velocità  $V_p$  con valori più elevati e a profondità minori rispetto ai profili R2 e R3, dove le velocità sono molto più basse a parità di profondità. Tutto ciò è in accordo con i sondaggi geognostici, che mostrano una qualità più alta nel sondaggio S01 dove si rileva una roccia poco o mediamente fratturata già alla profondità di 1,5-2,00 m, e una qualità più scarsa nell'S02 e S03 dove il grado di fratturazione e alterazione è molto più alto.

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.

##### 15.4.1 Base Sismica PN\_SISM01\_R1

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

Stendimento R1	ONDE P	
	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0,00 a 0,50/1,50	400-1000
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (rippabili)	da 0,50/1,50 a 2,00/4,50	1000-2000
C: Unità delle rocce arenacee lapidee costituite da arenarie da poco fratturate a sane (da difficilmente a non rippabili)	da 2,00/4,50 a 22,0	2000-4500

Figura 15.3 - Sismostrati individuati nella sezione PN\_SISM01\_R1.

Dall'esame della sezione tomografica R1 si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4500 m/s. Il sismostrato A presenta un andamento quasi parallelo al piano campagna e profondità molto ridotte arrivando quasi a 1,50 m mentre il sismostrato B si rileva sino alla massima profondità di 4,50 m da p.c. e rappresenta il limite entro il quale le arenarie sono rippabili. Il sismostrato C individuato a partire da 2,00/4,50 m sino ad almeno 22 m di profondità rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità da medie ad elevate. Dall'osservazione della sezione tomografica si può notare un aumento abbastanza repentino delle Vp e l'assenza di particolari variazioni laterali correlabili con modificazioni delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 2,00 e 4,50 m dal pc i terreni risultano difficilmente rippabili.

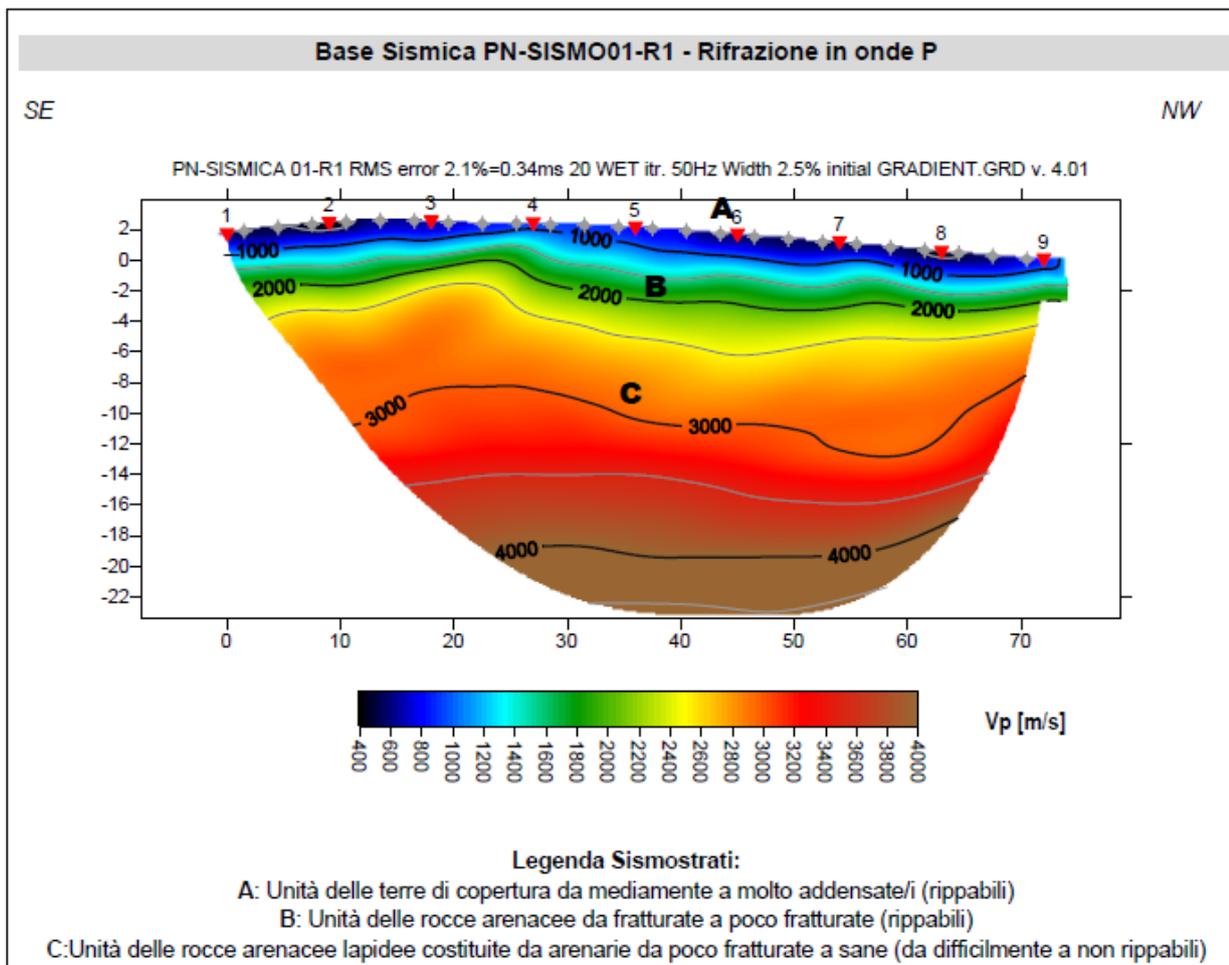


Figura 15.4 - Sezione tomografica della sezione PN\_SISM01\_R1.

15.4.2 Base sismica PN\_SISM02\_R2

Nella sezione sismica PN\_SISM02\_R2 è stato possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R2	ONDE P	
Sismostrati	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

Figura 15.5 - Sismostrati individuati nella sezione R2.

