



Comune di  
Siurgus Donigala



Comune di  
Selegas

Regione Sardegna



# NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA "PRANU NIEDDU" NEI COMUNI DI SIURGUS DONIGALA E SELEGAS (SU)

## PROGETTO DEFINITIVO - VER. 2

PROPONENTE

### SIURGUS s.r.l.

Via Michelangelo Buonarroti, 39  
20145 - Milano  
C.F. e P.IVA 11189260968  
PEC: siurgus@pec.it

OGGETTO

## 1 - STUDI GEOLOGICI E GEOTECNICI

### RELAZIONE GEOLOGICA

TIMBRI E FIRME



**STUDIO ROSSO  
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO  
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI  
TEL. +39 011 43 77 242  
[studiorosso@legalmail.it](mailto:studiorosso@legalmail.it)  
[info@sria.it](mailto:info@sria.it)  
[www.sria.it](http://www.sria.it)

dott. ing. Roberto SESENNA  
Ordine degli Ingegneri Provincia di Torino  
Posizione n.8530J  
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C

dott. ing. Luca DEMURTAS  
Ordine degli Ingegneri Provincia di Cagliari  
Posizione n.6062  
Cod. Fisc. DMR LCU 77E10 E441L

dott. geol. Francesca DEMURTAS  
Ordine dei Geologi Regione Sardegna  
Posizione n.644  
Cod. Fisc. DMR FNC 79S55 E441X

CONSULENZA

Coordinatore e responsabile delle attività: Dott. ing. Giorgio Efsio DEMURTAS

Consulenza studi ambientali: dott. for. Piero RUBIU

**SIATER s.r.l.** VIA CASULA N. 7 - 07100 - SASSARI



**Studio Gioed**  
VIA IS MIRRIONIS N. 178 - 09121 - CAGLIARI

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	APR/2022
COD. LAVORO	519/SR
TIPOL. LAVORO	D
SETTORE	G
N. ATTIVITA'	02
TIPOL. ELAB.	RS
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	02
VERSIONE	2

REDATTO

geol. Francesca DEMURTAS

CONTROLLATO

ing. Roberto SESENNA

APPROVATO

ing. Luca DEMURTAS

ELABORATO

# 2.1

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA.....</b>	<b>5</b>
3.1 INQUADRAMENTO TETTONICO E STRUTTURALE .....	5
3.2 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO.....	6
3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	7
3.4 CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA DI INTERVENTO.....	8
<b>4. CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'AREA .....</b>	<b>12</b>
4.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA .....	12
4.2 PERMEABILITÀ DELLE LITOLOGIE INDAGATE .....	13
4.3 CARTA IDROGEOLOGICA E FALDA ACQUIFERA.....	14
4.4 FALDA ACQUIFERA .....	14
<b>5. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>16</b>
5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI .....	16
5.1.1 <i>Sondaggio PNS01</i> .....	17
5.1.2 <i>Sondaggio PNS02</i> .....	17
5.1.3 <i>Sondaggio PNS03</i> .....	18
5.1.4 <i>Sondaggio PNS04</i> .....	18
5.1.5 <i>Sondaggio PNS05</i> .....	18
5.2 INDAGINI GEOFISICHE .....	19
5.2.1 <i>Sismica a rifrazione</i> .....	20
Base sismica PN_SISM01_R1.....	21
Base sismica PN_SISM02_R2.....	22
Base Sismica PN_SISM03_R3 .....	23
5.2.2 <i>Indagine sismica mediante metodologia M.A.S.W.</i> .....	24
MASW M1 - PN-SISM01-M1.....	25
MASW M2 - PN-SISM02-M2.....	26
MASW M3 - PN-SISM03-M3.....	28
5.3 ANALISI DI LABORATORIO.....	29
5.3.1 <i>Prove di rottura Point Load</i> .....	30
5.3.2 <i>Determinazione della massa volumica apparente</i> .....	31
<b>6. CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....</b>	<b>32</b>
<b>7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>43</b>
7.1 MODELLO GEOLOGICO 1.....	44
7.2 MODELLO GEOLOGICO 2.....	45
7.3 MODELLO GEOLOGICO 3.....	46
7.4 MODELLO GEOLOGICO 4.....	47



## 1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del progetto definitivo relativo al parco eolico, denominato "Pranu Nieddu" in Comune di Siurgus Donigala (SU) a sud Ovest rispetto al centro abitato. Le opere connesse interesseranno anche i comuni di Selegas (SU), per quanto riguarda la Sottostazione di collegamento alla rete di Terna Rete Italia Spa, mentre il Cavidotto interesserà anche i comuni di Senorbì e Suelli.

Il progetto prevede l'installazione di 13 aerogeneratori del tipo SIEMENS GAMESA SG 6.6 - 170. Gli aerogeneratori hanno potenza nominale di 6,6 MW, per una potenza complessiva del parco eolico di 85,8 MW. L'altezza delle torri sino al mozzo (HUB) è di 115,0 m, il diametro delle pale è di 170 m per un'altezza complessiva della torre eolica pari a 200 m.

La presente emissione del progetto (VER.2) costituisce un'ottimizzazione generale del primo progetto, presentato in data marzo 2021, in quanto il precedente posizionamento degli aerogeneratori, nonché la maggiore altezza delle torri (220 m) risultava rappresentare criticità importanti sul patrimonio archeologico e paesaggistico, secondo quanto illustrato nel parere del 30.06.2021 prot 34.43.01/lasc. ABAP (GIADA) 20.87.9 del Ministero della Cultura - Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio, e trasmessa dal Ministero della transizione ecologica -Direzione generale per la crescita sostenibile e la qualità dello sviluppo, Divisione V Sistemi di valutazione ambientale

Con la nuova versione (VER.2), oltre alla rivisitazione sostanziale del Lay-out di progetto, che prevede anche la riduzione degli aereo generatori al numero di 13 invece che i 14 inizialmente previsti, si risponde alle richieste riportate nella lettera sopra citata, in modo da chiarire le nuove soluzioni previste per risolvere le criticità presentate.

Lo studio che segue si propone di valutare l'idoneità dei terreni presenti nell'area dal punto di vista geologico, morfologico e stratigrafico del nuovo parco in progetto composto dai 13 aerogeneratori e dalle opere accessorie (cavidotto interrato).

L'analisi è stata sviluppata a partire da una verifica dei dati disponibili: Cartografia geologica ufficiale in scala 1:50.000 e 1:100.000, visione delle carte aerofotogrammetriche, a cui ha fatto seguito un accurato rilevamento di campagna che ha consentito uno studio topografico e la ricostruzione dei caratteri litologici, morfologici e idrogeologici dei terreni affioranti.

Il presente lavoro ha come base le indagini geognostiche e geotecniche eseguite nella prima stesura del progetto, presentato in data marzo 2021, il cui layout di progetto si differenzia per il posizionamento degli aerogeneratori ma, vista l'unità morfologica e litostratigrafica dell'area, ricalca sostanzialmente le stesse litologie esaminate in precedenza.

Al fine di determinare le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sottosuolo dunque, necessarie per la definizione del Modello geologico del sito, e valutare geotecnicamente l'interazione delle opere del presente progetto coi terreni di sedime, si è fatto riferimento alle indagini geognostiche eseguite nel sito di indagine nell'agosto 2020, riportate nella Relazione geologica "Nuovo impianto per la produzione di energia da fonte



*eolica nei comuni di Siurgus Donigala e Selegas SU* eseguita dalla "Queequeg Renewables Ltd". Le indagini in particolare hanno visto l'esecuzione di:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo fino alla profondità di -13 m dal piano campagna,
- prove SPT eseguite nei fori di sondaggio,
- analisi di laboratorio (peso di volume, umidità, point load, prove di taglio diretto, classificazione delle terre) per la caratterizzazione geotecnica di terreni, in laboratorio geotecnico certificato.

Le informazioni acquisite nello studio precedente citato, unitamente ai rilievi e le osservazioni dirette sul terreno aggiornati per la stesura del presente progetto (VER.2), hanno lo scopo di chiarire i caratteri geologici, idrogeologici e geomorfologici del sito, evidenziando aspetti che possano pregiudicare l'intervento o che comunque necessitino di particolari accorgimenti in fase di realizzazione dell'opera. I risultati delle analisi permettono inoltre la caratterizzazione e modellazione geologica dei terreni di sedime, interessati dalle opere di fondazione degli interventi di progetto, così come richiesto dalle NTC 2018, "Norme tecniche per le costruzioni".

I dati raccolti sono stati restituiti in forma cartografica, utilizzando come base la cartografia tecnica della Regione Sardegna alla scala 1:10.000.



## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame è individuata nella regione storica della Trexenta, nella zona centro meridionale della Sardegna; il parco eolico in progetto è ubicato nella Provincia del Sud Sardegna, e si estende in un territorio collinare per circa 10 kmq, a sud del centro abitato di Siurgus Donigala, collocandosi in una fascia di circa 7 km di lunghezza tra l'abitato di Sisini, frazione del Comune di Senorbì, e il centro abitato di Goni, e 3,4 km di larghezza, mentre il cavidotto arriva diversi chilometri più a est a circa 1 km dal centro abitato del Comune di Selegas.

Cartograficamente il territorio ricade:

- nel foglio 548 Tavole I, IV dell'I.G.M.I. in scala 1: 25.000,
- nelle sezioni 548 030 "Siurgus Donigala", 548 040 "Goni" della cartografia tecnica della Regione Sardegna in scala 1: 10.000,
- nel Foglio 226 "Mandas" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000,
- nel Foglio 548 "Senorbì" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Gli areali oggetto di intervento non risultano censiti nelle perimetrazioni del PAI regionale (Piano di Assetto Idrogeologico).

L'ubicazione geografica del Parco è riportata in Figura 1.



Figura 1 – Ubicazione del Parco Eolico in comune di Siurgus Donigala (SU).



### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 INQUADRAMENTO TETTONICO E STRUTTURALE

Il settore in esame, come l'intero territorio isolano, è stato interessato da varie fasi deformative legate a più eventi tettonici che nel corso delle varie epoche hanno profondamente influenzato la morfologia dell'intera regione, conferendole la conformazione attuale.

A livello regionale la fase deformativa più importante che ha definito la morfologia odierna regionale è l'orogenesi ercinica. Essa si è manifestata in due eventi deformativi principali: una prima fase compressiva, avente come conseguenze un metamorfismo di basso grado associato a sistemi di pieghe isoclinali coricate con direzione assiale principale N-S e NNW-SSE, con sovrascorrimento delle successioni arenacee Paleozoiche, con trasporto tettonico (tettonica a falde) secondo direzione SW, affioranti nel territorio indagato e che rappresentano i rilievi su cui andranno posizionati gli aerogeneratori in progetto.

Una seconda fase tardo-orogonica, caratterizzata da movimenti più distensivi, con messa in posto del batolite granitico ercinico nel settore orientale dell'isola.

La tettonica post-ercinica ha limitati effetti in Sardegna. Sono note le fasi di emersione a partire dal Permiano a cui, nel Cretaceo, succede un'importante trasgressione marina che ha interessato tutta l'isola, ma sino all'Eocene inferiore l'evoluzione della Sardegna sembra caratterizzata solo da lenti movimenti verticali che determinano profonde trasgressioni e regressioni sul penepiano paleozoico. L'Eocene inferiore è rappresentato da importanti depositi rappresentati dalla Formazione di Monte Cardiga, affiorante nel settore orientale esternamente all'area di indagine, che rappresenta la successione più potente e completa della Sardegna orientale.

Nell'Oligocene la collisione appenninica riattiva il basamento sardo-corso, con faglie trascorrenti generalmente controllate da vecchi lineamenti ercinici e soprattutto tardo ercinici. A questa tettonica trascorrente seguono, nel Miocene inferiore e nel Plio- Pleistocene, fasi distensive associate faglie a normali dirette N-S e NNW-SSE.

Dall'Oligocene superiore fino al Tortoniano si ha la messa in posto di successioni vulcano sedimentarie che interessano l'intera isola dal Golfo di Cagliari fino a quello dell'Asinara, connesse ad una evoluzione geodinamica alpino appenninica che origina una serie di bacini conosciuti in letteratura come Fossa Sarda, e che interessano l'area in studio per la presenza della potente Successione Oligo- miocenica del primo ciclo sedimentario.

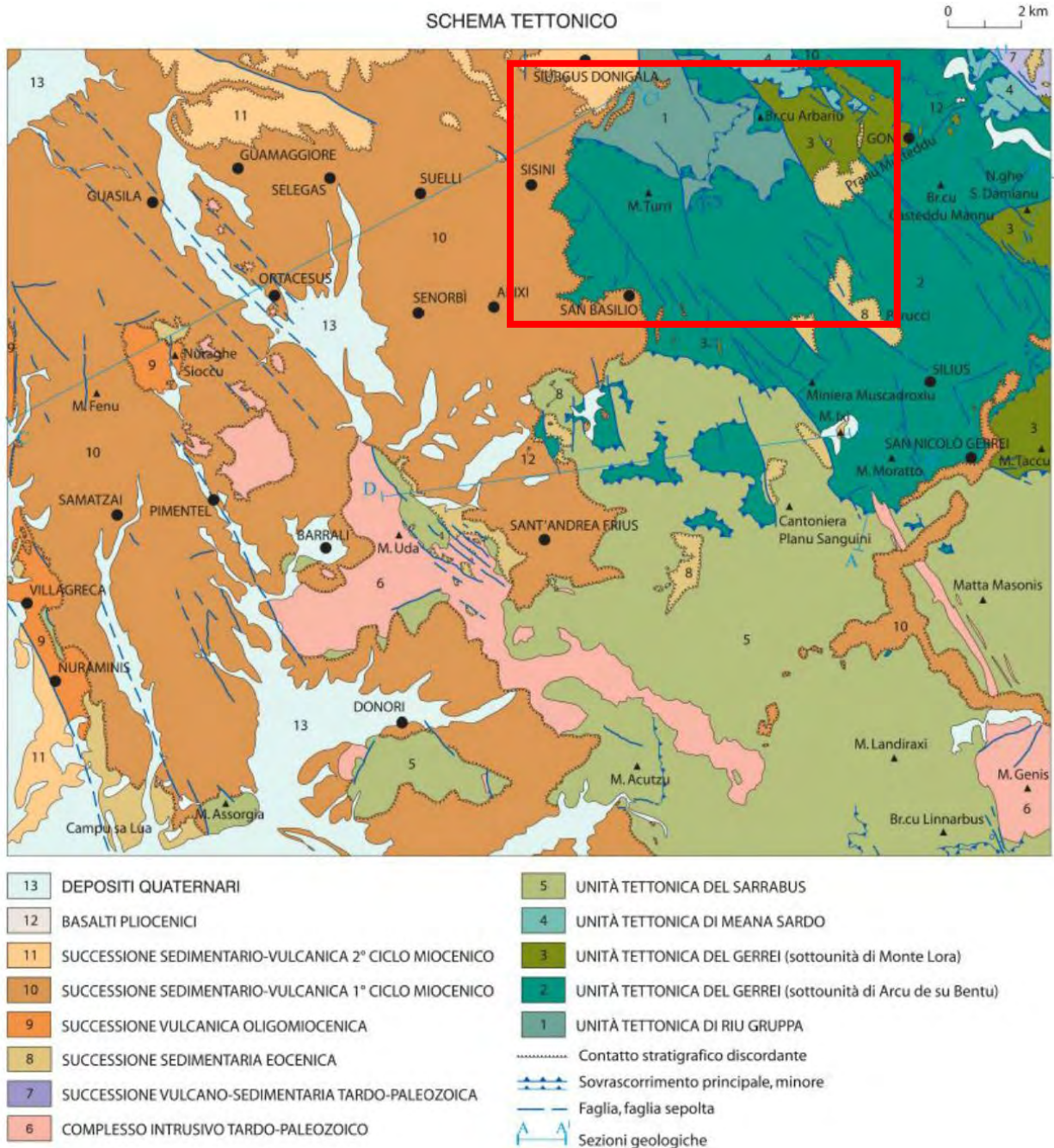


Figura 2 – Schema tettonico dell’area in studio (estratto dalle Note illustrative al Foglio 548 Senorbi, della Carta Geologica d’Italia in scala 1:50.000)

### 3.2 ASSETTO GEOLOGICO DI INQUADRAMENTO

Dal punto di vista geologico, il sito in studio ricade su litologie del Paleozoico, afferenti al Basamento metamorfico ercinico, messi in posto durante l’orogenesi ercinica che, a partire dal Carbonifero (±350 M.A.) si è protratta fino al Permiano, determinando la messa in posto di una estesa catena montuosa, che in Sardegna è



distinguibile in tre zone metamorfiche principali: la zona Assiale (Sardegna NE), la zona delle Falde Interne (Sardegna centrale), la zona delle Falde esterne (Sardegna SW). Il settore oggetto di studio ricade nella zona delle Falde esterne, composta da unità tettoniche che vennero interessate da un metamorfismo di basso grado, in cui sono distinguibili i caratteri della roccia originaria, e sono così distinti:

Metamorfiti appartenenti all'Unità Tettonica del Gerrei, metamorfiti dell'Unità tettonica di Meana Sardo e da quelle dell'unità di Riu Gruppa. 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 vede alla base l'Unità tettonica di Riu Gruppa, su cui sovrascorre l'Unità del Gerrei a sua volta sovrascorsa dall'Unità di Meana Sardo. Queste tre unità tettoniche sono caratterizzate da significative differenze nella successione stratigrafica, soprattutto nella successione vulcanica dell'Ordoviciano medio.

Sono presenti inoltre nel territorio, in modo marginale nel settore orientale, in particolare dove andrà posizionato l'aerogeneratore n. WTG002 le litologie della successione sedimentaria Oligo - miocenica; i depositi quaternari dovuti alla degradazione e al disfacimento della roccia paleozoica originaria ad opera degli agenti esogeni sono rinvenibili lungo i versanti (depositi di versante) e lungo gli impluvi o nelle valli fluviali (depositi fluvio torrentizi) non coinvolgono invece i settori di posa degli aerogeneratori in progetto.

Dal punto di vista strutturale, l'area è caratterizzata da faglie con direzione principale WNW – ESE, talora normali, e da sovrascorrimenti e piegamenti, sovrapposti nella zona sud orientale dell'area in studio.

Di queste strutture tettoniche, le faglie determinano il controllo tettonico delle principali valli, su cui è impostato il reticolo idrografico dell'area.

### **3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Morfologicamente l'area in studio si sviluppa su due unità di paesaggio predominanti: una prima, che caratterizza il settore occidentale dell'area, è individuata dai rilievi paleozoici ad aspetto collinare, arrotondati, con dislivelli dell'ordine di 250 m tra monte e valle, sui cui alti morfologici andranno posizionati gran parte degli aerogeneratori di progetto. Una seconda unità di paesaggio è individuata nel settore orientale, ed è rappresentata dall'ampia pianura sub pianeggiante della Successione sedimentaria oligo – miocenica.

Nel settore occidentale le sommità dei rilievi, le cui quote sono attestate intorno ai 450 – 550 m, sono prevalentemente arrotondati, le cui caratteristiche morfologiche sono date dal lento e continuo lavoro degli agenti erosivi, che ha portato alla formazione di una estesa superficie strutturale, nota in letteratura con il nome di "penepiano ercinico". I successivi fenomeni di sollevamento del settore legati principalmente alla fase tettonica legata all'orogenesi alpina, ha portato ad un ringiovanimento dell'area, con la riattivazione dei processi erosivi lungo le principali lineazioni tettoniche della zona, dove si sono impostati le principali valli e la maggior parte dei corsi d'acqua della zona: in generale le valli del territorio si presentano incise, con versanti poco acclivi, con andamento rettilineo ad andamento prevalente N-S. Talvolta le sommità dei rilievi presentano picchi e creste rocciose dovute alla natura dei rilievi, costituiti da litotipi più resistenti del basamento roccioso paleozoico, come porfiroidi, quarziti, metacalcari e metarenarie). Le morfologie osservabili in quest'area sono





strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto delle litologie paleozoiche e dai loro caratteri fisico – chimici, e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti.

Nel settore orientale i rilievi paleozoici lasciano spazio all'ampia pianura di origine tettonica (rift sardo) della Fossa Sarda, nella quale si sono impostati come già anticipato i sedimenti afferenti alla Successione Oligo – miocenica, con aspetto prettamente pianeggiante, su cui si sviluppa poi la sede stradale che ospiterà il cavidotto, che scorre interrato sulla rete stradale esistente. In questo settore andrà posizionato l'aerogeneratore WTG002.

### 3.4 CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI DELL'AREA DI INTERVENTO

Le litologie affioranti nel settore in studio si riferiscono in prevalenza alle Unità del Complesso metamorfico delle Falde Esterne costituite da metamorfiti di basso grado, dalla Successione sedimentaria Oligo – miocenica e dai depositi quaternari, di versante e di trasporto fluvio - torrentizio.

Gran parte degli aerogeneratori di progetto andranno posizionati sulle litologie afferenti al Complesso metamorfico paleozoico, affiorante superficialmente e con buone caratteristiche meccaniche e di portanza.

Le litologie indagate sono sinteticamente descritte di seguito:

- - **Unità tettonica del Riu Gruppa:** essa rappresenta l'unità tettonica paleozoica più profonda, e costituisce i rilievi tra Siurgus Donigala e San Basilio; la successione litostratigrafica è caratterizzata da un metamorfismo maggiore rispetto alle unità sovrastanti. Dall'alto verso il basso, si rinvencono le metavulcaniti della Formazione di Monte Santa Vittoria, a chimismo variabile che conferisce all'unità un colore variabile dal verde scuro al colore chiaro per la prevalenza di quarzo e fillosilicati. Lo spessore di tale Formazione non è ben definito, e da dati di letteratura è attestato intorno ai 150 m. Al di sopra si rinviene la Formazione delle Metarosse di Genna Mesa, caratterizzate da metarenarie arcosiche, metagrovacche e metasiltiti grigio – verdi, alternate a quarziti grossolane biancastre in bancate metriche, e metaconglomerati con ciottoli di quarzo. In sequenza stratigrafica si rinviene la Formazione degli Scisti a Graptoliti, costituita da metapeliti carboniose di colore nerastro con intercalazioni lentiformi di metacalcari e calcari. L'Unità tettonica chiude la sequenza con la Formazione di Pala Manna, caratterizzata da metarenarie micacee, metasiltiti e quarziti, con metaconglomerati e metabrecce ricche di clasti di liditi; attribuita al Carbonifero inferiore.

In queste litologie ricadono gli aerogeneratori di progetto n.: WTG006, WTG008, WTG009, WTG010.

- - **Unità tettonica del Gerrei:** Tale unità è la più estesa nel territorio, ed è costituita dalla Sotto unità di Monte Lora e dalla Sotto unità di Arcu de su Bentu. Essa è costituita dalla Formazione delle Arenarie di San Vito, affiorante estesamente a sud dell'abitato di Siurgus, rappresentata da metarenarie quarzose – micacee, metaquarzoareniti e metarenarie, di colore scuro dal verdastro al colore chiaro, a chimismo intermedio basico, caratterizzate da una massa filladica affioranti in una finestra tettonica. afferente al periodo Cambriano devoniano, costituenti i rilievi occidentali e sud occidentali dell'area (il cosiddetto "Horst" del "graben" campidanese), rilevabili in superficie lungo settore occidentale costituente i rilievi del Sulcis - Iglesiente, osservabili alle quote da 110 - 150 m a 300 m. Di tale unità fa parte la Formazione



*dei Porfiroidi* (auct.), rappresentati da metavulcanitite da porfiroclasti di k-feldspato e quarzo e cosiddetti *Scisti a graptoliti*, costituiti da metapeliti grafitose nere intercalate da livelli di metasiltiti grigio nere e metasiltiti carbonatiche.

In queste litologie ricadono gli aerogeneratori di progetto n.: WTG001, WTG003, WTG004, WTG005, WTG007, WTG012, WTG014.