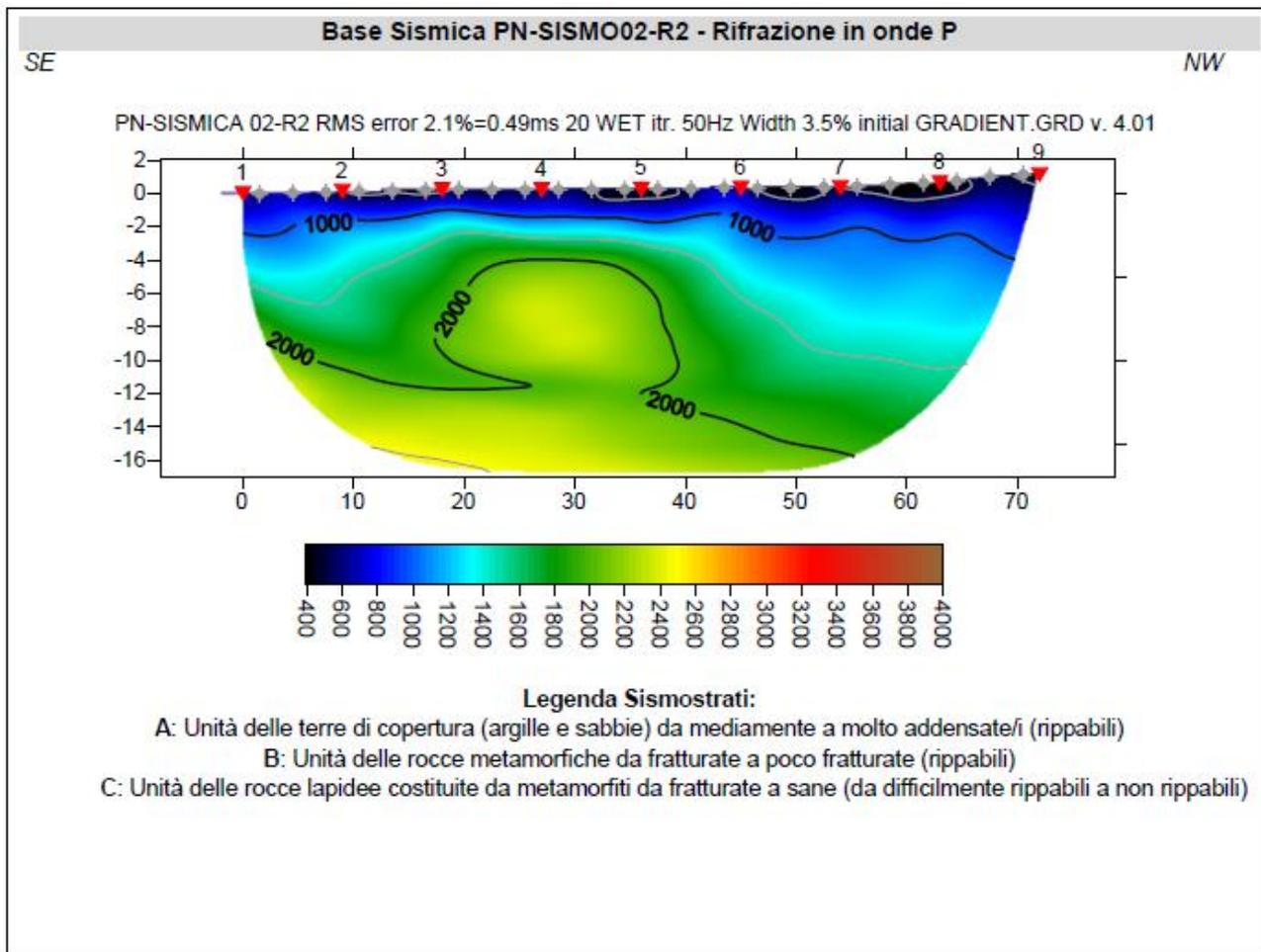


Figura 15.6: Sezione tomografica della sezione PN\_SISM02\_R2.

Dall'esame della sezione tomografica R2 si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4000 m/s. L'aumentare delle velocità delle onde P è riconducibile al miglioramento delle caratteristiche fisico-

meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo con la profondità. La prima unità sismostratigrafica presenta un andamento parallelo al p.c., mentre nella seconda e terza unità, tra le progressive 17 e 40 m si distingue una zona caratterizzata da una minore fratturazione perché si registrano valori superiori di Vp.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 4,50 e i 16,0 m dal pc i terreni risultano difficilmente rippabili.

### 15.4.3 Base Sismica PN\_SISM03\_R3

Nella sezione sismica PN\_SISM03\_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 0,00 a 1,0/4,0	400-1000
B: Unità delle rocce metarenacee da fratturate a poco fratturate (rippabili)	da 1,0/4,0 a 6,0/19,0	1000-2000
C: Unità delle rocce lapidee costituite da metamorfiti da fratturate a sane (da difficilmente rippabili a non rippabili)	da 6,0/19,0 a 25,0	2000-3200

Figura 15.7 - Sismostrati individuati nella sezione R3.

Dall'esame della sezione tomografica R3 si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 3200 m/s. L'aumentare delle velocità delle onde P è riconducibile al miglioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo con la profondità. Mentre la prima unità sismostratigrafica ha un andamento parallelo al piano campagna, il sismostrato B e parte del sismostrato C presentano, tra la progressiva 25 e 40 una diminuzione improvvisa del valore delle Vp. Questa variazione può essere associata a una discontinuità presente nel sottosuolo come ad esempio una faglia o una frattura. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 6 e 19 m dal pc i terreni risultano difficilmente rippabili.

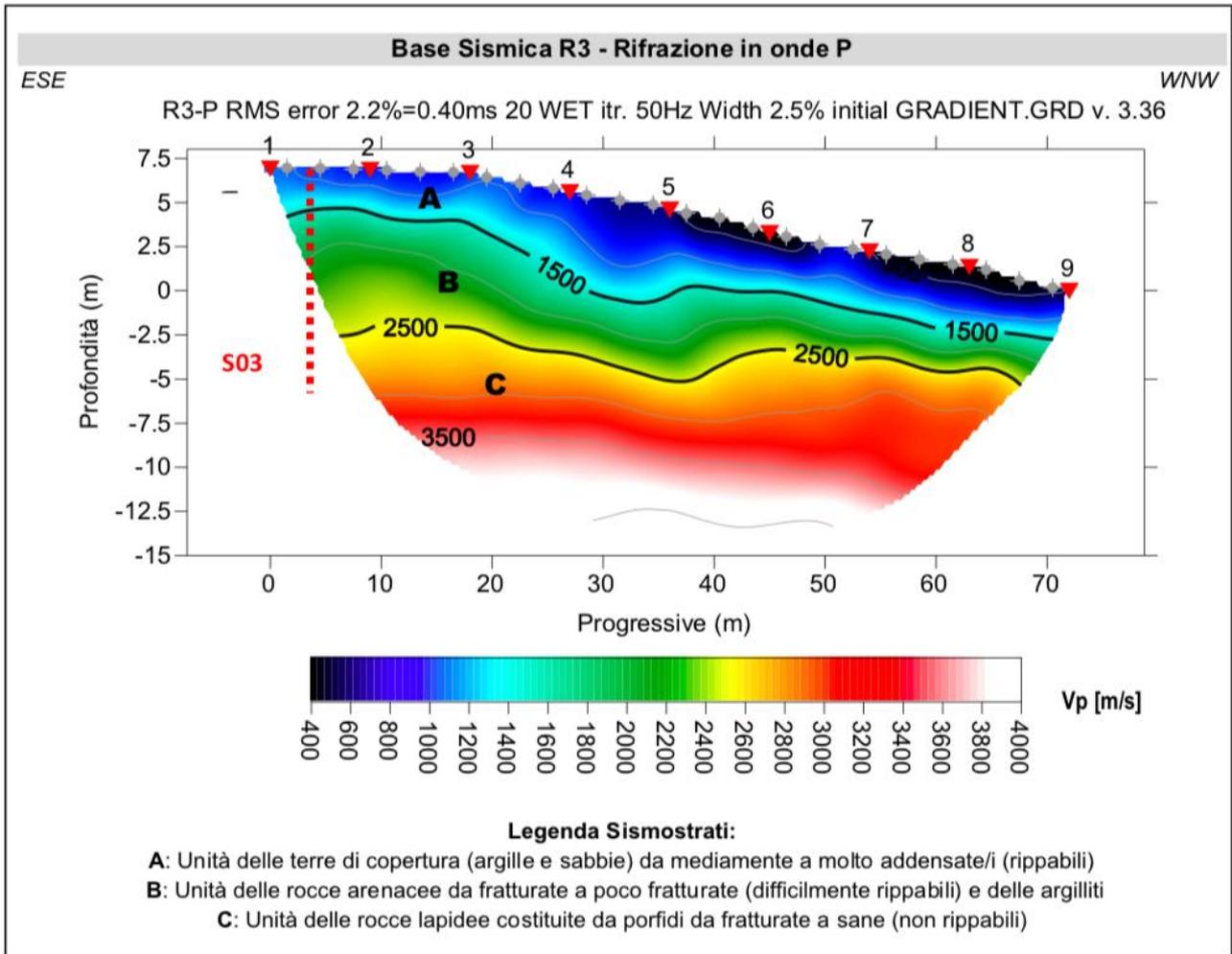


Figura 15.8 - Sezione tomografica della sezione R3.

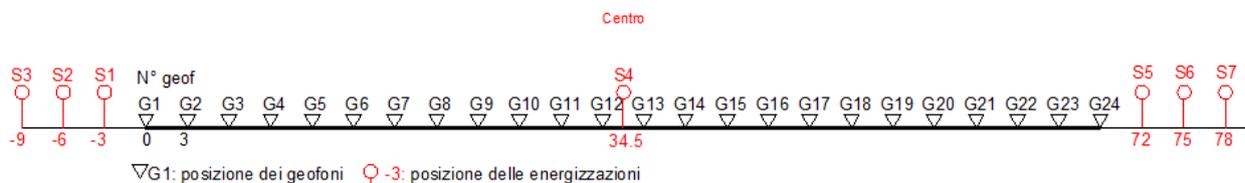
### 15.5 M.A.S.W. - Tecnica e parametri utilizzati

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  $V_s$ , 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 rigidità 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.



Schema 15. 2: 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 15.2).

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.

### **15.6 MASW – Elaborazioni e risultati**

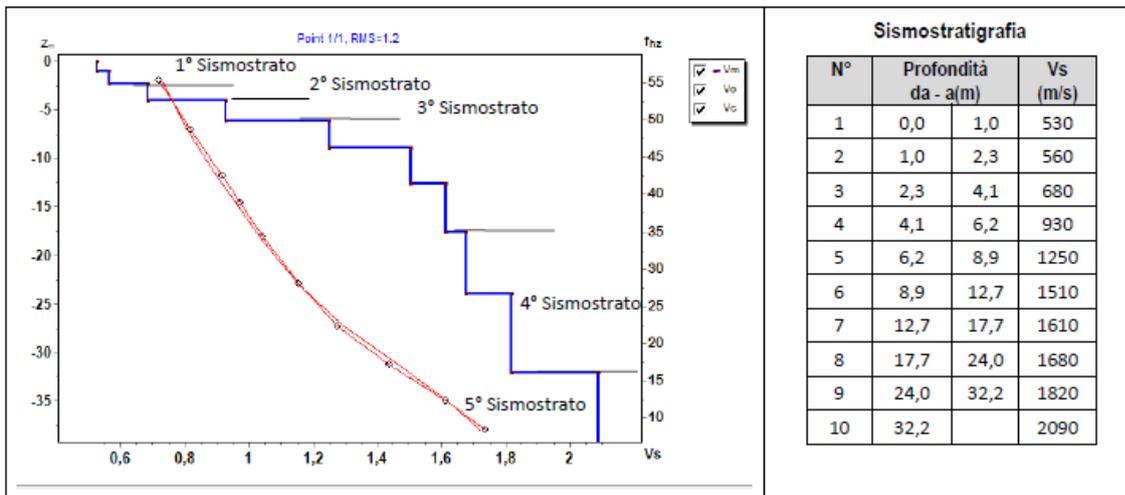
L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  della sezione MX, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio  $V_s$ .

15.6.1 Base sismica PN-SISM01-M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs dello stendimento M1, 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 - 2,3	1° sismostrato con Vs tra 530 e 560 m/s, Terre molto addensate e rocce intensamente fratturate
2,3 - 4,1	2° sismostrato con Vs di 680 m/s, Substrato roccioso molto fratturato
4,1 - 6,2	3° sismostrato con Vs di 930 m/s, Substrato roccioso fratturato
6,2 - 17,7	4° sismostrato con Vs tra 1250 e 1680m/s Substrato roccioso debolmente fratturato
17,7- 32,2	5° sismostrato con Vs tra 1820 e 2090m/s, Substrato roccioso sano
>32,2	6° sismostrato con Vs> di 2090 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 604 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 4,1 m (Vs>800 m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 4,1 m di profondità dal p.c. è pari a:  $Vs_{eq} = 4,1 / 0,006787 = 604 \text{ m/s}$  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 1,1 m il substrato si troverà a quote < 3 metri e la classe di sottosuolo passa a Categoria A.

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

Nella tabella di Tab.15.4 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.

Tabella 15.4 - Parametri di deformazione dinamici medi per la sezione R1 (CT rappresenta il coefficiente di trasformazione)

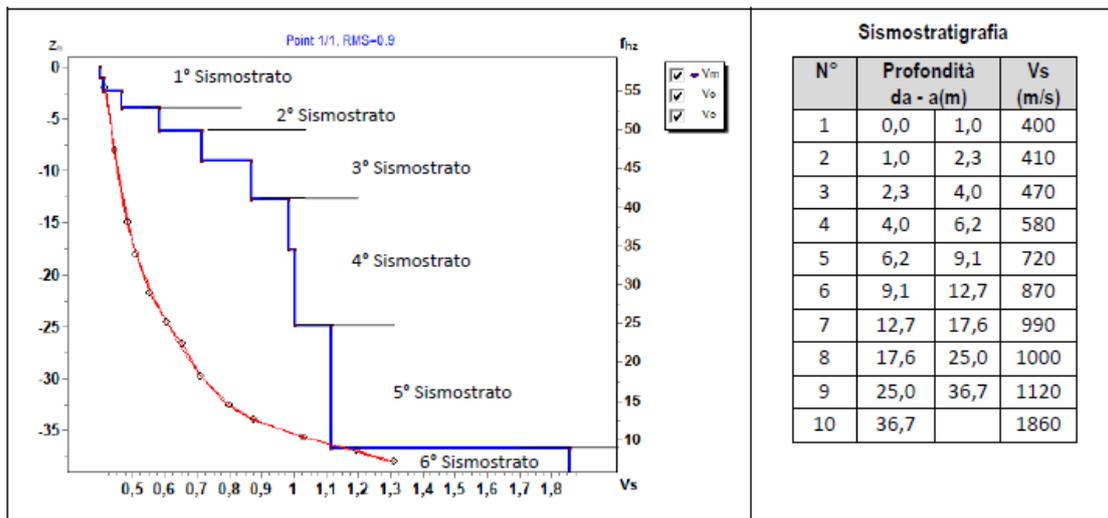
Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-2,3	10%	1.800	1.090	545	0,33	1.422	142	539	1.422
2	2,3-4,1	10%	1.800	1.360	680	0,33	2.216	222	834	2.216
3	4,1-6,2	10%	1.900	1.860	930	0,33	4.384	438	1.648	4.384
4	6,2-17,7	20%	2.000	2.930	1.465	0,33	11.445	2.289	4.295	11.445
5	17,7-32,2	40%	2.100	3.910	1.955	0,33	21.408	8.563	8.022	21.408
6	>32,2	50%	2.200	4.180	2.090	0,33	25.625	12.813	9.611	25.625

15.6.2 Base Sismica PN-SISM02-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 – 4,0	1° sismostrato con Vs tra 400 e 470 m/s, Terre molto addensate e rocce intensamente fratturate
4,0 – 6,2	2° sismostrato con Vs di 580 m/s, Roccia intensamente fratturata
6,2 – 12,7	3° sismostrato con Vs tra 720 e 870 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
12,7– 25,0	4° sismostrato con Vs tra 990 e 1000 m/s, Substrato debolmente fratturato
25,0- 36,7	5° sismostrato con Vs tra 1120 e 1860m/s, Substrato roccioso sano
>36,7	6° sismostrato con Vs > di 1860m/s, Substrato roccioso sano

MASW M2 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c.= 532 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:  
*h<sub>i</sub>* spessore dell'*i*-esimo strato;  
*V<sub>S,i</sub>* 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 9,1 m (Vs>800 m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 9,1 m di profondità dal p.c. è pari a:  $V_{S,eq} = 9,1/0,017094 = 532$  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 6,1 m il substrato si troverà a quote < 3 metri e la classe di sottosuolo passa a Categoria A.

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

Nella Tab.15.5 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.

Tabella 15.5 - Parametri di deformazione dinamici medi per la sezione R2 (CT rappresenta il coefficiente di trasformazione)

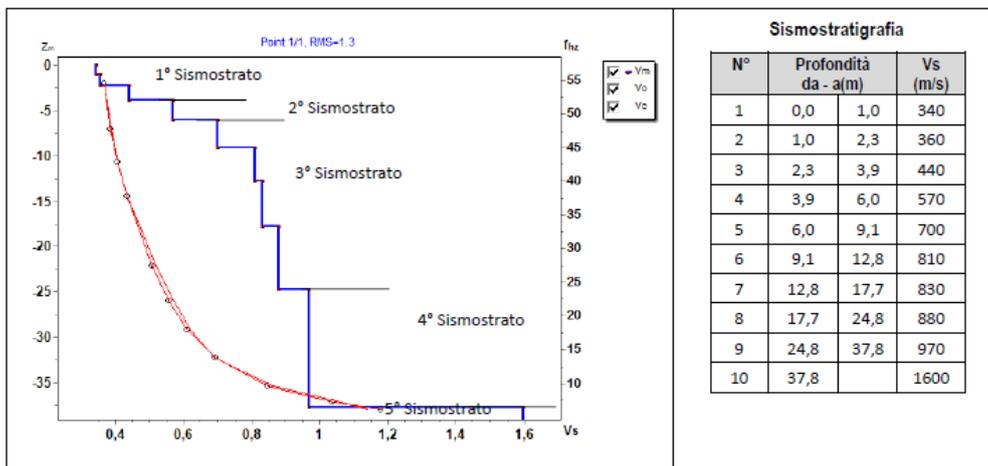
Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-4,0	10%	1.800	870	435	0,33	912	91	343	912
2	4,0-6,2	10%	1.800	1.160	580	0,33	1.618	162	608	1.618
3	6,2-12,7	20%	1.900	1.590	795	0,33	3.207	641	1.196	3.207
4	12,7-25,0	30%	2.000	1.990	995	0,33	5.276	1.583	1.981	5.276
5	25,0-36,7	40%	2.000	2.980	1.490	0,33	11.837	4.735	4.442	11.837
6	>36,7	50%	2.100	3.720	1.860	0,33	19.378	9.689	7.267	19.378

### 15.6.3 Base Sismica PN-SISM03-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 – 3,9	1° sismostrato con Vs tra <b>340 e 440 m/s</b> , Terre molto addensate o rocce tenere intensamente fratturate
3,9 – 6,0	2° sismostrato con Vs di <b>570 m/s</b> , Roccia intensamente fratturata
6,0 – 24,8	3° sismostrato con Vs tra <b>700 e 880 m/s</b> Substrato roccioso intensamente fratturato
24,8 – 37,8	4° sismostrato con Vs tra <b>970 e 1600 m/s</b> , Substrato roccioso sano
>37,8	5° sismostrato con Vs >di <b>1600 m/s</b> , Substrato roccioso sano

MASW M3 - PROFILO Vs (Vs eq da p.c= 498 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 **9,1 m** (Vs>800 m/s). La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **9,1 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 9,1/0,018269= 498 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 6,1 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A.