- - **Unità tettonica di Meana Sardo:** tale unità affiora per lo più nella parte settentrionale dell'area in studio, in contatto tettonico con la sottostante Unità del Gerrei. Essa è qui rappresentata dalla Formazione di Monte Santa Vittoria, costituita da un complesso vulcanico epiclastitico rappresentato nell'area da metagrovacche e metandesiti in banchi di alcuni metri di spessore, alternate a metavulcaniti grigio scure a composizione da andesitica a basaltica.

In questa litologia ricade l'aerogeneratore di progetto n. WTG011.

- - **Successione sedimentaria oligo-miocenica del Campidano,** è rappresentata da una estesa successione sedimentaria che mostra una progressiva evoluzione da ambienti continentali (Formazione di Ussana) a transizionali e marini circalitorali (Formazione di Nurallao) con passaggi sia verticali che laterali verso ambienti più distali a bassa energia (Formazione della Marmilla). La Formazione di Nurallao è quella più rappresentata nel settore di indagine, e interessa l'area di sviluppo dell'aerogeneratore WTG002, il cui sito è interessato in particolare da depositi conglomeratici a ciottoli eterometrici, da arrotondati a subarrotondati, in matrice spesso carbonatica grossolana, mediamente cementata, afferenti al membro dei "Conglomerati di Duidduru". Più ad est del settore indagato, esternamente all'area di sviluppo del parco, ma che interessa l'area di posa della linea del cavidotto sono presenti invece le "Arenarie di Serralonga", afferente sempre alla Formazione di Nurallao e caratterizzate da arenarie da molto a poco cementate, con intercalazioni di biocalcareni. Lo spessore della Formazione di Nurallao è variabile, a sembrerebbe non superare i 100 m. Lateralmente si ha il passaggio alla Formazione della Marmilla, che affiora estesamente nel settore occidentale in Comune di Suelli e Senorbì: è costituita da alternanze marnoso – arenacee ad elevata componente vulcanica, con spessori di circa 200 m.
- - **Detriti di versante e di falda:** tali sedimenti sono rappresentati da depositi eluvio colluviali, di epoca recente, olocenici, rinvenibili alla valle dei rilievi montuosi e collinari, dovuti dallo smantellamento per erosione fluvio torrentizia degli stessi rilievi paleozoici e deposizione nelle aree di fondo valle.
- - **Depositi quaternari, pleistocenici e olocenici,** alluvionali, affioranti nell'area di indagine, costituenti l'importante sequenza sedimentaria della piana del Campidano.

- **Alluvioni antiche:** sono rappresentate da sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, depositi durante le fasi climatiche freddo - aride e reinci e terrazzati in condizioni caldo - umide. Esse presentano una composizione ciottoloso sabbioso argillosa prevalente, di colore giallo - rossastro, e sono rinvenibili in terrazzi alluvionali orograficamente poco evidenziati, che seguono longitudinalmente l'impostazione dei corsi d'acqua. Esse sono costituiti da ciottoli eterogenei, di natura prevalente paleozoica e cenozoica, in matrice rossastra argilloso limosa.



- *Alluvioni recenti*: sono rappresentate da depositi più o meno incoerenti, bruno rossastri, a composizione ghioiosa e sabbioso - silteosa, di fondovalle e di piana alluvionale, con ciottoli eterometrici ed eterogenei, di natura prevalente paleozoica e cenozoica, legati a periodi di piena e affioranti sia lungo i corsi d'acqua che nelle aree limitrofe topograficamente depresse.

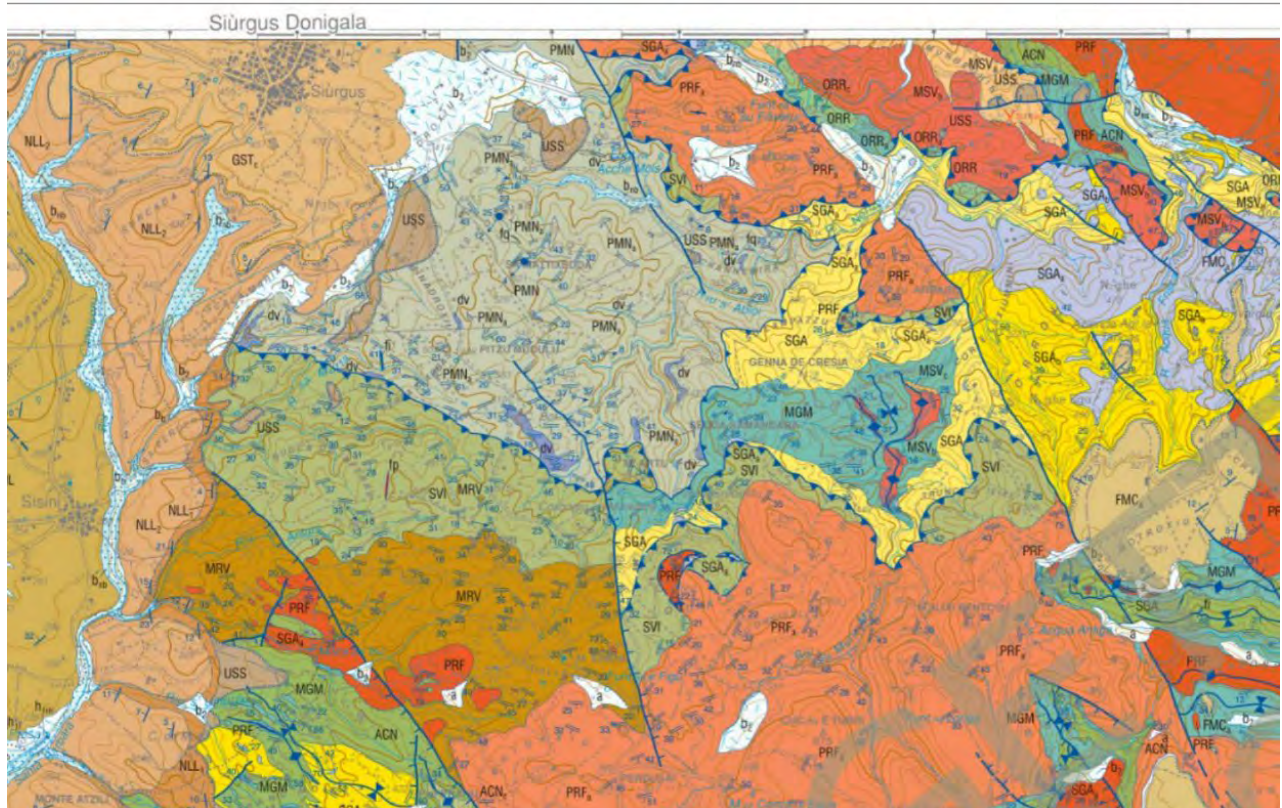


Figura 3 – Estratto della Carta Geologica d'Italia non in scala del Foglio 548 "Senorbi".

#### LEGENDA:

##### OLOCENE:

*b<sub>a,b</sub>*) Depositi alluvionali. *b<sub>2</sub>*) Coltri eluvio – colluviali. *a*) Depositi di versante. *bn<sub>a,b</sub>*) Depositi alluvionali terrazzati.

##### EOCENE INF. PLIOCENE (SUCCESIONE VULCANO SEDIMENTARIA TERZIARIA):

*GST*) Marne di Gesturi. *NLL*) Formazione di Nurallao. *USS*) Formazione di Ussana.

##### UNITA' TETTONICA DI MEANA SARDO (ORDOVICIANO – DEVONIANO):

*SGA*) Scisti a graptoliti. *MSV*) Formazione di Monte Santa Vittoria.

##### UNITA' TETTONICA DEL GERREI (CAMBRIANO – CARBONIFERO):

*PMN*) Formazione di Pala Manna. *SGA*) Scisti a graptoliti. *PRF*) Porfiroidi auct. *SVI*) Arenarie di San Vito.

##### UNITA' TETTONICA DI RIÙ GRUPPA (Ordoviciano – DEVONIANO):

*PMN*) Formazione di Pala Manna. *SGA*) Scisti a graptoliti.



*Figura 4 – Rilievo su cui andrà posizionato l'aerogeneratore WTG007. In affioramento il Complesso metamorfico paleozoico in facies rocciosa, afferente alla Formazione delle Arenarie di San Vito (Unità del Gerrei).*



*Figura 5 – Paesaggio sui "Conglomerati di Duidduru" Formazione di Nurallao, su cui andrà impostata la WTG002.*



## 4. CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'AREA

### 4.1 SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

Il reticolo idrografico superficiale dell'area è impostato su un sistema di drenaggio ben sviluppato, con numerose valli su cui scorrono diversi corsi d'acqua e i relativi affluenti: il Riu Corongiu scorre nella parte orientale, il Riu Norizzi in quella centrale, che, con i relativi affluenti, scorrono verso il Lago Mulargia a nord est, nel settore occidentale sono presenti il Riu Cardaxius e il Riu Funtana Meura e i loro affluenti, che defluiscono verso il Riu Mannu di San Sperate a sud.

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.

Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine, 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.

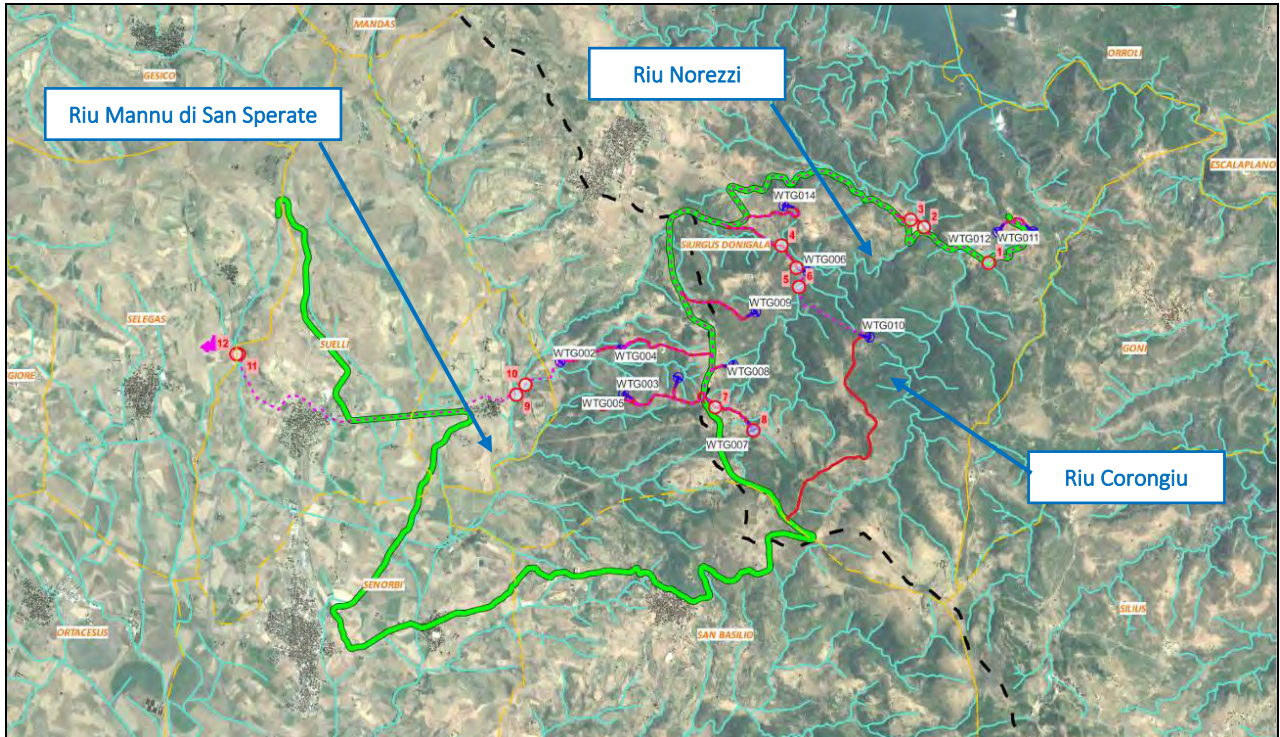
Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, le litologie paleozoiche ospitanti gli aerogeneratori di progetto presentano dei caratteri prettamente impermeabili. Le pendenze dei versanti e l'assenza di suolo nei rilievi rocciosi non sono favorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche e la circolazione idrica profonda è di modesta intensità e strettamente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso. Spesso i caratteri impermeabili del substrato, unitamente alle condizioni morfologiche dei versanti, determinano dei deflussi unitari in concomitanza di eventi pluviometrici intensi, che interessano con una certa frequenza gran parte della Sardegna orientale.