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

Nella Tab. 15.6 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.

Tabella 15.6 - Parametri di deformazione dinamici medi per la base M3 (CT\* indica il coefficiente di trasformazione per la roccia)

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-3,9	10%	1.800	780	390	0,33	726	73	275	726
2	3,9-6,0	10%	1.800	1.140	570	0,33	1.559	156	588	1.559
3	6,0-24,8	20%	1.900	1.580	790	0,33	3.158	632	1.187	3.158
4	248-37,8	30%	2.000	2.570	1.285	0,33	8.807	2.642	3.305	8.807
5	>37,8	40%	2.000	3.200	1.600	0,33	13.651	5.460	5.119	13.651

### 15.7 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.

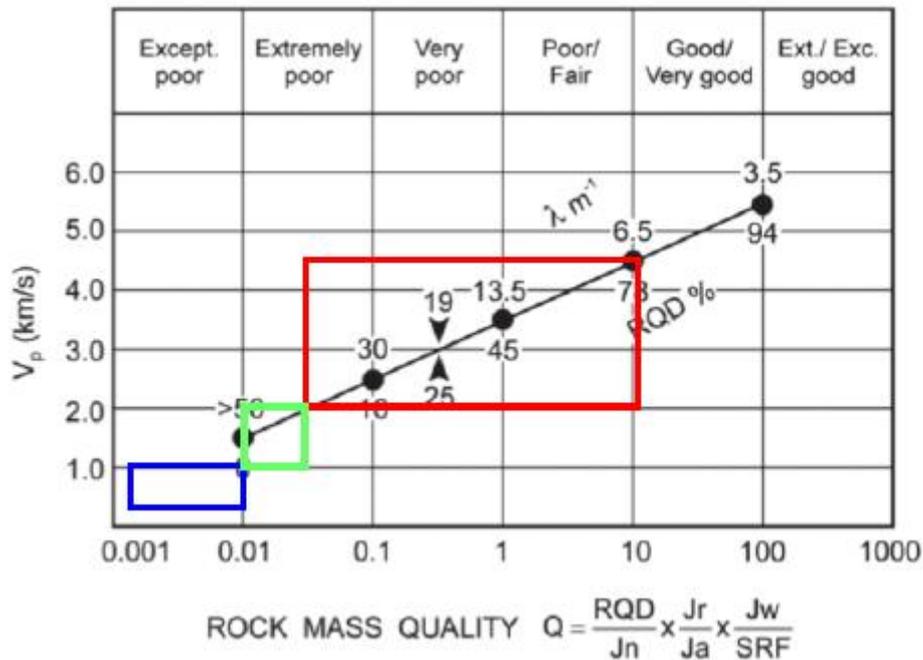
Tabella 15.7 - Sintesi dei sismostrati riscontrati.

Stendimento R1	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura da mediamente a molto addensate/i (rippabili)	da 0,00 a 0,50/1,50	400-1000
B: Unità delle rocce arenacee da fratturate a poco fratturate (rippabili)	da 0,50/1,50 a 2,00/4,50	1000-2000
C: Unità delle rocce arenacee lapidee costituite da arenarie da poco fratturate a sane (da difficilmente a non rippabili)	da 2,00/4,50 a 22,0	2000-4500

Stendimento R2	ONDE P	
Sismostrati	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 0,00 a 1,0/4,50	400-1000
B: Unità delle rocce metamorfiche da fratturate a poco fratturate (rippabili)	da 1,0/4,50 a 4,50/16,0	1000-2000
C: Unità delle rocce lapidee costituite da metamorfiti da fratturate a sane (da difficilmente rippabili a non rippabili)	da 4,50/16,0 a 17,0	2000-2500

Stendimento R3	ONDE P	
Sismostrati	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 0,00 a 1,0/4,0	400-1000
B: Unità delle rocce metarenacee da fratturate a poco fratturate (rippabili)	da 1,0/4,0 a 6,0/19,0	1000-2000
C: Unità delle rocce lapidee costituite da metamorfiti da fratturate a sane (da difficilmente rippabili a non rippabili)	da 6,0/19,0 a 25,0	2000-3200

Le prospezioni geofisiche possono essere utilizzate in situazioni molto complesse quali gli ammassi metamorfici molto fratturati per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc). Tra questi quello che potrebbe essere impiegato nel contesto in esame, è quello di N. Barton (2002) – che ha cercato di correlare, attraverso relazioni empiriche, le velocità delle onde P con la qualità della roccia Q e quest'ultima con una serie di parametri meccanici. Il grafico mostra la correlazione tra  $V_p$  con RQD e  $\lambda$  (fratture per metro) e il relativo indici di qualità dell'ammasso roccioso di Barton (Q).



Il rettangolo blu indica il settore in cui ricade il sismostrato A che secondo tale correlazione risulta caratterizzato da valori RQD uguali a 0, da un numero di fratture per metro >50 e un indice Q tra 0,001 e 0,1 (ammasso roccioso eccezionalmente scadente); il rettangolo verde indica il settore del sismostrato B, con un RQD compreso tra 0 e 5, un numero di fratture per metro che varia tra 50 e 40 e un indice di qualità Q tra 0,01 e 0,04 (ammasso roccioso estremamente scadente); il rettangolo rosso rappresenta il sismostrato C che ha valori di RQD compresi tra 5 e 78, un numero di fratture per metro compreso tra 40 e 6,5 e un valore dell'indice Q tra 0,04 e 10 (ammasso roccioso da estremamente scadente a scadente/discreto).

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 14.10.

Tabella 15.8 - Categoria di sottosuolo e Vs30

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	Vseq [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	4,1	604	B
M2	9,1	532	B
M3	9,1	498	B

L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione ha permesso di ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei terreni e ottenere una buona correlazione con i dati puntuali dei sondaggi geognostici. Nei precedenti paragrafi si illustrano i differenti sismostrati individuati dai quali è possibile distinguere i terreni delle coperture dal substrato arenaceo e metamorfico caratterizzato da un grado di fratturazione variabile tra i differenti siti e litologie. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che in funzione delle litologie investigate nelle arenarie a partire da profondità comprese tra 2,0 e 5,0 m dal pc i terreni risultano difficilmente rippabili, mentre nelle metamorfite si può arrivare sino a 20,0 m. Le prospezioni geofisiche in rifrazione sono state utilizzate anche per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc) e per la definizione per l'indice di qualità di Barton Q: si tratta chiaramente di correlazioni da impiegare con le dovute approssimazioni ma comunque utili in situazioni molto complesse, quali gli scisti metamorfici, per i quali dai sondaggi è difficile ottenere dei parametri di caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

## 15.8 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
<i>PN_S01_C1</i>	2.30-2.50	PL
<i>PN_S01_C2</i>	3.70-3.90	PL + PV
<i>PN_S01_C3</i>	5.40-5.70	PL
<i>PN_S01_C4</i>	8.50-8.80	PL + PV
<i>PN_S01_C5</i>	11.20-11.50	PV
<i>PN_S02_C1</i>	8.30-8.60	PL + PV
<i>PN_S02_C2</i>	9.10-9.40	PL + PV
<i>PN_S03_C1</i>	10.70-10.90	PL + PV
<i>PN_S04_C1</i>	3.60-3.80	PL
<i>PN_S04_C2</i>	4.70-5.00	PL + PV
<i>PN_S04_C3</i>	7.30-7.50	PL
<i>PN_S04_C4</i>	9.00-9.30	PL + PV
<i>PN_S05_C1</i>	4.20-4.40	PL
<i>PN_S05_C2</i>	5.50-5.80	PL
<i>PN_S05_C3</i>	8.20-8.60	PL + PV
<i>PN_S05_C4</i>	9.70-10.00	PL

Tabella 15.12: Campioni inviati in laboratorio (PL = Point Load; PV = Peso di Volume; TD = Taglio Casagrande; CL = Classificazione Terre (limiti Atterberg + Analisi Granulometrica)

### 15.8.1 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.

È 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 15.9 - 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  $\varnothing$  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.

Tabella 15.9 - Valori del coeff. di correlazione K (Bruschi, 2004)

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 15.10 - prove Point load

Campione	Profondità (m)	P (kN) media su 3 rotture	Tipo rottura	Is (MPa)	Is (50) (MPa)	K e Su (MPa)	Litotipo	Valutazione della resistenza
PN_S01_C1	2.30-2.50	0,55	Scistosità	0,076	0,098	19 – 1,71	Scisto alterato	Molto bassa
PN_S01_C2	3.70-3.90	1,9	Scistosità	0,26	0,34	19 – 6,46	Scisto	Bassa
PN_S01_C3	5.40-5.70	0,95	Scistosità	0,13	0,17	19 – 3,23	Scisto	Molto bassa
PN_S01_C4	8.50-8.80	2,1	Scistosità	0,29	0,38	19 – 7,22	Scisto	Bassa
PN_S01_C5	11.20-11.50	2,9	Scistosità	0,40	0,52	19 – 9,88	Scisto	Bassa
PN_S02_C1	8.30-8.60	5,4	Giunto latente	0,75	0,97	19 – 18,43	Scisto	Bassa
PN_S02_C2	9.10-9.40	7,0	Giunto latente	0,97	1,26	19 – 23,94	Scisto	Medio-bassa
PN_S03_C1	10.70-10.90	4,5	Giunto latente	0,62	0,80	19 – 15,20	Scisto	Bassa
PN_S04_C1	3.60-3.80	4,1	Scistosità	0,57	0,74	19 – 14,06	Metamorfite	Bassa
PN_S04_C2	4.70-5.00	0,5	Giunto latente	0,10	0,13	19 – 2,47	Metamorfite	Molto bassa
PN_S04_C3	7.30-7.50	11,5	Scistosità	1,59	2,06	19 – 39,14	Metamorfite	Media
PN_S04_C4	9.00-9.30	13,3	Diametrale	1,84	2,38	19 – 45,22	Metamorfite	Media
PN_S05_C1	4.20-4.40	1,0	Scistosità	0,14	0,18	19 – 3,42	Scisto	Molto bassa
PN_S05_C2	5.50-5.80	0,95	Scistosità	0,13	0,17	19 – 3,23	Scisto	Molto bassa
PN_S05_C3	8.20-8.60	7,0	Scistosità	0,97	1,26	19 – 23,94	Scisto	Medio-bassa
PN_S05_C4	9.70-10.00	10,7	Scistosità	1,48	1,92	19 – 28,12	Scisto	Media

I campioni hanno dunque resistenza molto variabile, da molto bassa a media (Brown E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM suggest methods, Tab.14.13).

Tabella 15.11 - Stima della resistenza in relazione al valore di resistenza a compressione monoassiale (MPa)

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

### 15.8.2 Determinazione della massa volumica apparente (UNI CEN ISO/TS 19892-2 Metodo b)

E' stata determinata la massa volumica apparente di n.10 campioni mediante pesata in acqua a temperatura ambiente dopo aver provveduto ad impermeabilizzare il provino con paraffina.

Tabella 15.12 - Risultati determinazione massa volumica apparente

Sondaggio	CAMPIONE	Massa Vol. naturale Mg/m3
PN_S01_C2	S1 (3.70-3.90m)	2.679
PN_S01_C4	S1 (8.50-8.80m)	2.617
PN_S02_C1	S2 (8.30-8.60m)	2.479
PN_S02_C2	S2 (9.10-9.40m)	2.570
PN_S03_C1	S3 (10.70-10.90m)	2.394
PN_S04_C4	S4 (9.15-9.30m)	2.242
PN_S05_C1	S5 (4.20-4.40m)	2.670
PN_S05_C3	S5 (8.30-8.60m)	2.749
PN_S02_C0	S02 (4.85m)	2.032
PN_S04_C2	S4 (4.70-5.00m)	2.389

## 16. Modellazione geologica

### 16.1 Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi

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

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

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

dove:

$\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

$mb$  = costante d'ammasso

$s$  ed  $a$  = costanti d'ammasso

$\sigma_{ci}$  = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta

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

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

- *Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS)*: quando è stato possibile effettuare misure sclerometriche, è stato utilizzato tale valore come rappresentativo del parametro IUCS.
- *Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso*: tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può esser definito sulla base delle caratteristiche dell'ammasso (Fig. 15.2) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.
- *Determinazione della costante  $m_i$  (Funzione del tipo di roccia)*: i valori delle costanti caratteristiche della roccia ( $\sigma_{ci}$  e  $m_i$ ) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig. 15.3, che riassume i valori della costante  $m_i$  per diversi tipi di roccia.

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

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

Figura 16.1 - Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

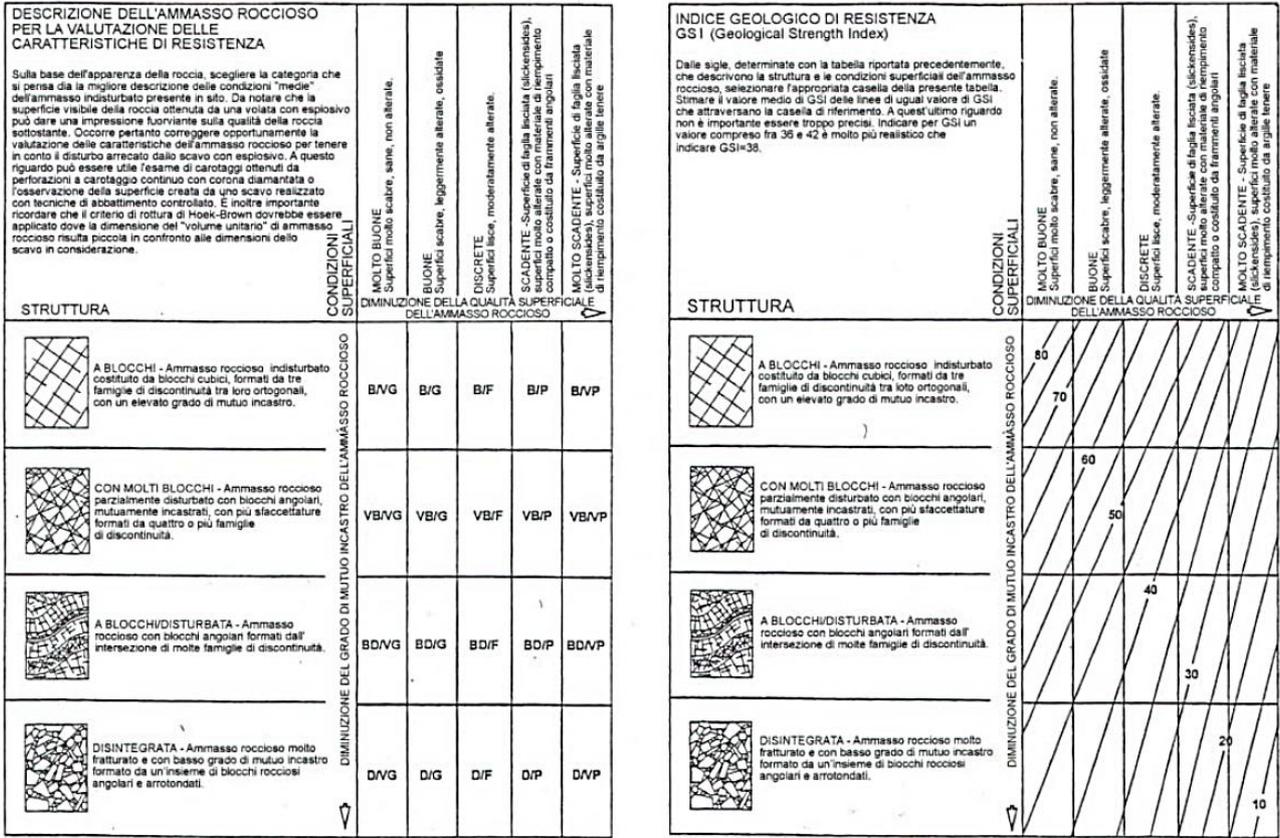


Figura 16.2 - Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

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

I valori coesione e di angolo di attrito interno ottenuti attraverso l'applicazione di tale classificazione sono in generale rispondenti alla tipologia litologica interessata.