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.



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 6 – Inquadramento dell'impianto in progetto sulla rete idrografica esistente, con ubicazione degli aerogeneratori, della viabilità interna (rosso) e di quella esterna (verde) e traccia del cavidotto (magenta).**

## 4.2 PERMEABILITÀ DELLE LITOLOGIE INDAGATE

Dal punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area in studio possono essere suddivise in tre gruppi principali:

- Complesso acquifero del 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 (calcarei e calcari marnosi). Complessivamente la permeabilità del basamento metamorfico è bassa o assente, con Coefficienti di Permeabilità variabili tra  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$ .
- Complesso acquifero delle coperture 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.
- Complesso acquifero dei 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.

### 4.3 CARTA IDROGEOLOGICA E FALDA ACQUIFERA

Nell'Elaborato 2.5 Carta Idrogeologica, desunta dalla carta della permeabilità dei suoli della Regione Autonoma della Sardegna (fonte Geoportale), 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).

Sono da segnalare le turbine che, pur ricadendo in zone a permeabilità bassa per fratturazione, sono ubicate in siti con particolari situazioni strutturali (piegamenti, sovrascorrimenti) o stratigrafiche, in cui la circolazione idrica lungo i giunti tettonici può essere più marcata e dunque si possono registrare locali aumenti dei valori di permeabilità. Ad esempio, le WTG005 e WTG007 ricadono in aree prossime ad importanti sovrascorrimenti che mettono in contatto le diverse Formazioni dell'Unità tettonica del Rio Grappa, mentre la WTG006 è prossima ad un contatto stratigrafico tra la Formazione di Pala Manna e la Formazione di Ussana a Permeabilità scarsa o assente.

Per quanto riguarda le litologie afferenti alla Formazione di Nurallao, ove ricade la WTG002, esse presentano una Permeabilità classificata come media, come dagli studi idrogeologici eseguiti per la stesura del Foglio 548 "Senorbi"<sup>1</sup>. Infatti, la permeabilità in queste litologie è poco omogenea, elevata in alcune zone, sia per porosità sia per fessurazione, in quanto passa a localmente scarsa in coincidenza delle intercalazioni a granulometria più sottile, ma nell'insieme è da considerare buona.

### 4.4 FALDA ACQUIFERA

Nel settore indagato non è presente una falda acquifera superficiale, come confermato dai sondaggi geognostici eseguiti per la stesura del progetto, in cui non è stata rinvenuta la falda acquifera.

Come detto, le litologie metamorfiche paleozoiche presentano una permeabilità medio bassa per fratturazione, in cui i giunti di fratturazione e di stratificazione e foliazione delle rocce sedimentarie possono, localmente, permettere l'infiltrazione delle acque di precipitazione in profondità, garantendo l'alimentazione di falde idriche

<sup>1</sup> Funedda A., Carmignani L., Pertusati P.C., Forci A., Calzia P., Marongiu F., Pisanu G., Serra M. "Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 548 Seniorbi" Regione Autonoma della Sardegna



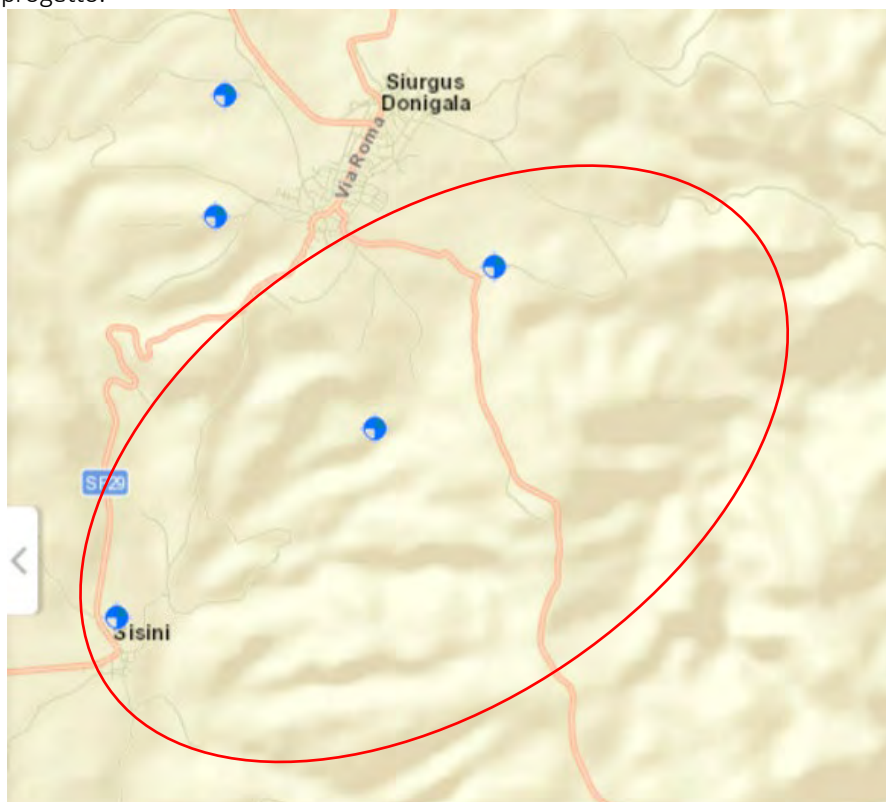
profonde, il cui sviluppo e portata sono strettamente legate ai sistemi di fratturazione e ai rapporti di giacitura degli strati, in genere di modesta entità.

Nella successione sedimentaria Oligo – miocenica affiorante nel settore est dell'area del parco, la circolazione idrica sotterranea è garantita per fessurazione e raggiunge portate maggiori, essa tende a far confluire i flussi idrici (isopieze) verso il settore sud, seguendo il gradiente topografico e l'importante linea di deflusso data dal Rio Cannisoni che confluisce sul Riu Mannu di San Sperate.

Da un'analisi bibliografica effettuata nella banca dati del Genio Civile e della regione, sono stati rilevati solamente n. 3 pozzi in prossimità dell'area di sviluppo del parco. In prossimità dell'abitato di Siurgus Donigala, a sud, sono stati rilevati n. 2 pozzi idrici eseguiti sul basamento paleozoico metamorfico, dove sono state rinvenute delle falde idriche profonde (a -15 m e -67 m), entrambi con portata inferiore a 0,05 l/s.

In prossimità della frazione di Sisini, sulle litologie afferenti alla Successione sedimentaria Oligo - micenica, è stato rilevato un pozzo con falda idrica a -12 m da p.c. e con portata pari a 3,5 l/s.

Dalla ricerca bibliografica eseguita, nonché dalle risultanze delle indagini geognostiche eseguite in situ, si può confermare che nell'area di sviluppo del parco non è presente una falda idrica superficiale che possa interferire con le opere in progetto.



**Figura 7 - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984), in blu i pozzi di riferimento per l'analisi sulla falda freatica (fonte: sito ISPRA).**





## 5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'analisi geotecnica di seguito riportata è finalizzata a definire le caratteristiche e i parametri meccanici dei terreni direttamente interessati alla posa degli aerogeneratori in progetto. Essa è stata effettuata sulla base di studi e indagini geognostiche eseguiti sulle medesime unità litologiche affioranti, realizzati nella precedente fase di progettazione, riportate nella Relazione geologica "Nuovo impianto per la produzione di energia da fonte eolica nei comuni di Siurgus Donigala e Selegas SU" eseguita dalla "Queequeg Renewables Ltd", i cui risultati si riportano interamente poiché ritenuti validi e idonei alla caratterizzazione geotecnica per la presente fase di progetto.

Le indagini sono state realizzate tra l'agosto 2020 e novembre 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).

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

- 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;
- 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);

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.

### 5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti n. 5 sondaggi a carotaggio continuo della profondità massima raggiunta di 15 m 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.

I sondaggi sono stati eseguiti mediante 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.

**Tabella 1 – Ubicazione dei sondaggi geognostici nelle coordinate geografiche WGS84/UTM zone 32N**

ID Sondaggio	Località	Coordinate x	Coordinate y	Profondità dal p.c.
PN_S01	Masoni Aragana	517441	4379664	7,00
PN_S02	Genna de Cresia	519907	4380659	7,70
PN_S03	Genna de Cresia	519370	4380931	14,30
PN_S04	Sedda de s'ortu	522222	4382365	15,00
PN_S05	Corte Luxiumini	521358	4381055	15,00

Si riportano in sintesi le stratigrafie di sondaggio rilevate.

#### 5.1.1 Sondaggio PNS01

Nel primo sondaggio 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.

#### 5.1.2 Sondaggio PNS02

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.



### 5.1.3 Sondaggio PNS03

Nel terzo sondaggio sono stati rinvenuti più superficialmente 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.

### 5.1.4 Sondaggio PNS04

Durante i lavori di esecuzione di tale sondaggio è stata rilevata 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 ocra 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 arcose, 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.

### 5.1.5 Sondaggio PNS05

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).

## 5.2 INDAGINI GEOFISICHE

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 2 – Ubicazione dei sondaggi geognostici nelle coordinate geografiche WGS84/UTM zone 32N**

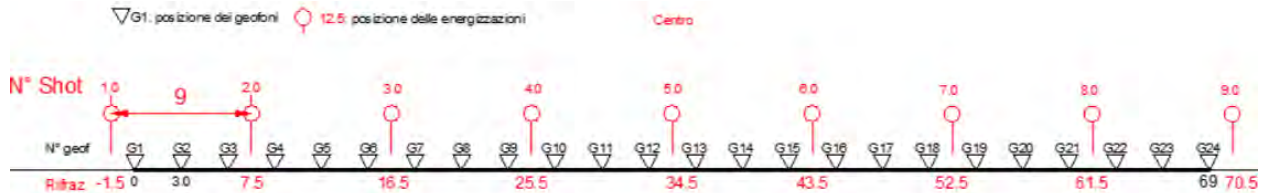
Stendimento	Orientamento	Lunghezza (m)
<i>PN-SISM01-M1</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM02-M2</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM03-M3</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM01-R1</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM02-R2</i>	SE-NW	69,00
<i>PN-SISM03-R3</i>	SE-NW	69,00

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



### 5.2.1 Sismica a rifrazione

Nel corso della campagna di indagine descritta, in funzione della lunghezza degli stendimenti si eseguirono n. 9 energizzazioni-shot al fine di meglio descrivere la geometria degli orizzonti rifrattori lungo l'intera base sismica come meglio specificato nello schema di seguito rappresentato.



**Figura 8 – 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.

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.