È utile sottolineare che esistono delle correlazioni dirette fra i valori di GSI e il valore RMR del sistema di classificazione di Bieniawski riportato nella Fig. 15.4.

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
	Non clastiche	Organogene		Grovacche (18)		
		Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
		Chimiche		Gesso 16	Anidride 13	
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
	Scure		Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
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 16.3 - 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> $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_{u(r)}\sigma_3 + s\sigma_{u(r)}^2}$ <p><math>\sigma_1</math> = tensione efficace principale massima  <math>\sigma_3</math> = tensione efficace principale minima  <math>\sigma_{u(r)}</math> = 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>Argillite, 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 rholite</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 16.4 - Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

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

Formazione delle Arenarie di San Vito Facies METARGILLITI

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

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

RQD =41%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

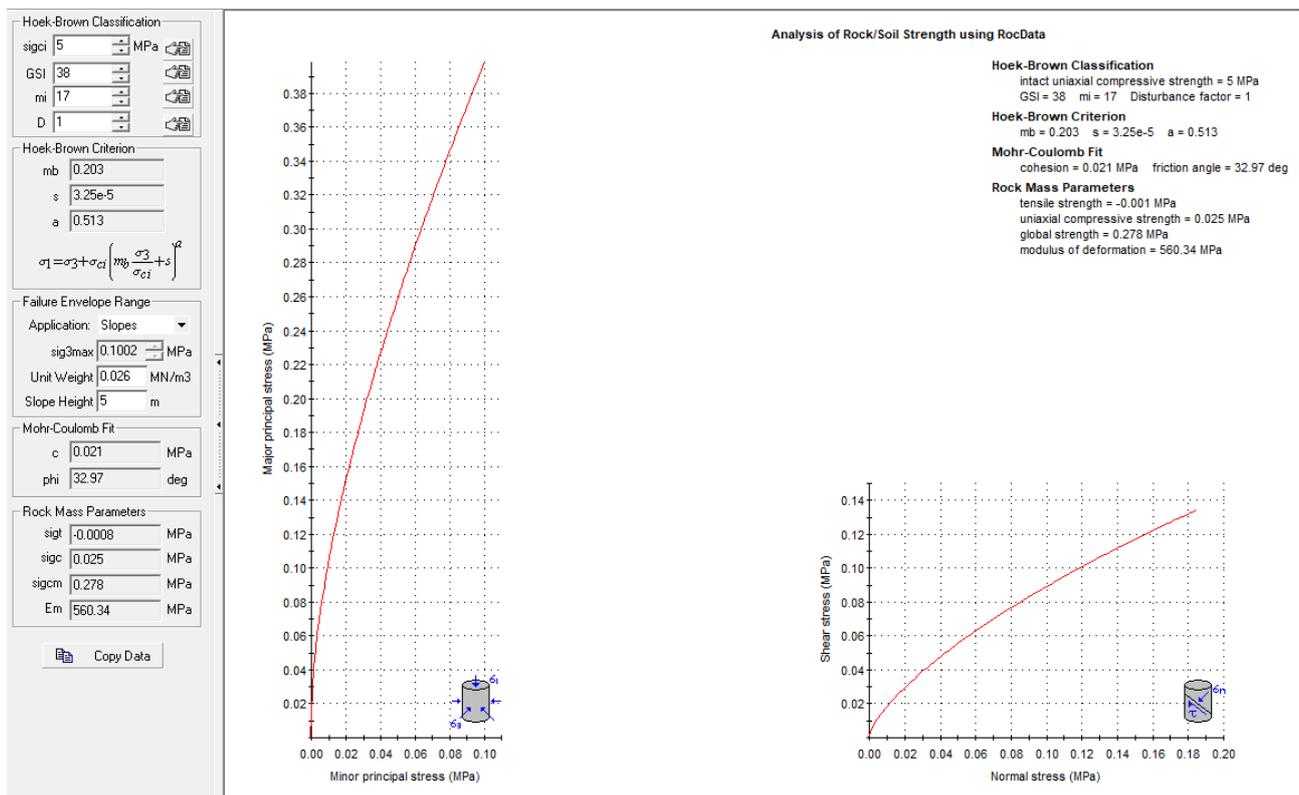
Apertura del giunto = 0,0 - 2 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta



Formazione delle Arenarie di San Vito Facies METARENARIE

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

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

RQD =-85%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

Apertura del giunto = 0,0 - 2 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta

Hoek-Brown Classification

sigci 5 MPa

GSI 53

mi 17

D 1

Hoek-Brown Criterion

mb 0.592

s 0.0004

a 0.505

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

Failure Envelope Range

Application: Slopes

sig3max 0.1058 MPa

Unit Weight 0.026 MN/m3

Slope Height 5 m

Mohr-Coulomb Fit

c 0.035 MPa

phi 42.24 deg

Rock Mass Parameters

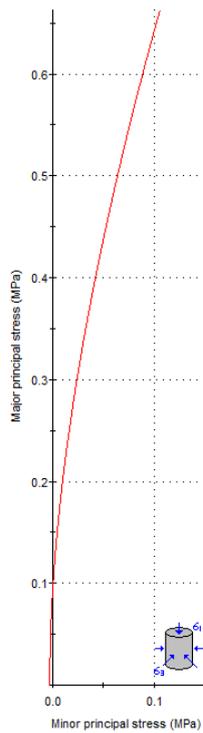
sigt -0.0033 MPa

sigc 0.096 MPa

sigcm 0.506 MPa

Em 1328.79 MPa

Copy Data



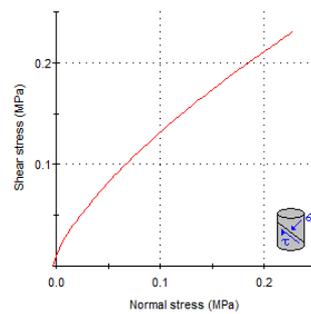
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

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

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

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

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



Formazione di PALAMANNA facies più alterata/fratturata– dati desunti da rilievo in sito e prospezione geofisica PN\_SISM03

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

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta

Hoek-Brown Classification

sigci 5 MPa

GSI 35

mi 12

D 1

Hoek-Brown Criterion

mb 0.116

s 1.97e-5

a 0.516

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

Failure Envelope Range

Application: Slopes

sig3max 0.0975 MPa

Unit Weight 0.026 MN/m3

Slope Height 5 m

Mohr-Coulomb Fit

c 0.017 MPa

phi 28.14 deg

Rock Mass Parameters

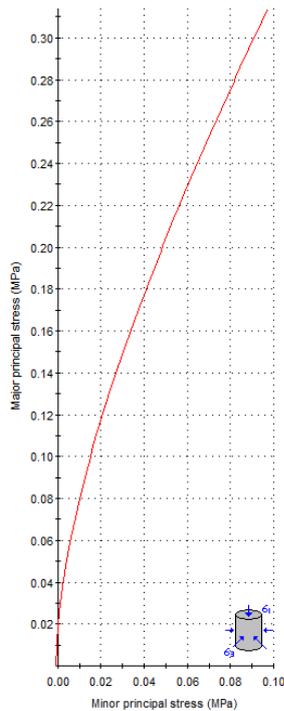
sigt -0.0009 MPa

sigc 0.019 MPa

sigcm 0.204 MPa

Em 471.47 MPa

Copy Data



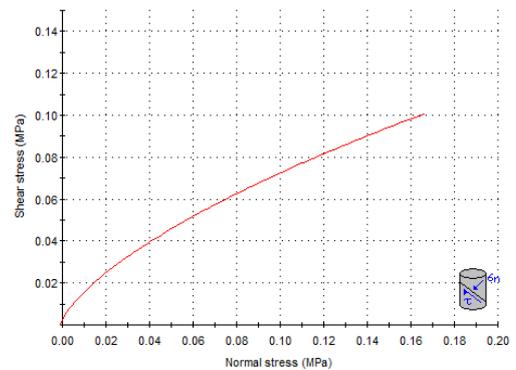
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