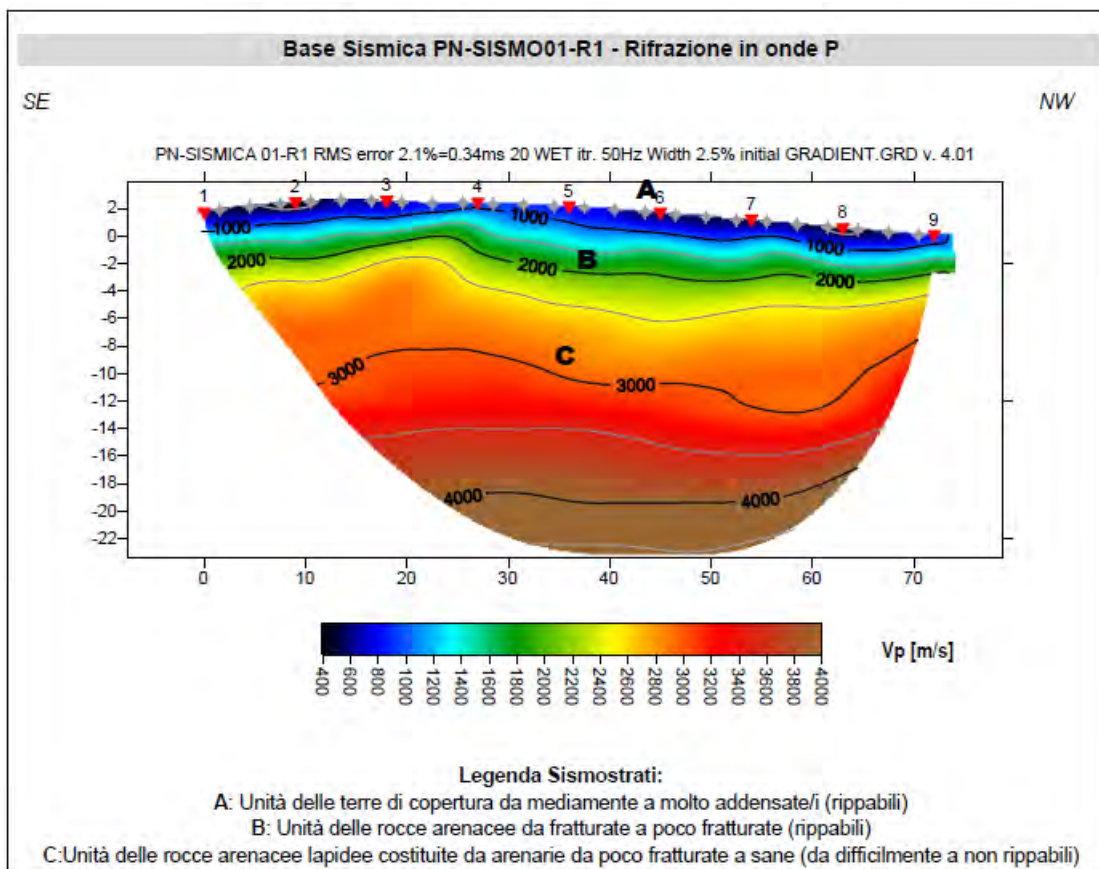
Di seguito si riportano i risultati dell'elaborazione tomografica delle 3 acquisizioni di sismica a rifrazione. Una prima osservazione evidenzia come il profilo R1 presenti delle velocità  $V_p$  con valori più elevati e a profondità minori rispetto ai profili R2 e R3, dove le velocità sono molto più 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.

*Base sismica PN\_SISM01\_R1*

Nella sezione sismica R1 sono stati distinte 3 unità sismostratigrafiche principali come di seguito schematizzato, 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.

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



*Figura 9 – Sezione tomografica della sezione PN\_SISM01\_R1*

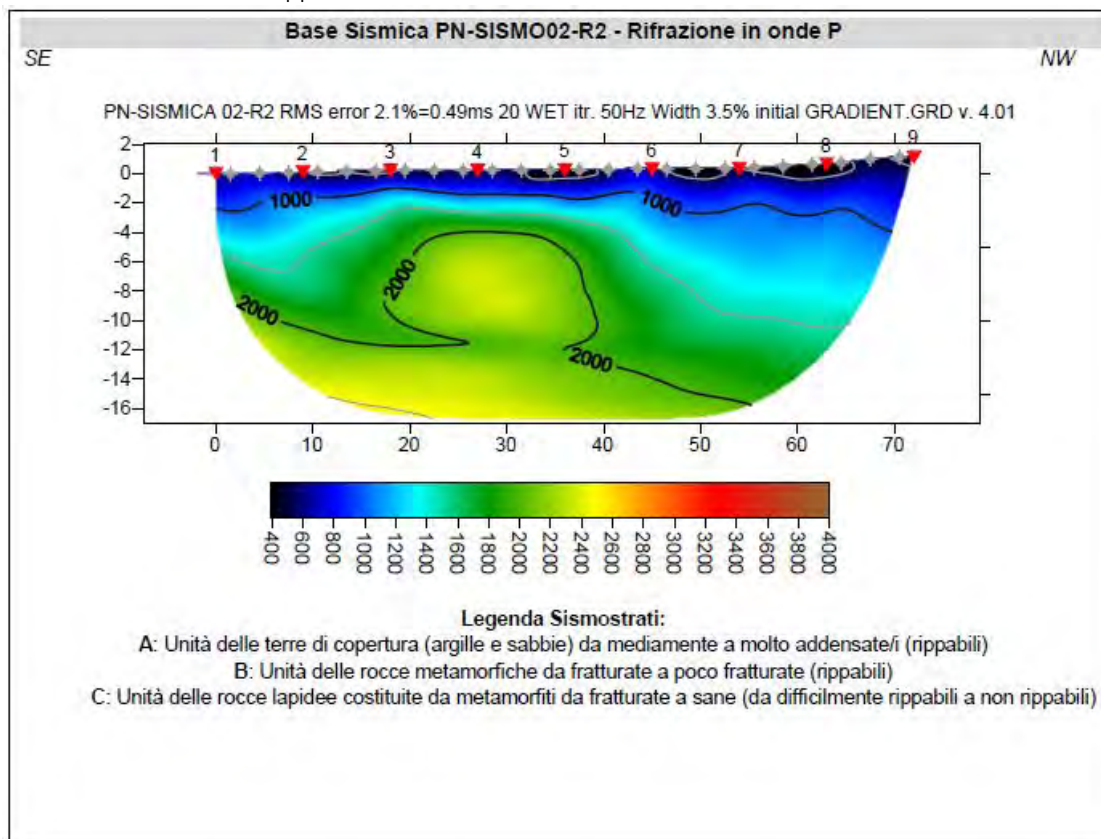
*Base sismica PN\_SISM02\_R2*

Nella sezione sismica PN\_SISM02\_R2 si sono distinti 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

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.



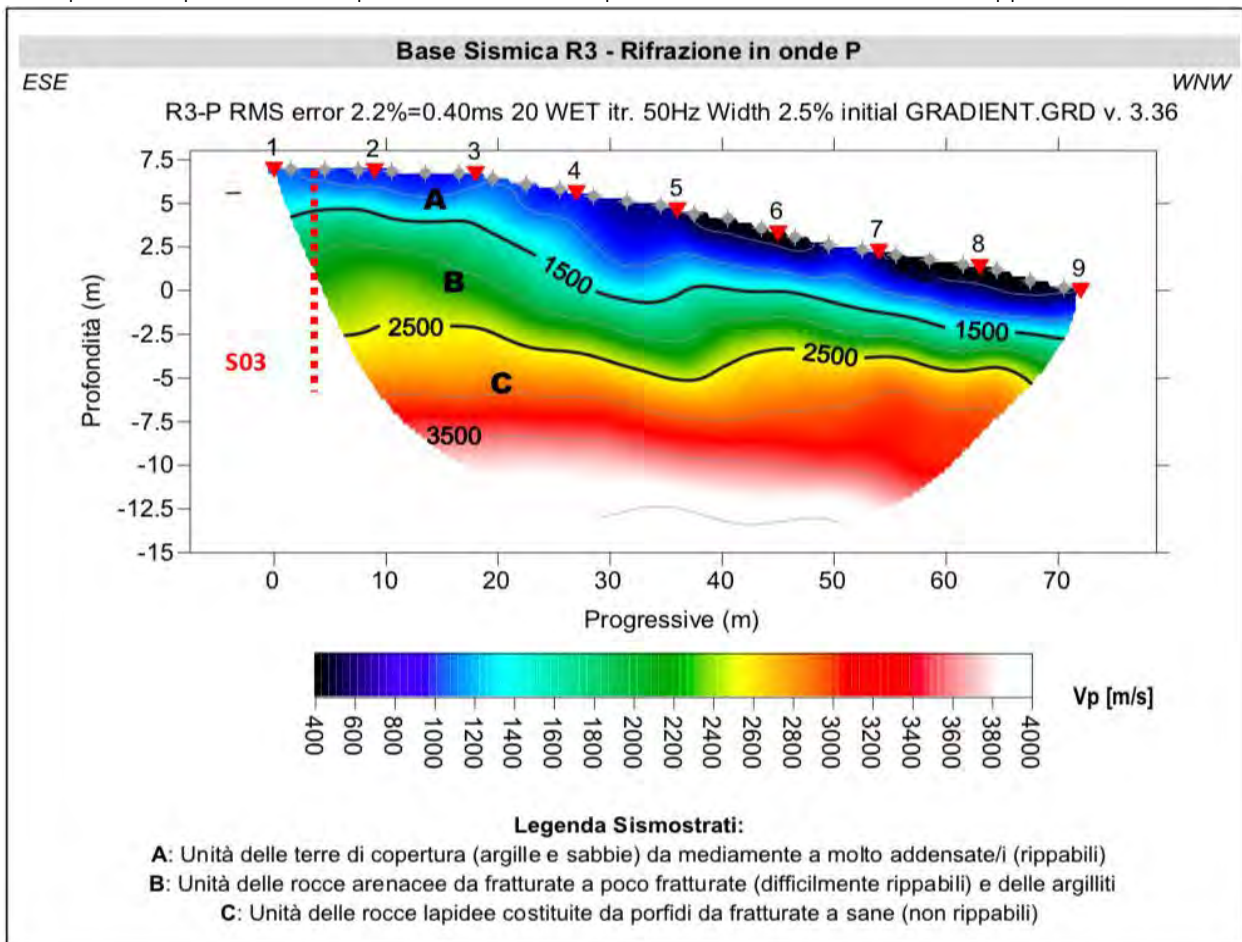
*Figura 10 – Sezione tomografica della sezione PN\_SISM02\_R2*

*Base Sismica PN\_SISM03\_R3*

Nella sezione sismica PN\_SISM03\_R3 si sono distinti 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

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 11 – Sezione tomografica della sezione PN\_SISM03\_R3*





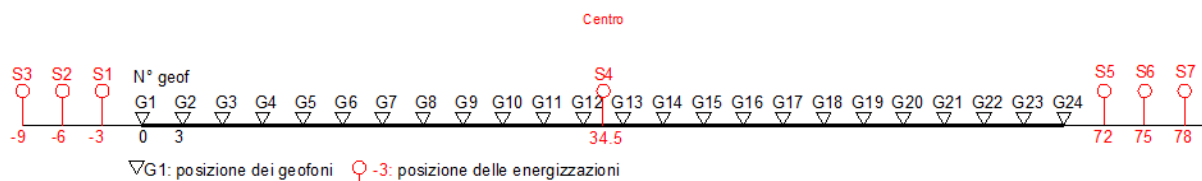
### 5.2.2 Indagine sismica mediante metodologia M.A.S.W.

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

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla 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.



**Figura 12 – Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza  $L = 72.00$  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 allo stendimento geofonico, 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. 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.

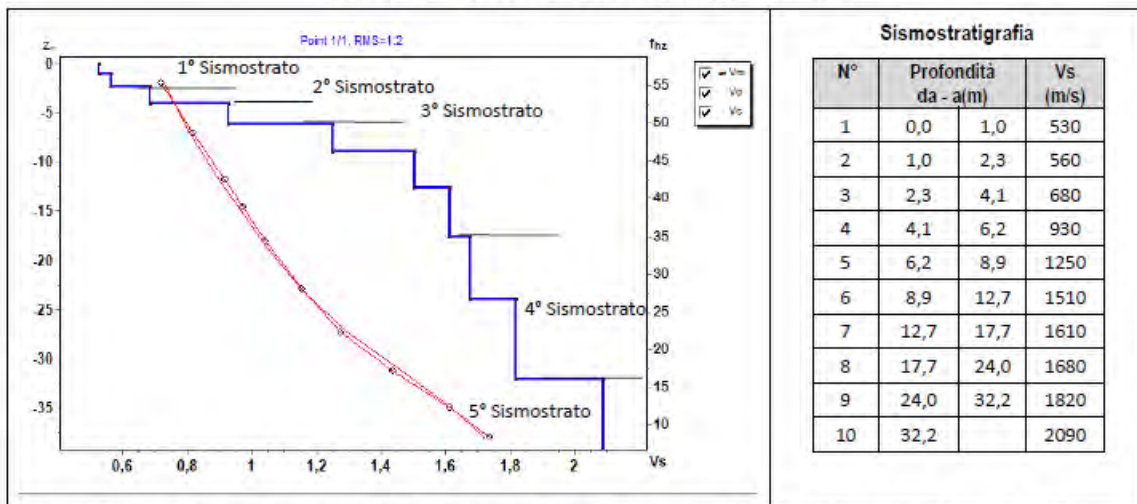
L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione MX, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

**MASW M1 - 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 1680 m/s Substrato roccioso debolmente fratturato
17,7– 32,2	5° sismostrato con Vs tra 1820 e 2090 m/s, Substrato roccioso sano
>32,2	6° sismostrato con Vs > 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.



Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **4,1 m** ( $V_s > 800$  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:  $V_s \text{ eq} = 4,1/0,006787 = 604$  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 seguente 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, così come ripreso nella già citata Relazione geologica.

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 <sub>0</sub>	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m³]	[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

*MASW M2 - PN-SISM02-M2*

Dalla sezione M2 sono stati distinti, mediante l'indagine sismica con tecnica MASW, i sismostrati attraverso il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

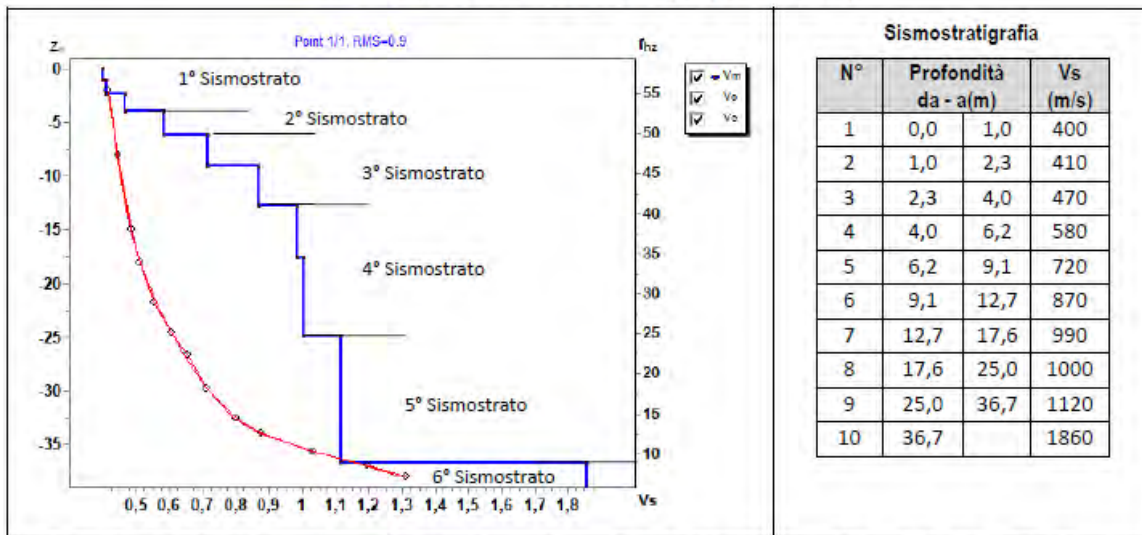
**Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche**

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	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

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,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

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

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  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  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato **9,1 m** ( $V_s > 800$  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:

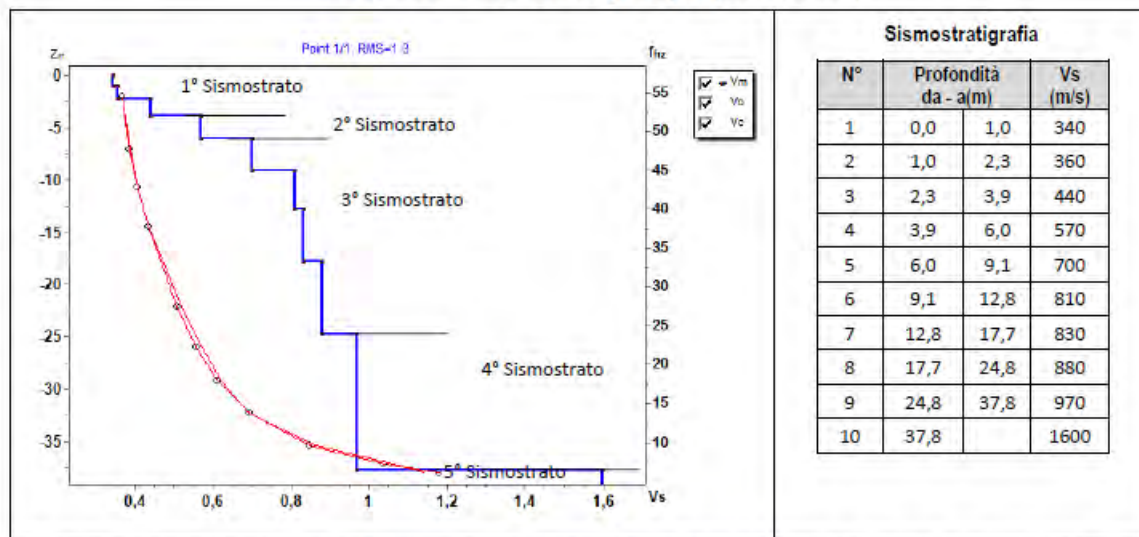
**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW M3 - PN-SISM03-M3

Dalla sezione M3 sono stati distinti n. 5 sismostrati attraverso il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ .

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 3,9	1° sismostrato con $V_s$ tra <b>340 e 440 m/s</b> , Terre molto addensate o rocce tenere intensamente fratturate
3,9 – 6,0	2° sismostrato con $V_s$ di <b>570 m/s</b> , Roccia intensamente fratturata
6,0 – 24,8	3° sismostrato con $V_s$ tra <b>700 e 880 m/s</b> Substrato roccioso intensamente fratturato
24,8 – 37,8	4° sismostrato con $V_s$ tra <b>970 e 1600 m/s</b> , Substrato roccioso sano
>37,8	5° sismostrato con $V_s$ >di <b>1600 m/s</b> , Substrato roccioso sano

MASW M3 - PROFILO  $V_s$  ( $V_{s,eq}$  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,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione

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

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  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  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle  $V_s$  si pone come profondità del substrato **9,1 m** ( $V_s > 800$  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:  **$V_{s,eq} = 9,1/0,018269 = 498$  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.

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

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

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	$V_p$	$V_s$	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico $E_d$	Modulo di Young statico $E_d$	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

**5.3 ANALISI DI LABORATORIO**

Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati n. 7 campioni di carota rappresentativi, i quali sono stati classificati e catalogati, e sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- Prove point Load eseguiti su spezzoni di carota lapidea,
- Peso di volume,
- Taglio diretto mediante scatola di Casagrande,
- Classificazione (limiti di Atterberg e analisi granulometrica).

Di seguito si riporta in tabella il riepilogo della analisi svolte:



**Tabella 3 – Riepilogo delle analisi di laboratorio eseguite sui campioni: PL = Point Load; PV = Peso di Volume; TD = Taglio Casagrande; CL = Classificazione Terre (limiti Atterberg + Analisi Granulometrica)**

Campione	Profondità(m) da p.c.	Analisi eseguite
PN_S01_C1	2.30-2.50	PL
PN_S01_C2	3.70-3.90	PL + PV
PN_S01_C3	5.40-5.70	PL
PN_S01_C4	8.50-8.80	PL + PV
PN_S01_C5	11.20-11.50	PV
PN_S02_C1	8.30-8.60	PL + PV
PN_S02_C2	9.10-9.40	PL + PV
PN_S03_C1	10.70-10.90	PL + PV
PN_S04_C1	3.60-3.80	PL
PN_S04_C2	4.70-5.00	PL + PV
PN_S04_C3	7.30-7.50	PL
PN_S04_C4	9.00-9.30	PL + PV
PN_S05_C1	4.20-4.40	PL
PN_S05_C2	5.50-5.80	PL
PN_S05_C3	8.20-8.60	PL + PV
PN_S05_C4	9.70-10.00	PL

### 5.3.1 Prove di rottura Point Load

Le prove Point Load eseguite sui campioni di carota lapidea sono state effettuate mediante 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).

I risultati hanno dato valori molto variabili, con valutazione della resistenza da molto bassa a media (Brown E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM suggest methods)

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

**Tabella 4 – Risultati delle Prove Point Load**

Campione	Profondità (m)	P (kN) Media su 3 rotture	Tipo rottura	Is (MPa)	Is(50) (MPa)	KeSu (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

### 5.3.2 Determinazione della massa volumica apparente

Il parametro della massa volumica apparente è stato valutato in n. 10 campioni mediante pesata in acqua a temperatura ambiente dopo aver provveduto ad impermeabilizzare il provino con paraffina. I risultati, per ciascun campione analizzato, sono di seguito riportati.

**Tabella 5 – Risultati della determinazione della massa volumica apparente**

Sondaggio	CAMPIONE	Massa Vol. naturale Mg/m <sup>3</sup>
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





## 6. 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 geostrukturali 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

$s$  e  $a$  = 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 (Figura 14) 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 della Figura seguente (Figura 13), che riassume i valori della costante  $m_i$  per diversi tipi di roccia.



TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
	Non clastiche	Organogene	Grovaccha (18)			
			Calcare bianco (7)			
		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)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
	Scure		Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
			Norite 22			
Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)		

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

Figura 13 – Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

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

[\*] 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 14 – Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

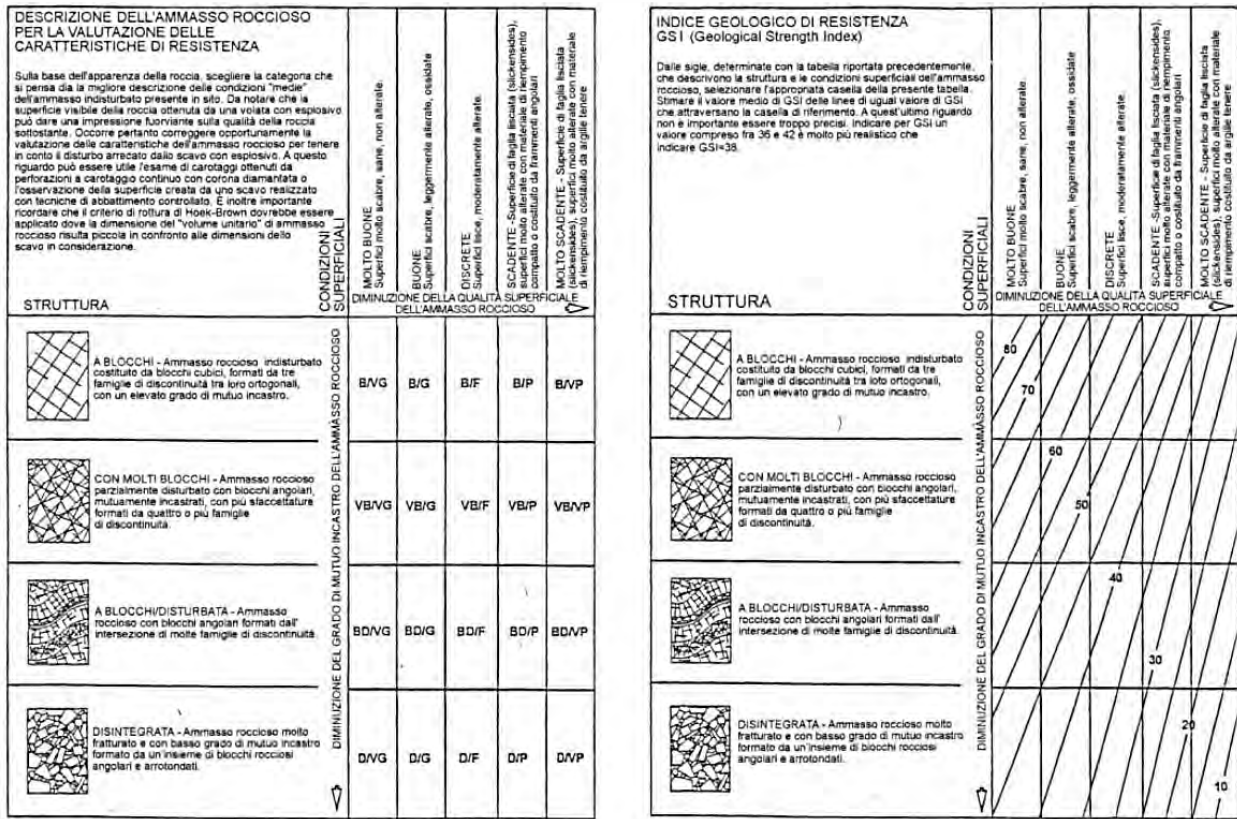


Figura 15 – Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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.

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.

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

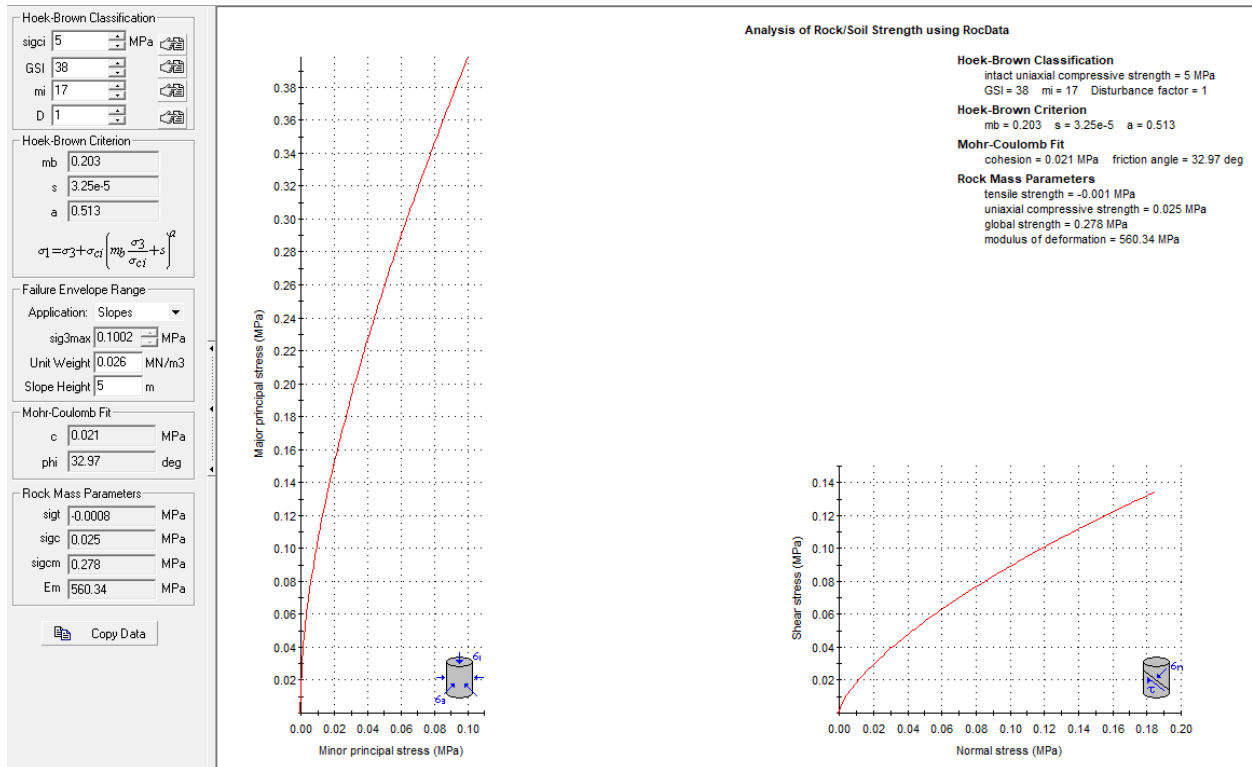
Apertura del giunto = 0,0 - 2 mm

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

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


---

**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**

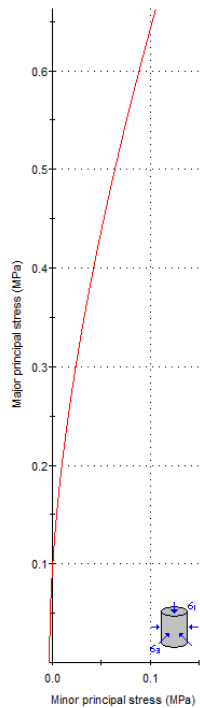
sigt -0.0033 MPa

sigc 0.096 MPa

sigcm 0.506 MPa

Em 1328.79 MPa

Copy Data



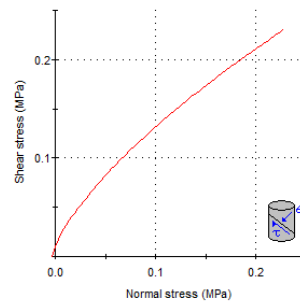
**Analysis of Rock/Soil Strength using RocData**

**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

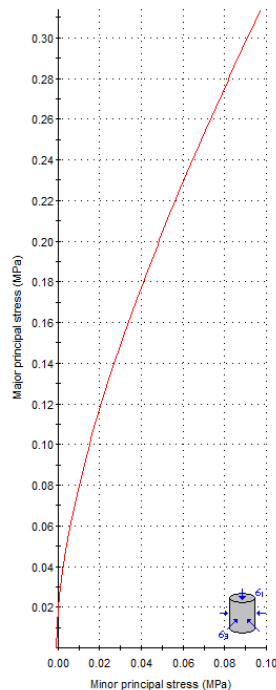
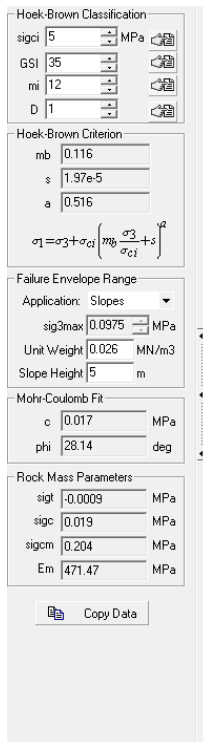
Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia - asciutta

Roccia –



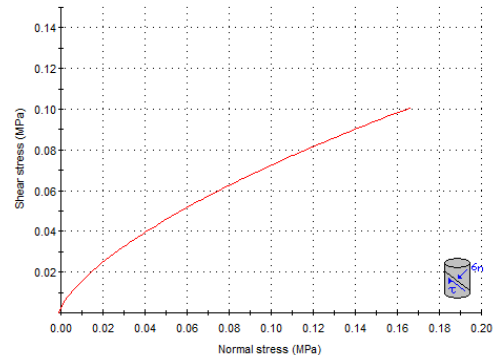
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

**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

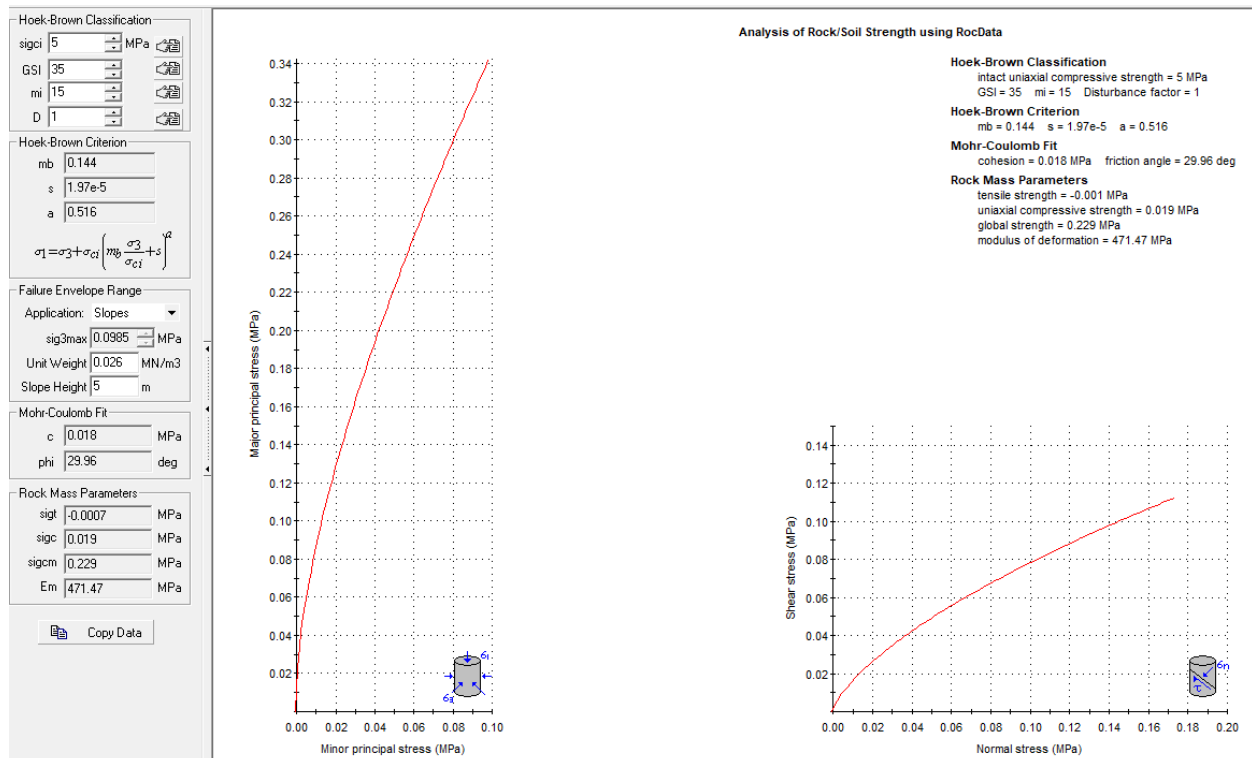
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



**Formazione degli ARGILLOSCIITI 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

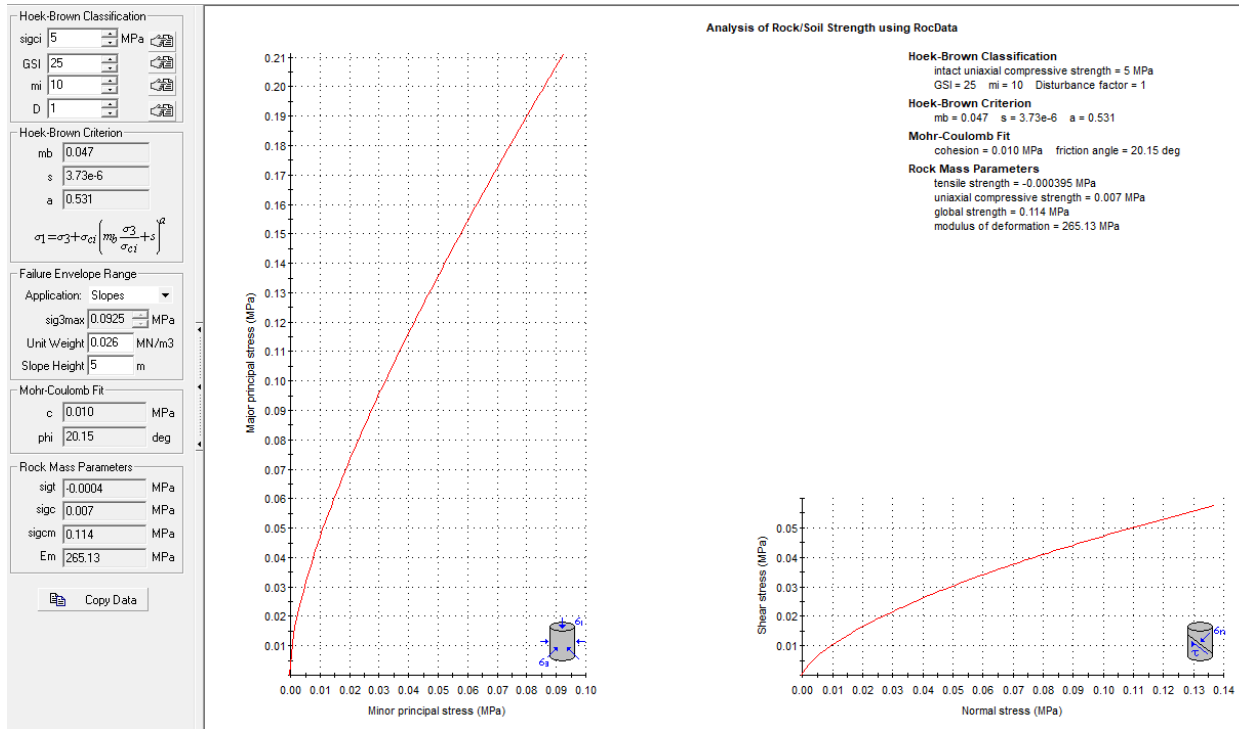
Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm

Giunto - rugoso

Pareti - alterate

Riempimento - sciolto > 1 mm

Roccia – asciutta



**Formazione degli ARGILLOSCIITI**

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



**Hoek-Brown Classification**

sigci 5 MPa  
 GSI 35  
 mi 15  
 D 1

**Hoek-Brown Criterion**

mb 0.144  
 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 0.0985 MPa  
 Unit Weight 0.026 MN/m3  
 Slope Height 5 m

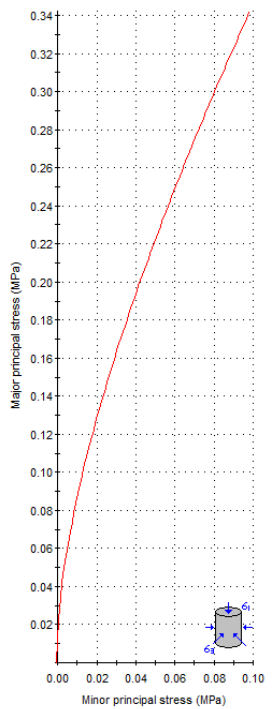
**Mohr-Coulomb Fit**

c 0.018 MPa  
 phi 29.96 deg

**Rock Mass Parameters**

sigt -0.0007 MPa  
 sigc 0.019 MPa  
 sigcm 0.229 MPa  
 Em 471.47 MPa

Copy Data



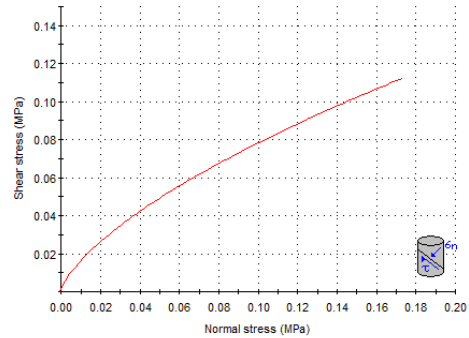
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial compressive strength = 5 MPa  
 GSI = 35 mi = 15 Disturbance factor = 1

**Hoek-Brown Criterion**  
 mb = 0.144 s = 1.97e-5 a = 0.516

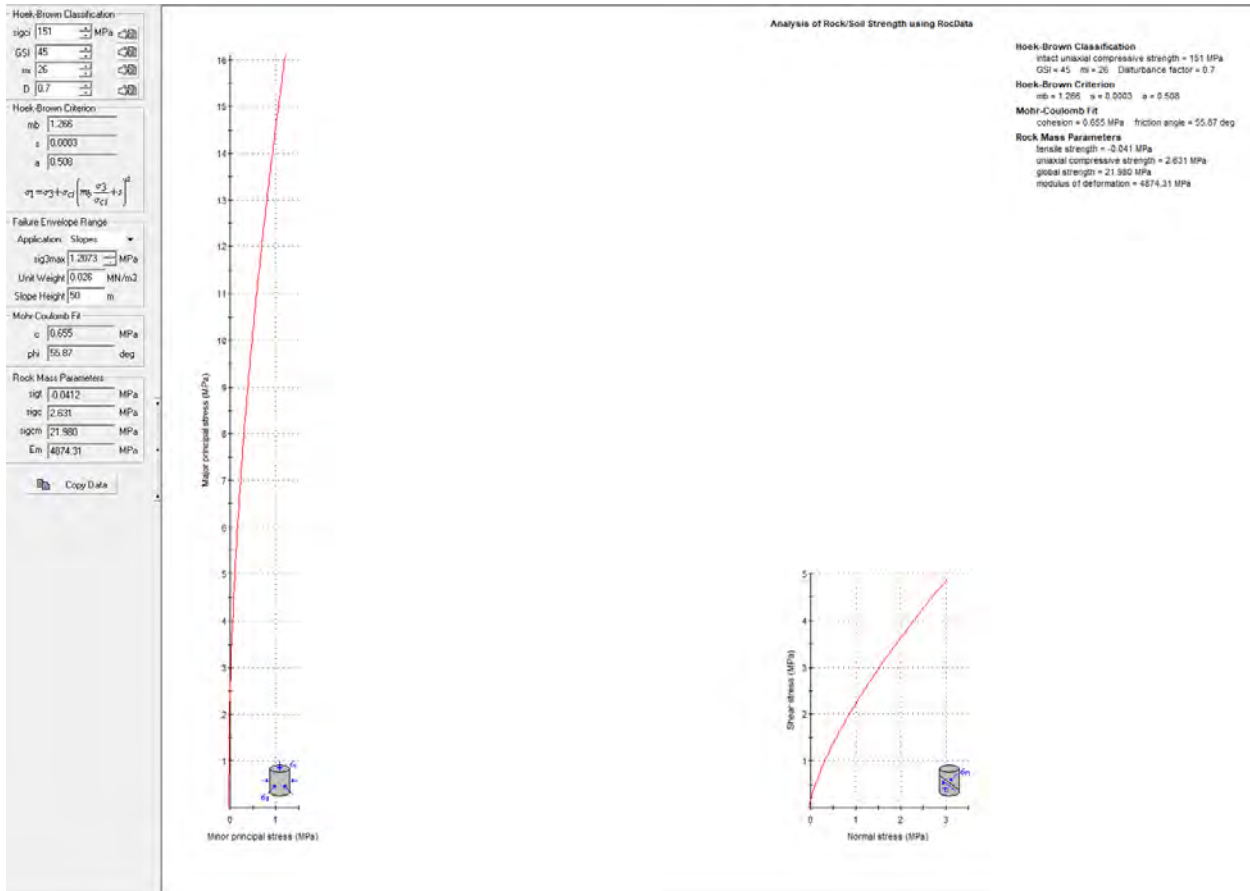
**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.018 MPa friction angle = 29.96 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.001 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.019 MPa  
 global strength = 0.229 MPa  
 modulus of deformation = 471.47 MPa



**Formazione dei PORFIROIDI Auct.**

- Standard ISRM = Un campione richiede molti colpi di martello per essere fratturato
- Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (Lt)=1000 mm
- RQD =25%
- Spaziatura delle discontinuità (s)=0,05 m
- Persistenza (continuità) del giunto = 0,5 m
- Apertura del giunto = 0,1 - 5 mm
- Giunto - rugoso
- Pareti - non alterate/alterate
- Riempimento - sciolto > 1 mm – compatto >5mm
- Roccia – asciutta



I dati bibliografici raccolti, unitamente ai risultati delle indagini geognostiche eseguite e descritte in precedenza, hanno permesso di ipotizzare un modello geotecnico del terreno in esame, che ha portato all'individuazione di unità geotecniche considerate omogenee, in riferimento alla costituzione litostratigrafica e granulometrica dei terreni, e alle condizioni idrogeologiche dell'area. La valutazione e i parametri geotecnici qui proposti, che rappresentano una valutazione di massima, dovranno essere verificate puntualmente nelle successive fasi progettuali, attraverso indagini geognostiche dirette e indirette per ciascun sito di posa degli aerogeneratori in progetto, miranti a verificare la situazione litostratigrafica locale e determinare i parametri geotecnici dei terreni di sedime necessari per le verifiche geotecniche di progetto.

**SIURGUS s.r.l.**

Eurowind Energy.

Comuni di Siurgus Donigala e Selegas  
Provincia del Sud Sardegna - REGIONE SARDEGNA

**NUOVO IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE EOLICA  
"PRANU NIEDDU" NEI COMUNI DI SIURGUS DONIGALA E SELEGAS (SU)**

*Progetto definitivo – VER. 2*

**SRIA**  
s.r.l.  
STUDIO ROSSO  
INGEGNERI ASSOCIATI



Studio Gioed



## 7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Sulla base di quanto emerso dai rilievi su descritti, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico, si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione esecutiva delle opere e nelle varie fasi di realizzazione.

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

- Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, sia in relazione alla maggiore componente fine presente (metargilliti carboniose piuttosto che metarenarie) sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. La profonda deformazione che le metamorfite e i porfiroidi hanno subito genera variazioni di giacitura anche nell'ordine del metro pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione eseguire un dettagliato rilievo geostrutturale finalizzato all'esclusione di ogni possibile rischio di crollo e/o slittamento di porzioni di parete.
- Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia: pur se non è stata rilevata in fase di indagine, vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle fondazioni in relazione ad una possibile circolazione idrica indotta dai fenomeni di detensionamento dovuti agli scavi, con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di alterazione di arenarie eoceniche e metamorfite. In tal caso, in fase esecutiva, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

In relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, sono stati descritti N. 4 modelli geologici rappresentativi dell'area di progetto, di seguito elencati:



### 7.1 MODELLO GEOLOGICO 1

La presente modellazione geologica rappresenta la Formazione delle Arenarie di San Vito, in particolare gli areali che interessano la posa degli aerogeneratori WTG001, WTG003, WTG004, WTG005, WTG007.

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.

- 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, WTG003, WTG004, WTG005, WTG007)		
Dati Parametri Resistenza				
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - metargilliti	S3 - metarenarie
Descrizione				
Peso di volume	[kg/mc]	1800	2679	2617
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2946*	2879
Angolo di attrito interno	[°]	25	32.97	42.24
Coesione	[kg/cm <sup>q</sup> ]	0	0,21	0.36
Dati Parametri Deformabilità				
Modulo elastico	[kg/cm <sup>q</sup> ]	14500	22596	44704
Coefficiente di Poisson	[ ]	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm <sup>q</sup> ]	5496	8504	16805
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	530	530	930



## 7.2 MODELLO GEOLOGICO 2

La presente modellazione geologica rappresenta la Formazione di Pala Manna, in particolare gli areali che interessano la posa degli aerogeneratori WTG006, WTG008, WTG009.

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 metasilatico alterato, molto fratturato
- 3,90m in poi – Basamento scistoso metacalcareo vo metasilatico 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, WTG008, WTG009)		
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



### 7.3 MODELLO GEOLOGICO 3

La presente modellazione geologica rappresenta la Formazione degli Scisti a graptoliti, delle metavulcaniti e metandesiti su cui ricadono gli aerogeneratori WTG010, WTG011, WTG012.

I sondaggi di riferimento sono: il PN\_S02, il PN\_S04, il PN\_S05. Il profilo sismico di riferimento è il 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 metarcese. 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>q</sup> ]	0	20.15	29.29
Dati Parametri Deformabilità				
Modulo elastico	[kg/cm <sup>q</sup> ]	9299	9299	16498
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm <sup>q</sup> ]	3497	3497	16498
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	435	435	580

## 7.4 MODELLO GEOLOGICO 4

Tale modello riguarda l'areale su cui andrà posizionato l'aerogeneratore WTG014. 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 (WTG014)		
Dati Parametri Resistenza				
Tipo di Terreno		S1 - suolo	S2 - argilla	S3 - porfiroidi
Descrizione				
Peso di volume	[kg/mc]	1800	1800	2687
Peso di volume saturo	[kg/mc]	2000	2000	2687
Angolo di attrito interno	[°]	25	25	55,87
Coesione	[kg/cm <sup>q</sup> ]	0	0,2	6,67
Dati Parametri Deformabilità				
Modulo elastico	[kg/cm <sup>q</sup> ]	8820	8820	18538
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0,33	0,33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm <sup>q</sup> ]	16447	16447	23198
Velocità onde di taglio Vs	[m/sec]	900	900	1040

N.B. Per comparazione con il comportamento geomeccanico delle litologie afferenti alla Formazione di Nurallao ed in particolare ai Conglomerati di Duidduri, su cui andranno posizionate le fondazioni dell'aerogeneratore WTG002, si indica cautelativamente il Modello geologico 2 per le verifiche di progetto della pala eolica suddetta. Si precisa che nelle successive fasi progettuali saranno necessarie ulteriori indagini geognostiche più dettagliate per ciascun areale che ospiterà le fondazioni delle opere in progetto, al fine di determinare in corrispondenza di ogni pala eolica con maggior precisione le condizioni litostratigrafiche e i parametri geotecnici che saranno di riferimento per le verifiche geotecniche di progetto.