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

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

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

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



Formazione di PALAMANNA—dati desunti da rilievo in sito e prospezione geofisica PN\_SISM03

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

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

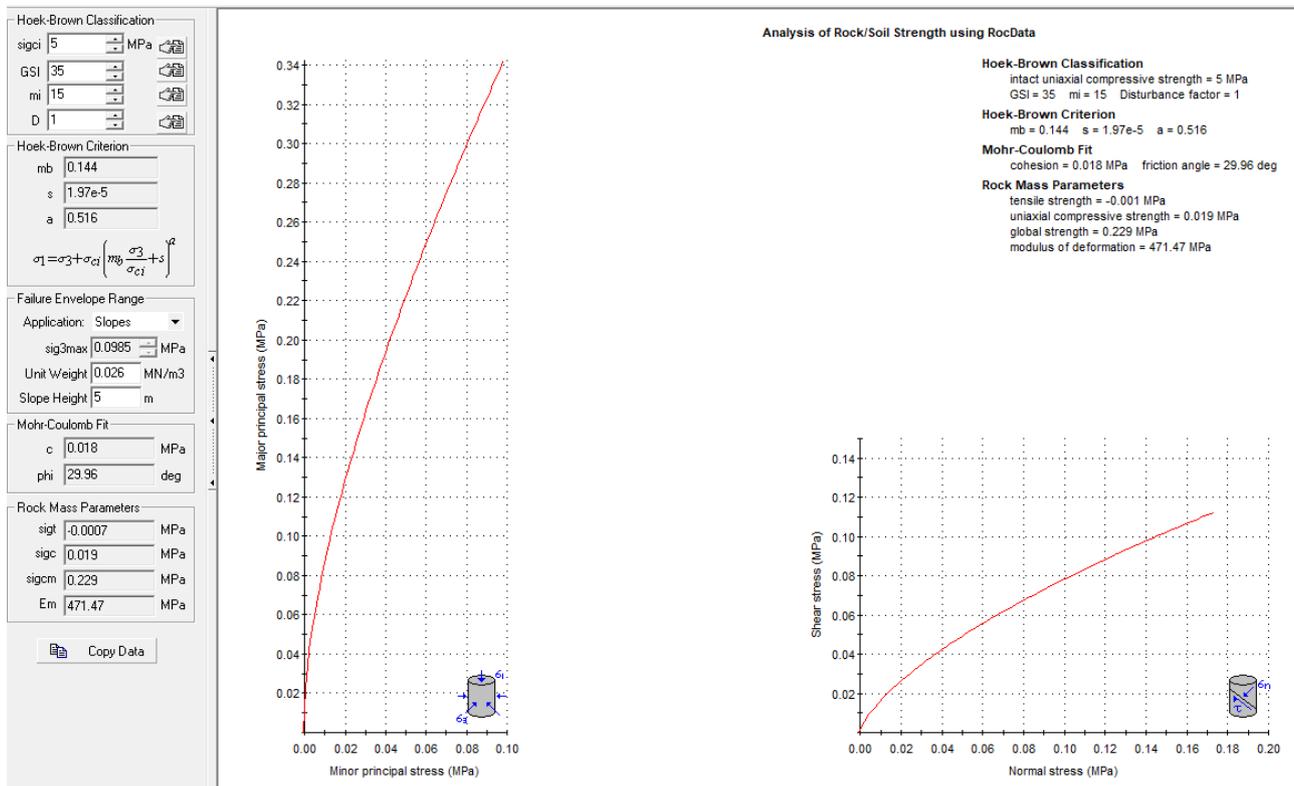
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



Formazione degli ARGILLOSCISTI facies molto alterata

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

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

RQD =7%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

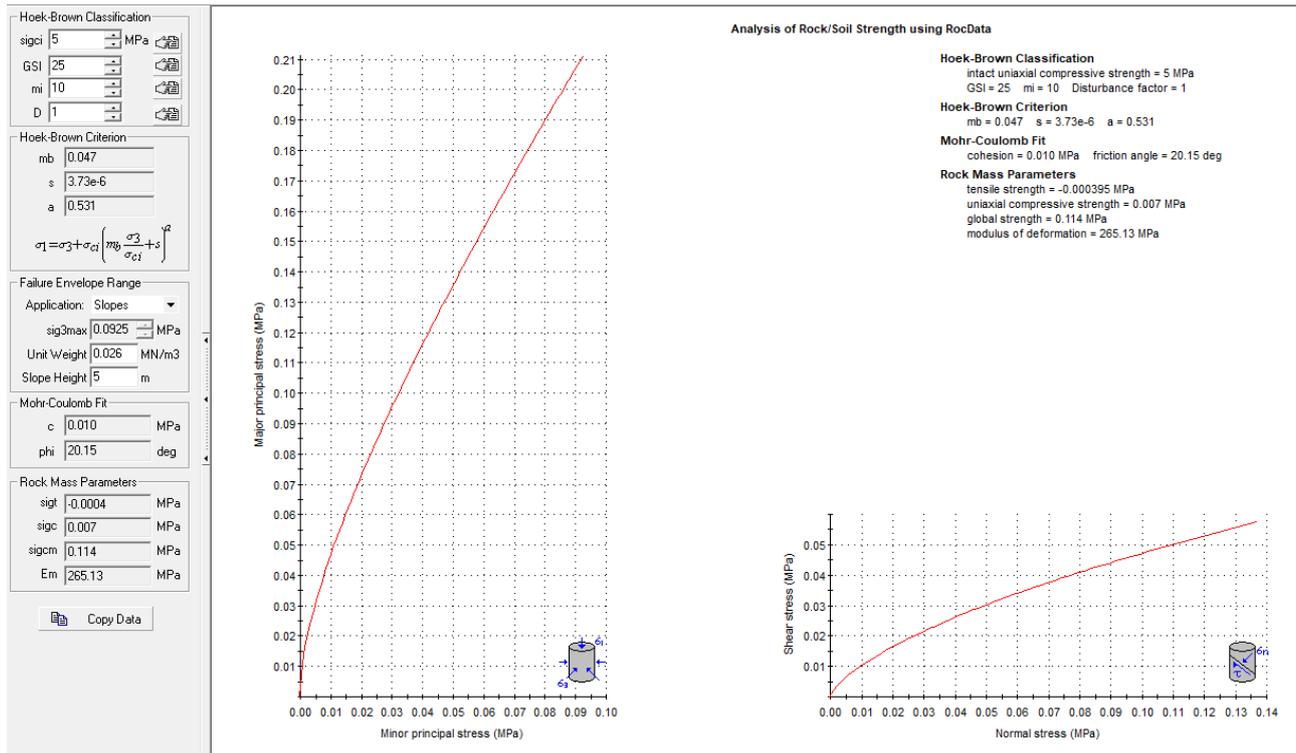
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



Formazione degli ARGILLOSCITI

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

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

RQD =25%

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,03 m

Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m

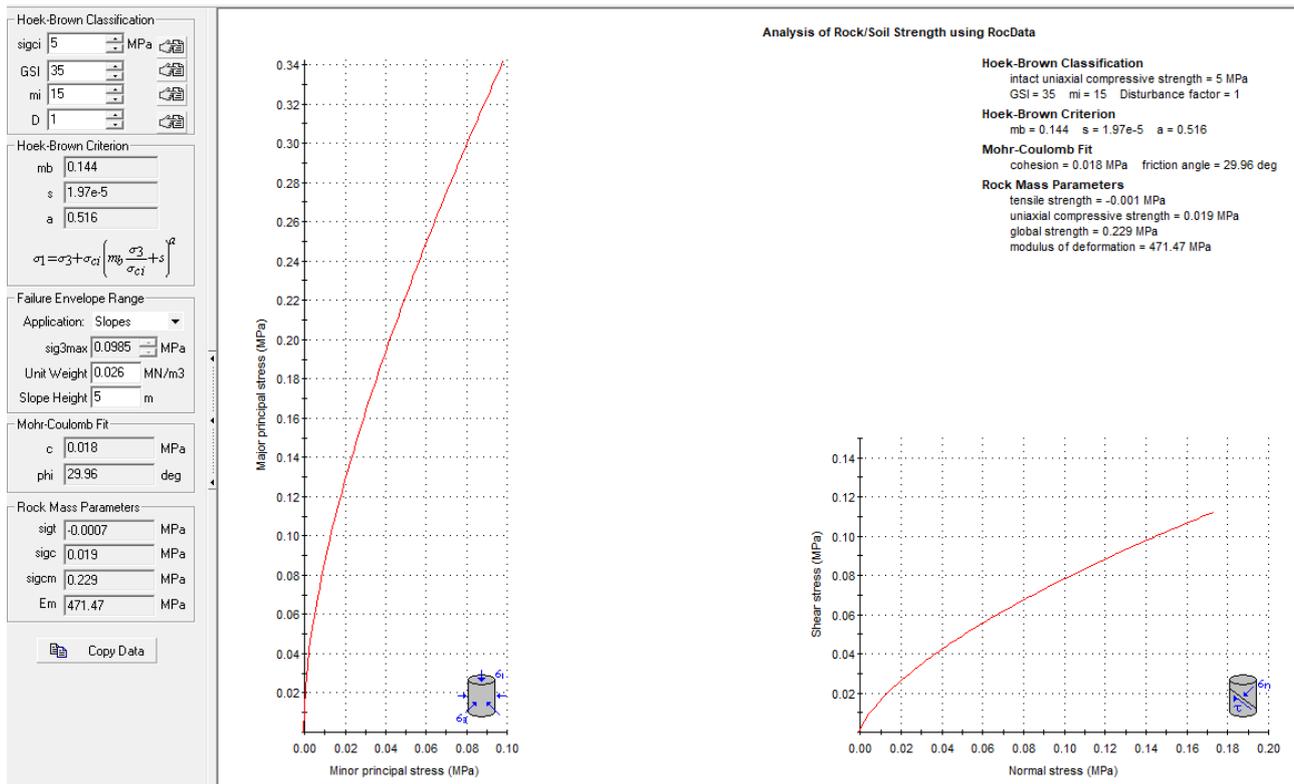
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



**PORFIROIDI Auct.<sup>1</sup>**

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

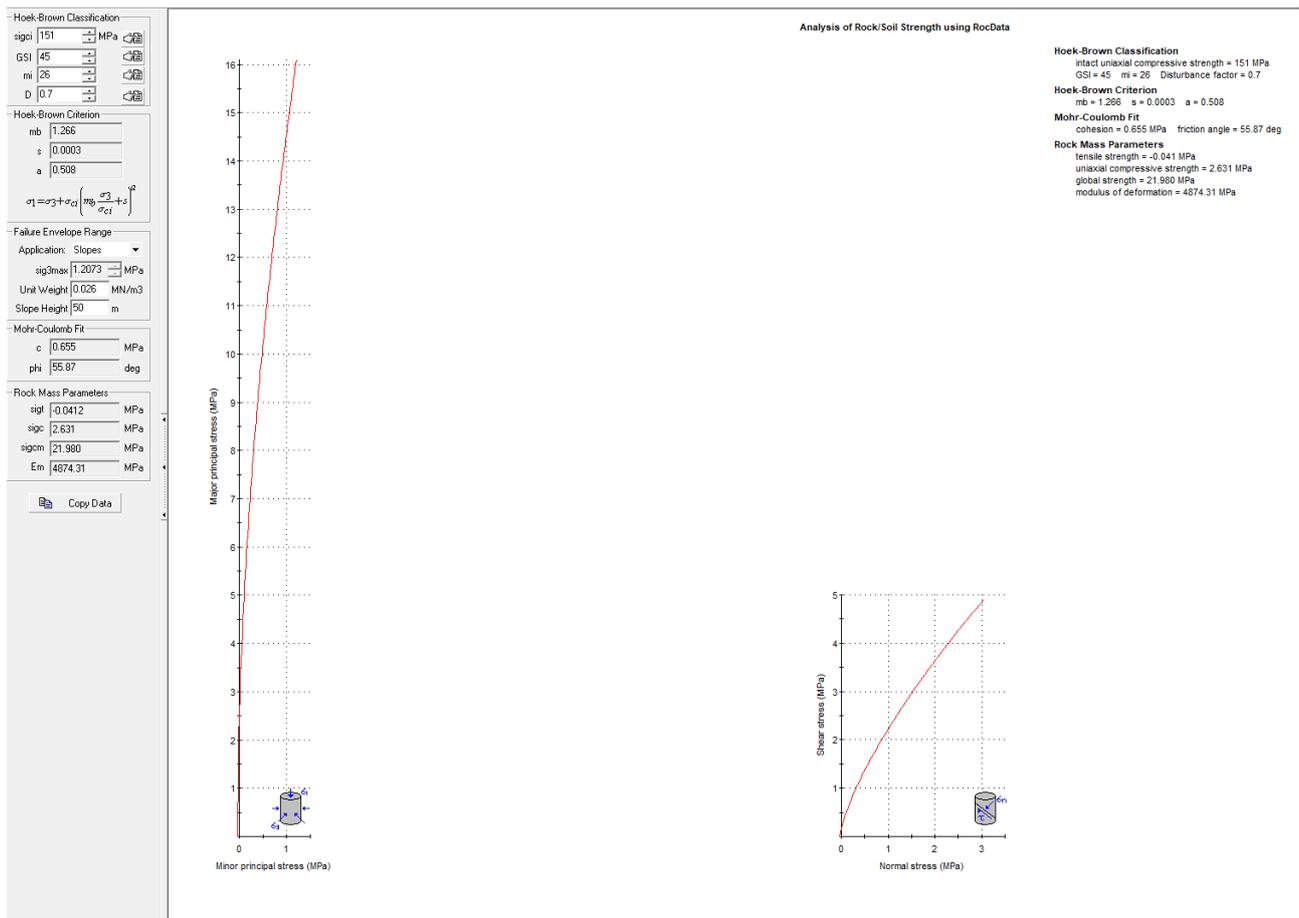
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - non alterate/alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm

Roccia – asciutta



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

## 16.2 Modello Geologico di sito

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva dell'opera e nelle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti. Nello specifico:

- Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione 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.4 modelli geologici rappresentativi descritti di seguito:

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

Il sondaggio di riferimento è il **PN\_S01**; il profilo sismico di riferimento è il **PN-SISM-01\_M1**. Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici.

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

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

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

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

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

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

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

\* Ricavato ipotizzando un aumento del 10%

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

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

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

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

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

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

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

\* Ricavato ipotizzando un aumento del 10%

### Modello Geologico 03 – ARGILLOSCISTI – WTG010, WTG011, WTG012

Il sondaggio di riferimento è il PN\_S02, PN\_S04 e PN\_S05. Il profilo sismico di riferimento è il PN-SISM-02\_M2.

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

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

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

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

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

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

\* Ricavato ipotizzando un aumento del 10%

\*\* Ricavato come media tra i campioni

**Modello Geologico 04<sup>2</sup> – PORFIROIDI – WTG11, WTG13,**

Il sondaggio di riferimento è il **BN\_S04** (riportato negli allegati); Di seguito in sintesi la stratigrafia di riferimento e i parametri geotecnici.

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

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

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

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso e sulla base delle analisi effettuate in laboratorio di seguito vengono indicati i parametri geotecnici caratterizzanti le formazioni geologiche incontrate:

Sito		Pranu Nieddu - MODELLO GEOLOGICO 04 (WTG013)			
<b>Dati Parametri Resistenza</b>					
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/cm <sup>2</sup> ]	0	0,2	6,67	
<b>Dati Parametri Deformabilità</b>					
Modulo elastico	[kg/cm <sup>2</sup> ]	8820	8820	18538	
Coefficiente di Poisson	[ ]	0,33	0,33	0,33	
Modulo di taglio (G)	[kg/cm <sup>2</sup> ]	16447	16447	23198	
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	900	900	1040	

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

### 16.3 Viabilità di impianto e Sottostazione

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

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

Sostanzialmente tutta la viabilità si snoda lungo substrato roccioso con presenza in taluni casi di una copertura superficiale di terreno vegetale e /o roccia degradata con spessori variabili da 0,00m a 2,00m.

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

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

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

Anche la sottostazione sorgerà su tale formazione marnosa. Non sono previste fondazioni profonde pertanto non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante.

### 17. 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. 4 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 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 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.

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

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

Anche la sottostazione sorgerà su tale formazione marnosa. Non sono previste fondazioni profonde pertanto non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante.