



IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE EOLICA DENOMINATO "TRUNCU REALE" DA REALIZZARSI IN LOCALITA' TRUNCU REALE (SS)

OPERA DI PUBBLICA UTILITA'
VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE ai sensi del D.Lgs 3 aprile 2006, n.152 ALL. II

COMMITTENTE

FIMENERGIA

INDIRIZZO

VIA L. BUZZI, 6, 15033 CASALE MONFERRATO (AL)
T. +390292875126 (ufficio operativo)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DEL PROGETTO

FAVERO ENGINEERING

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27
20124 MILANO (MI)
+390292875126

Ing. FRANCESCO FAVERO
Ing. ALESSANDRO LUNARDI
Ing. STEFANO PAVESI
Ing. SIMONE SCORRANO
Ing. GIOVANNI LANIA
Paes. RICCARDO GORETTI
Paes. RICCARDO BIGLIARDI
Dott. ANGELO GIGLIOTTI

CONSULENZA TECNICO-AMBIENTALE



PIAZZA DELL'ANNUNZIATA 7
09123 CAGLIARI (CA)
+39 347 596 5654 - energhabia@pec.it

Ing. BRUNO MANCA
Ing. ALESSANDRA SCALAS
Ing. ILARIA GIOVAGNORIO
Ing. SILVIA EXANA
Dott. GIOVANNI LOVIGU
Dott. GIULIO CASU
Dott. GIORGIO LAI
FEDERICA ZACCHEDDU

CONSULENTI

ACUSTICA: Ing. CARLO FODDIS - Ing. IVANO DISTINTO
Viale Europa 54, 09045, Quartu San'Elena (CA) - + 39 070 2348760 - cf@fadssystem.net
AGRO - PEDOLOGIA: Dott. Nat. NICOLA MANIS
Via Picasso 26, 09036, Guspini (SU) - +39 347805917 - nicolamanis@pecagrotecnici.it
ARCHEOLOGIA: Archeologo dott. FABRIZIO DELUSSU
Via Depretis 7, 08022, Dorgali (NU) - + 39 3475012131 - archeologofabriziodelussu@gmail.com
CHIROTTEROFAUNA: Dott. Nat. Ermanno Pidinchedda
Via G. Leopardi 1, 07100, Sassari (SS) - + 39 328 1612483 - ermannonpidinchedda@gmail.com
FAUNISTICA: Dott. Nat. MAURIZIO MEDDA
Via Lunigiana 17, 09122, Cagliari (CA) - +39 393 8236806 - meddamaurizio@libero.it
FLORISTICA: Dott. Agr. Nat. FABIO SCHIRRU
Via Solomardi 34, 09040, San Basilio (SU) - +39 347 4998552 - fabio.schirru@pecagrotecnici.it
GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDRAULICA: Dott. Geol. COSIMA ATZORI
Via Bologna, 30 09033 Declomannu (CA) - +39 070 7346008 - cosima.atzori@galaconsulting.eu

REV.	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	GIUGNO 2023	PRIMA EMISSIONE	-	-	Ing. F. Favero
01					
02					
03					
04					

ELABORATO

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA

DETTAGLI DEL DISEGNO

SCALA GENERALE

SCALA PARTICOLARE

ARCHIVIO

FILE

DTG_082

STILE DI STAMPA

FAVERO ENGINEERING.ctb

CODIFICA

FASE PROGETTUALE

DEFINITIVO

CATEGORIA

DTG

PROGRESSIVO

0 8 2

REVISIONE

00

INDICE

1. PREMESSA	5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. STUDI E INDAGINI DI RIFERIMENTO	6
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....	7
5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....	12
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
6.1. <i>Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....</i>	<i>14</i>
6.2. <i>Litologie del substrato.....</i>	<i>19</i>
6.3. <i>Depositi Quaternari dell'area continentale</i>	<i>20</i>
7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI	22
8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITA' DELL'AMMASSO ROCCIOSO.....	22
9. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	24
9.1. <i>8.1 Lineamenti geomorfologici generali</i>	<i>25</i>
9.2. <i>Definizione dell'area geomorfologicamente significativa</i>	<i>26</i>
10. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	27
10.1. <i>Schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.....</i>	<i>27</i>
10.2. <i>9.2 Caratteristiche e dinamiche delle acque sotterranee.....</i>	<i>29</i>
10.3. <i>Analisi della Vulnerabilità degli acquiferi</i>	<i>34</i>
11. INQUADRAMENTO CLIMATICO	35
11.1. <i>Precipitazioni.....</i>	<i>36</i>
11.2. <i>Temperature</i>	<i>37</i>
11.3. <i>Stima dell'Evapotraspirazione</i>	<i>38</i>
12. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO	42
13. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI	45
13.1. <i>Piano Stralcio D'assetto Idrogeologico Della Sardegna (P.A.I.).....</i>	<i>45</i>
13.2. <i>Inventario dei Fenomeni Franosi – Progetto I.F.F.I.....</i>	<i>48</i>
13.3. <i>Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.).....</i>	<i>48</i>
13.4. <i>Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).....</i>	<i>49</i>
14. INDAGINI GEOGNOSTICHE	52
14.1. <i>Indagini dirette in sito</i>	<i>52</i>
14.2. <i>Indagini indirette in sito.....</i>	<i>53</i>
14.3. <i>Sondaggi geognostici.....</i>	<i>54</i>
14.4. <i>Stratigrafia dei sondaggi</i>	<i>56</i>
14.5. <i>Attrezzature utilizzate.....</i>	<i>57</i>
14.6. <i>Prova penetrometrica dinamica S.P.T.</i>	<i>58</i>

14.7. Prospezione geofisica.....	60
14.8. Prove Lugeon.....	75
14.9. Analisi di laboratorio: Prove di Rottura Point Load.....	79
14.10. Prove di Laboratorio: taglio diretto (ASTM D 3080-98).....	83
14.11. Prova di compressione monoassiale.....	84
14.12. Determinazione della massa volumica apparente (UNI CEN ISO/TS 17892-2 metodo b).....	87
14.1. Caratterizzazione geostrutturale degli ammassi rocciosi dell'area di interesse.....	87
15. MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DI SITO.....	95
15.1. Viabilità di impianto e Sottostazione.....	98
16. CONCLUSIONI: CRITICITÀ GEOLOGICHE E SUGGERIMENTI OPERATIVI.....	99



Indice delle figure

Figura 1 Ubicazione dell'area di studio.....	7
Figura 2 Panoramica nei pressi della WTG 02.....	7
Figura 3 Ubicazione dell'area di studio.....	8
Figura 4 Inquadramento CTR dell'area di studio (area di impianto).....	9
Figura 5 Inquadramento CTR dell'area di studio (cavidotto e sottostazione).....	10
Figura 6 Inquadramento IGM dell'area di studio.....	11
Figura 7 Dimensioni dell'aerogeneratore.....	13
Figura 8 Sezione tipologica della fondazione.....	14
Figura 9 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	15
Figura 10 Schema Tettonico dell'area vasta di studio (tratto da Hydrogeology of the Nurra Region, Sardinia (Italy): Basement-cover influences on groundwater occurrence and hydrogeochemistry, Ghiglieri et al 2006; 2009a) – in rosso l'area di interessa al progetto.....	17
Figura 11 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Hydrogeology of the Nurra Region, Sardinia (Italy): Basement-cover influences on groundwater occurrence and hydrogeochemistry, Ghiglieri et al 2006; 2009a) – in rosso l'area di interessa al progetto.....	18
Figura 12 Coltri eluvio-colluviali.....	20
Figura 13 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse.....	21
Figura 14 tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione.....	23
Figura 15 Paesaggio dell'area di studio (a sud della SS 131).....	24
Figura 16 Paesaggio dell'area di studio (a nord della SS 131).....	25
Figura 17 Morfologia del paesaggio; valli aperte.....	26

Figura 18	Suddivisione dei bacini idrografici sardi	27
Figura 19	Reticolo idrografico dell'area di progetto.....	28
Figura 20	Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo.....	30
Figura 21	Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari".....	31
Figura 22	Monografie dei pozzi censiti nell'Archivio Nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984).....	32
Figura 23	Stralcio della Carta della Permeabilità dei substrati e dei Suoli (Fonte RAS).....	33
Figura 24	Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Sassari per gli anni 2012-2018, e nella stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011.	38
Figura 25	Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Truncu Reale	38
Figura 26	Ventosità media per inverno (a), primavera (b), estate (c), e autunno (d) durante il periodo 1971-2000 registrate nella stazione meteorologica di Fertilia.	39
Figura 27	Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per il periodo 1971-2000	40
Figura 28	Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth)	40
Figura 29	Climogramma relativo all'area di interesse	41
Figura 30	Carta dei Suoli, Fonte RAS.....	43
Figura 31	Carta dell'Uso del Suolo, Fonte RAS	44
Figura 32	PAI: Pericolosità da frana Hg	46
Figura 33	PAI: Pericolosità idraulica Hi	47
Figura 34	Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l'area di intervento	48
Figura 35	Carta delle perimetrazioni PSFF.....	50
Figura 36	Carta delle perimetrazioni PGRA	51
Figura 37	Planimetria delle aree di indagine	54
Figura 38	Sonda idraulica EGT VD710.....	58
Figura 39	localizzazione stendimento R1/M1 e T1.....	61
Figura 40	Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 69,0 m	62
Figura 41	Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	65
Figura 42	Stendimento (L=69m) di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m	66
Figura 43	Schema generale di un'indagine tomografica	67
Figura 44	Sismostrati individuati nella sezione R1.	70
Figura 45	Schema della prova Lugeon	77
Figura 46	Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia	88
Figura 47	Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso	89
Figura 48	Valori della costante mi per diversi tipi di roccia.....	90

Figura 49 Correlazione fra valori di m_i , s , indice RMR, ed il tipo di roccia.....	91
Figura 50 Classificazione dell'ammasso roccioso nei litotipi A, A' e B mediante Hoek-Brown.....	94
Figura 51 Modello Geologico del sito	96

CS&D

1. PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Parco Eolico denominato "TRUNCU REALE" dislocato nel territorio comunale di **Sassari, Provincia del Sassari (SS)**, al fine di avere un quadro completo del contesto geologico e geotecnico è stata redatta la presente Relazione Geologica, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto attraverso:

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

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

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

- Norme di attuazione del PAI aggiornate al 2022 con la Deliberazione n. 12 del 21/12/2021, pubblicata sul BURAS n. 72 del 30/12/2021 e successivamente approvate con la Deliberazione di giunta regionale n. 2/8 del 20/1/2022 e con Decreto del Presidente della Regione n. 14 del 7/2/2022 dal Comitato Istituzionale.

3. STUDI E INDAGINI DI RIFERIMENTO

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalle pubblicazioni ufficiali e cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 (CARG)
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25.000
- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Foto aeree, Regione Sardegna

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geognostiche eseguita per la realizzazione di un aerogeneratore nella zona di interesse, le cui indagini in sito sono state realizzate in data 06-07 e 10 Maggio 2021 dalla Ditta Dr. Antonello Angius con sede in Cagliari (CA) e in data 20 Aprile 2021 dalla ditta GEOSERVICE con sede in Villa San Pietro (CA). Le analisi di tipo geotecnico sono state effettuate presso il Laboratorio Geotecnico Certificato GEOSYSTEM con sede in Quartu Sant'Elena (CA).

Le operazioni si sono svolte sotto la Direzione Lavori della scrivente.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Truncu Reale è una frazione del comune di Sassari, nella Sardegna nord occidentale, ad una altitudine di 82 m s.l.m. Qui si trova la nuova zona industriale del comune di Sassari, in aggiunta a quella storica di Predda Niedda.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 foglio 459 IV "La Crucca"
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10.000 – sezz. 459010 "Campanedda", "459020 "Ottava", 459050 "Monte Nurra", 459060 "La Landrigga".

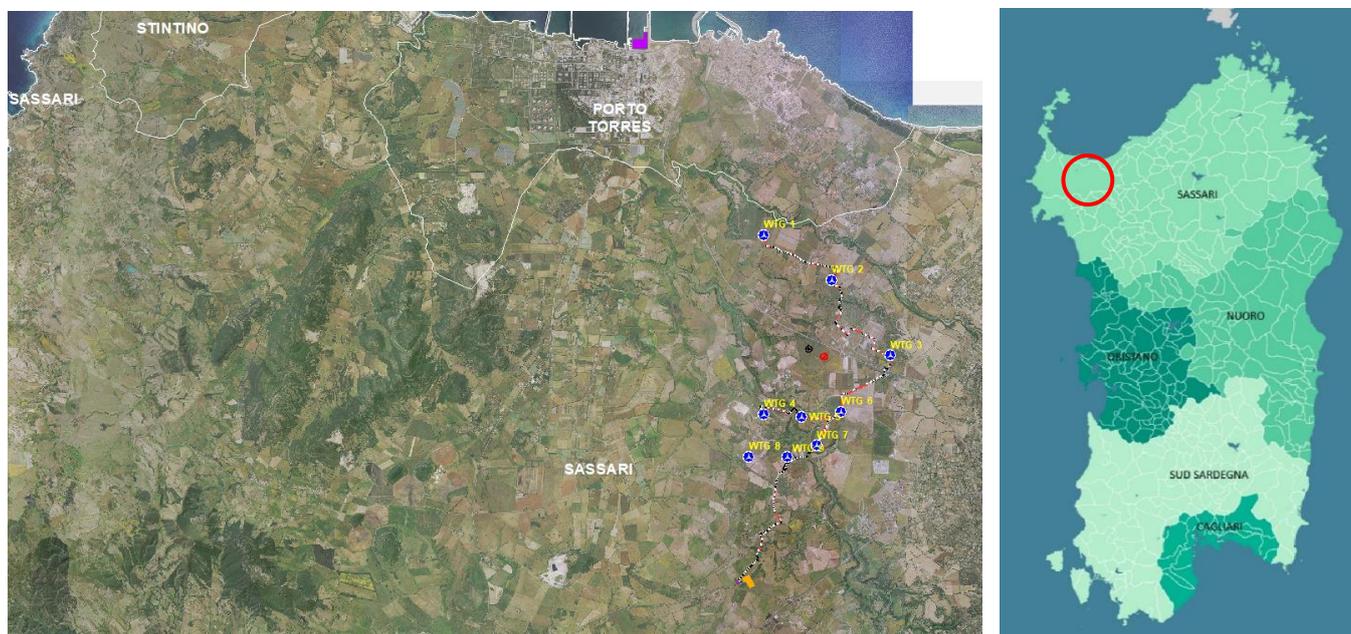


Figura 1 Ubicazione dell'area di studio



Figura 2 Panoramica nei pressi della WTG 02

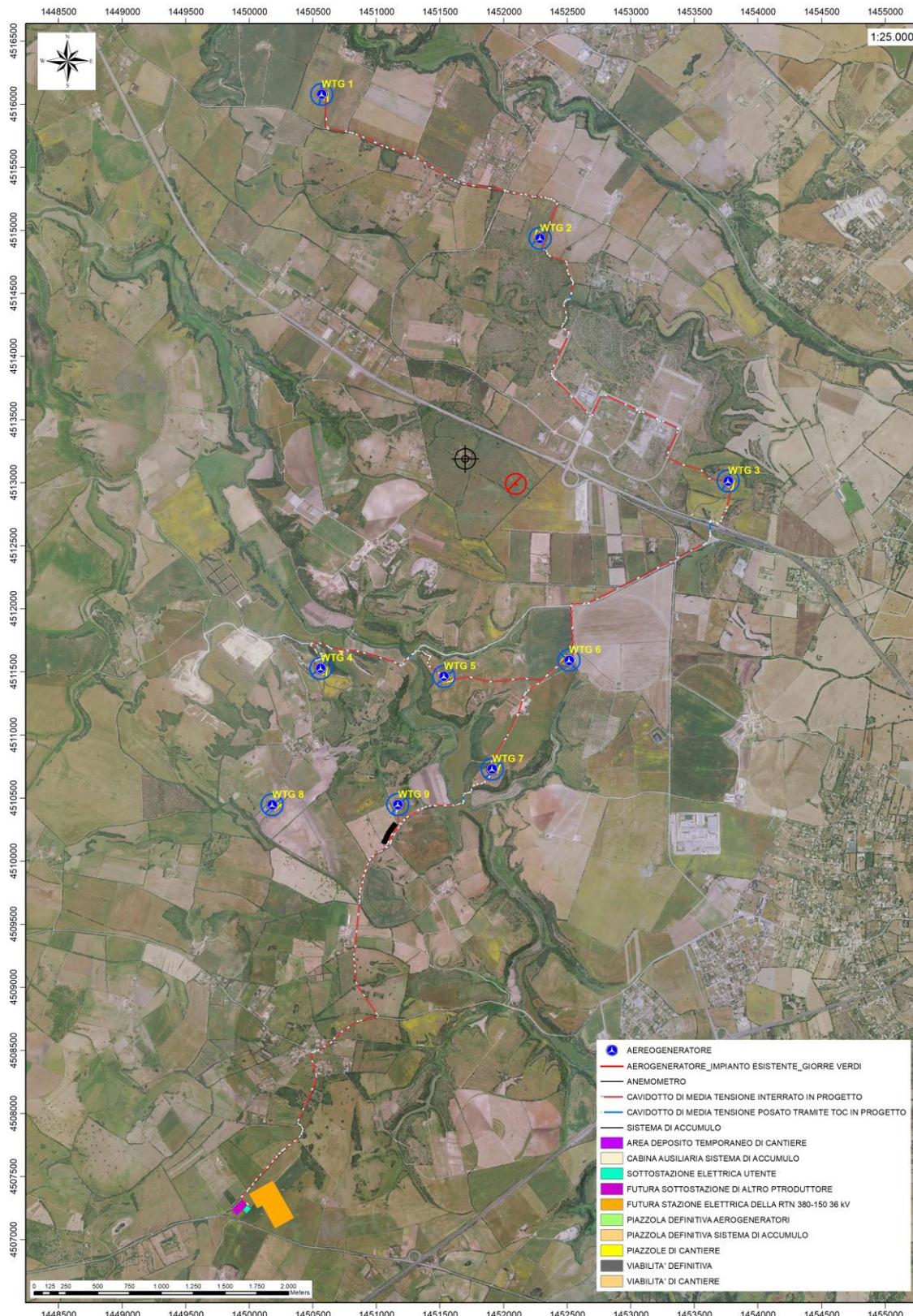


Figura 3 Ubicazione dell'area di studio

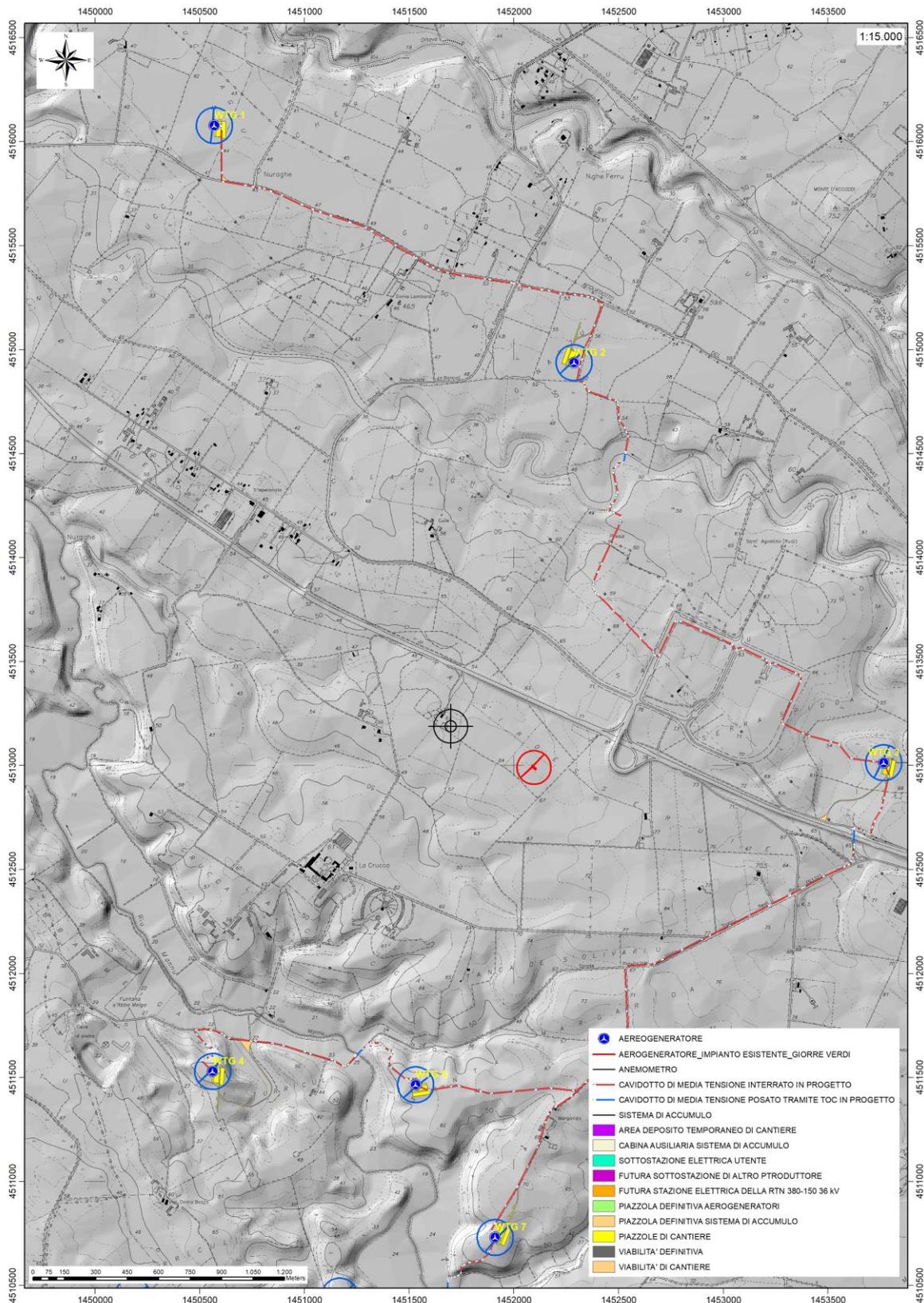


Figura 4 Inquadramento CTR dell'area di studio (area di impianto)

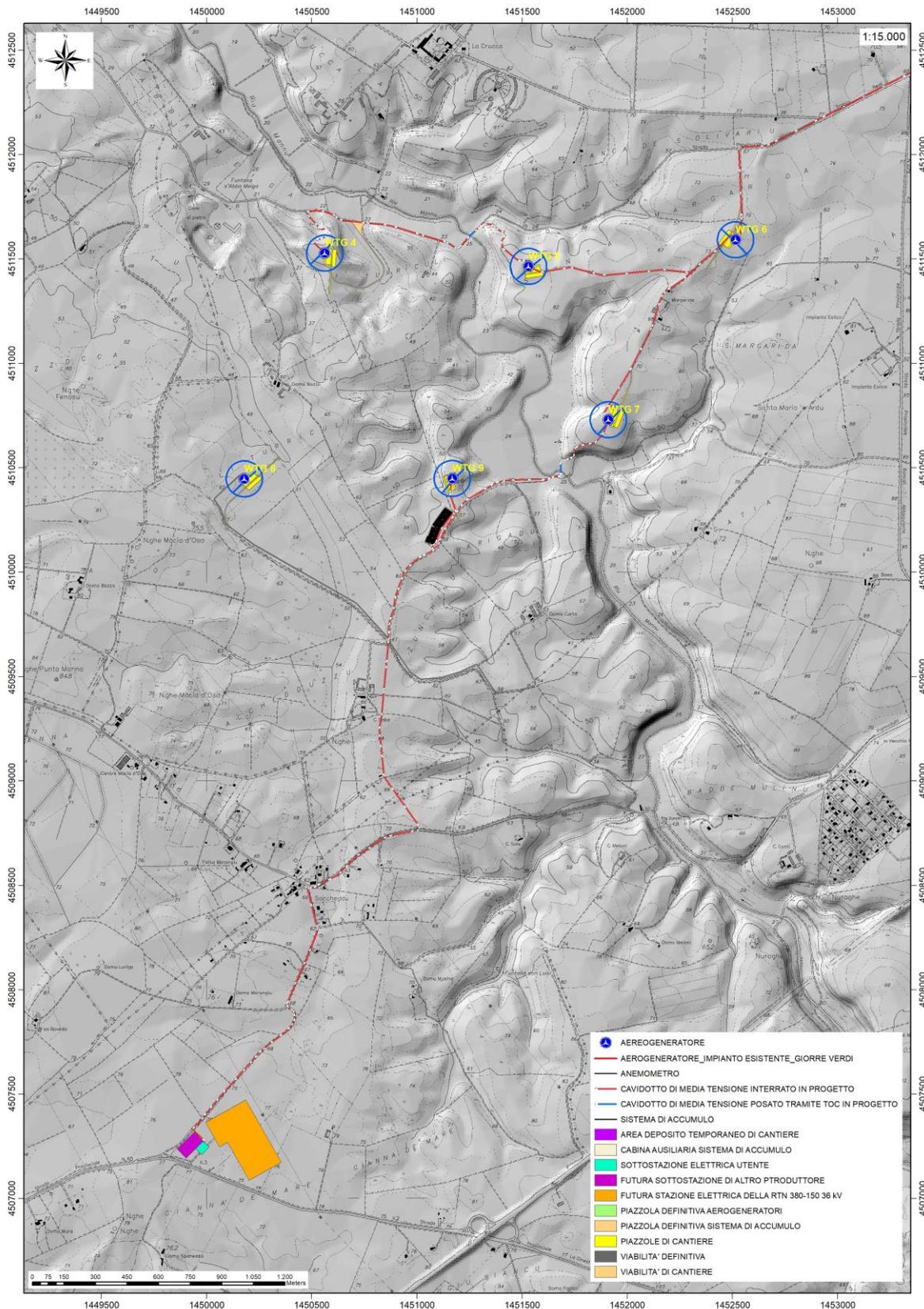


Figura 5 Inquadramento CTR dell'area di studio (cavidotto e sottostazione)

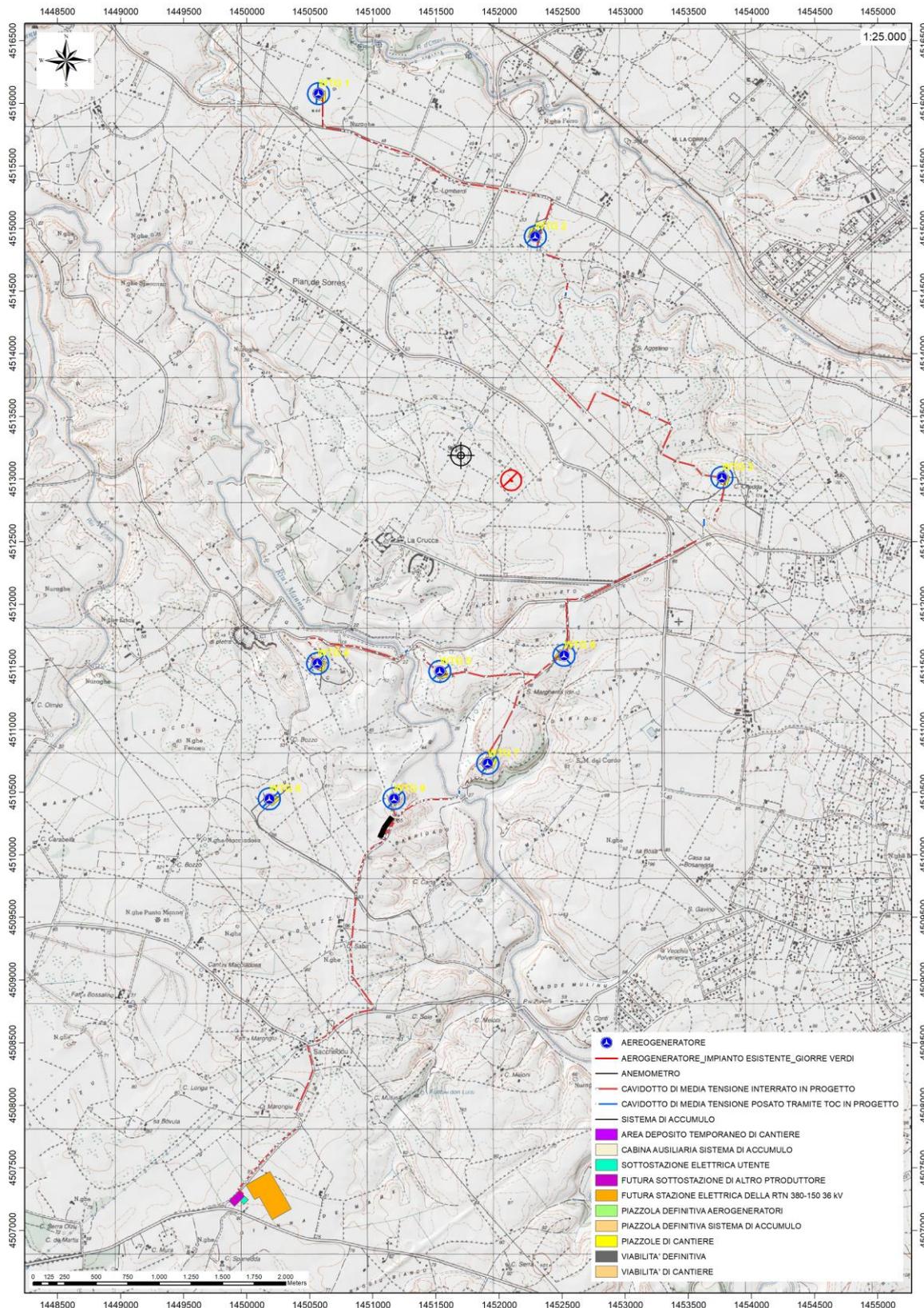


Figura 6 Inquadramento IGM dell'area di studio

5. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto di potenza complessiva pari a 64 MW è costituito dai 9 aerogeneratori Vestas V172, di potenza nominale 7,2 MW (limitati in fase di esercizio a 7,1 MW), integrato con un sistema di accumulo elettrochimico a batterie, con capacità pari a 201 MWh e potenza nominale di 36 MW, da realizzarsi nel Comune di Sassari, nei terreni ad ovest della città, tra le frazioni di "Truncu Reale" e di "Saccheddu".

Per la connessione dell'impianto alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), si fa riferimento al preventivo di connessione proposto da TERNA S.p.A., accettato dalla società FIMENERGIA S.r.l., con codice di rintracciabilità 202201984. Tale documento specifica che l'impianto sarà collegato in antenna a uno stallo a 150 kV della futura Stazione Elettrica della RTN 380/150/36 kV denominata "Olmedo", che il gestore prevede di costruire nel comune di Sassari, in prossimità della frazione "Saccheddu".

L'impianto può essere localizzato alle seguenti coordinate geografiche:

	COORDINATE GEOGRAFICHE MONTE MARIO - 1		COORDINATE GEOGRAFICHE WGS84 - UTM 32 N		QUOTA
	N-LAT	E-LONG	N-LAT	E-LONG	m s.l.m.
WTG 1	4516078.4038	1450569.7341	4516068.011	450545.097	44
WTG 2	4514937.6610	1452287.6667	4514927.300	452263.040	55
WTG 3	4513013.9148	1453766.2421	4513003.578	453741.583	68
WTG 4	4511529.1454	1450562.0796	4511518.806	450537.487	52
WTG 5	4511465.2821	1451530.7181	4511454.956	451506.061	59
WTG 6	4511535.1062	1452541.3865	4511527.023	452512.156	66.5
WTG 7	4510730.7971	1451910.5316	4510720.476	451885.864	64
WTG 8	4510447.6022	1450179.4580	4510437.325	450154.903	58
WTG 9	4510449.4921	1451168.1463	4510439.205	451143.531	57
SDA	4510222.7374	1451100.4907	4510207.580	451072.593	57
SSE	4507242.5456	1449981.9167	4507425.498	449836.804	77

La struttura tipo dell'aerogeneratore consiste in:

- Torre a struttura metallica tubolare di forma circolare, suddivisa in tronchi da assemblarsi in cantiere. La base della torre viene ancorata alla fondazione mediante una serie di barre pre-tese (anchor cages);

- Navicella, costituita da una struttura portante in acciaio e rivestita in lamiera metallica, vincolata alla testa della torre tramite un cuscinetto a strisciamento che le consente di ruotare sul suo asse di imbardata contenente l'albero lento, unito direttamente al mozzo, che trasmette la potenza captata dalle pale al generatore attraverso un moltiplicatore di giri;

- Un mozzo a cui sono collegate 3 pale, in materiale composito, formato da fibre di vetro e carbonio in matrice epossidica, costituite da due gusci collegati ad una trave portante e con inserti di acciaio che uniscono la pala al cuscinetto e quindi al mozzo. Di seguito si presentano le dimensioni e le caratteristiche tecniche dell'aerogeneratore tipo Vestas V172, che si intende utilizzare:

- P nominale aerogeneratore = 7,2 MW
- H al mozzo = 114 m
- D rotore = 172 m
- H totale (hub+raggio) = 200 m

La potenza sarà limitata in fase di esercizio a 7,1 MW, per una potenza totale dell'impianto di 64 MW.

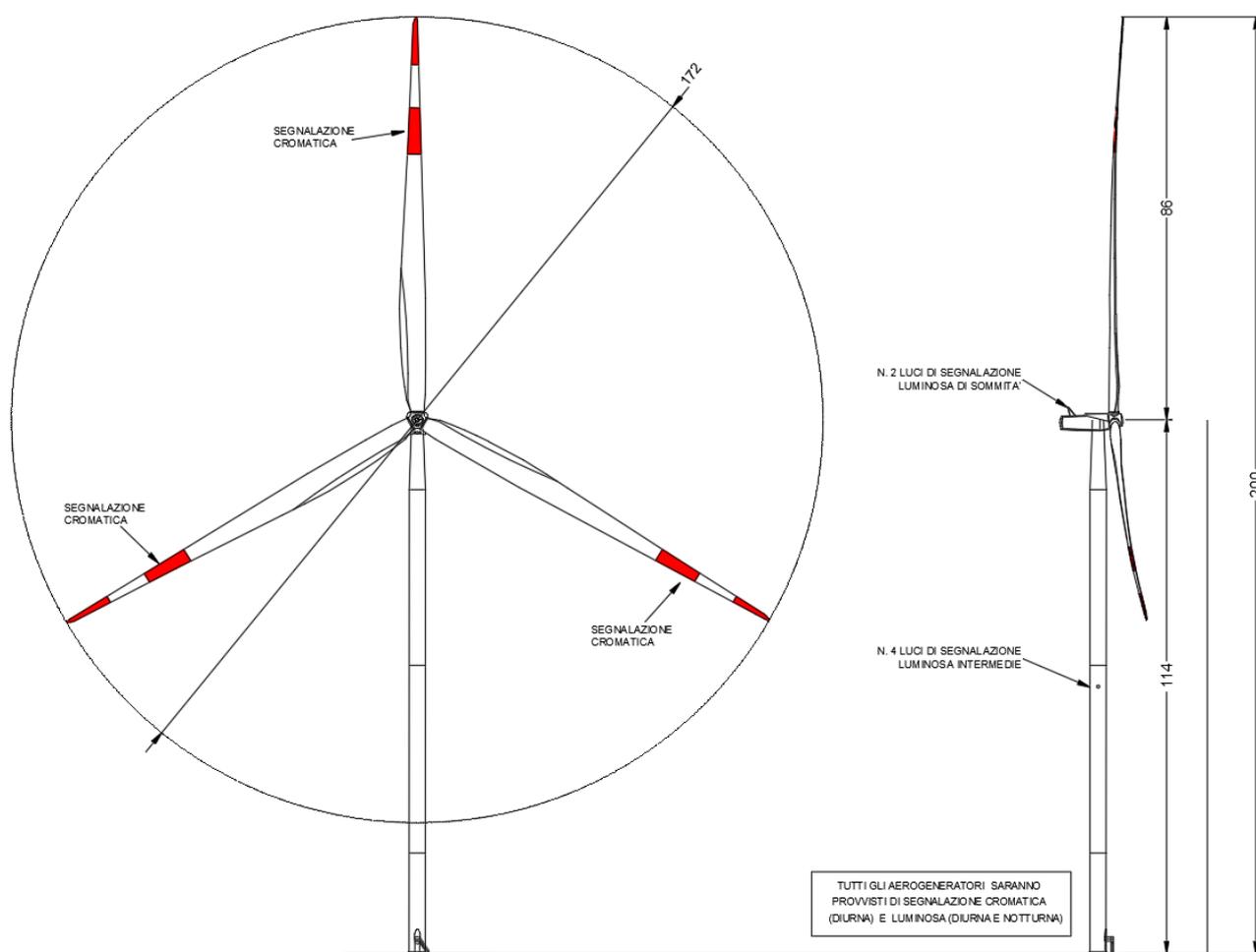


Figura 7 Dimensioni dell'aerogeneratore

La fondazione dell'aerogeneratore sarà di forma circolare con un diametro di circa 26,80 m e altezza di circa 2,7 m; sarà realizzata con calcestruzzo gettato in opera e con ferri di armatura disposti in direzione radiale e circonferenziale. La progettazione verrà eseguita in accordo alla Normativa vigente in Italia.

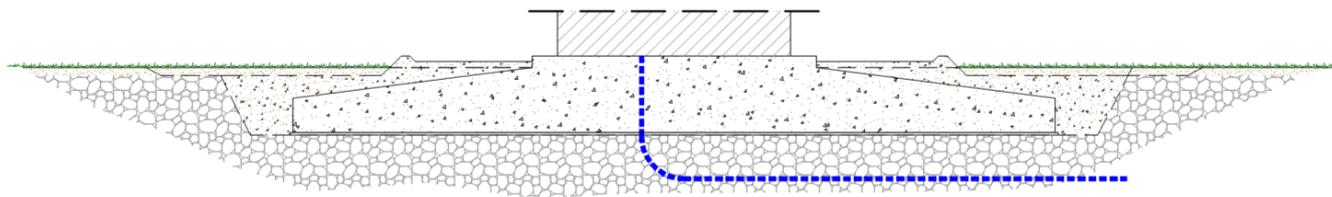


Figura 8 Sezione tipologica della fondazione

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato l'aerogeneratore e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato di fondazione, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

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

6.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

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

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

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a

seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

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

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

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., avviene la messa in posto dei batoliti granitici tardo ercinici, questa ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

L'area di studio ricade parzialmente nella zona a Falde Interne del basamento varisico sardo; ma comprende soprattutto rocce delle coperture mesozoiche, che in quest'area dell'Isola sono costituite da sedimenti alluvionali del Buntsandstein (Trias medio), su cui poggiano in trasgressione i sedimenti carbonatici di ambiente neritico (Muschelkalk) e poi quelli evaporitici (Keuper). Seguono le rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e i depositi quaternari. Le Unità Tettoniche affioranti nel settore occidentale dell'area vasta sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore, note come Unità di Canaglia, Li Trumbetti e Argentiera.

Il settore di interesse all'installazione delle nove torri eoliche si trova nella zona cosiddetta a Falde interne, caratterizzata da fenomeni di medio e basso metamorfismo, localizzata nell'area geografica della Nurra.

L'area vasta è costituita principalmente da unità di età paleozoica e mesozoica di origine sedimentaria, da rocce magmatiche a carattere effusivo, e da depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti.

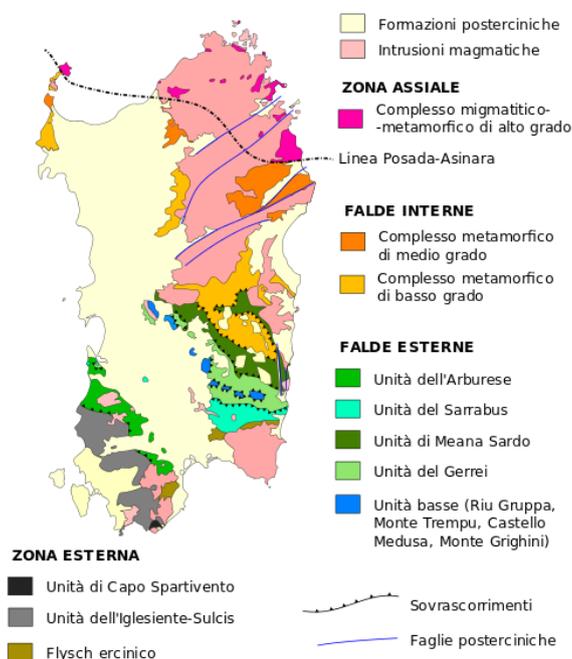


Figura 9 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

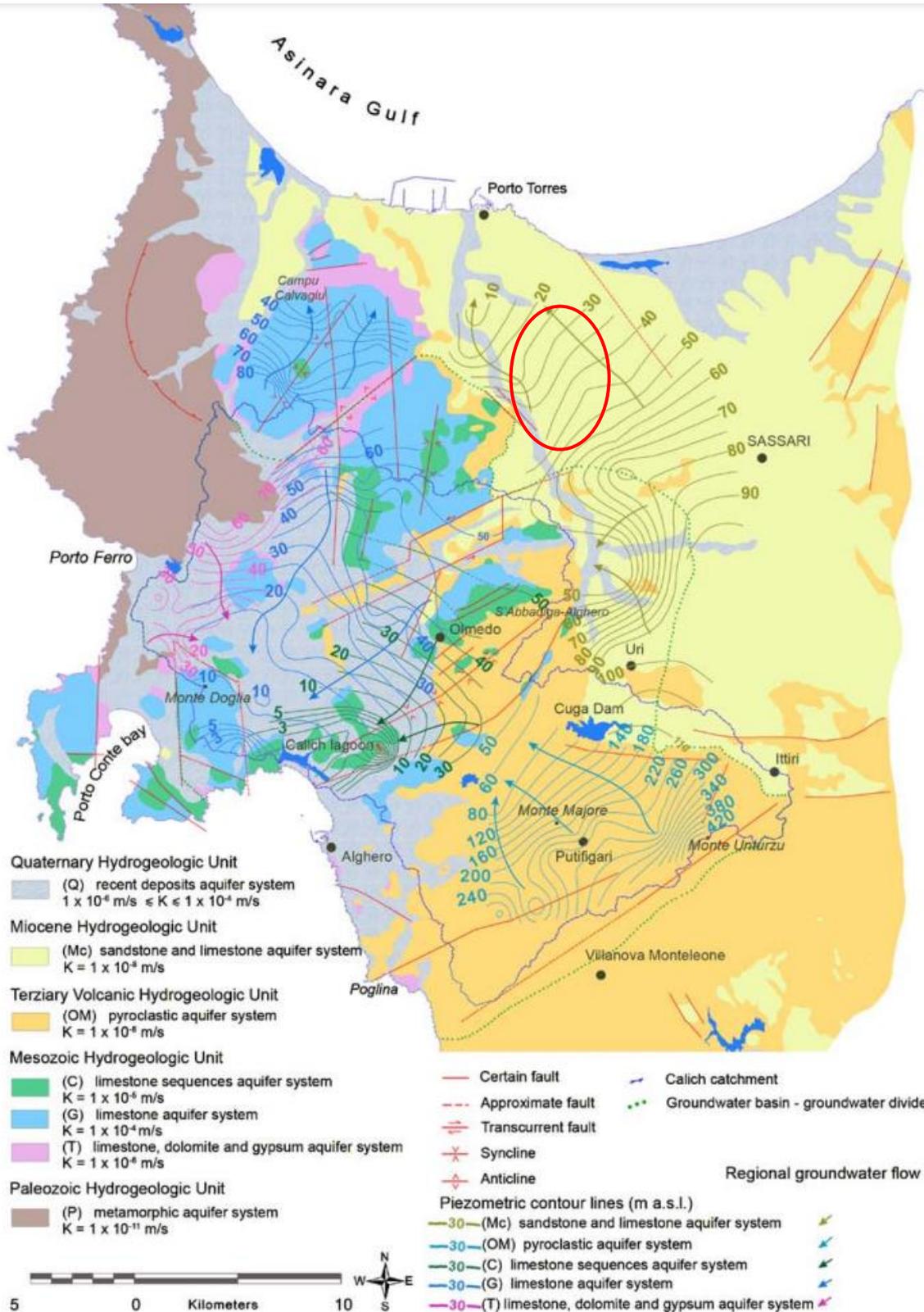


Figura 10 Schema Tettonico dell'area vasta di studio (tratto da Hydrogeology of the Nurra Region, Sardinia (Italy): Basement-cover influences on groundwater occurrence and hydrogeochemistry, Ghiglieri et al 2006; 2009a) – in rosso l'area di interessa al progetto

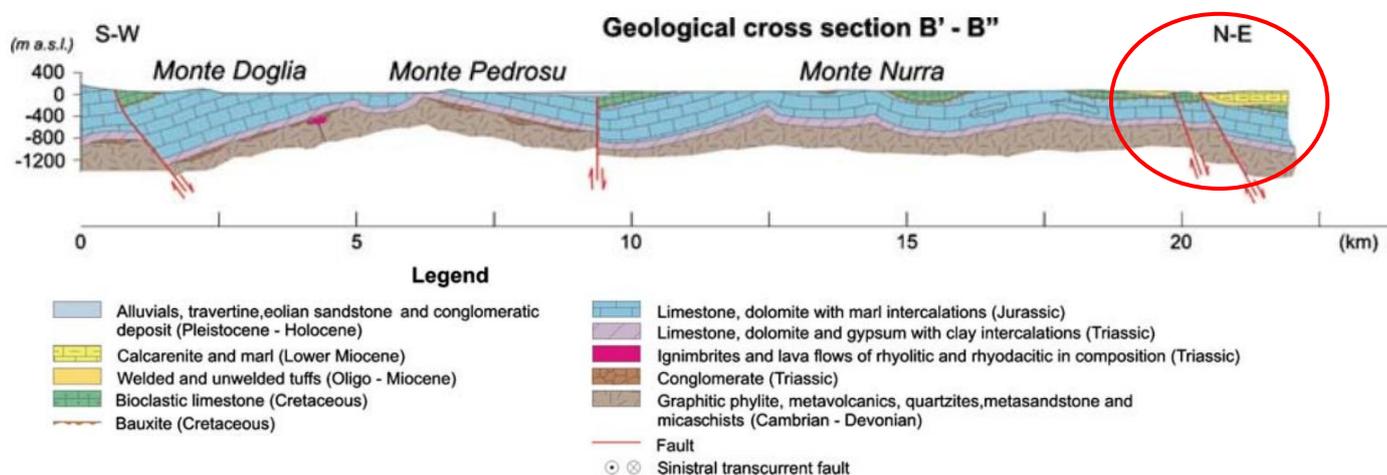


Figura 11 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Hydrogeology of the Nurra Region, Sardinia (Italy): Basement-cover influences on groundwater occurrence and hydrogeochemistry, Ghiglieri et al 2006; 2009a) – in rosso l'area di interesse al progetto

Per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area vasta quest'ultima riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica ed in minor misura mesozoica. La tettonica varisica, che è polifasica ed è responsabile della strutturazione del basamento, ha rilevanza solo nel settore della Nurra occidentale.

La Nurra è costituita da un alto strutturale immergente verso est, che si è sviluppato nel Terziario, che confina ad E coi depositi del Miocene inferiore del semi-graben del bacino di Porto Torres.

Nella sua parte occidentale della Nurra affiora il basamento paleozoico in diverse unità strutturali impilate tettonicamente per via di alcuni sovrascorrimenti ercinici orientati circa NW-SE e E-W, che dalla più profonda alla più superficiale si distinguono in Unità di Argentiera, Li Trumbetti e Canaglia. In quest'area, il basamento paleozoico è coperto in maniera discontinua dalla successione vulcano-sedimentaria del Permiano.

Le rocce mesozoiche della Nurra poggiano generalmente sui depositi continentali permo-triassici o direttamente sul basamento, e sono rappresentate da depositi di piattaforma carbonatica sottoposta ad oscillazioni eustatiche e a fasi tettoniche distensive, che hanno favorito l'ingresso dei mari epicontinentali alternati a fasi subaeree. Il controllo tettonico, attivo in vari intervalli cronostratigrafici, insieme al controllo eustatico, ha condizionato l'evoluzione sedimentaria della piattaforma. Infatti, la successione mesozoica presenta un tipico aspetto a "duomi e bacini" dovuto alla sovrapposizione di due sistemi di pieghe che hanno interessato la piattaforma carbonatica mesozoica prima durante il Cretaceo medio (pieghe e sovrascorrimenti orientati NW-SE), e poi nel Cretaceo superiore (piegamenti orientati NE-SW).

La successione mesozoica è rappresentata da una sequenza di calcari, dolomiti e marne e depositi evaporitici il cui spessore può superare i 700 m.

In particolare, nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000.

6.2. LITOLOGIE DEL SUBSTRATO

L'area di studio è interessata dalla successione sedimentaria miocenica, questa è caratterizzata dalla presenza di sequenze deposizionali delimitate da discordanze: la prima sequenza è costituita da depositi continentali fluviali e di piana alluvionale, deltizi marini e di piattaforma, mentre la seconda sequenza è costituita da depositi fluvio-marini e carbonatici di piattaforma.

RESa – Litofacies nella Formazione di Mores: Calcareniti e calciruditi algali sovente clinostratificati, con echinidi e bivalvi, subordinati calcari biohermali a coralli, spessore variabile fino a 40-50m. (BURDIGALIANO SUP.).

RESb – Litofacies nella Formazione di Mores: Conglomerati ad elementi arrotondati di quarzo, vulcaniti terziarie e rocce del basamento paleozoico, e da arenarie a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Per via della fauna ad echinodermi, e per via della posizione stratigrafica, tali depositi sono riferiti al Miocene inferiore (BURDIGALIANO SUP.).

PRJ - UNITÀ DI PUNTA RUJA. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, da mediamente a fortemente saldati, di colore da rosato a nerastro, con pomice nerastre. BURDIGALIANO

CZS - UNITÀ DI CANDELAZZOS. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cineritici, prevalentemente non saldati, di colore grigio-violaceo. BURDIGALIANO

GXL - FORMAZIONE DI GRAXIOLEDDU. Orizzonte bauxitico, con bauxite ed argille residuali in tasche carsiche. CENOMANIANO

POC - FORMAZIONE DI CAPO CACCIA. Calcari a rudiste. CONIACIANO

OPN - FORMAZIONE DI OPPIA NUOVA. Sabbie quarzoso-feldspatiche e conglomerati eterometrici, ad elementi di basamento paleozoico, vulcaniti oligomioceniche e calcari mesozoici (Nurra). Ambiente da conoide alluvionale a fluvio-deltizio. BURDIGALIANO ?MEDIO-SUP.

MUC - Formazione di Monte Uccari (cfr. Formazione Punta Cristallo IST). E' costituita da calcari micritici e bioclastici grigio biancastri ben stratificati; dolomie grigiastre e lenti di calcare oolitico con ciottoli a carofite. La successione, di potenza di un centinaio di metri, viene riferita al Giurassico superiore (MALM) per via della ricca associazione di alghe dasycladacee. GIURASSICO SUPERIORE (MALM).

6.3. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali. Vengono descritti dal più antico al più recente.

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

(ba) Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE

(bb) Depositi alluvionali: si tratta di sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie. OLOCENE

(b) Depositi alluvionali: si tratta di depositi di spessore modesto (compreso tra qualche metro e 15m lungo il Riu Mannu), costituiti da materiale sabbiosi, limosi o ghiaiosi depositati lungo i corsi d'acqua. OLOCENE



Figura 12 Coltri eluvio-colluviali

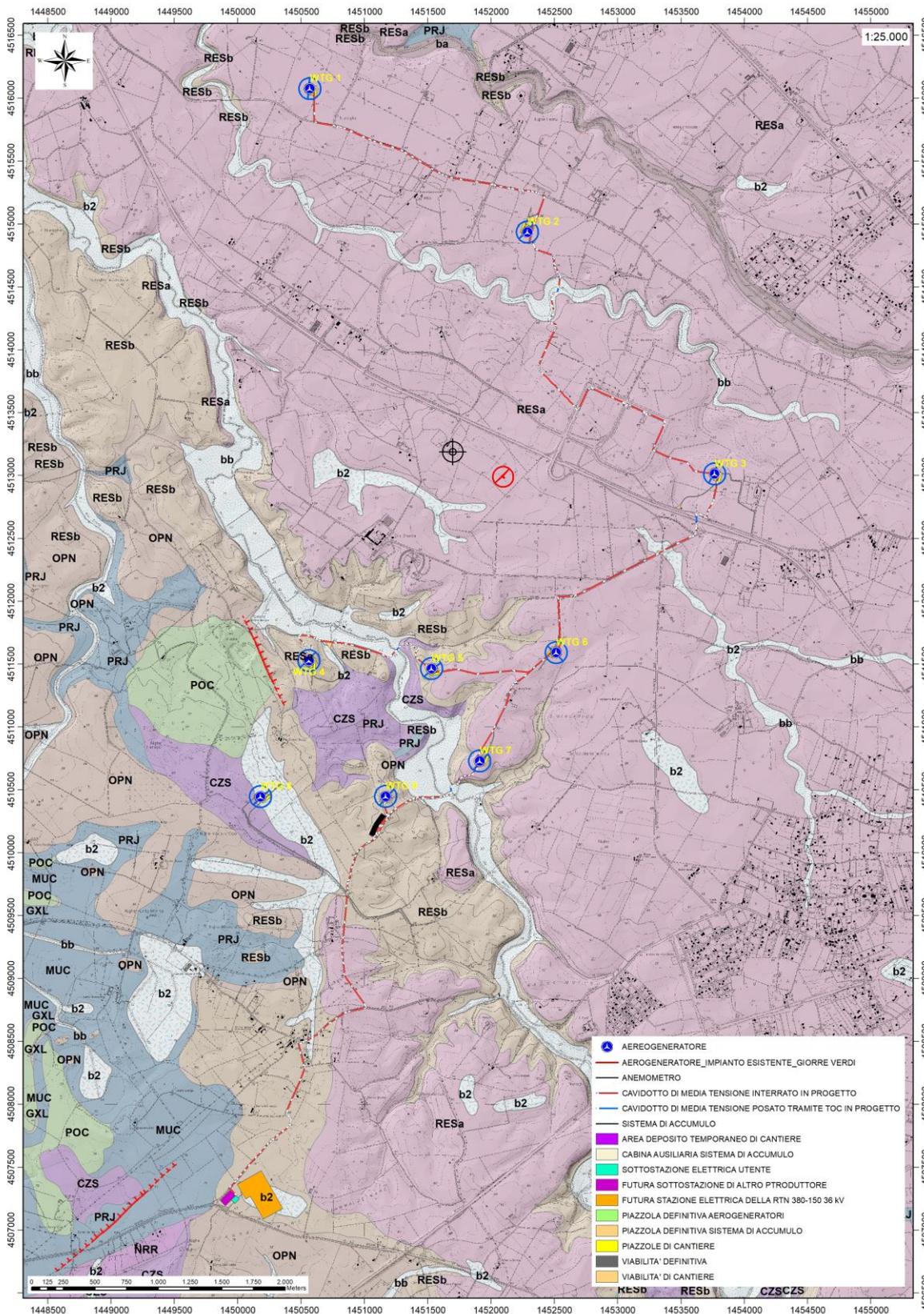


Figura 13 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

7. ANALISI DELLE CONDIZIONI GEOSTRUTTURALI GENERALI

I principali lineamenti strutturali, nell'area vasta, derivano dall'evoluzione stratigrafica e tettonica oligo-miocenica, responsabile dello sviluppo dei bacini del Logudoro e di Porto Torres e dell'intenso vulcanismo calcalalino.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle coperture sedimentarie terziarie, costituite da arenarie grossolane, conglomerati basali, e marne, argille e calcari bioclastici. I depositi quaternari sono principalmente costituiti da coltri eluvio-colluviali di spessore molto modesto e depositi di versante.

Nell'area interessata dal progetto è presente una discontinuità tettonica diretta NNW-SSE di tipo diretto che mette in contatto la formazione di Mores in facies (RESb) con i calcari a rudiste della formazione di Capo Caccia correlata alla geodinamica di formazione del graben.

Tutte le stazioni eoliche sono posizionate nelle coperture sedimentarie terziarie: le stazioni WTG 01, WTG 02, WTG 03, WTG 05, WTG 06, WTG 07, sono posizionate sulle rocce della formazione di Mores nella facies calcarenitica (RESa) mentre le stazioni WTG 04, WTG008 e WTG009 nella facies calcarenitica (RESb)

Le rocce della Formazione di Monte Uccari presentano una stratificazione ben sviluppata, evidente alla scala dell'affioramento.

8. ANALISI QUALITATIVA DI STABILITA' DELL'AMMASSO ROCCIOSO

L'intensa fratturazione e i fenomeni di dissoluzione legati al carsismo, producono sulla roccia una geometria estremamente variabile in termini di direzione e immersione, nelle tre direzioni principali dello spazio. Ciò che varia in relazione alla composizione granulometrica dei singoli strati originari è la spaziatura tra i giunti e il grado di fissilità.

Pertanto, è estremamente difficile se non impossibile definire l'assetto a piccola scala per quanto appena descritto.

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

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

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

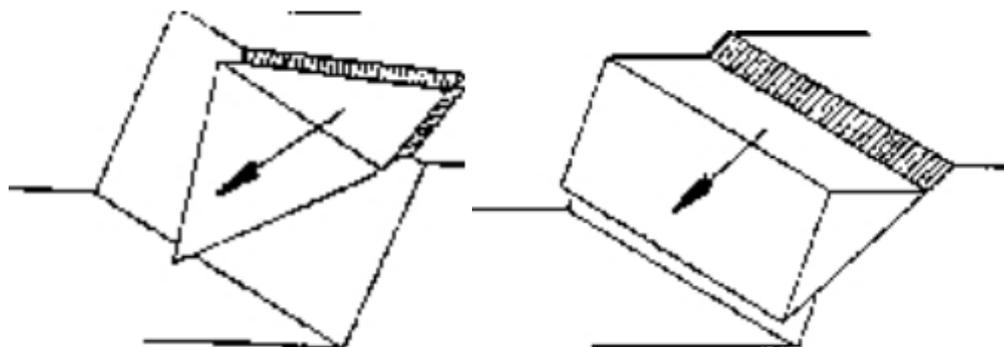


Figura 14 tipologie di scivolamento di blocchi rocciosi lungo piani di fratturazione

In generale si può affermare che versanti come questi sono oggetto di fenomeni di scivolamento legati al dominio di famiglie di giunti.

Negli ammassi rocciosi studiati, la presenza di famiglie di giunti con maggiori spaziature e con assetto geometrico più regolare determina la formazione di blocchi più grandi, nell'ordine del metro cubo e più.

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

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

Le fondazioni degli aerogeneratori poggeranno sulla Formazione di Mores nelle due facies calcarenitica della (RESa) e arenaceo-conglomeratica della (RESb),

Dagli studi effettuati per la realizzazione dell'aerogeneratore nei pressi dell'anemometro la roccia si presenta con resistenza molto bassa, può essere frantumata con pochi colpi di martello o può essere scalfita con la lama di un coltello, in base al grado di cementazione della matrice e al grado di alterazione; quest'ultimo è condizionato a sua volta dalle condizioni dell'ammasso nel complesso.

Nel caso specifico e rappresentativo per le turbine WTG 01, WTG 02, WTG 03, WTG 05, WTG 06 e WTG 07 l'ammasso roccioso si presenta intensamente fratturato dai -1m a -6m circa da p.c., fratturato dai -6m ai -24m circa, e da fratturato a sano al di sotto dei 24m da piano campagna. La formazione si presenta sia massiva che stratificata, la giacitura delle discontinuità primarie è estremamente variabile, poiché sono state rilevate strutture a stratificazione incrociata e di tipo slumping. L'intersezione tra discontinuità primarie e discontinuità da fratturazione secondaria può determinare la formazione di blocchi che possono andare dal metro cubo al decimetro cubo.

9. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le turbine verranno posizionate sulle rocce terziarie che costituiscono un pianoro piuttosto esteso impostato sulle calcareniti mioceniche tra le località La Crucca e Truncu Reale. Le quote medie sono intorno ai 70 m slmm. L'area vasta del settore in studio presenta delle morfologie tipiche di calcari duri e cristallini del mesozoico, stratificati a Ovest in località Sa Corredda con forme accidentate che vanno da aspre a sub-pianeggianti, spesso con piani di inclinazione orientati, variamente fratturati ed erosi. Ad est si sviluppa per diversi chilometri una morfologia generalmente pianeggiante o sub-collinare arrotondata legata all'erosione dei depositi miocenici. La relativa uniformità dell'altezza dei rilievi, che aumenta gradatamente verso E, ed il fatto che alla medesima quota si rinvergono formazioni di età differente, suggeriscono che in passato questo settore sia stato caratterizzato da un'estesa superficie di spianamento. La morfologia attuale sarebbe il risultato della progressiva dissezione di questo altopiano da parte delle acque dilavanti e dei corsi d'acqua. I corsi d'acqua principali sono il Rio d'Ottava, il Riu Mascari e il Riu Mannu che a sud dell'area di interesse hanno inciso profondamente i depositi miocenici generando in corrispondenza delle formazioni calcaree gole profonde delimitate da pareti verticali e sub-verticali.

Sui terreni più erodibili le valli si ampliano e originano un paesaggio collinare con versanti più dolci e piccoli dossi isolati. Il dilavamento e l'erosione dei corsi d'acqua minori sarebbe invece responsabile dell'erosione della parte alta dell'antico rilievo spianato che oggi è testimoniato da cime di uguale altezza. La forma prevalentemente rotondeggiante dei rilievi dell'area di Sa Corredda è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi sulle rocce di natura prevalentemente carbonatica, modellate dal carsismo.



Figura 15 Paesaggio dell'area di studio (a sud della SS 131)

Il carsismo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche. Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disaggregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre. La corrosione avviene per opera delle acque meteoriche

che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO₂. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.



Figura 16 Paesaggio dell'area di studio (a nord della SS 131)

Il paesaggio carsico è caratterizzato da forme superficiali o epigee e da forme sotterranee o ipogee. Le forme epigee possono avere dimensioni molto diverse, comprese fra pochi millimetri e parecchi chilometri. I paesaggi carsici sono caratterizzati da aridità, dalla mancanza di idrografia superficiale, dalla presenza di conche di assorbimento (doline), inghiottitoi, e pozzi, da valli incise con pareti ripide (forre), da conche chiuse di grandi dimensioni (polje) con depositi alluvionali ed eluviali (residui insolubili dell'erosione carsica - terre rosse), e da forme carsiche tipiche come i Karren (campi carreggiati), i Lapiez (scannellature), solchi (docce), vaschette di corrosione, fori carsici, crepacci e lame.

9.1. 8.1 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

La morfologia del paesaggio è caratterizzata da colline poco elevate rappresentate da modesti rilievi sub-arrotondati, e ampie valli aperte. I rilievi principali hanno altezze intorno ai 300 metri (P.ta de Sanna Istrinta 339 m, Monte Alvaru 341 m, P.ta Pedru Ghisu 305 m). Il reticolato idrografico è angolare e angoloso

secondo le principali direttrici tettoniche con sviluppo prevalentemente da NNW a SSE e mostra valli da aperte poco incassate a icisioni importanti verso sud, con prevalente andamento NE-SW.

La differente resistenza all'erosione dei terreni affioranti sui fianchi delle valli ha condotto localmente alla formazione di *mesas* e di versanti a gradini. Questi ultimi sono particolarmente evidenti al contatto tra le formazioni piroclastiche ed i calcari di Mores.

Nell'area di studio sono presenti numerose cave per inerti, generalmente impostate sulle litologie sedimentarie terziarie e mesozoiche (cava di Monte Nurra, cava di pietra in loc. Funtana s'Abba Meiga), che testimoniano come l'uomo abbia modificato il paesaggio attraverso sbancamenti e superfici di spianamento artificiali spesso lasciate senza opere di ripristino ambientale.



Figura 17 Morfologia del paesaggio; valli aperte.

9.2. DEFINIZIONE DELL'AREA GEOMORFOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVA

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

La geomorfologia di quest'area è fortemente interessata dall'azione geochimica e fisica che l'acqua esercita sulle dolomie e sui calcari, la quale, assieme al clima locale caratterizzato dall'imponenza del maestrale e alle importanti escursioni termiche giornaliere, ha smussato e modellato il territorio conferendoli forme dolci e valli da fondo prevalentemente piatto.

10. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, il comune di Sassari è incluso nel Sub – Bacino n° 3 “Coghinas – Mannu di P.Torres – Temo”, che si estende per una superficie di 5402 Km², pari al 23% del territorio regionale (Fig. 9.1).

Il Sub-Bacino Coghinas-Mannu-Temo può essere suddiviso in tre grandi sottoinsiemi: il settore Orientale e Sud-Orientale prevalentemente paleozoico, il **settore centrale prevalentemente terziario** in cui ricade il progetto, e il settore Nord-Occidentale, costituito dallo zoccolo cristallino dell’horst della Gallura paleozoico e dalle formazioni carbonatiche mesozoiche che culminano con i rilievi del Doglia e del sistema di Punta Cristallo e di Capo Caccia.

Il reticolo idrografico su queste litologie è caratterizzato da una ramificazione poco sviluppata mentre si articola in rii a diverso ordine gerarchico sia sulle litologie paleozoiche che su quelle terziarie come quelle di interesse per l’installazione delle turbine.



Figura 18 Suddivisione dei bacini idrografici sardi

10.1. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi, ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata. La direzione di deflusso è verso nord verso il Golfo dell’Asinara. Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni. Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d’acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione di coltri alluvionali di spessore molto modesto.

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. Le rocce calcaree sono generalmente caratterizzate da importanti sistemi di giunti e discontinuità, spesso visibili ad occhio nudo, che influenzano la circolazione idrica superficiale che, quando si presenta poco articolata, è indice che l’aliquota d’acqua di infiltrazione è maggiore dell’acqua che prende parte al ruscellamento superficiale.

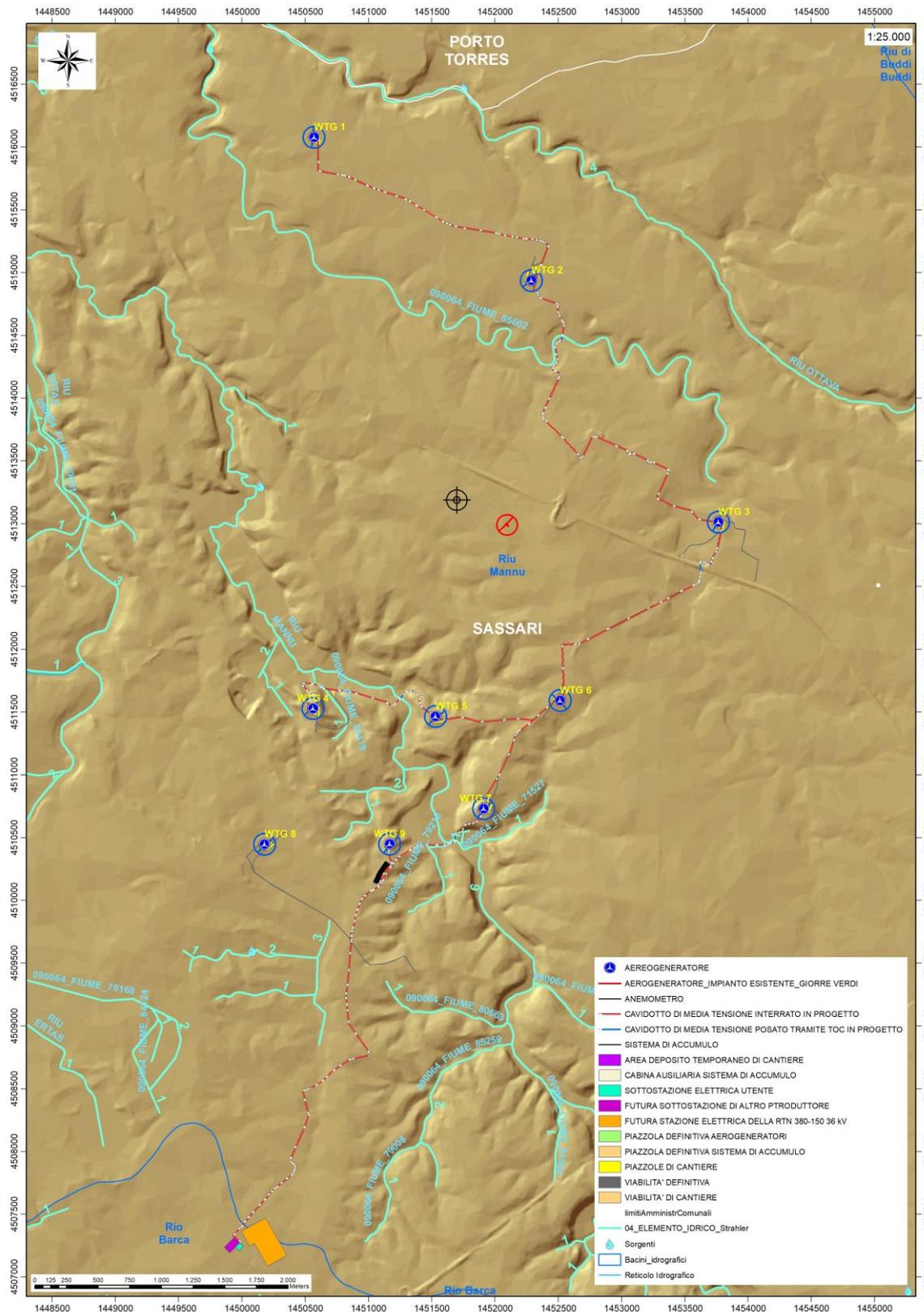


Figura 19 Reticolo idrografico dell'area di progetto

I corsi d'acqua principali presenti nell'area vasta sono il Rio d'Ottava che scorre a nord dell'impianto, il Riu Mannu che scorre a sud del sistema parco eolico e il rio denominato 090064_FIUME_85602 immissario del Riu Mannu che invece lo attraversa. Verso questi confluiscano le acque incanalate da piccoli affluenti che si ramificano verso monte. Il pattern di drenaggio è del tipo angolare confinato nelle parti alte per diventare libera in piena pianura e in quasi tutte le aste fluviali lungo i tratti rettilinei alcuni si presentano meandriforme con meandri incassati in relazione alla pendenza.

10.2. 9.2 CARATTERISTICHE E DINAMICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

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

Nell'area di interesse sono presenti rocce di diversa natura, anche se principalmente sono da riferire al Terziario, in parte e al Quaternario. Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche, che si trovano quindi a scorrere in superficie, come è possibile vedere dallo sviluppo del reticolo idrografico superficiale nella parte occidentale dell'area vasta.

Le coperture terziarie che costituiscono il substrato su cui verranno installate le turbine, invece, per via della loro composizione carbonatica, sono favorevoli alla ritenzione delle acque. Al contatto tra le coperture terziarie, più permeabili, e quelle piroclastiche alla base, meno permeabili, si possono sviluppare delle risorgive che hanno carattere prettamente stagionale legato all'andamento pluviometrico generale.

Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere le valli, mentre la frazione di acqua che non scorre in superficie in parte evapora e in parte si infiltra nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse.

Maggiore è la presenza di fratture e la porosità del mezzo, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità. Le falde acquifere e le conseguenti sorgenti e inghiottitoi che si possono sviluppare sono per l'appunto legati principalmente al carsismo delle rocce carbonatiche costituenti l'area di interesse per la messa in opera delle turbine.

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

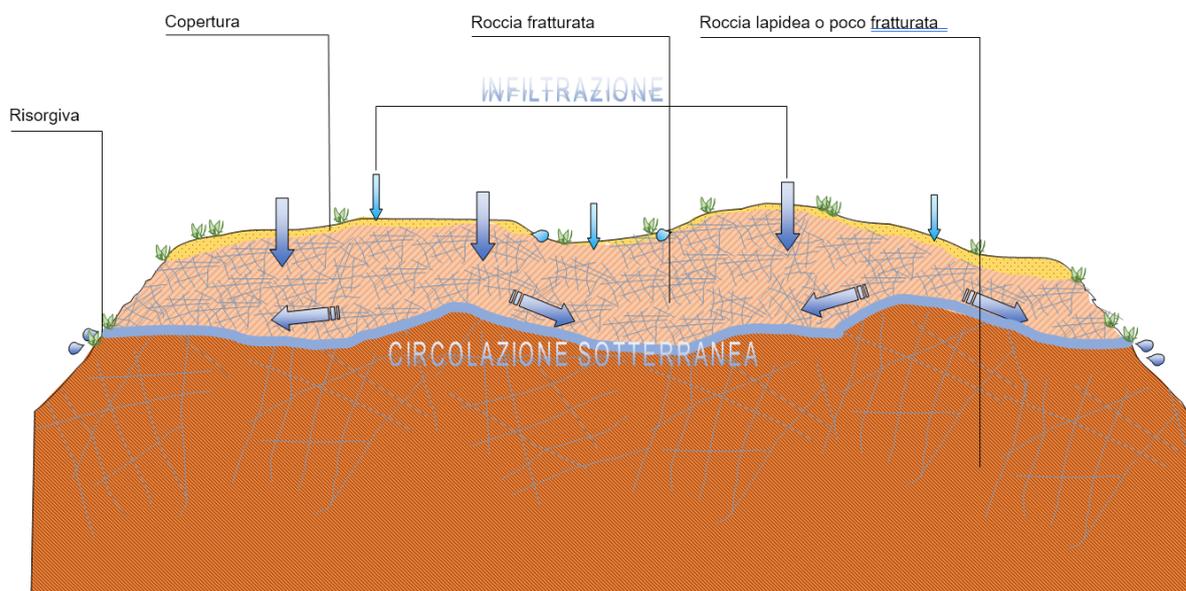


Figura 20 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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

- Coperture mesozoiche. Tali coperture sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta sia alla porosità delle arenarie e dei calcari che alla permeabilità per fratturazione e carsismo delle rocce carbonatiche presenti in tutta l'area di interesse.
- Coperture vulcaniche oligo-mioceniche. Affiorano nella porzione sud-occidentale dell'area di interesse, e sono costituite da depositi caratterizzati da permeabilità bassa (BF) o medio bassa (MBF) per fratturazione.
- Coperture sedimentarie oligo-mioceniche. Affiorano in tutta l'area di interesse. Sono caratterizzate da permeabilità medio-alta per carsismo e fratturazione (**MACF**).
- Coperture quaternarie. Sono caratterizzati da sedimenti incoerenti da sciolti a debolmente consolidati e presenti lungo i corsi d'acqua principali e come depositi negli impluvi. Sono caratterizzati da permeabilità medio-alta per porosità (**MAP**)

Dalla carta dei sistemi idrogeologici del foglio 459 "Sassari", si possono osservare le isopieze relative al complesso calcareo, le quali presentano direzioni di deflusso da sud-ovest verso nord-est (Fig. 9.6).

Al complesso marnoso-calcareo viene attribuita una **conducibilità idraulica di $k = 10-8$**

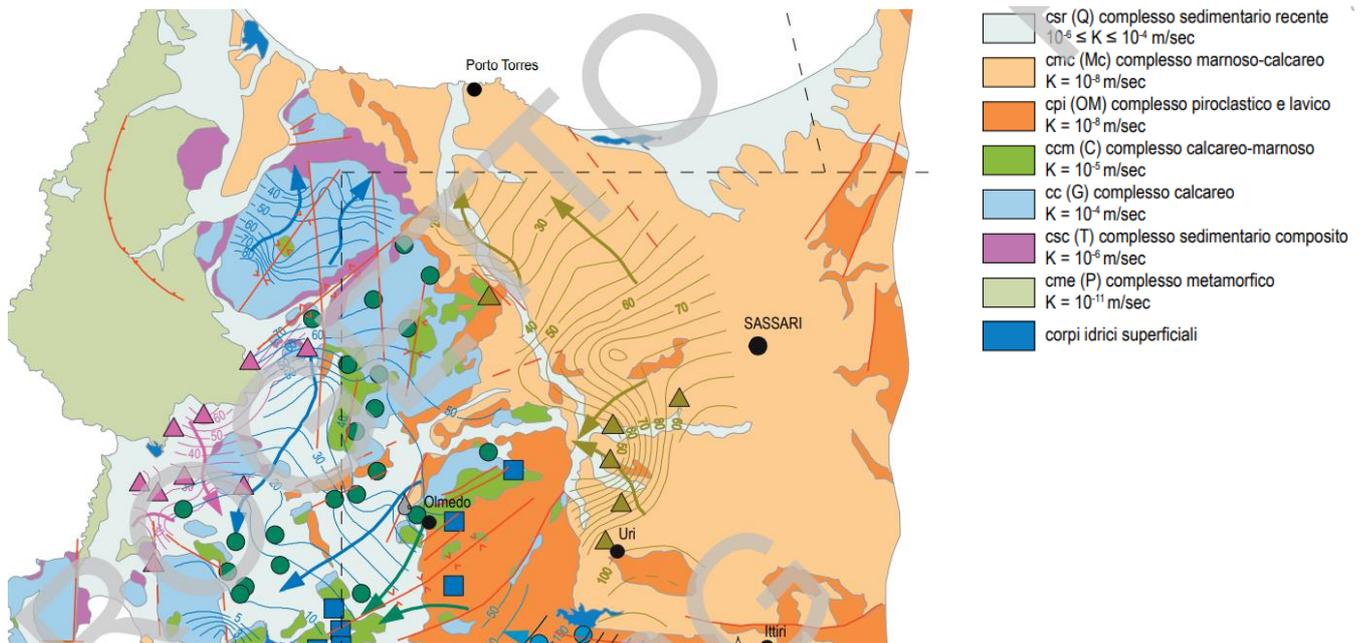


Figura 21 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari"

Dai dati estrapolati dall'archivio Nazionale Delle Indagini Del Sottosuolo (L.464/1984) relativi alle perforazioni (Codice 174847, Codice 174870, Codice 174163) rappresentative dell'are interessata dal progetto, si rileva la prima falda tra i 30m e gli 32m da p.c. sul substrato calcareo, calcarenitico della formazione di Mores ed una soggiacenza di 9,205m da p.c.

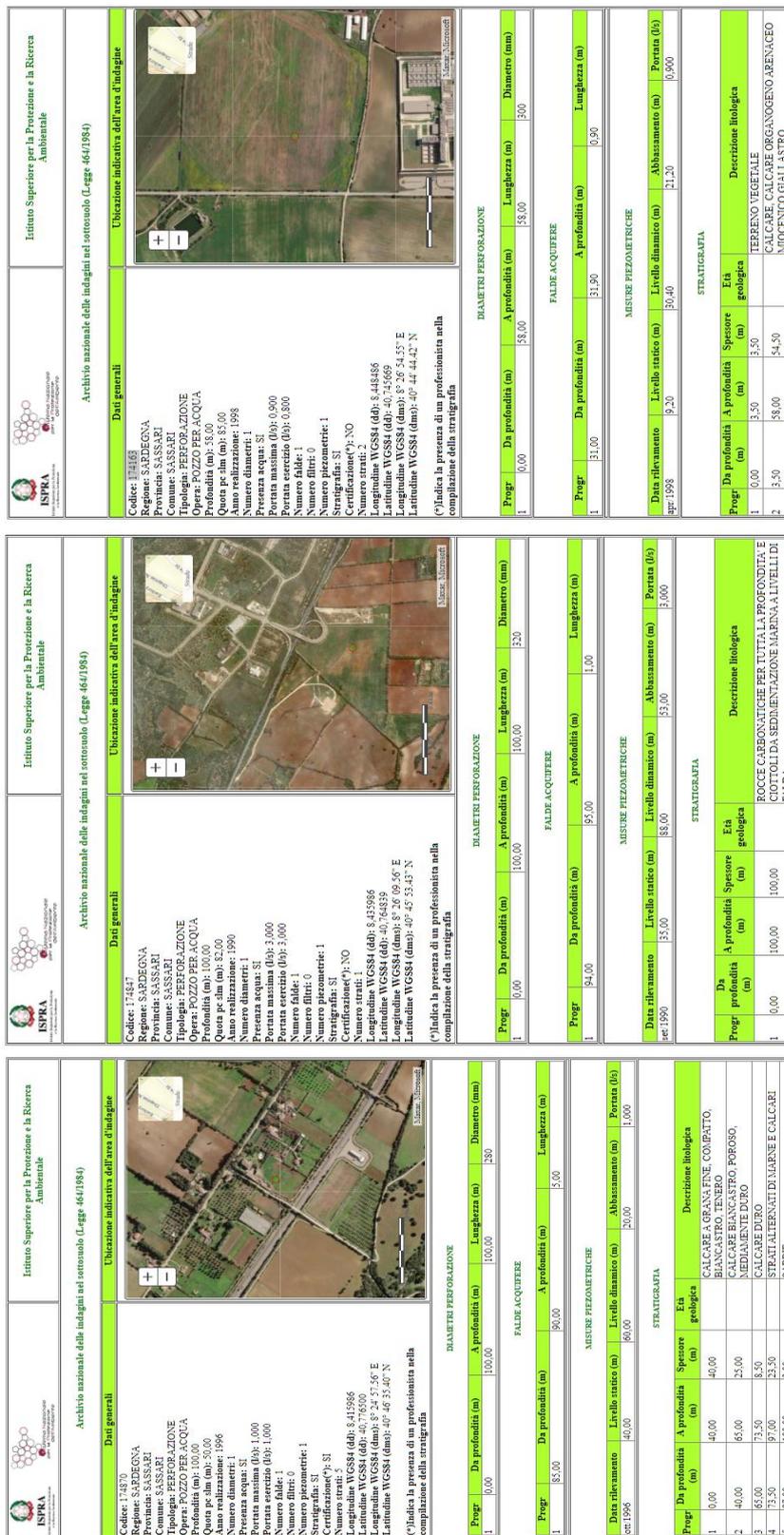


Figura 22 Monografie dei pozzi censiti nell'Archivio Nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

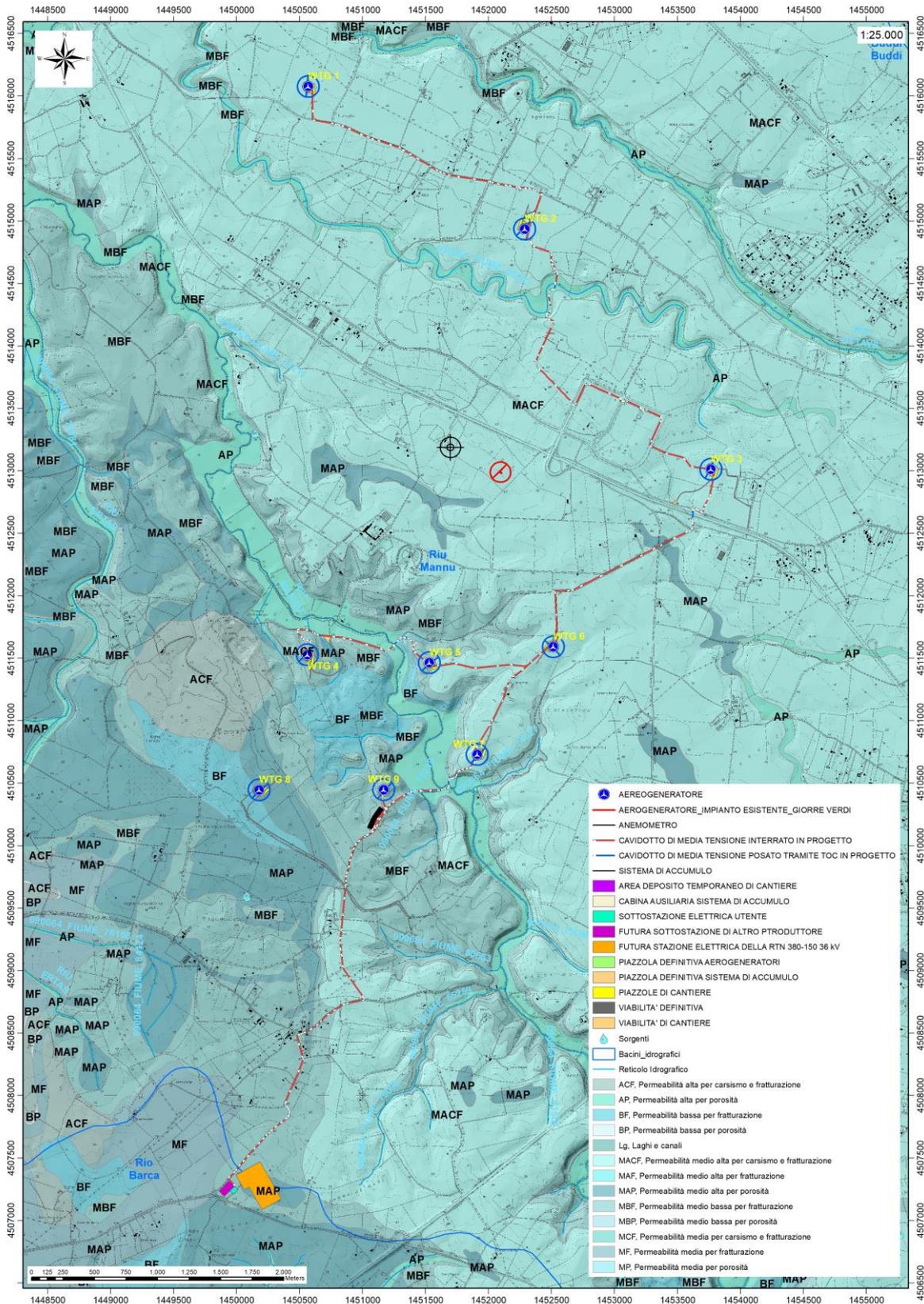


Figura 23 Stralcio della Carta della Permeabilità dei substrati e dei Suoli (Fonte RAS)

10.3. ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

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

Non sono presenti sorgenti alle quote di realizzazione delle opere che prevedono gli scavi più profondi (fondazioni degli aerogeneratori, piazzole e area di deposito temporaneo) e la profondità dell'acquifero così come deriva dalle informazioni del foglio 459 "Sassari" supera i 30m da p.c. pertanto le opere non interferiscono con il normale deflusso delle acque sotterranee.

Altresì le opere in progetto non determinano per loro natura produzione di agenti inquinanti che possono riversarsi nella circolazione idrica sotterranea se non per accidentale guasto meccanico che andrà trattato con le opportune misure di salvaguardia dettate dal T.U. sull'Ambiente.

11. INQUADRAMENTO CLIMATICO

La definizione del clima è basata sull'analisi dei parametri meteorologici più comunemente studiati, quali la temperatura e le precipitazioni, il cui andamento è legato alle variazioni stagionali della circolazione atmosferica, considerando inoltre la ventosità, la nuvolosità e l'umidità relativa.

Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come "Mediterraneo Interno", caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde, con valori minimi invernali di alcuni gradi al di sotto dello zero e massimi estivi anche superiori ai +40 C.

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

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

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

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

A causa del dominio sulla regione dei venti provenienti dai quadranti occidentali, mediamente la maggior frequenza di giorni di pioggia si riscontra nelle zone occidentali dell'isola, mentre in quelle orientali, trovandosi sottovento a questo tipo di circolazione a causa dell'orografia, si ha una minore frequenza di giornate piovose.

Tuttavia, le zone orientali sono spesso soggette a fortissime piogge, per cui gli accumuli medi annuali sono simili tra i due versanti.

L'andamento climatico del territorio di Truncu Reale e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Sassari e Fertilia, localizzate rispettivamente circa 13 km e 22 km a SW e SE del settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2018 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S., così come i dati termometrici, entrambi per le stazioni meteorologiche di Sassari e Fertilia.

Tabella 1 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Sassari e di Fertilia (anno 2011)

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2018	32,4	101,2	114,2	26,4	199	34,2	0	42,6	31	83,6	155	47	866,6
2017	77,8	62	17,8	23	3,2	33,2	0,4	0	52,4	6,6	81,4	124,6	482,4
2016	58	160	71,4	20	24	3,4	37,4	0,2	52	8	106,4	34,4	575,2
2015	37,8	151,2	57,8	50,2	14	21	0,2	21,6	25,6	114,2	50,6	8,6	552,8
2014	141	95,4	77,6	35,4	33	34,2	14,6	3,4	2	2,6	118,6	76,2	634
2013	202	128,4	137,8	68,4	83,2	1,8	0,2	8,8	31,2	37,4	134,2	29,8	863,2
2012	35,6	56,4	11,8	61,8	125,8	0,8	1,2	0,6	51,6	104,8	109,4	36,4	596,2
2011	105	94,2	32,2	34,2	2	29,6	13,6	0	19,8	11	114,6	62,2	520,9
2010	96,6	61,8	71,6	43,4	62,4	62	0,8	1,4	2,6	64,6	247	126	840,2
2009	104	23,8	37	70,8	6	34,8	0	0,2	101,8	62	107	123,6	671
2008	56,6	18,4	52,4	15,8	109,6	21,8	0,2	0,2	44,6	77,2	131	84,4	612,2

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

Alla stazione di Fertilia (Alghero) sono riferiti i dati sulla nuvolosità, umidità relativa e ventosità, estrapolati rispettivamente dagli archivi del Servizio Meteo dell'Aeronautica Militare per il periodo 1961-1990 (nuvolosità) e per il periodo 1971-2000 (umidità relativa e ventosità).

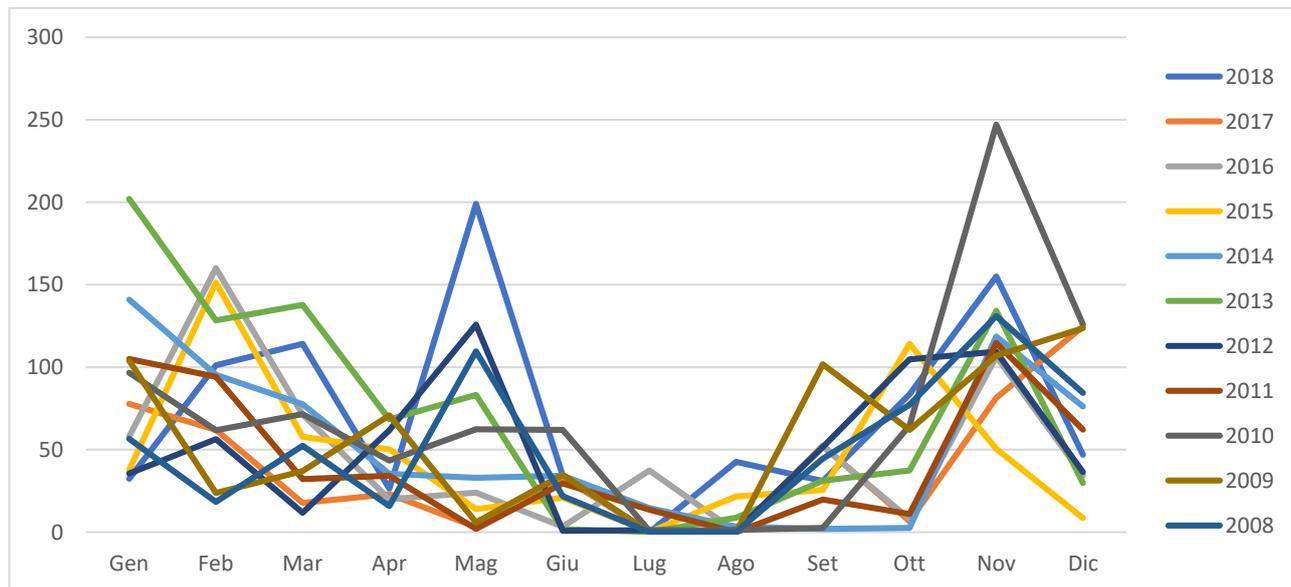
11.1. PRECIPITAZIONI

Nella Tab.1 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2018 registrati nella stazione di Sassari e Fertilia (unicamente per l'anno 2011). Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2018 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto.

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

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

Tabella 2 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Sassari (e Fertilia per il solo 2011) nel periodo 2008-2018



11.2. TEMPERATURE

I valori termometrici della stazione meteo di Sassari, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Tab.10.3 e sono relativi alla stazione di Sassari per gli anni dal 2012 al 2018, e alla stazione di Fertilia per l'intervallo 1995-2011. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 17 °C. Il mese più freddo è Febbraio con una media di circa 8,5°C, mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 25 °C.

Tabella 3 Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Sassari negli anni dal 2018 al 2012, e presso la stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011.

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

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

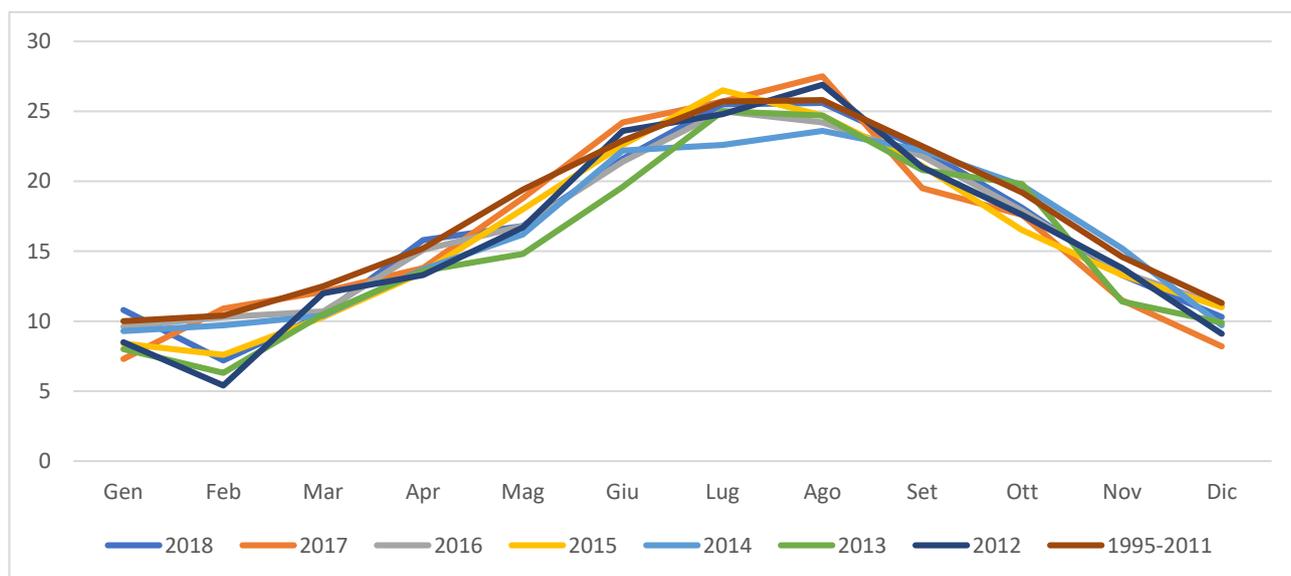


Figura 24 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Sassari per gli anni 2012-2018, e nella stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011.

11.3. STIMA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE

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

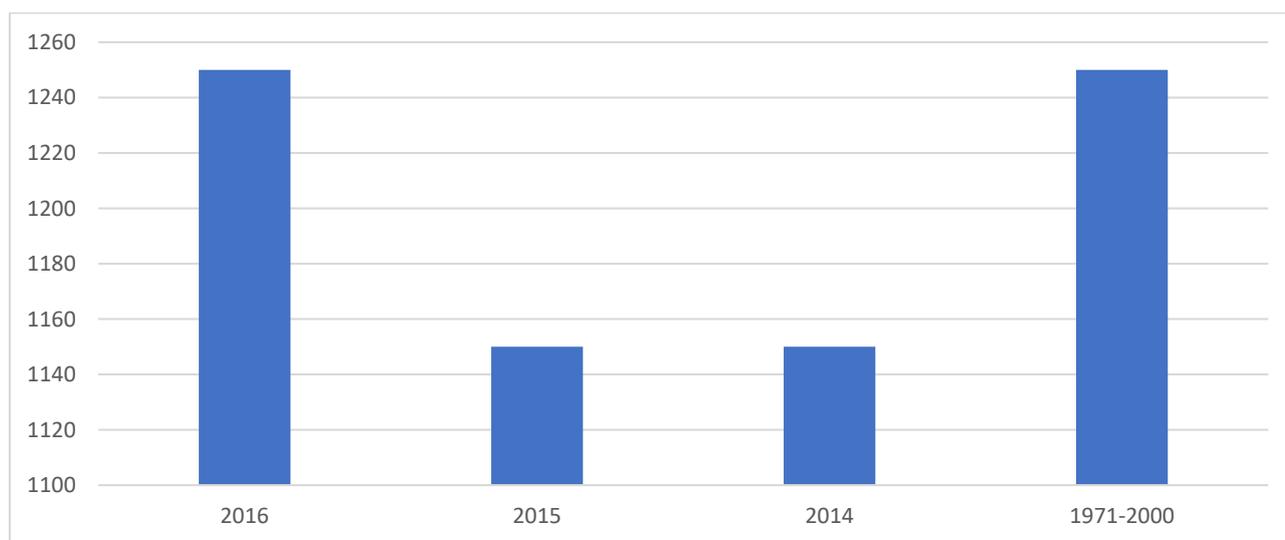


Figura 25 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Truncu Reale

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. Nella tabella di Fig. 10.7, sono rappresentati i valori mensili di condizioni di sereno (nuvolosità < 2/8), nuvoloso (2/8 < nuvolosità < 6/8) e coperto (nuvolosità > 6/8), espressi in okta (stima di quanti ottavi di cielo sono oscurati dalle nuvole) e riferiti al periodo 1961 – 1990 per la stazione di Fertilia.

Tabella 4 Media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Fertilia, espressa in okta.

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
4,7	4,7	4,6	4,5	3,8	3	1,7	2	2,9	3,6	4,4	4,6
coperto	coperto	coperto	coperto	coperto	sereno	sereno	sereno	sereno	coperto	coperto	coperto

Dall'esame dei valori della tabella si evince che il massimo di giorni sereni si ha tra Giugno e Agosto mentre durante gli altri mesi è sempre presenta una certa copertura. Il valore minimo di giornate nuvolose si ha nel mese di Luglio e il massimo si osserva nei mesi di Gennaio e Febbraio. Le giornate in condizioni di coperto raggiungono il massimo a Gennaio e minimo a Luglio.

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

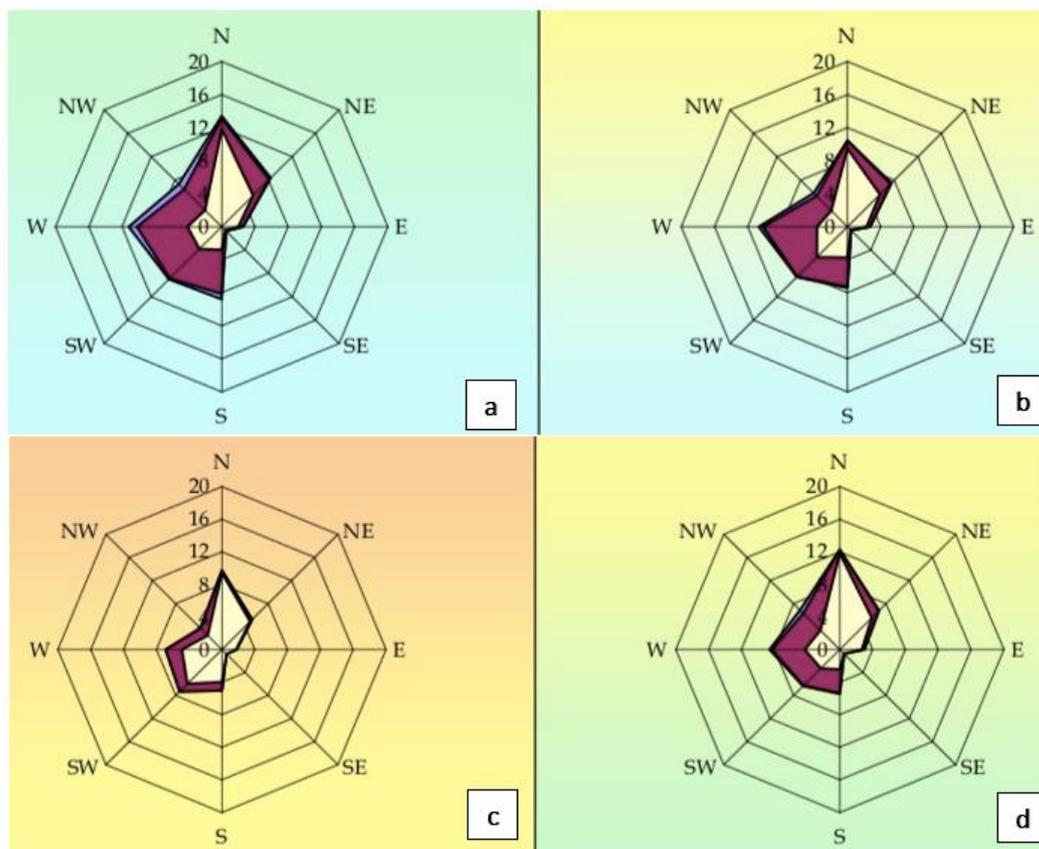


Figura 26 Ventosità media per inverno (a), primavera (b), estate (c), e autunno (d) durante il periodo 1971-2000 registrate nella stazione meteorologica di Fertilia.

Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali e occidentali sono in netta dominanza, in particolare quello più frequente proviene da W. Per il periodo considerato (1971-2000) nella stazione di Fertilia le percentuali di calma per le 4 stagioni sono state il 36% per l'inverno, il 44% per la primavera, il 59% per l'estate e il 48% per l'autunno.

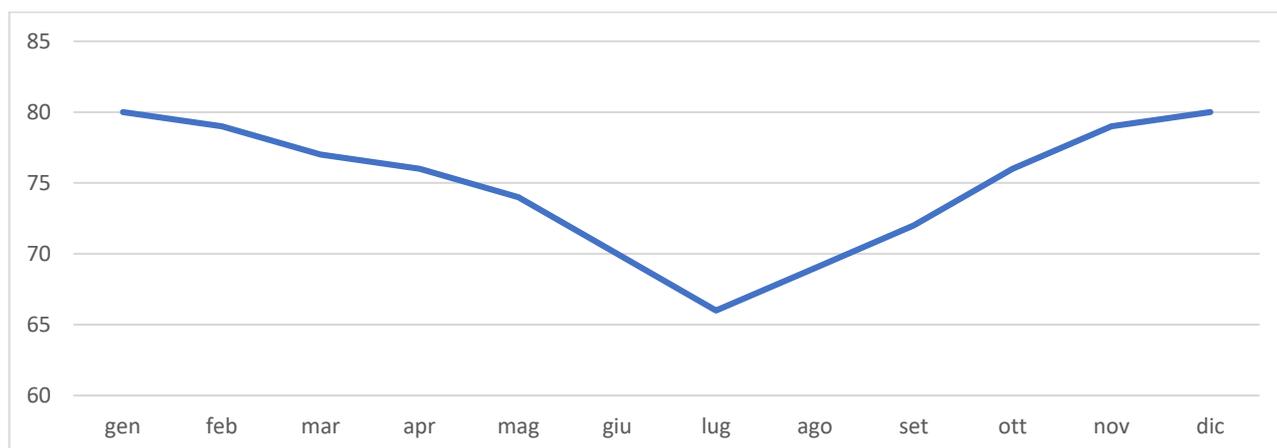


Figura 27 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per il periodo 1971-2000

L'ultima variabile significativa che condiziona l'evapotraspirazione è l'umidità relativa, ossia il rapporto tra la quantità di vapore d'acqua contenuta in una massa d'aria rispetto e quella massima potenziale in relazione alla sua temperatura.

La tabella riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Fertilia per il periodo 1971-2000, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Novembre-Febbraio) e valori minimi nel mese di Luglio.

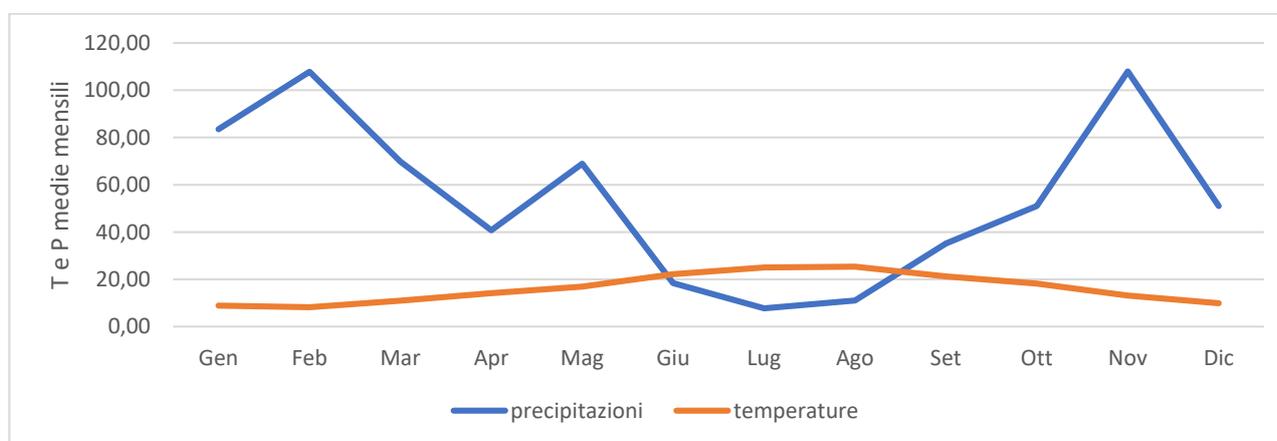


Figura 28 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth)

Il diagramma ombrotermico elaborato per l'area di interesse, a partire dai dati sulla temperatura media e precipitazioni medie, permette di comparare contemporaneamente i regimi medi mensili termici e pluviometrici nell'arco del periodo considerato. L'andamento delle curve consente di visualizzare che nei mesi estivi, dove la temperatura media mensile raggiunge valori superiori ai 24 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili sono pari a 9°C, si raggiungono le piovosità più elevate.

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

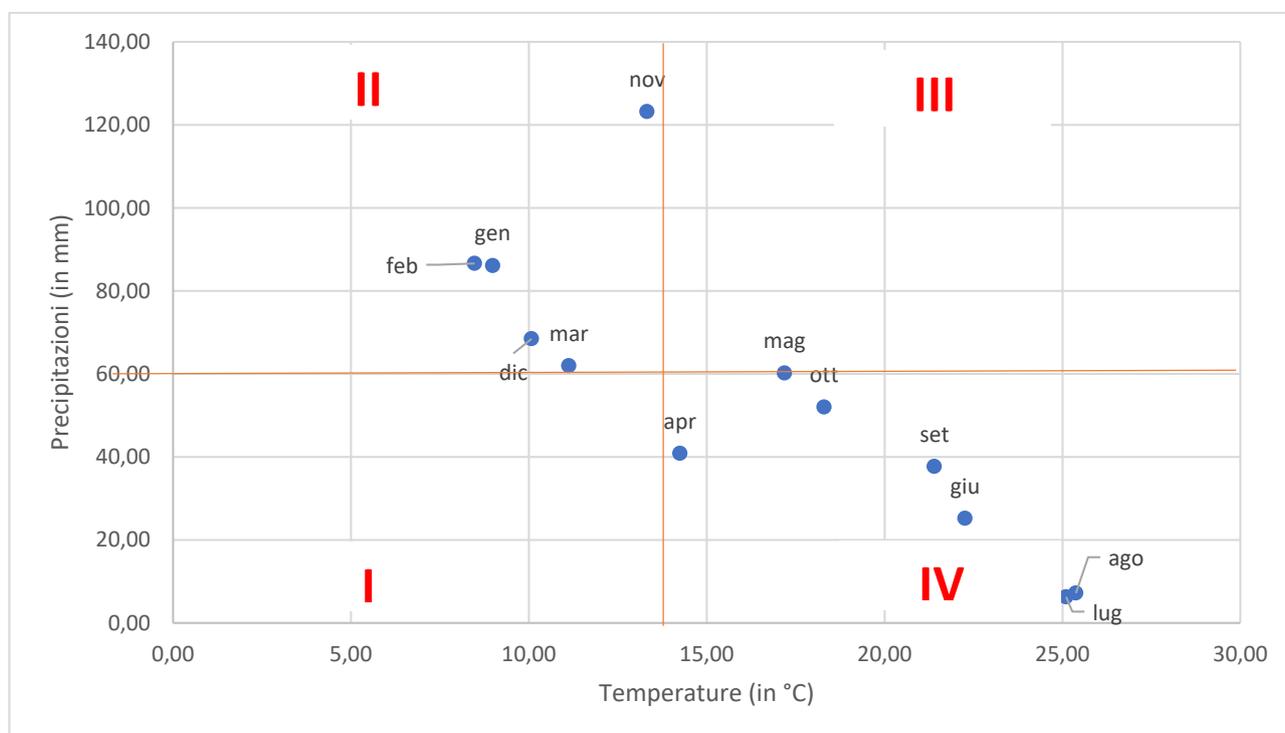


Figura 29 Climogramma relativo all'area di interesse

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 2012-2018 permette di classificare il clima dell'area di interesse come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (16 °C), non scende mai sotto agli 8 °C, e per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 22 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

Dal climogramma realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2018 per l'area di interesse, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

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

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

12. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO E USO DEL SUOLO

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

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

Per l'area di progetto risulta quanto segue:

WTG 1, WTG 2, WTG 3, WTG 8: Calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene e relativi depositi colluviali con profili A-C, A-Bw-C, A-Bt-C e subordinatamente roccia affiorante, da mediamente a poco profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, permeabili, neutri, saturi, cui sono associati suoli dell'unità F2 della Carta dei Suoli della Sardegna.

WTG 5, WTG 6, WTG 7, WTG 9: Calcari organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene e relativi depositi colluviali. Rocca affiorante, suoli a profilo A-C e A-Bt-C, da poco a mediamente profondi, franco sabbioso argillosi, permeabili, neutri, saturi cui sono associati suoli dell'unità F1 della Carta dei Suoli della Sardegna.

WTG 4: Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc.) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali. Rocca affiorante e suoli a profilo A-C, A-R e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da sabbioso franchi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi cui sono associati suoli dell'unità D3 della Carta dei Suoli della Sardegna.

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto si inserisce in un contesto in cui l'utilizzo è classificato come:

2121 SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO

2111 SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE

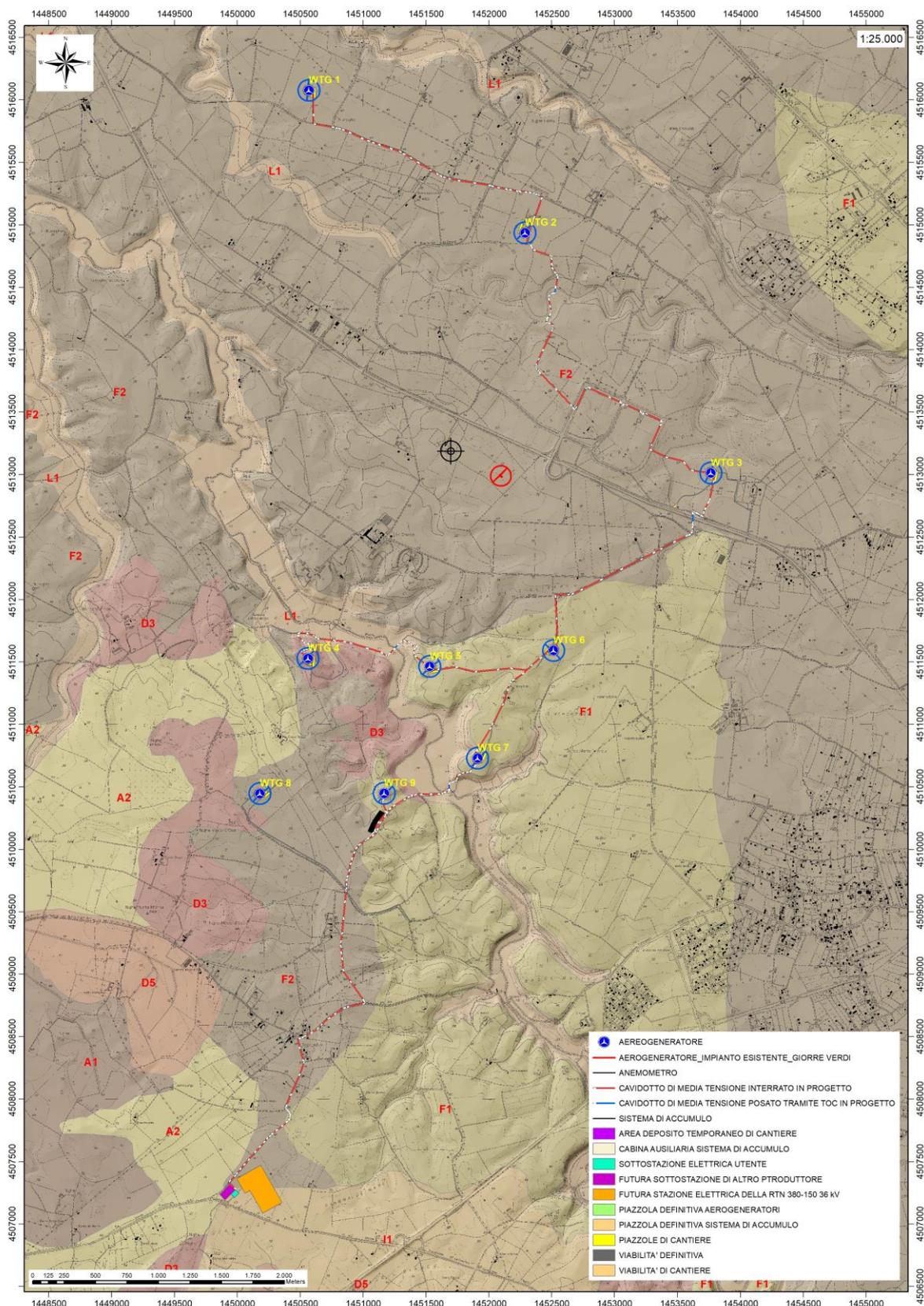


Figura 30 Carta dei Suoli, Fonte RAS

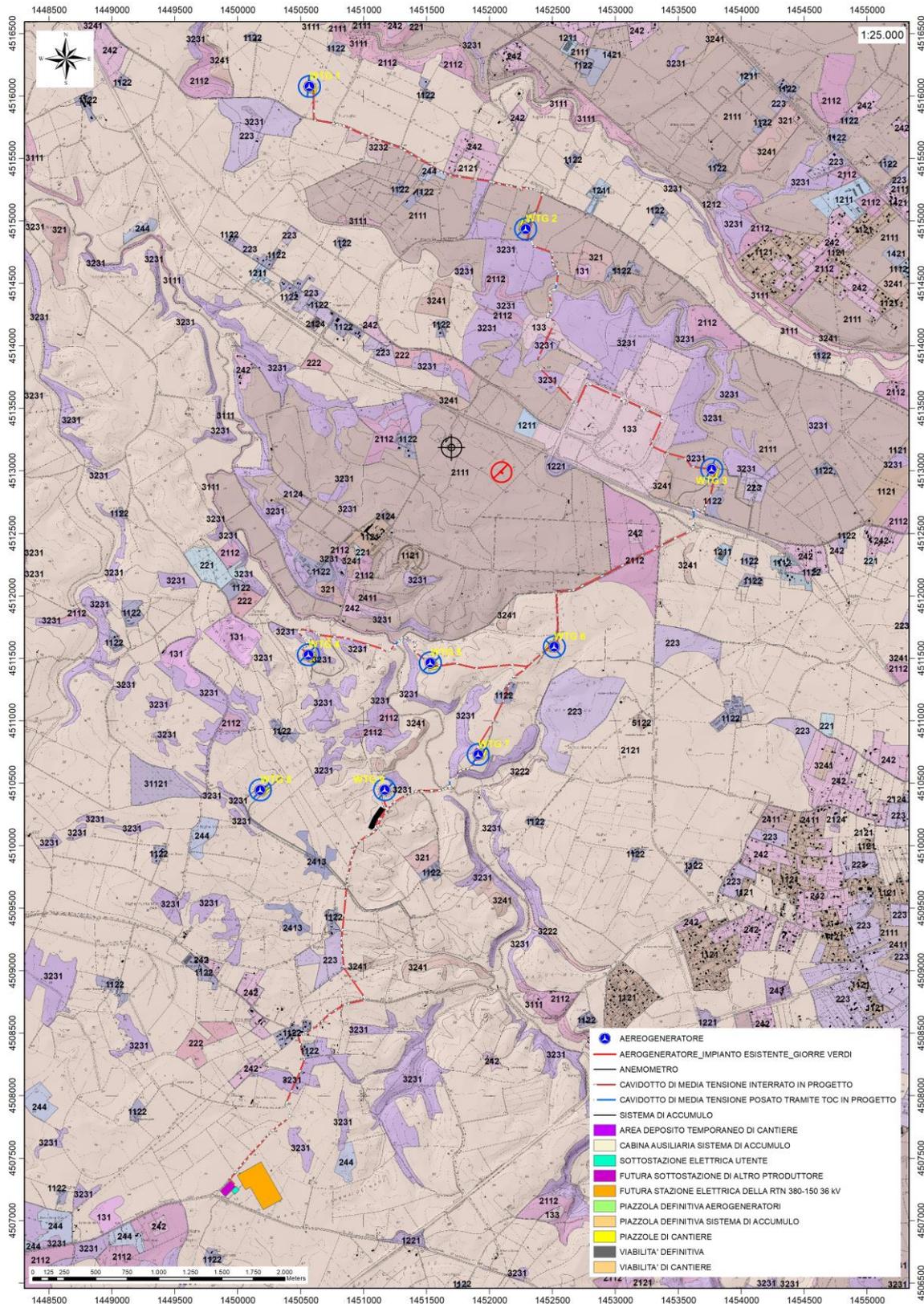


Figura 31 Carta dell'Uso del Suolo, Fonte RAS

13. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

13.1. PIANO STRALCIO D'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA SARDEGNA (P.A.I.)

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

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

Nello specifico del progetto, le turbine e relative piazzole sono non ricadono in aree a pericolosità da frana mentre alcuni tratti del cavidotto sono interessati da pericolosità da frana media Hg1 e Hg2. Le turbine sono posizionate su un pianoro sufficientemente ampio da garantire la non influenza dell'opera con la dinamica del versante attiguo. Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha inoltre evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti.

Nella carta tematica del P.A.I. relativa alla pericolosità idraulica resa disponibile dalla RAS, risulta che nel territorio circostante l'area di interesse sono presenti diversi settori con diverso grado di pericolosità legata a fenomeni idraulici per le aste fluviali principali che attraversano questo territorio e aree interessate da fenomeni di esondazione naturali. Per quanto concerne turbine e relative piazzole essere si trovano in aree non oggetto di pericolosità idraulica. Alcuni tratti di cavidotto sono invece interessati da pericolosità idraulica Hi3 e Hi4 ma essi non interferiscono con tale assetto in quanto correranno interrato a profondità maggiore di 1m da piano campagna.

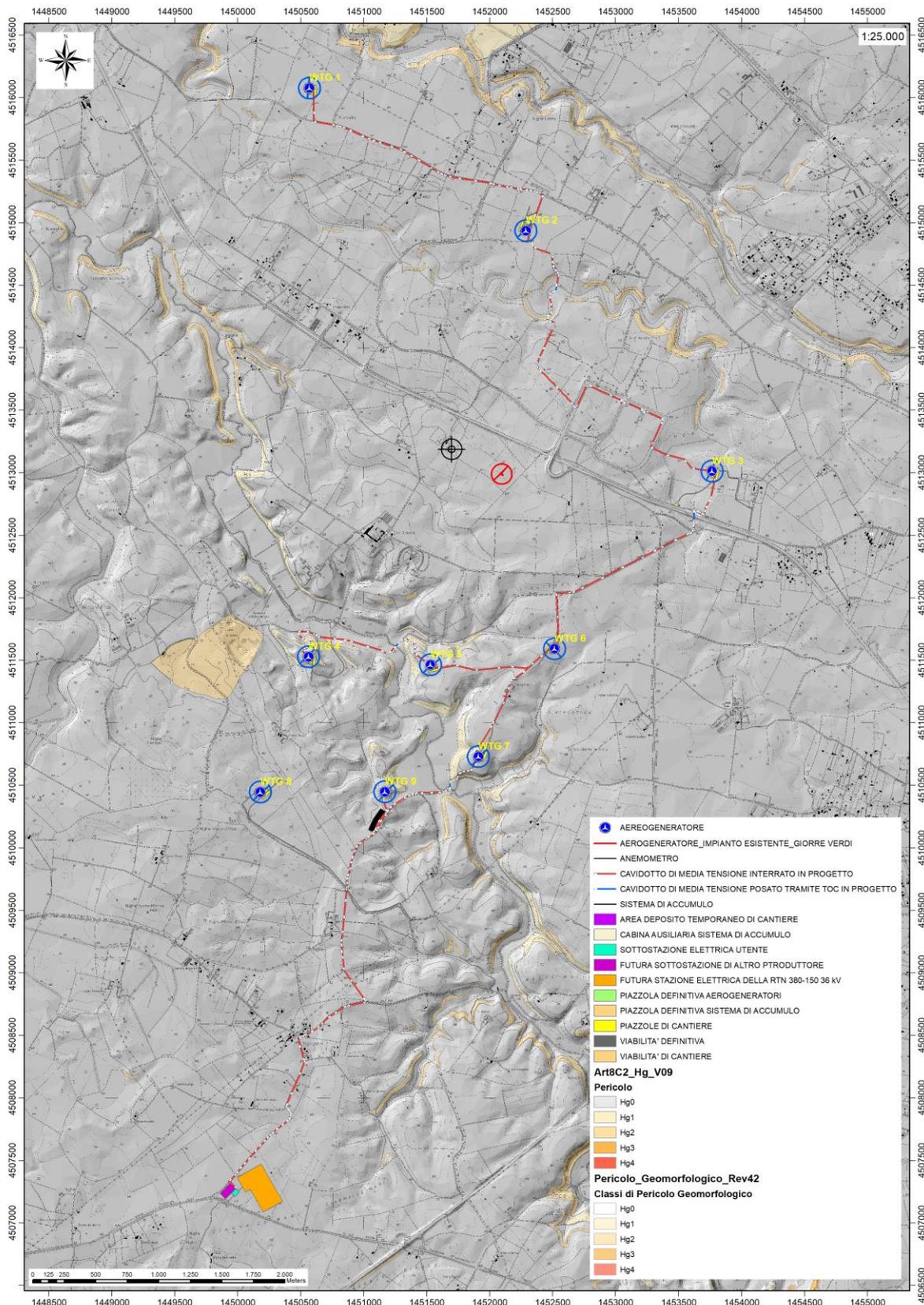


Figura 32 PAI: Pericolosità da frana Hg

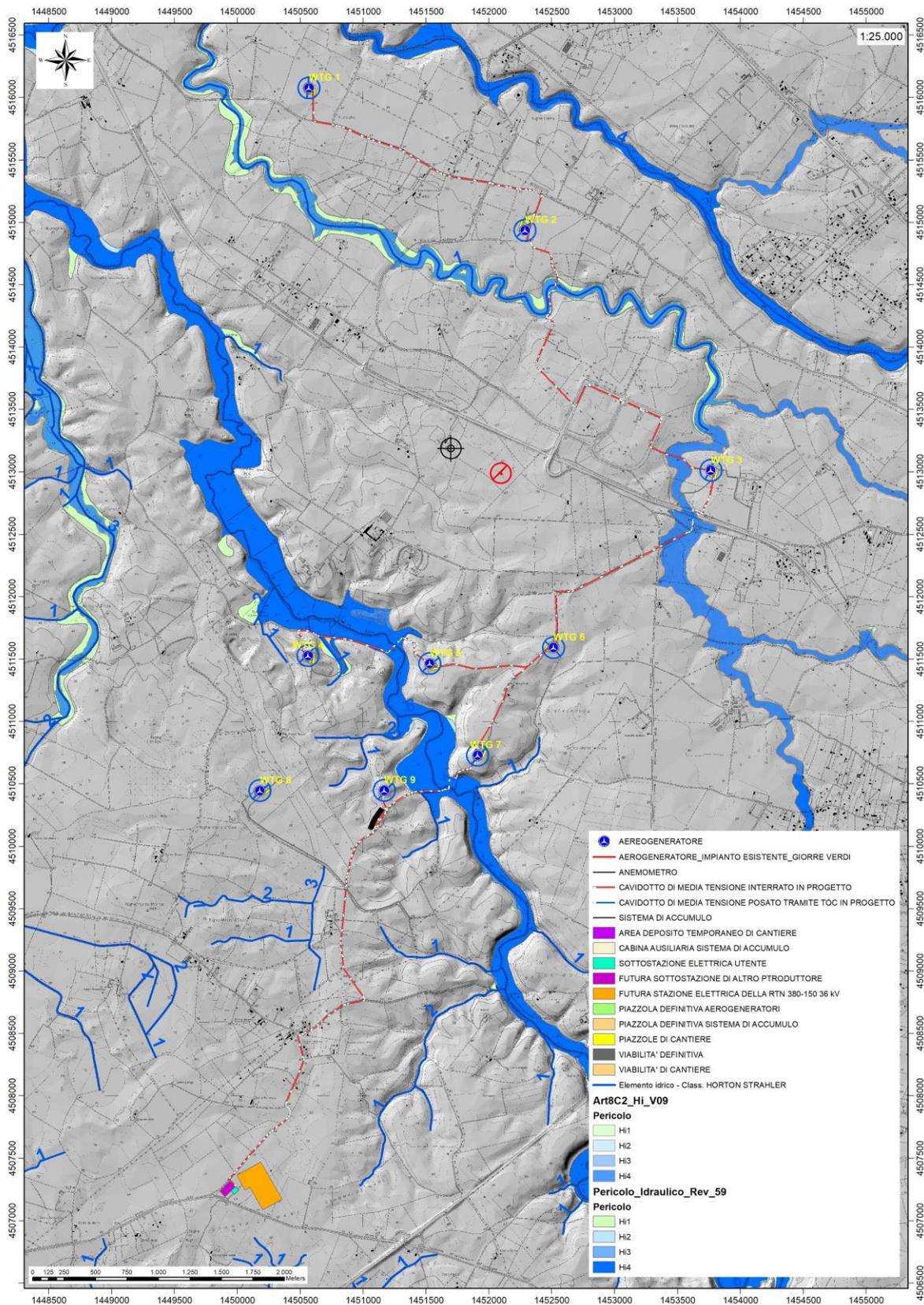


Figura 33 PAI: Pericolosità idraulica Hi

13.2. INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI – PROGETTO I.F.F.I.

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell’ambito del Progetto IFFI, nell’inventario non sono menzionate aree che ricadono nell’ambito territoriale dell’area di interesse.

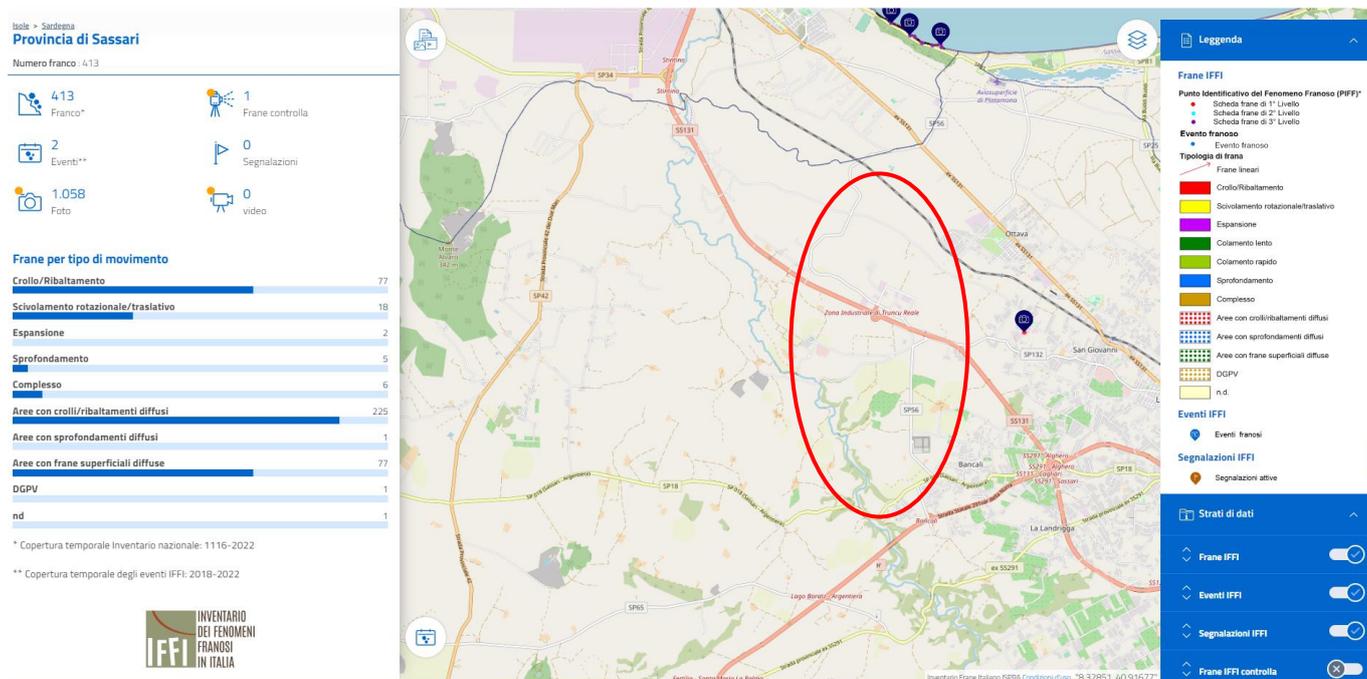


Figura 34 Archivio IFFI (Fonte ISPRA) in rosso l’area di intervento

13.3. PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (P.S.F.F.)

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

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

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

Per quanto riguarda le delimitazioni presenti nella cartografia del Piano Stralcio Fasce Fluviali, si evince che nel territorio circostante l'area di Truncu Reale sono presenti diverse fasce fluviali in corrispondenza delle due aste fluviali principali Riu Mannu e Rio d'Ottava. e un'area di fascia C (Fascia Geomorfológica) lungo l'alveo del 090064 Fiume 85602. L'area descritta è localizzata fuori dall'area oggetto di studio.

13.4. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

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

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

Nel territorio indagato sono presenti perimetrazioni per rischio alluvioni che ricalcano quelle già citate per il PAI e il PSFF.

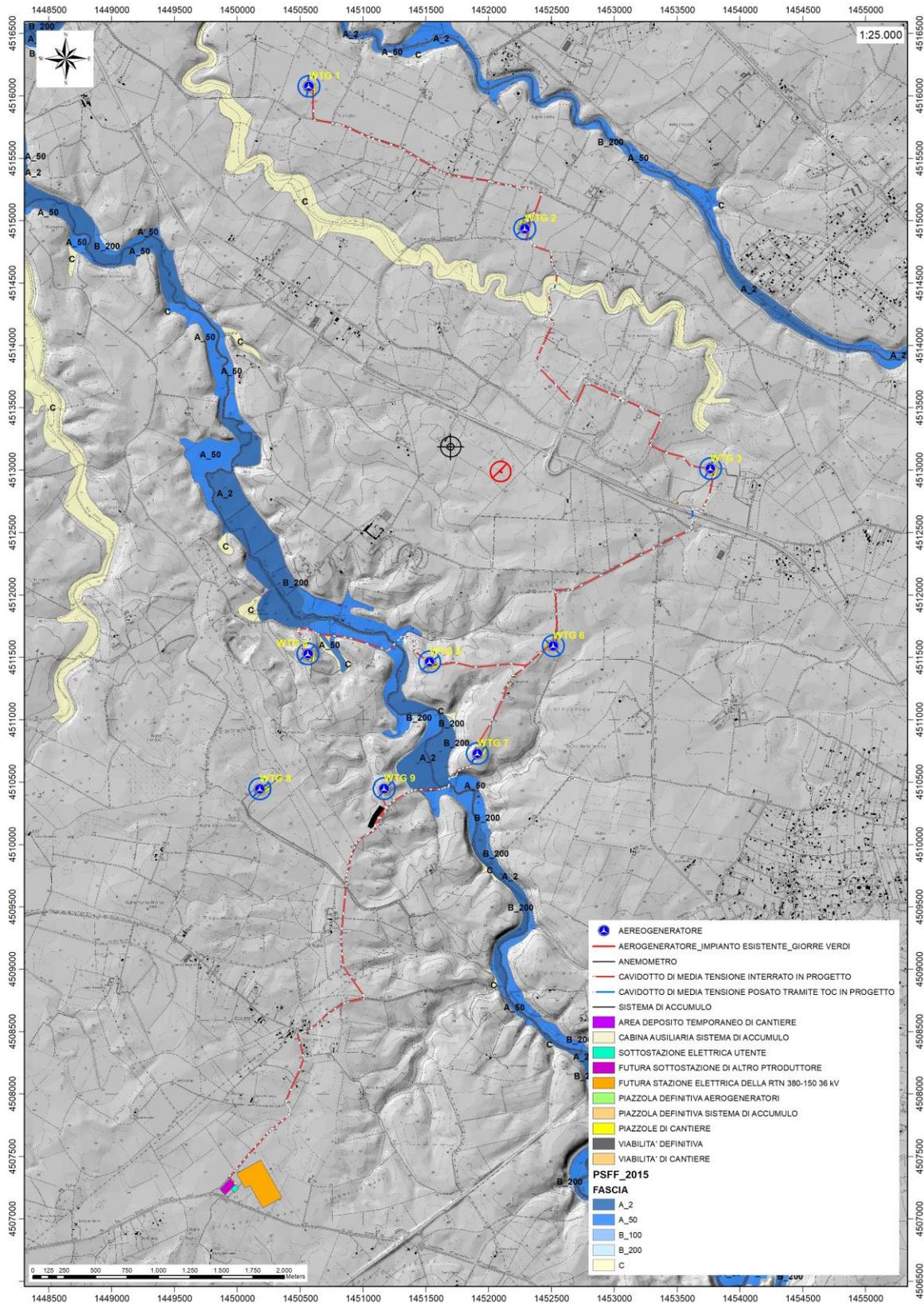


Figura 35 Carta delle perimetrazioni PSFF

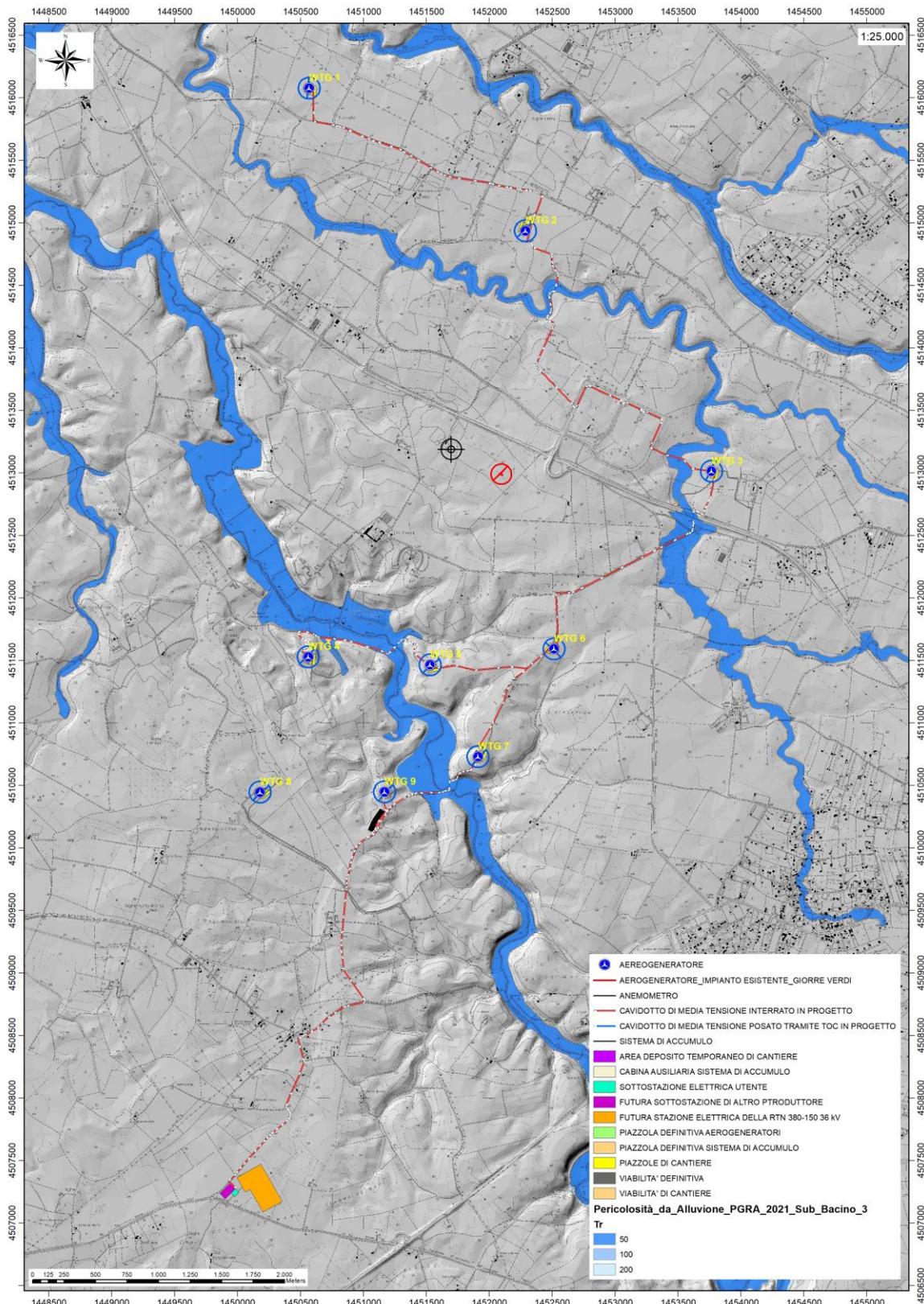


Figura 36 Carta delle perimetrazioni PGRA

14. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico in possesso e derivanti da studi pregressi e dalla letteratura di settore, ha reso necessario in particolare su questo contesto, predisporre un piano di indagini geognostiche di dettaglio, propedeutiche alla definizione del **modello geologico e geotecnico di sito** così come richiamato nelle Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018, e finalizzate alla progettazione esecutiva dell'opera.

L'indagine ha avuto come obiettivi principali:

- Definire in dettaglio la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraversati;
- Individuare la presenza di circolazione d'acqua sotterranea alle profondità di interesse in relazione ai volumi significativi delle opere (fondazioni)

Il piano di indagine ha previsto l'utilizzo di due tipologie di indagini:

1. Diretta – mediante l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo con il prelievo di campioni da caratterizzare in laboratorio geotecnico.
2. Indiretta – mediante prospezioni geofisiche realizzate impiegando la metodologia geoelettrica e sismica con le tecniche MASW e sismica a rifrazione in onde P.

Le indagini in sito sono state realizzate in data **06-07 e 10 Maggio 2021** dalla Ditta Dr. Antonello Angius con sede in Cagliari (CA) e in data **20 Aprile 2021** dalla ditta GEOSERVICE con sede in Villa San Pietro (CA). Le analisi di tipo geotecnico sono state effettuate presso il Laboratorio Geotecnico Certificato GEOSYSTEM con sede in Quartu Sant'Elena (CA). Le operazioni si sono svolte sotto la Direzione Lavori della scrivente.

Le sedi di indagine sono state scelte in modo da essere rappresentative dei diversi assetti geologico-strutturali che interesseranno le opere di progetto.

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

14.1. INDAGINI DIRETTE IN SITO

Sono stati eseguiti, in accordo con quanto previsto nelle specifiche tecniche *PM-CE-SP004-Specifications for soil investigations in rock Rev003a*, **n.3 sondaggi a carotaggio continuo** della profondità massima raggiunta di **15,00 mt** con l'esecuzione complessiva di prove **n°1 SPT** nel sondaggio TR_03; **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 Point Load, taglio diretto e compressione monoassiale su spezzoni di carota).

14.2. INDAGINI INDIRETTE IN SITO

In accordo con quanto riportato nelle specifiche tecniche *DO2108181_3.1_en_Technical description_Measurement of Soil Resistivity* sono stati eseguiti di n° 1 stendimento di sismica con tecnica Rifrazione/MASW e nr.1 stendimento di tomografia Elettrica (R1/M1 e T1). Le basi sismiche MASW ricadono lungo il medesimo allineamento delle Rifrazioni in onde P.

Si riportano di seguito in sintesi le caratteristiche delle tre metodologie impiegate:

L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del DM 17/01/2018.

- L'indagine sismica a rifrazione con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, andando a stimare lo stato di addensamento e/o fratturazione del terreno investigato. E' molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.
- La tomografia elettrica è una tecnica geofisica che restituisce, del sottosuolo investigato, l'immagine 2D della distribuzione della resistività elettrica. Trova le sue migliori applicazioni in situazioni complesse, dove può manifestare tutto il suo elevato potere risolutivo, sia laterale che verticale.

A supporto della progettazione geotecnica e strutturale, tramite le MASW sono stati determinati sulla base di correlazioni bibliografiche i parametri elastici dinamici derivati dalle indagini sismiche e il modulo statico di deformazione.

È stato eseguito un rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot, elettrodi/picchetti) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nelle sezioni di tomografia elettrica e sismica.

Infine i dati acquisiti sono stati elaborati tramite mediante l'applicazione di diversi algoritmi di interpretazione, filtraggio del segnale e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software specialistici.

Nella tabella 1 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.4 sono rappresentati i punti dove sono state effettuate le indagini.

Stendimento	Orientamento	Lunghezza (m)
<i>R1/M1</i>	NNW-SSE	69,0
<i>T1</i>	NNW-SSE	93,0

Tabella 5 Quadro riassuntivo indagine geofisica

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

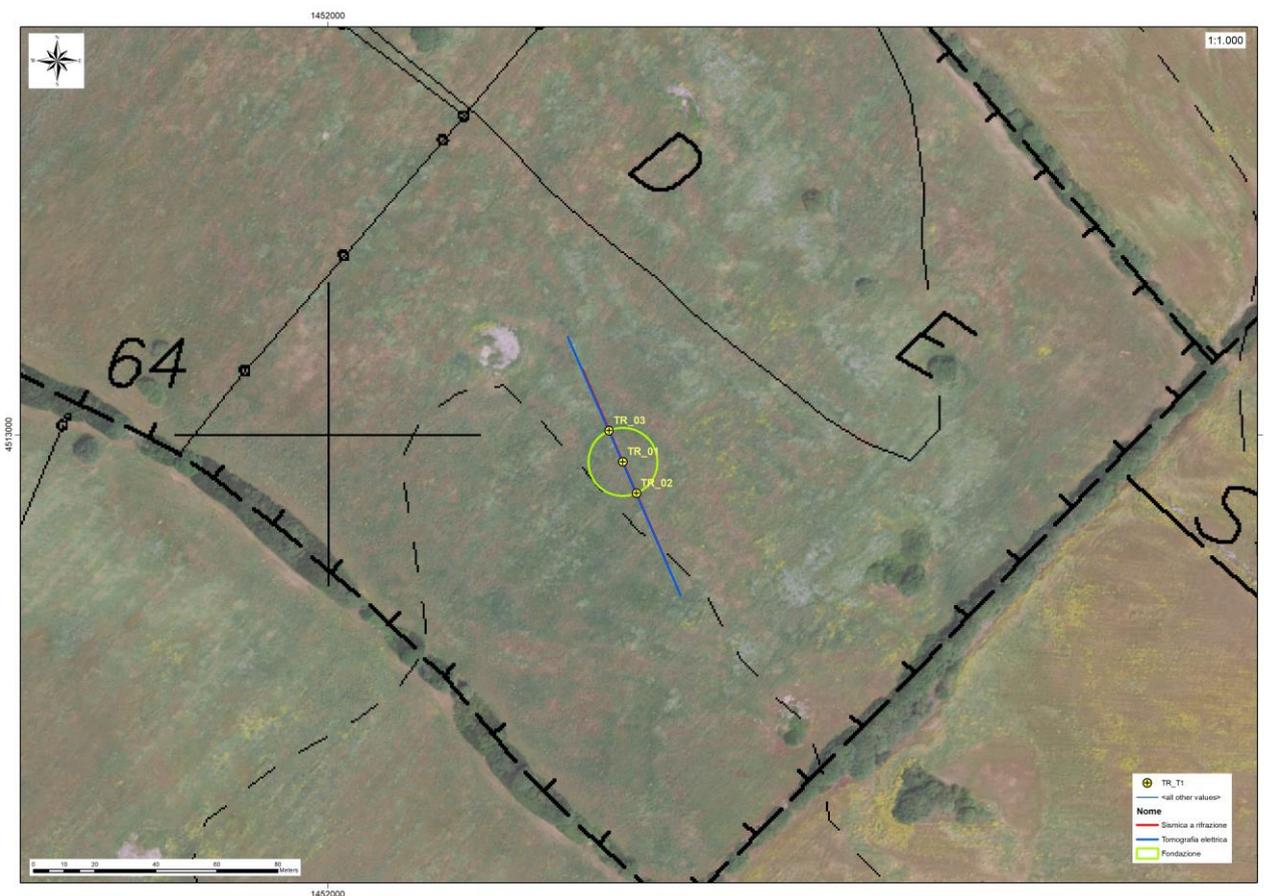


Figura 37 Planimetria delle aree di indagine

14.3. SONDAGGI GEOGNOSTICI

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

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

Sono stati effettuati **nr.3 sondaggi a carotaggio continuo** della profondità massima di **15,00m** 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 22-25m di diametro.

E' stato possibile realizzare **nr.1 prova SPT** (standard penetration test) nel sondaggio TR_03 e sono stati prelevati complessivamente nei 3 sondaggi **nr.(11) spezzoni di carota** da sottoporre a test di laboratorio.

Sondaggio	Località	Coordinate Nord	Coordinate Est	Profondità (m) da p.c.
TR_01	Truncu Reale	40°45'59".10 N	8°25'55".56	15,00
TR_02	Truncu Reale	40°45'58".76 N	8°25'55".64	15,00
TR_03	Truncu Reale	40°45'59".44 N	8°25'55".16	11,00

Tabella 6 Ubicazione dei sondaggi geognostici

Nome campione	Profondità Campione da p.c.	Prova di Laboratorio
TR_01_C1	5,60-5,80m	Point-Load
TR_01_C2	6,40-6,50m	Peso di Volume
TR_01_C3	7,40-7,60m	Prova di compressione monoassiale con rilevazione della curva sforzi/deformazioni
TR_01_C4	10,55-10,70m	Peso di Volume
TR_01_C5	10,70-10,85m	Point-Load
TR_02_C1	8,15-8,40m	Prova di compressione monoassiale con rilevazione della curva sforzi/deformazioni
TR_02_C2	10,30-10,45m	Point-Load
TR_02_C3	10,45-10,55m	Peso di Volume
TR_02_C4	12,70-12,80m	Peso di Volume
TR_02_C5	12,80-13,00m	Point-Load
TR_03_C1	9,30-9,40m	Prova di taglio

Tabella 7 Destinazione campioni dei sondaggi Truncu Reale

Nome prova	Profondità da p.c.	Kg/cm2
TR_03_PP1	4,35m	5,8
		5,8
TR_03_PP2	6,40m	5,5
		2,2
		4,4

Tabella 8 Elenco test diretti su carota prelevate mediante Pocket Penetrometer

14.4. STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI

Viene di seguito riportata la stratigrafia dei sondaggi. La stessa completa di immagini è presente in allegato alla presente.

Profondità da P.C.	Descrizione stratigrafica TR_01
0,0-0,1	Suolo, colore bruno.
0,1-1,8	Calcarenite bianca, mediamente fratturata, poco cementata, si frattura facilmente al colpo di martello; presenta frazione terrigena data da argilla e possibile sabbia fine in Quarzo. Presenza di pori con diametro da sub millimetrico a plurimillimetrico.
1,8-3,0	Calcere giallo molto fratturato e poco cementato, si riga con l'unghia, lo spezzone di carota può essere spezzato con la forza delle mani, presenta un raro contenuto fossilifero. Presenza di pori con diametro da sub millimetrico a plurimillimetrico.
3,0-3,5	Calcarenite bianca, mediamente fratturata, poco cementata, si frattura facilmente al colpo di martello; presenta frazione terrigena data da argilla e possibile sabbia fine in quarzo. Presenza di pori con diametro da sub millimetrico a plurimillimetrico.
3,5-6,0	Calcere giallo molto fratturato ricco in fossili a gasteropodi e brachiopodi. E' difficilmente rigabile con l'unghia e si frantuma facilmente con un colpo di martello. Presenza di pori con diametro da sub millimetrico a plurimillimetrico.
6,0-8,0	Calcarenite grossolana bianca, mediamente cementata, si frattura facilmente al colpo di martello; va da mediamente a estremamente fratturata. Presenza di fitta porosità con diametro da sub millimetrico a plurimillimetrico.
8,0-15,0	Calcarenite grossolana gialla, poco cementata, si frattura facilmente al colpo di martello; va da mediamente a estremamente fratturata. Presenza di fitta porosità con diametro da sub millimetrico a plurimillimetrico.

Profondità da P.C.	Descrizione stratigrafica TR_02
0,0-0,15	Suolo, colore bruno.
0,15-0,7	Calcere bianco alterato, si disfa con una leggera pressione delle dita.
0,7-1,8	Calcere bianco mediamente fratturato e mediamente cementato, si riga con l'unghia, presenza di frazione terrigena in argilla e granuli di sabbia molto fine grigio-scuro, presenta luccichio dovuto alla probabile presenza di miche nella frazione terrigena.
1,8-4,5	Calcere bianco mediamente fratturato e poco cementato, si distingue dal livello soprastante per una maggiore quantità in argilla. E' facilmente scavabile con l'unghia e si spezza con la forza delle dita. Presenta cavità subdecimetriche riempite da terre rosse prodotto residuale da dissoluzione carbonatica.
4,5-7,0	Calcere giallo mediamente fratturato ricco in fossili a gasteropodi e brachiopodi. E' difficilmente rigabile con l'unghia e passa gradualmente a mediamente cementato verso i 7,00m.
7,0-12,4	Calcere bianco mediamente cementato, difficilmente rigabile con l'unghia. Si spezza con un colpo di martello, è presente una frazione argillosa.
12,4-15,0	Calcere bianco mediamente cementato molto fratturato.

Profondità da P.C.	Descrizione stratigrafica TR_03
0,0-0,3	Suolo, colore bruno.
0,3-1,6	Argilla rossa dura e compatta, omogenea.
1,6-2,5	Sabbia medio-grossolana con argilla, colore rosso ocra, omogenea.
2,5-4,2	Argilla rossa compatta con rari clasti in calcare bianco (4-5cm).
4,2-4,7	Sabbia media con argilla rossa, molto compatta e omogenea.
4,7-6,7	Sabbia a grana media color nocciola con presenza di ciottoli dalla grandezza superiore al centimetro.
6,7-10,5	Calcare molto fratturato e alterato, si disfa facilmente con una leggera pressione delle dita.
10,5-11,0	Calcare bianco molto fratturato e mediamente cementato.

Di seguito le percentuali di RQD registrate nei sondaggi

Profondità da p.c.	TR_01	TR_02	TR_03
0-1m	30%	20%	0%
1-2m	90%	90%	0%
2-3m	30%	40%	0%
3-4m	40%	85%	0%
4-5m	0%	85%	0%
5-6m	15%	10%	0%
6-7m	25%	25%	0%
7-8m	65%	37%	0%
8-9m	50%	30%	0%
9-10m	15%	22%	0%
10-11m	30%	60%	0%
11-12m	0%	0%	-
12-13m	21%	57%	-
13-14m	11%	0%	-
14-15m	10%	0%	-

Tabella 9 RQD nei sondaggi (%)

14.5. ATTREZZATURE UTILIZZATE

I sondaggi sono stati eseguiti mediante le seguenti attrezzature:

SONDA EGT VD710

CASA COSTRUTTRICE: EGTECHNOLOGY SRL

MODELLO: VD 710_4P

MOTORE 130 HP

MATRICOLA: 1005/2006 CERTIFICAZIONE CE N.98/37/CE

PESO KG 8300

Sonda idraulica su carro cingolato completa di pompa triplex 170 lt/min a 40 bar, argano 1750 kg, doppia morsa con svitatore 45-220 mm, controslitta 1000 mm, argano wire line, corsa testa da 3400 mm, TIRO 120KN , SPINTA 6000 KN, MOTORE VM INSONORIZZATO

n. giri testa di rotazione (4 marce) 50-600

coppia max 9750 Nm



Figura 38 Sonda idraulica EGT VD710

14.6. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA S.P.T.

La prova penetrometrica dinamica S.P.T. (Standard Penetration Test), ideata negli Stati Uniti nel 1927, è la prova in sito più diffusa ed utilizzata in tutto il mondo, sia per la semplicità operativa e il basso costo, sia per la vasta letteratura tecnica esistente sull'interpretazione dei risultati.

La prova consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio o di un foro appositamente eseguito con diametro compreso tra 60 e 200 mm, e subordinatamente di prelevare piccoli campioni disturbati del terreno stesso (utilizzati ad esempio per prove di classificazione)

La prova S.P.T. consiste nel far cadere ripetutamente un maglio, del peso di 63,5 kgf, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato un campionatore di dimensioni standardizzate, registrando durante la penetrazione:

- il numero di colpi di maglio N1 necessario a produrre l'infissione per i primi 15cm (tratto di avviamento) inclusa l'eventuale penetrazione quasi statica per gravità,
- il numero di colpi di maglio N2 necessario a produrre l'infissione per altri 15cm,
- il numero di colpi di maglio N3 necessario a produrre l'infissione per ulteriori 15cm.

Complessivamente, durante la prova, il campionatore sarà infisso di 15+15+15 = 45 cm.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = (N2 + N3)/2$$

Caratteristiche Dispositivo prova SPT (Standard Penetration Test)

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

Nome prova	Profondità da p.c.	N1	N2	N3	Nspt
TR_03_SPT1	2,40m	7	7	13	10

Tabella 10 Elenco prove SPT

14.7. PROSPEZIONE GEOFISICA

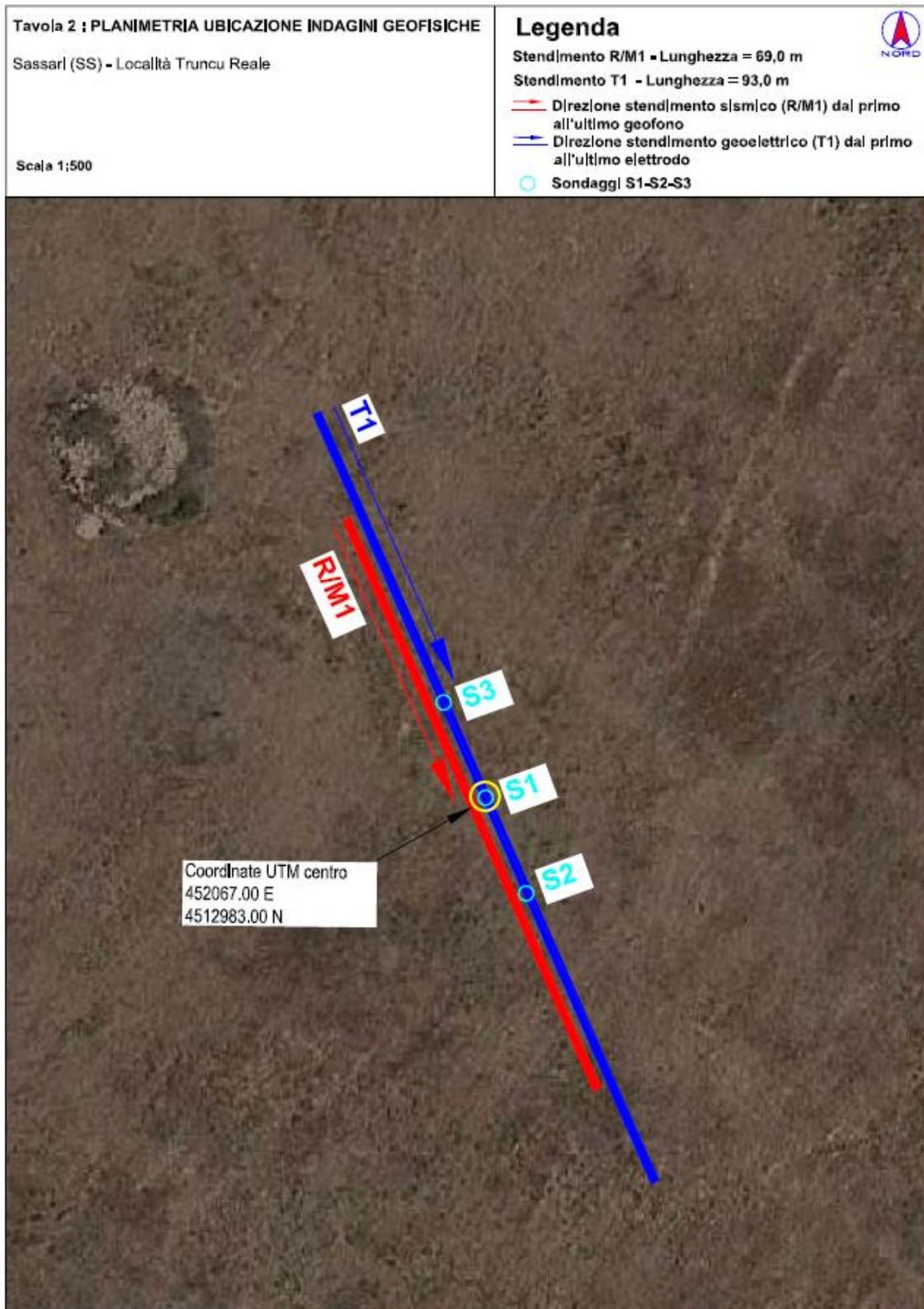
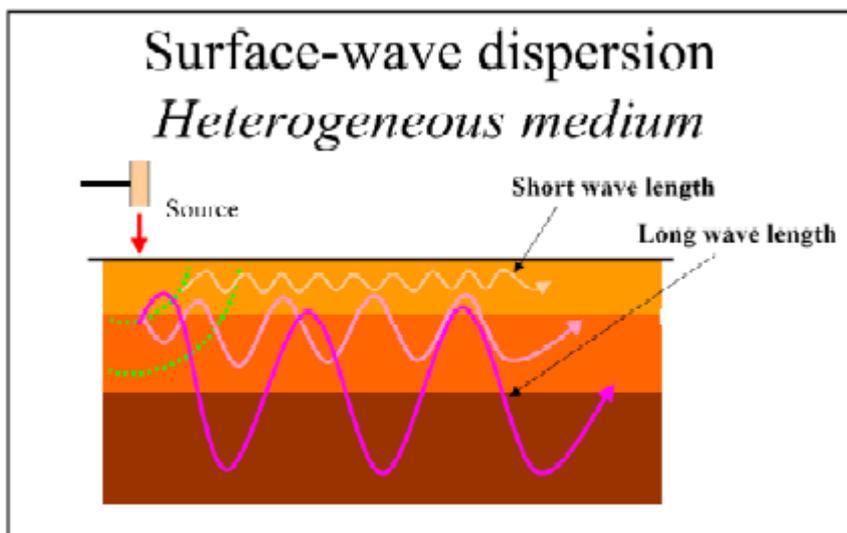


Figura 39 localizzazione stendimento R1/M1 e T1

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

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

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



da SAGEEP2003

L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 3,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile

(in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in "andata" e in "ritorno" con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica.

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.

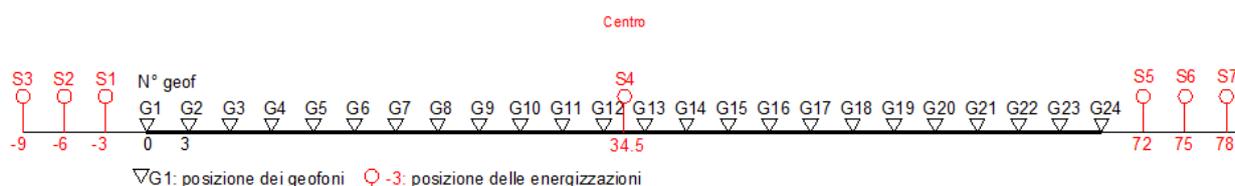


Figura 40 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 69,0 m

MASW - Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA Electronic Instruments, 24bit con frequenza di campionamento 1000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

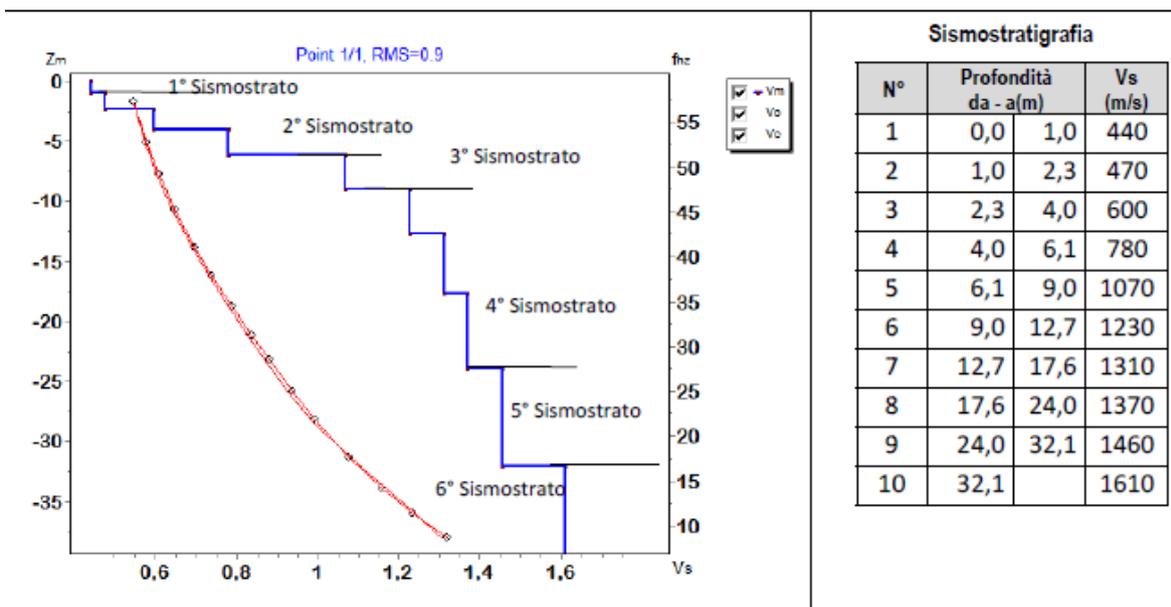
MASW – Elaborazioni e risultati

Base sismica M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s della sezione M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio V_s .

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 440 m/s, Terre molto addensate
1,0– 6,1	2° sismostrato con Vs tra 470 e 780 m/s, Roccia intensamente fratturata
6,1 – 9,0	3° sismostrato con Vs di 1070 m/s, Substrato roccioso intensamente fratturato
9,0 – 24,0	4° sismostrato con Vs tra 1230 e 1370 m/s, Substrato roccioso fratturato
24,0– 32,1	5° sismostrato con Vs di 1460 m/s, Substrato roccioso da fratturato a sano
>32,1	6° sismostrato con Vs di 1610 m/s, Substrato roccioso sano

MASW M1 - PROFILO Vs



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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato 6,1 m ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 6,1 m di profondità dal p.c. è pari a: $V_{s,eq} = 6,1/0,010418 = 585$ 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 3,1 m la classe di sottosuolo passa a Categoria A, in quanto la Vs diventa maggiore di 800 m/s includendo in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3,0 m.

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0-1,0	10%	1.900	880	440	0,33	981	98	373	981
2	1,0-6,1	15%	2.000	1.250	625	0,33	2.079	312	785	2.079
3	6,1-9,0	20%	2.100	2.140	1.070	0,33	6.414	1.283	2.403	6.414
4	9,0-24,0	30%	2.200	2.600	1.300	0,33	9.915	2.974	3.717	9.915
5	24,0-32,1	40%	2.300	2.920	1.460	0,33	13.072	5.229	4.903	13.072
6	>32,1	40%	2.300	3.220	1.610	0,33	15.897	6.359	5.963	15.897

Figura 41 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 3-5** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Indicazioni per la determinazione di Nspt e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra Vs e Nspt, i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame trattandosi di materiali a granulometria grossolana si consiglia di impiegare la correlazione di Imai (1977) di seguito indicata.

$$Nspt = (Vs/80,6)^3 \cdot 0,21 \quad \text{valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

Sismica a rifrazione

In ambito d'indagini indirette l'esplorazione geofisica la sismica a rifrazione risulta tra le metodologie più affermate e meglio sperimentate. Il metodo si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica maggiore.

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

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

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

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

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

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

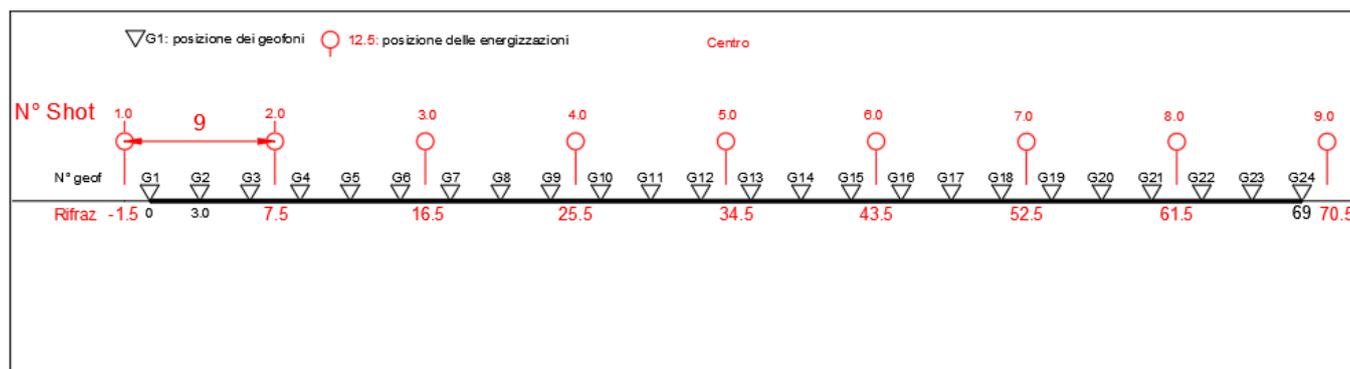


Figura 42 Stendimento (L=69m) di sismica a rifrazione in onde P con 24 geofoni e interdistanza di 3,0 m

Sismica a Rifrazione - Strumentazione utilizzata

Per l'indagine eseguita è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello DoReMi a 24 bit, prodotto dalla SARA Electronics Instruments, con frequenza di campionamento 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della SARA electronics con frequenza propria di 10 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 per tutti gli stendimenti. Per l'energizzazione delle onde P ci siamo avvalsi di una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg. La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite GPS differenziale STONEX S70G in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.

Tomografia elettrica - Tecnica e parametri utilizzati

La scopo dei metodi geofisici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure opportunamente effettuate in superficie. Il metodo utilizzato in questa indagine ricade fra i metodi geoelettrici "attivi", cioè quelli che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno, con l'intento di misurare la resistività apparente degli strati attraversati dalla corrente elettrica. La tecnica tomografica si compone di uno stendimento costituito nel caso specifico da un massimo di 32 elettrodi posti ad un'interdistanza costante l'uno dall'altro, che vengono gestiti automaticamente dallo strumento di misura e commutati alternativamente come elettrodi di corrente e di misura di differenza di potenziale (d.d.p.).

La metodologia permette l'acquisizione di una considerevole quantità di dati sulla resistività "apparente", rappresentativi sia delle variazioni laterali, che verticali lungo il profilo così da generare una Tomografia Elettrica lungo una linea sul terreno.

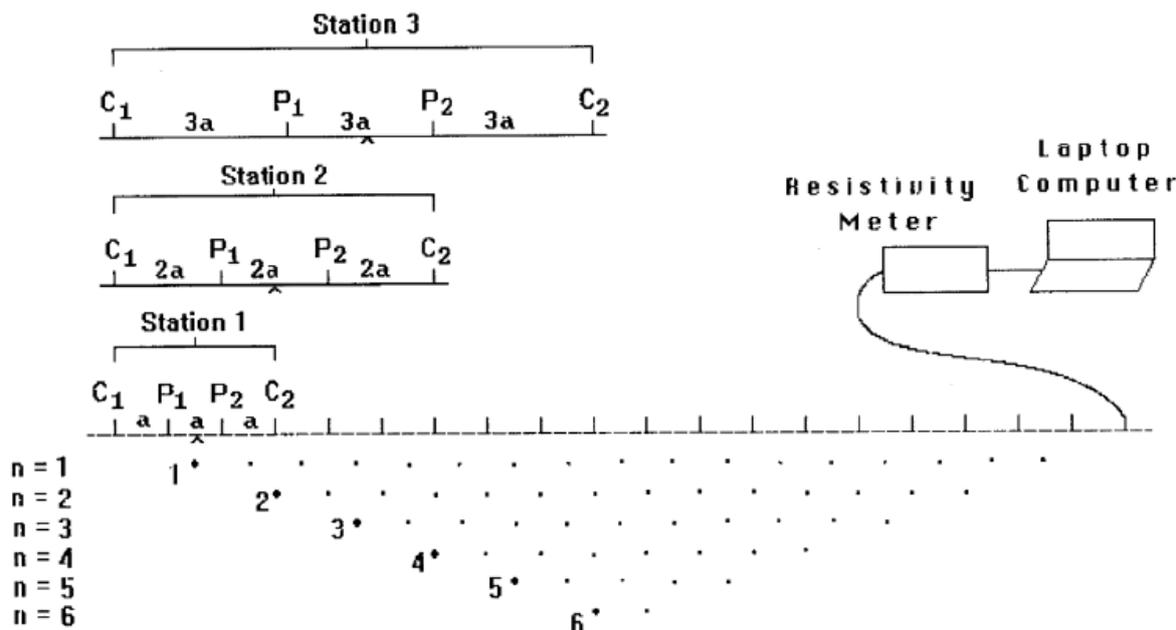


Figura 43 Schema generale di un'indagine tomografica

L'utilizzo appropriato dei programmi d'inversione consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del parametro fisico. La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante, poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia, e tutte le anomalie locali generate da strutture localizzate come cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti, etc.

La profondità d'esplorazione è variabile secondo il dispositivo e della risoluzione richiesta; mediamente è pari a circa 1/5 della lunghezza dello stendimento.

Tomografia elettrica- metodologia impiegata, strumentazione e software

Geometria delle acquisizioni

Per ciascun stendimento sono state impiegate tre geometrie di acquisizione, come di seguito specificato:

- Quadripolo di Wenner
- Quadripolo di Wenner Schlumberger
- Quadripolo Dipolo-Dipolo

Ogni metodo utilizzato ha delle caratteristiche proprie e come tale tende meglio a rappresentare specifiche strutture presenti nel sottosuolo. In particolare:

Il quadripolo di Wenner (di seguito W) presenta caratteristiche per il quale risulta maggiormente idoneo nell'investigazione di strutture orizzontali (quali quelle sedimentarie o laviche).

Il quadripolo di Wenner-Schlumberger (di seguito WS) risulta essere un buon compromesso per l'investigazione sia di strutture orizzontali che verticali (faglie, dicchi, cavità), il quadripolo Dipolo-Dipolo (di seguito DD) è prevalentemente idoneo nell'investigazione di strutture verticali (faglie, dicchi, cavità), mentre risulta essere poco adatto in presenza di strutture orizzontali, quali quelle sedimentarie.

Il W e il WS si distinguono anche per un minore "rumore" delle acquisizioni, ossia una miglior rapporto tra segnale acquisito e disturbo della misura, nonché per una maggiore capacità di investigazione in profondità.

Strumentazione e attrezzatura utilizzata

La strumentazione utilizzata per lo studio è composta dai seguenti dispositivi:

- sistema di misurazione ed acquisizione formato da un georesistivimetro completo di unità di energizzazione ed un computer per la gestione automatica delle acquisizioni (apparecchiatura per tomografia elettrica Mod. Polares della PASI) che fornisce la corrente da immettere nel sottosuolo con una tensione in uscita di picco di $\pm 700V$ ed una corrente variabile fra 5 e 2.000 mA.;

- n° 2MUX per la gestione automatica delle acquisizioni in cui gli elettrodi collegati all'unità di acquisizione ed energizzazione sono in grado di funzionare alternativamente come elettrodi di corrente e di potenziale;

- N° 2 cavi per 16 elettrodi cable A-B-M-N con connettore per MUX

- 32 elettrodi in acciaio inox



Elaborazione dei dati e software

L'elaborazione tomografica consiste, nella suddivisione dello spazio bidimensionale della sezione in celle secondo uno schema definito con riferimento alla distribuzione e alla dispersione dei dati. Per ognuna delle celle è calcolata la resistività apparente che soddisfi il complesso delle misure eseguite, su questo schema è applicato il metodo d'ottimizzazione dei minimi quadrati modificando il modello di partenza, in maniera iterativa in modo che si riduca la differenza tra i valori di resistività apparente calcolati e quelli effettivamente misurati.

Il grafico che ne deriva è una sezione bidimensionale in cui le zone ad uguale resistività sono raffigurate da aree caratterizzate dal medesimo colore. Le tinte blu rappresentano resistività basse, poi si passa a colori che vanno dal verde al giallo e infine al rosso che rappresenta litologie a resistività via via sempre più alte.

Le misure sperimentali sono state elaborate mediante uno specifico programma di interpretazione tomografica denominato "ZONDRES2D". Il programma d'interpretazione tomografica ZONDRES2D elabora un modello bidimensionale di resistività del sottosuolo che soddisfa i valori sperimentali acquisiti con le varie interdistanze dello stendimento.

Nell' area oggetto d'indagine, in data 20 Aprile 2021 è stato realizzato n° 1 stendimento di tomografia elettrica. L'ubicazione dello stendimento è indicata nella planimetria della figura 6, mentre nella tabella 7 si riportano le principali caratteristiche geometriche.

N° stendimento	N° picchetti/elettrodi	Interdistanza elettrodica [m]	Lunghezza totale [m]	Massima Profondità di indagine [m pc]
T1	32	3,0	93,0	20,0

Tabella 11 caratteristiche geometriche degli stendimenti di tomografia elettrica

Risultati della sismica a rifrazione e tomografia elettrica

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni di sismica a rifrazione e delle tomografie elettriche. I dati sono rappresentati secondo il seguente schema: le sezioni di tomografia elettrica con le 3 geometrie di acquisizione (Wenner, Wenner-Schulmberger, Dipolo-Dipolo) e la sezione di sismica a rifrazione. Su ciascuna sezione si riportano gli elettrostrati e i sismostrati caratterizzati da velocità crescenti nonché le eventuali anomalie legate alla possibile presenza di zone maggiormente fratturate e/o cavità.

Rifrazione R1 e Tomografia elettrica T1

Nella sezione di sismica a rifrazione R1 è possibile distinguere i seguenti sismostrati:

Stendimento R1	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura e rocce intensamente fratturate (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 6,0/12,0	300-1500
B: Unità delle rocce fratturate (rippabili)	Da 6,0/12,0 a 16,0/21,0	1500-2200
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (non rippabili)	Da 16,0/21,0 a 22,0	2200-2500

Figura 44 Sismostrati individuati nella sezione R1.

Dall'esame della sezione si riconoscono 3 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 300 m/s ai 2500 m/s. Il **sismostrato A** (materiali facilmente rippabili) presenta spessori variabili lungo la sezione e si osserva fino a profondità comprese tra 6,0 e 12,0 m dal piano campagna. Il **sismostrato B** (limite dei materiali rippabili) si rileva fino a profondità comprese tra 16,0 e 21,0 m dal p.c. Il **sismostrato C** (materiali non rippabili) si osserva invece fino alla profondità di circa 22,0 m di profondità dal p.c e rappresenta un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità delle Vp oltre i 2200.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 16,0 e 21,0 m dal p.c i terreni risultano non rippabili. Si ricorda che per il grado di rippabilità delle rocce viene utilizzata la correlazione edita dalla Caterpillar valida per la macchina operatrice D8 Ripper. Dal confronto tra la sezione sismica e i 3 sondaggi eseguiti lungo lo stendimento si può riscontrare un'ottima correlazione per quanto riguarda la definizione del grado di rippabilità delle rocce e le loro caratteristiche geomeccaniche.

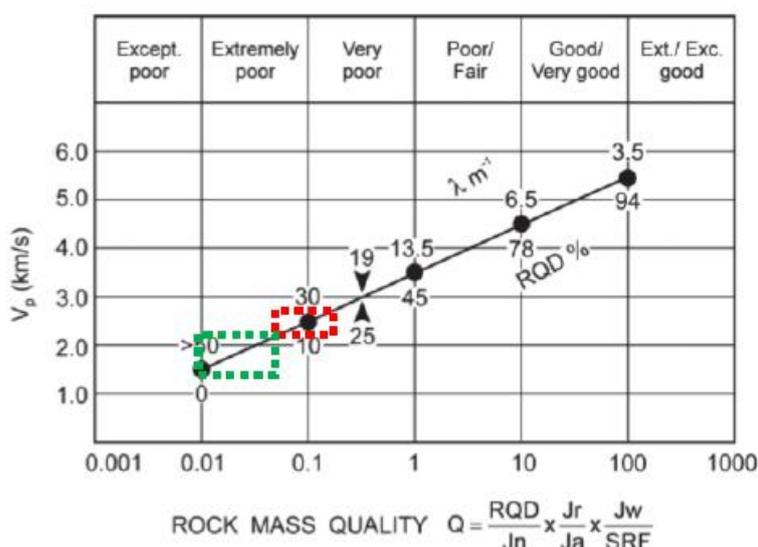
Le sezioni di tomografia elettrica T1 mettono in luce la presenza di uno strato caratterizzato da bassi

valori di resistività fino a profondità di circa 5,0/6,0 m dal piano campagna riconducibile alle rocce calcaree intensamente fratturate di cui ai sondaggi S1 e S2; entro tale livello è poi possibile distinguere i materiali fini limo-argillosi di alterazione dei calcari (terre rosse) riscontrati nei primi 5,0 m nel sondaggio S3 che danno luogo ai valori più bassi di resistività. A partire dalla profondità di 5,0/6,0 m dal piano campagna si osserva invece un aumento dei valori resistività dovuto alla minore presenza di alterazione argillosa e contestuale miglioramento graduale delle condizioni fisico meccaniche delle rocce presenti.

In generale non si osservano particolari anomalie né di resistività né di velocità ma un graduale aumento di esse con l'aumentare della profondità dal piano campagna, per cui si ritiene che la presenza di vuoti o cavità nel sottosuolo sia da escludere.

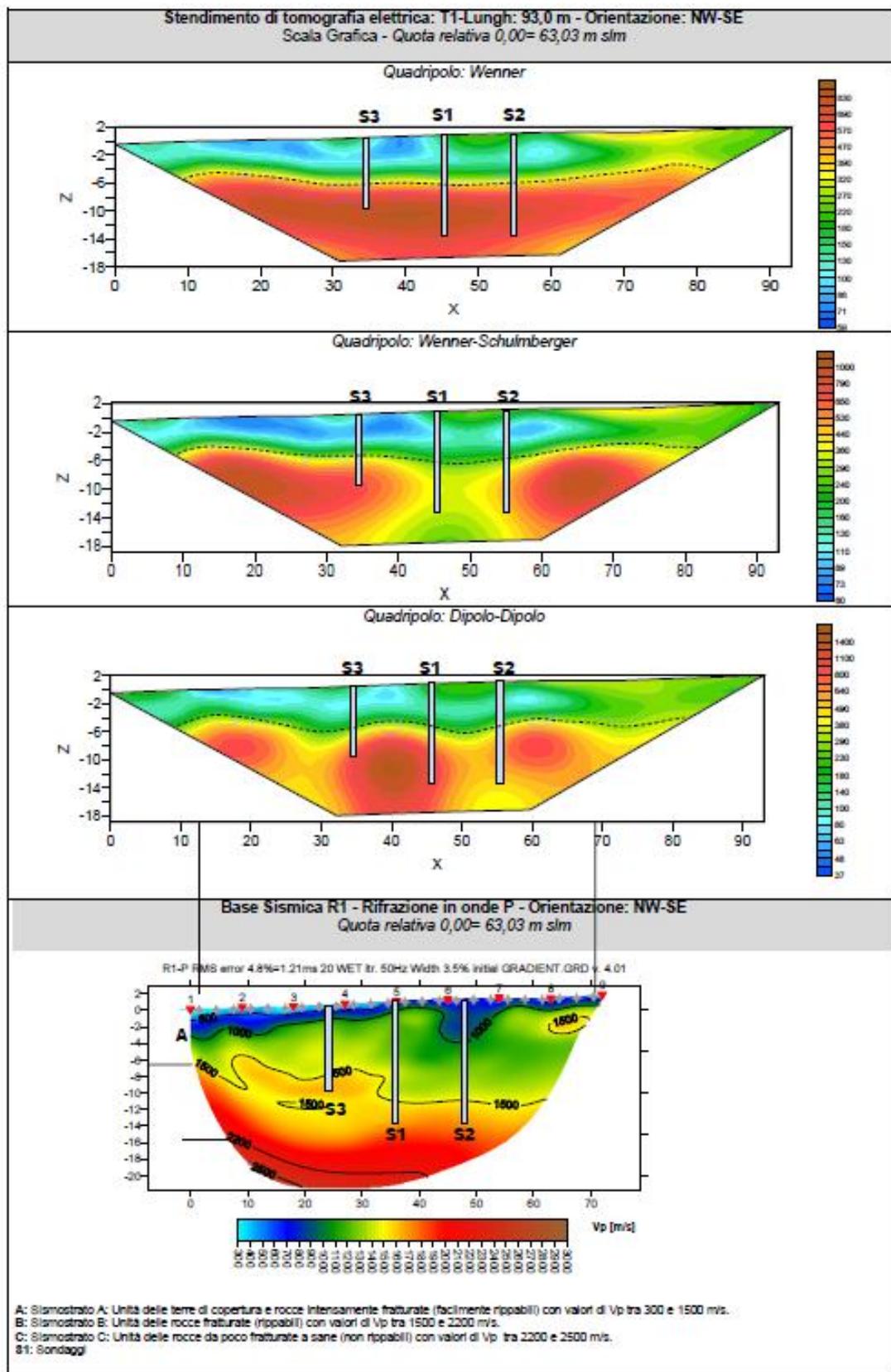
Indicazioni per la determinazione di parametri geomeccanici

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



Sulla base dei litotipi individuati dai sondaggi si può applicare la correlazione ai sismostrati B e C. Il rettangolo verde indica il settore del sismostrato B, con un RQD compreso tra 0 e 7, un numero di fratture per metro che varia tra 50 e 35 e un indice di qualità Q tra 0,01 e 0,07 (ammasso roccioso estremamente scadente); il rettangolo rosso rappresenta il sismostrato C che ha valori di RQD compresi tra 7 e 17, un

numero di fratture per metro compreso tra 35 e 25 e un valore dell'indice Q tra 0,07 e 0,3 (ammasso roccioso da estremamente scadente a veramente scadente).



Da quanto sopra le 2 unità sismostratigrafiche possono essere classificate come segue:

Sismostrati	Vp (m/s)	RQD (%)	λ (1/m)	Q
B: Unità delle rocce fratturate (rippabili)	1500-2200	0-7	50-35	0.01-0.07
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (non rippabili)	2200-2500	7-17	35-25	0.07-0.2

L'indice Q può essere correlato all'indice RMR della classificazione di Bieniawski con la relazione: $RMR=9\ln Q+44$.

La prospezione geofisica attraverso l'impiego delle tecniche MASW, sismica a rifrazione in onde P e tomografia elettrica ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche. Lungo la verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità Vp e Vs crescente con la profondità con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi. Per quanto riguarda le MASW, lungo lo stendimento si evince la presenza di sismostrati con velocità Vs crescente con la profondità sino ad incontrare il bed rock con andamento e spessori indicati nei precedenti paragrafi. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il sito di indagine, è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità substrato [m]	Vs _{eq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	6,1	585	B

I dati derivati dalla MASW messi in correlazione con le bibliografiche indicate nei precedenti paragrafi hanno permesso di determinare i parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni e per correlazione ottenere una preliminare definizione dei parametri di resistenza al taglio.

L'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione e di tomografia elettrica ha permesso di ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei terreni. Nei precedenti paragrafi si illustrano i differenti sismostrati individuati dai quali è possibile distinguere i materiali rippabili da quelli non rippabili. In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 16,0 e 21,0 m dal p.c. i terreni risultano non rippabili.

L'impiego congiunto della tecnica della tomografia elettrica lungo il medesimo allineamento della sismica a rifrazione ha permesso di correlare meglio anche i risultati dei sondaggi eseguiti lungo lo stendimento, infatti come è stato descritto in precedenza si osserva uno strato con bassi valori di resistività fino alla profondità di 5,0/6,0 m dal piano campagna, riconducibile ai materiali argillosi rinvenuti nei primi metri di S3 e alle rocce calcaree intensamente fratturate dei sondaggi S1 e S2, seguito a sua volta da un innalzamento dei valori di resistività riconducibili al progressivo miglioramento delle caratteristiche fisico meccaniche delle rocce presenti.

Le prospezioni geofisiche in rifrazione sono state utilizzate anche per la definizione spaziale di alcuni elementi degli ammassi rocciosi (fratture, RQD, etc) e per la definizione per l'indice di qualità di Barton Q: si tratta chiaramente di correlazioni da impiegare con le dovute approssimazioni ma comunque utili in determinate situazioni nelle quali dai sondaggi è difficile ottenere dei parametri di caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

In generale non si osservano particolari anomalie né di resistività né di velocità ma un graduale aumento di esse con l'aumentare della profondità dal piano campagna, per cui si ritiene che la presenza di vuoti o cavità nel sottosuolo sia da escludere.

14.8. PROVE LUGEON

In fase di avanzamento delle perforazioni sono state eseguite n. 2 prove di permeabilità Lugeon. La prova di permeabilità Lugeon misura l'attitudine di un ammasso roccioso ad essere interessato da circolazione idrica, permettendo di determinarne la permeabilità o la fratturazione. Tali prove vengono effettuate immettendo acqua in pressione entro un tratto isolato di foro di sondaggio, perforato in terreni lapidei o litoidi, misurando i volumi assorbiti a diverse pressioni, per valutare la permeabilità di ammassi rocciosi in termini di assorbimento di acqua nell'unità di tempo, in funzione della pressione di prova e della lunghezza del tratto di foro interessato.

Il tratto di foro isolato viene realizzato mediante tubo adduttore munito di otturatore ad espansione (packer) singolo o doppio. La prova può essere effettuata in fase avanzamento della perforazione, utilizzando un solo packer, oppure a foro completo per mezzo di una coppia di packer. Il packer viene espanso mediante azoto o aria, isolando la camera di prova. Per l'esecuzione della prova il foro deve essere privo di rivestimento e il fluido di perforazione sarà costituito da sola acqua priva di additivi.

La tabella seguente (**Tab.8**) riporta l'identificativo della prova, il sondaggio nella quale è stata eseguita e la profondità della camera di prova.

ID prova	ID sondaggio	Profondità camera di prova	Profondità della falda
Prova 1	TR_01	8.40 – 11.40	Falda assente
Prova 2	TR_02	5.00 – 7.00	Falda assente

Tabella 12 Profondità di prova

Attrezzatura impiegata

L'esecuzione della prova richiede l'attrezzatura elencata di seguito:

- otturatore singolo (packer) GEOPACK della Italswiss, $\varnothing 74$ e lunghezza 1.00 m; il tubo di collegamento dei due pistoncini espandibili avrà una superficie forata $A_f \geq 2 A_t$, essendo A_t la superficie della sezione cava del tubo;

- pompa Bellin mod. NG530 L/P accoppiata a motore idraulico, in grado di raggiungere pressioni di iniezione di 24 Bar e portata di 9 m³/h = 150 l/min;
- contaltri per la misura delle portate immesse, inserito nel circuito di mandata, con sensibilità di 0,1 litri;
- manometro per la misura della pressione di iniezione, con sensibilità di 0,5 atm e certificato di taratura non anteriore a 3 mesi;
- tubi di adduzione di tipo idraulico.

Modalità esecutive: Prova in avanzamento con packer singolo

L'esecuzione di queste prove è stata effettuata durante l'avanzamento della perforazione, utilizzando un solo packer che viene calato nel foro dopo avere misurato il livello piezometrico nel sondaggio.

Il packer sarà espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza massima di 5 metri. Allo scopo di una buona tenuta del packer è sufficiente che la pressione di gonfiaggio sia superiore di 2.0-3.0 Bar a quella di iniezione dell'acqua. La lunghezza della membrana del packer che aderisce alla parete del foro per sigillarla deve essere sufficiente a garantire che non si abbiano perdite attraverso le fratture passanti.

Dopo aver monitorato gli assorbimenti dovuti al solo carico idraulico dovuto alla falda, si procede ad iniettare acqua nel tratto di prova, eseguendo 3 (o più) diversi gradini di pressione in salita e ripetendo alcuni gradini in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite ogni 2 minuti per intervalli complessivi di 10 min/gradino.

La scelta del valore dei gradini di pressione dipende dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso, dagli specifici obiettivi progettuali delle prove e dalle condizioni di assorbimento registrate durante la prova. Non si supereranno comunque valori massimi di 10 Bar, e solo nei casi di elevata resistenza meccanica della matrice rocciosa. In condizioni diverse è preferibile non superare pressioni di 3 Bar in rocce poco resistenti e di 5 Bar in rocce mediamente resistenti. La tabella 9 propone alcuni riferimenti in merito.

Condizioni di prova	Gradini di pressione (Bar)
Rocce semilitoidi, litoidi o litiche a scarsa resistenza, a profondità inferiore a 5 m dal p.c.	0.5 – 1.5 – 2.5 – 1.5 – 0.5
Rocce a scarsa resistenza	1.0 – 2.0 – 3.0 – 2.0 – 1.0
Rocce a media resistenza	1.0 – 3.0 – 5.0 – 3.0 – 1.0
Rocce ad alta resistenza	2.0 – 4.0 – 8.0 – 4.0 – 2.0

Tabella 13 Gradini di pressione in funzione delle condizioni di prova

Durante l'esecuzione della prova si devono registrare per ogni gradino di pressione:

- il tempo e gli assorbimenti per arrivare a regime;

- il tempo e gli assorbimenti con portata a regime per letture effettuate ogni 2 minuti.

La **Figura 13** mostra lo schema illustrativo della prova Lugeon.

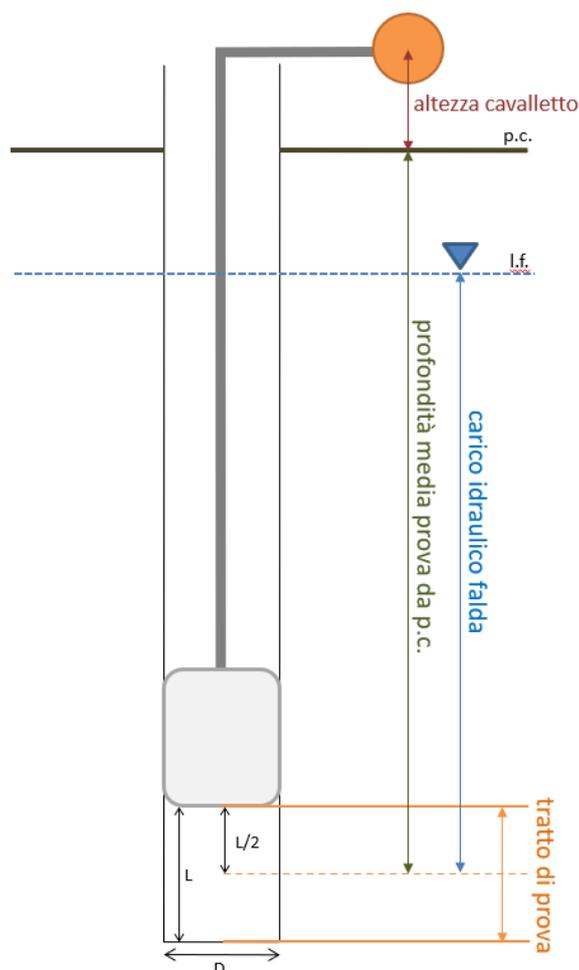


Figura 45 Schema della prova Lugeon

Elaborazione dei dati

Per l'elaborazione dei dati acquisiti durante la prova è stato utilizzato il software Aquifer Test della Waterloo Hydrogeologic. L'elaborazione ed interpretazione è eseguita attraverso il metodo di Houlby (1976): per ogni gradino di pressione è calcolato il relativo valore di Unità Lugeon secondo la formula:

$$\text{Unità Lugeon} = \frac{\text{assorbimento in } \frac{l}{\text{min}}}{\text{pressione utilizzata durante la prova in } \frac{kg}{cm^2}} * 10 \frac{kg}{cm^2}$$

I valori di Unità Lugeon ottenuti sono quindi esaminati e confrontati e conseguentemente viene scelto il valore che si ritiene rappresentativo dell'intera prova. La **tabella 10** mostra i criteri in base ai quali viene scelto il valore di Unità Lugeon rappresentativo della prova.

Sulla base dei valori di permeabilità, in Unità Lugeon, misurati per i cinque gradini di pressione, si possono avere 5 differenti condizioni di moto idraulico: flusso laminare, flusso turbolento, dilatazione, dilavamento e riempimento.

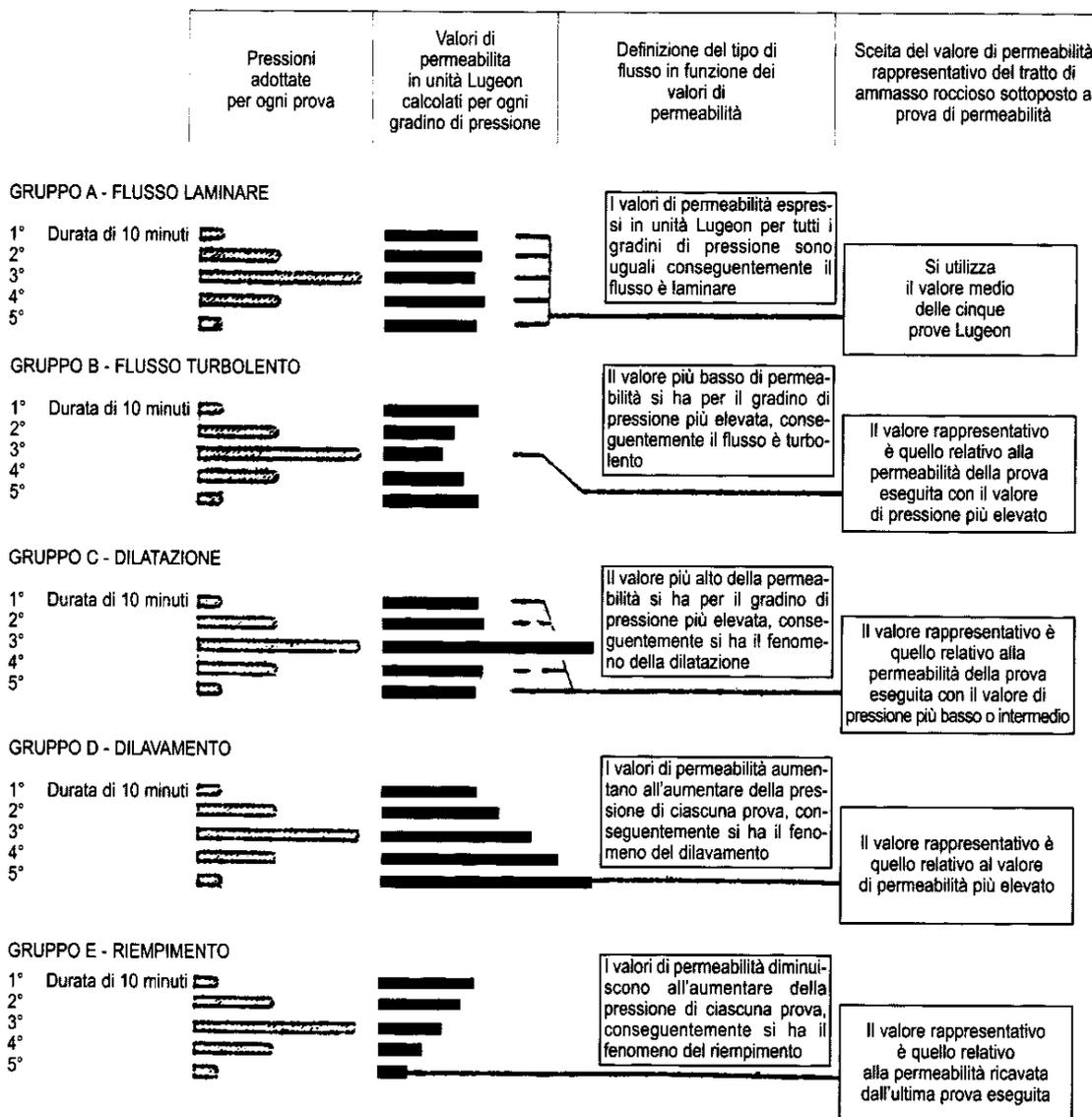


Tabella 14 Interpretazione delle prove Lugeon (Houlsby, 1977)

Dalle prove Lugeon può essere ricavato il valore del coefficiente di permeabilità K mediante la seguente formula (AGI, 1975):

$$K = \frac{Q}{P_{eff.}} * \frac{\gamma_w}{c}$$

dove:

$$c = 2 * \pi * D * \frac{\sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}}{\ln\left[\left(\frac{L}{D}\right) + \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}\right]}$$

P_{eff} . = pressione effettiva nella cavità, tenendo conto cioè delle pressioni lette al manometro, dell'altezza della colonna d'acqua, delle perdite di carico nelle tubazioni e della eventuale presenza della falda;

D = diametro della perforazione;

L = lunghezza del tratto di prova;

γ_w = peso specifico dell'acqua;

Q = portata assorbita.

La tabella seguente (**Tab.11**) riporta i valori medi di permeabilità e Unità Lugeon ottenuti per ciascuna delle prove eseguite.

ID prova	Permeabilità K (m/s)	Unità Lugeon
Prova 1	$1.88 * 10^{-6}$	17.6
Prova 2	$2.39 * 10^{-5}$	249.1

Tabella 15 Valori di permeabilità registrati.

14.9. ANALISI DI LABORATORIO: PROVE DI ROTTURA POINT LOAD

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati vari spezzoni di roccia lapidea. I blocchi utilizzati rispondono al requisito geometrico

$$0,3W < D < W \quad \text{e} \quad L/D = 0,30 \pm 1$$

essendo:

D = distanza dei punzoni a contatto

W = larghezza del campione perpendicolarmente alla direzione di carico

L = distanza tra i punti di contatto e la più vicina estremità libera

È stata utilizzata la seguente apparecchiatura: Pressa Point Load digitale CONTROLS mod. 45-D0550/D matr.06053686, applicando le Norme di riferimento: ASTM D5731, Raccomandazioni ISRM (si riporta il certificato di taratura).



Tabella 16 Esecuzione delle prova Point Load

CONTROLS		VERIFICA MACCHINA DI COMPRESIONE COMPRESSION TESTING MACHINE				CERT.Nr. 1396/19	
Cliente Impresa Dott. Antonello Angius		Indirizzo Site address					
Costruttore CONTROLS		Modello D0550/D		Matricola Serial no	06053686	Carico max Max Load	50 kN
Carico misurato con-Load measured by		Scala-Ranges	Risol.-Resol.	Carico min.ver.-Lower limit		Mat.-Serial no.	
Indicat. Manometrica - Manometer indicator							
Display dig. - Digital dis.		0-50 kN	0,001	5 kN		06053686	
Altri - Others							
Verificata con-Verified with		Scala-Ranges	Certificato n°-Certificate no.	Validi - Validity		Mat.-Serial no.	
Dinamometri electr. - Force transducer		0-50000 N	147817F	07/2019		414606	
Centralina digitale-Digital electronic tester			147817F	07/2019		10096	
Manometri-Monometers							
Anelli di prova-Proving rings							
Verificata secondo			Carico ver. da Load verified from	5 kN		a	50 kN
Conformo to		L.Q.P1 rev.2					
Forza Load		Uscite centralina (divisioni) Output digital electronic tester (division)			Temperatura Temperature	20 °C	
kN	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3				
0	0,0	0,0	0,0	Memo Calcolo forze misurate/Calculation of measured forces $F_i = C+D*(U_i-U_0)+E*(U_i-U_0)^2+F*(U_i-U_0)^3$ Accuratezza/Accuracy $A = F_i/M_i * 100$ M_i Ripetibilità/Repeatability $R_i = F_{max}-F_{min} * 100$ M_i Media/Media $M_i = F_1+F_2+F_3$			
5	5,030	4,998	5,042				
10	10,030	9,990	10,016				
20	20,091	20,020	20,078				
30	30,010	30,038	30,048				
40	40,092	40,074	40,058				
50	50,114	50,108	50,064				
F_n	U_1	U_2	U_3	Max			
Zero	0	0	0	0			
ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION							
Coefficienti dell'equazione del dinamometro - Index of strain gauge equation							
C = 0,00000E+00		D = 1,00027E+00		E = -1,95047E-10		F = -1,12997E-13	
Forza Load	Forze Misurate Load measured			Media Media	Err. Accurat. Accuracy err.	Err. Ripetibilità Repeatab. err.	Risoluzione Resolution
kN	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	kN	%	%	%
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
5	5,031	4,969	5,043	5,025	-0,49	0,88	0,02
10	10,033	9,963	10,019	10,015	-0,15	0,40	0,01
20	20,066	20,025	20,083	20,068	-0,34	0,35	0,00
30	30,018	30,046	30,056	30,040	-0,13	0,13	0,00
40	40,103	40,085	40,069	40,085	-0,21	0,08	0,00
50	50,128	50,122	50,078	50,109	0,00	0,00	0,00
F_n	F_1	F_2	F_3	M	A	R	
LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES							
Classe-Class	Err. accurat. Accuracy err.	Err. ripetibilità Repeatab. err.	Ritorno a 0 Zero error	Risoluzione Resolution			
	%	%	% F.S.	%			
1	1	1	0,2	0,5			
2	2	2	0,4	1			
Campo di misura - Range		Da - From 5 kN		a - to 50 kN		Classe assegnata	
0,49		0,88		0,00		0,02	
Campo di misura - Range		Da - From		a - to		Classe assegnata	
Data - Date 05-giu-19		Firma collaudatore - Operator signature		Classe assegnata		Verificata da - Verified by	
01							

Tabella 17 Certificato taratura pressa Point load

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

$$IS = (P \times 1000) / DE^2$$

IS (MPa) = Point Load Strength Index

P (kN) = Resistenza massima a rottura

DE (mm) = Equivalent Core Diameter

$$DE^2 = 4 * (A/\pi)$$

dove **A = W*D** rappresenta la minima superficie del fascio di piani passante attraverso i punti di contatto delle punte

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

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

Per ottenere una stima della resistenza a compressione monoassiale S_u si dovrà moltiplicare il valore IS_{50} per un coefficiente di correlazione K, variabile in funzione del litotipo testato, come dalla seguente formula:

$$S_u = IS_{50} \times K$$

La tabella seguente riporta i valori di K per i vari litotipi.

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

Tabella 18 Valori del coeff. di correlazione K (Bruschi, 2004)

Esaminate le litologie dei campioni in esame, per ogni campione sono stati utilizzati coefficienti di correlazione K adeguati al litotipo più rappresentativo, come indicato nella Tab.14, che riporta i risultati delle prove eseguite.

In accordo a Brown E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM suggest methods, per ogni campione è stata definita la classe di resistenza, con riferimento alla tabella alla pagina seguente.

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 solamente scheggiato con un martello geologico	Basalto intatto, 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 colpo di un martello geologico per essere fratturato	Calcare, marna, fallite, 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 di 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
R0	Resistenza estremamente bassa	0.25-1	[**]	Intagliato con l'unghia di un pollice	Miloniti, cataclasi

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

La tabella seguente riporta i risultati delle prove eseguite.

ID sondaggio	Profondità	Tipo di rottura	P	Is	Is(50)	K	Su	Litologia	Classe
	<i>m</i>		<i>kN</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>		<i>MPa</i>		
S1	5,60-5,80	Diametrico	1.60	0.22	0.28	15.00	4.22	Calcarenite	R1
S1	10,70-10,85	Diametrico	1.73	0.24	0.30	15.00	4.56	Calcarenite	R1
S2	10,30-10,45	Diametrico	1.31	0.18	0.23	15.00	3.45	Calcarenite	R1
S2	12,80-13,00	Diametrico	1.40	0.19	0.25	15.00	3.69	Calcarenite	R1

Tabella 19 Esiti Prove Point Load.

Il campione intatto, in accordo a Brown E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM suggest methods, ha dunque **resistenza molto bassa**.

14.10. PROVE DI LABORATORIO: TAGLIO DIRETTO (ASTM D 3080-98)

In data 20/05/2021 è stata effettuata dalla Laboratorio Geotecnico Certificato GEOSYSTEM la prova di taglio diretto sul provino TR_03_C1.

La documentazione certificata di laboratorio, consultabile tra gli allegati, riporta quanto segue

CARATTERISTICHE INIZIALI

Provini	N.	1	2	3
Altezza	mm	20,50	20,50	20,50
Lato	mm	59,50	59,50	59,50
Umidità naturale	%	14,35	14,35	14,35
Umidità di prova	%	14,35	14,35	14,35
Massa campione secco	gr	131,97	124,26	131,57
Densità naturale	kN/m ³	20,39	19,20	20,33
Densità secca	kN/m ³	17,83	16,79	17,78

FASE DI CONSOLIDAZIONE

		1	2	3
Carico verticale	kPa	98,1	196,1	294,2
Altezza dopo consolidazione	mm	19,84	19,40	18,91

FASE DI ROTTURA

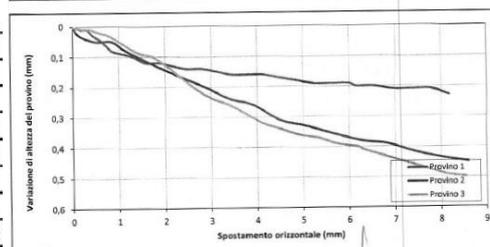
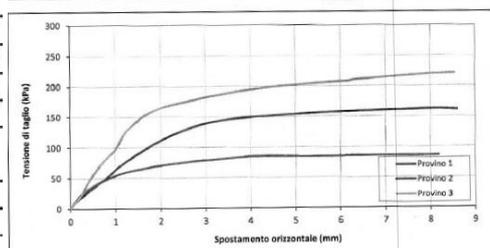
		1	2	3
Carico verticale	kPa	98,1	196,1	294,2
Altezza finale provino	mm	19,61	18,95	18,41
Umidità di prova finale	%	13,97	13,97	13,97
Densità umida finale	kN/m ³	21,25	20,69	22,56
Densità secca finale	kN/m ³	18,64	18,15	19,80

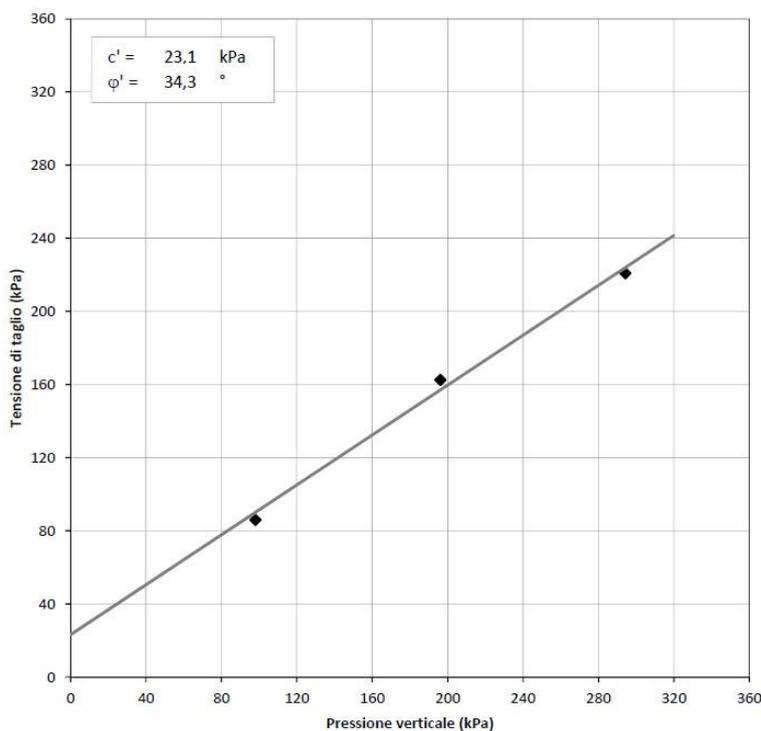
Scorrimento orizzontale

		1	2	3
Sforzo al taglio (massimo) t	kPa	86,00	163,00	221,00

MISURA DELLA RESISTENZA AL TAGLIO MEDIANTE APPARECCHIATURA DI TAGLIO DIRETTO ASTM D 3080-98 CERTIFICATO DI PROVA - FASE DI TAGLIO

V.D.A. n. 5697-7 DEL 19/05/2021
 Committente Ditto Dott. Angius CERTIFICATO N. 042343
 Cantiere Truncu reale
 Campione TR 03 C1 (9,30-9,40)m DEL 26 MAG 2021





14.11. PROVA DI COMPRESSIONE MONOASSIALE

In data 26/05/2021 è stata effettuata dal Laboratorio Geotecnico Certificato GEOSYSTEM la prova di compressione monoassiale con rilevazione della curva sforzi/deformazioni e determinazione dei moduli elastici sui provini TR_01_C3 e TR_02_C1.

Entrambi vengono descritti come roccia calcarea friabile, disgregati con velocità di deformazione di 05N/mm quadro al secondo in seguito alla prova.

La documentazione certificata di laboratorio, consultabile tra gli allegati, riporta quanto segue

DESCRIZIONE LITOLOGICA:

Roccia calcarea friabile

CONDIZIONE DEL PROVINO DOPO IL TEST:

Disgregato

VELOCITA' DI DEFORMAZIONE:

0,5 N/mm² al secondo

Temperatura di prova	(°C)	20	Resistenza a rottura	(N/mm ²)	3,30
Diametro provino	(mm)	7,80	Modulo Young Assiale "E1"(50)	(N/mm ²)	6654,99
Altezza iniziale	(mm)	14,60	Modulo Young Diametrale	(N/mm ²)	-19964,27
Umidità del provino	(%)	1	Rapporto di Poisson "n" (50)		0,33
Peso di volume naturale	(g/cm ³)	1525,196			
Deformazione a rottura	me	486			

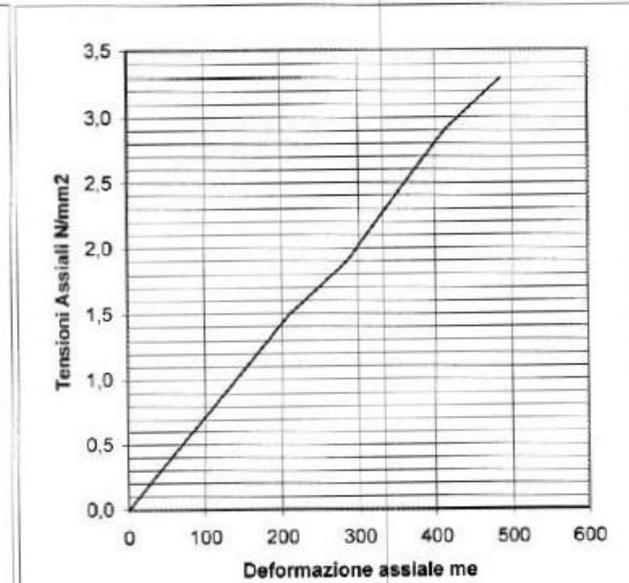
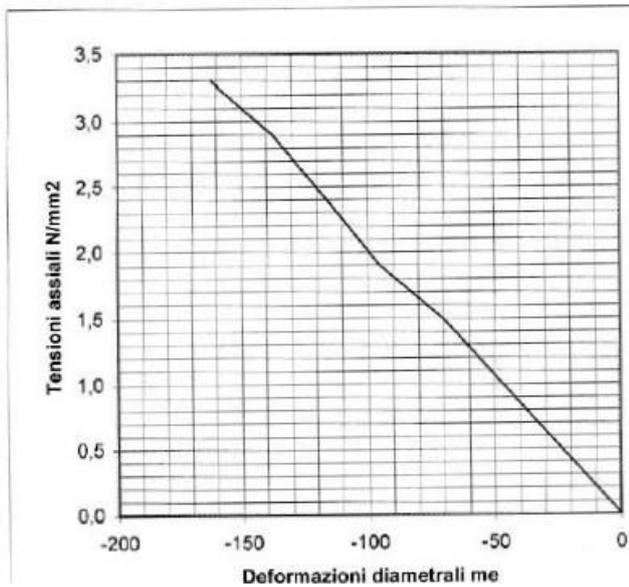


Tabella 20 Risultati campione TR_01_C3 (7,40-m-7,60m)

(Raccomandazioni ISRM)

DESCRIZIONE LITOLOGICA:			Roccia calcarea friabile		
CONDIZIONE DEL PROVINO DOPO IL TEST:			Disgregato		
VELOCITA' DI DEFORMAZIONE:			0,5 N/mm ² al secondo		
Temperatura di prova	(°C)	20	Resistenza a rottura	(N/mm ²)	2,60
Diametro provino	(mm)	7,80	Modulo Young Assiale "E _t "(50)	(N/mm ²)	3431,37
Altezza iniziale	(mm)	14,50	Modulo Young Diametrale	(N/mm ²)	-16867,47
Umidità del provino	(%)	\	Rapporto di Poisson "n" (50)		0,20
Peso di volume naturale	(g/cm ³)	1449,796			
Deformazione a rottura	me	973			

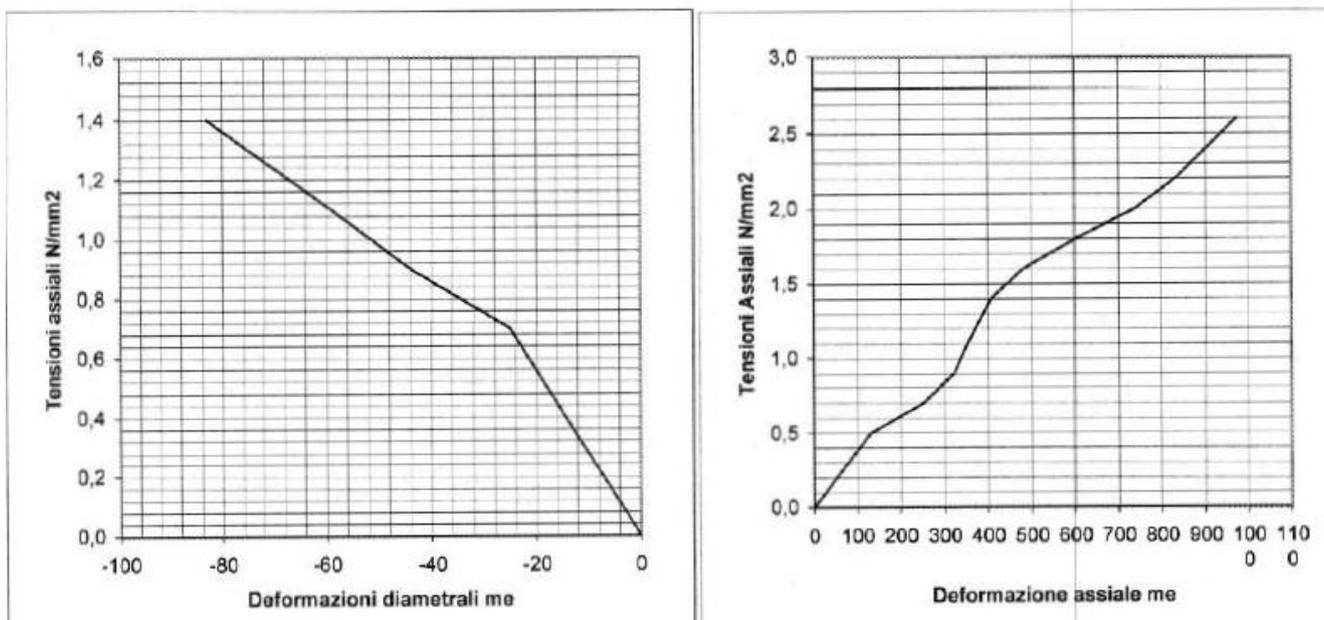


Tabella 21 Risultati campione TR_02_C1

14.12. DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA APPARENTE (UNI CEN ISO/TS 17892-2 METODO B)

E' stata determinata la massa volumica apparente di n.1 campioni mediante pesata in acqua a temperatura ambiente dopo aver provveduto ad impermeabilizzare il provino con paraffina.

VDA N.	CAMPIONE	Massa Vol. naturale Mg/m ³
5697-1	TR_01_C2	1,821
5697-3	TR_01_C4	1,933
5697-5	TR_02_C3	1,649
5697-6	TR_02_C4	1,631

Tabella 22 Risultati determinazione massa volumica apparente

14.1. CARATTERIZZAZIONE GEOSTRUTTURALE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI DELL'AREA DI INTERESSE

Per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso al quale la fondazione della turbina si appoggia, in aggiunta e ad integrazione ai parametri ottenuti dalle indagini, è stato adoperato il criterio di caratterizzazione dell'ammasso roccioso di Hoek-Brown generalizzato (1995), supportato dai dati geostrutturali rilevati in sito derivanti dai sondaggi geognostici.

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

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

dove:

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

mb = costante d'ammasso

s ed a = costanti d'ammasso

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

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

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

- Resistenza a compressione monoassiale (Intact Uniaxial Compressive Strength – IUCS) stimata su base empirica (Fig.56) e su valori di Point Load.
- Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) in base alle caratteristiche geologiche dell'ammasso: tale indice, introdotto da Hoek, Kaiser e Bawden (1995), può esser definito sulla base delle

caratteristiche dell'ammasso (Fig. 57) o sulla base di un controllo diretto con l'indice RMR della classificazione di Bieniawski.

- Determinazione della costante m_i (Funzione del tipo di roccia): i valori delle costanti caratteristiche della roccia (σ_{ci} e m_i) vengono generalmente definiti sulla base di apposite prove di laboratorio, ma in assenza delle suddette, è possibile fare riferimento alla tabella di Fig.58, che riassume i valori della costante m_i per diversi tipi di roccia.

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

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

Figura 46 Resistenza a compressione monoassiale per diversi tipi di roccia

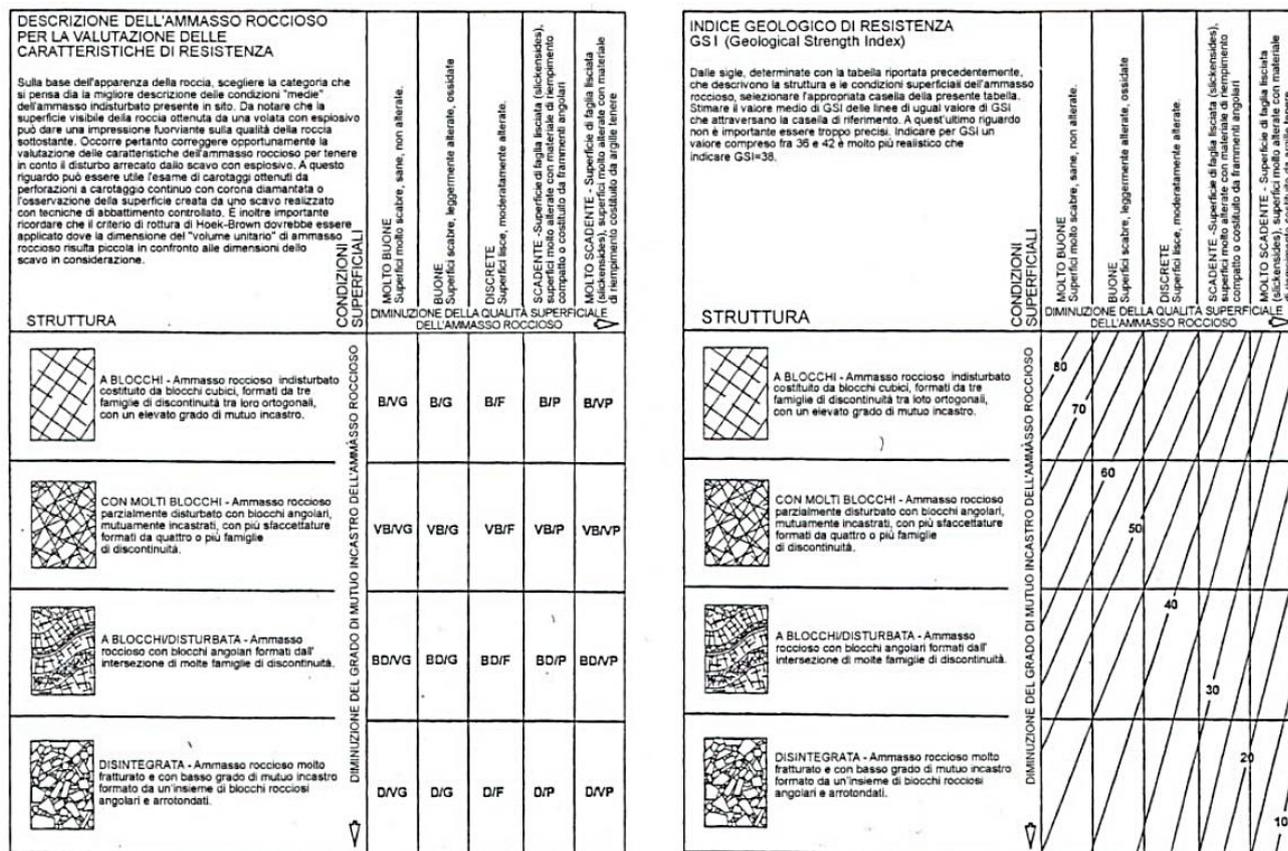


Figura 47 Abaco per la determinazione di GSI sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali dell'ammasso

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

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

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

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

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

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

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

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

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19 Grovacche (18)	Siltite 9	Argillite 4
		Organogene		Calcare bianco (7) Carbone (8-21)		
	Non clastiche	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 48 Valori della costante mi per diversi tipi di roccia

L'analisi delle caratteristiche geomeccaniche in sito degli ammassi rocciosi interessati dal progetto e l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per la definizione dei parametri geotecnici del substrato roccioso ha portato alla classificazione di nr.4 tipologie tra le litologie che caratterizzano le formazioni presenti ovvero Pala Manna Fm., Formazione degli Scisti a Graptoliti, Formazione del Monte Santa Vittoria e Formazione del Muschelkalk.

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.5.0 della Rocscience Inc.

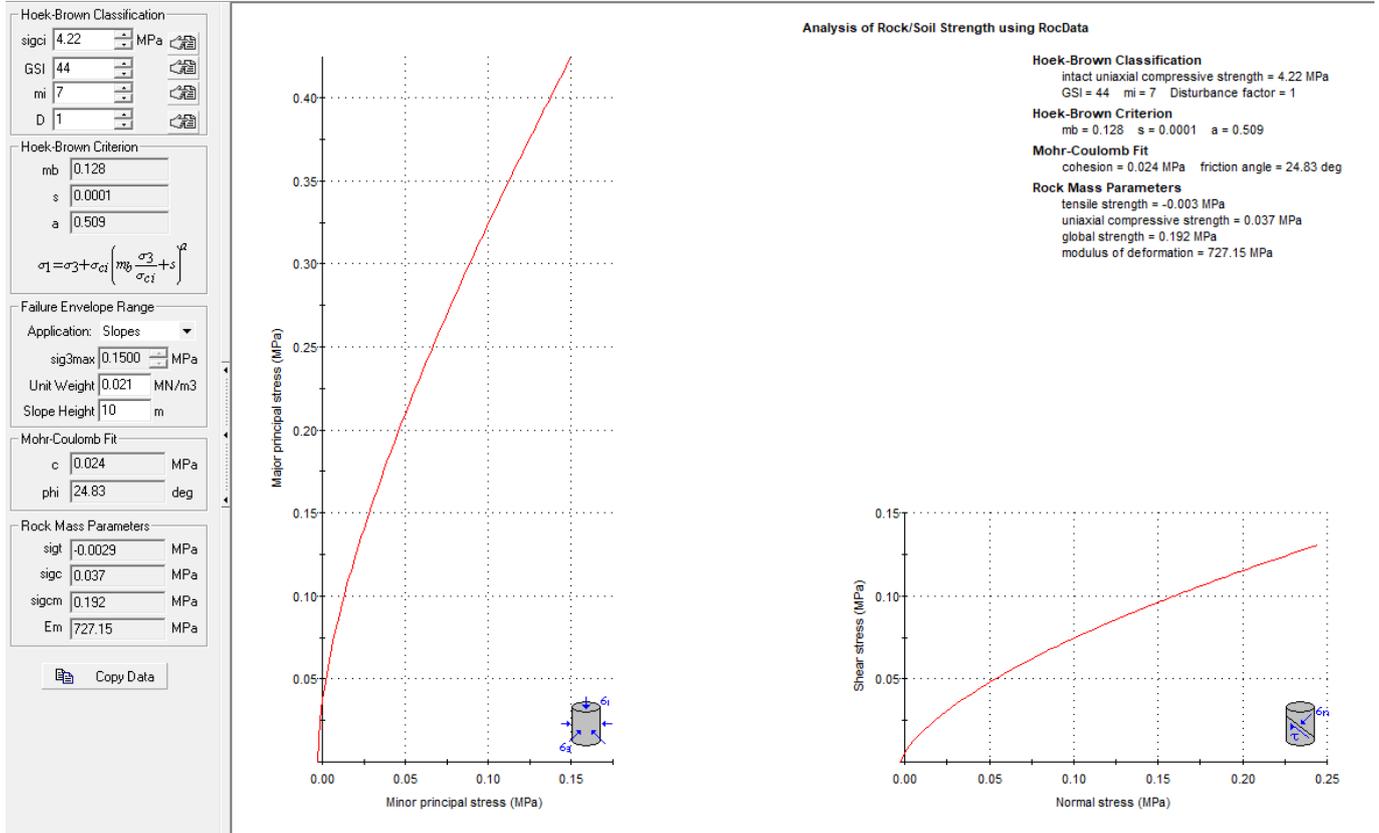
<p> Criterio di rottura empirico $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_{u(r)} \sigma_3 + s \sigma_{u(r)}^2}$ σ_1 = tensione efficace principale massima σ_3 = tensione efficace principale minima $\sigma_{u(r)}$ = resistenza a compressione monoassiale m ed s: costanti empiriche </p>	COSTANTI DEL MATERIALE: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

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

Figura 49 Correlazione fra valori di mi, s, indice RMR, ed il tipo di roccia.

Si riportano di seguito i diagrammi sforzi-deformazioni relativi a tali elaborazioni dai quali sono stati estrapolati i valori di coesione ed angolo d'attrito interno riassunto poi nel modello geotecnico di sito.

Litotipo A



Litotipo A'

Hoek-Brown Classification
 sigci 4.22 MPa
 GSI 32
 mi 7
 D 1

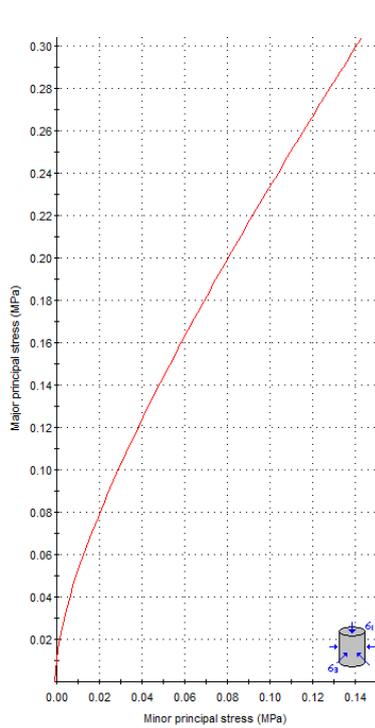
Hoek-Brown Criterion
 mb 0.054
 s 1.2e-5
 a 0.520
 $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$

Failure Envelope Range
 Application: Slopes
 sig3max 0.1431 MPa
 Unit Weight 0.021 MN/m3
 Slope Height 10 m

Mohr-Coulomb Fit
 c 0.015 MPa
 phi 18.21 deg

Rock Mass Parameters
 sigt -0.0009 MPa
 sigc 0.012 MPa
 sigcm 0.114 MPa
 Em 364.44 MPa

Copy Data



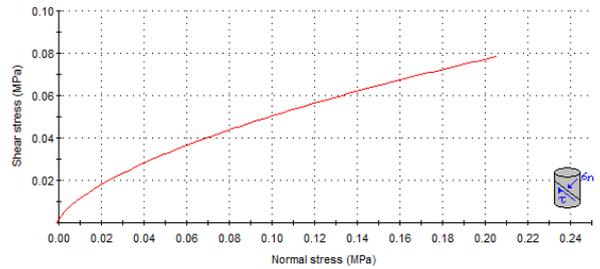
Analysis of Rock/Soil Strength using RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 4.22 MPa
 GSI = 32 mi = 7 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.054 s = 1.2e-5 a = 0.520

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.015 MPa friction angle = 18.21 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.001 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.012 MPa
 global strength = 0.114 MPa
 modulus of deformation = 364.44 MPa



Litotipo B

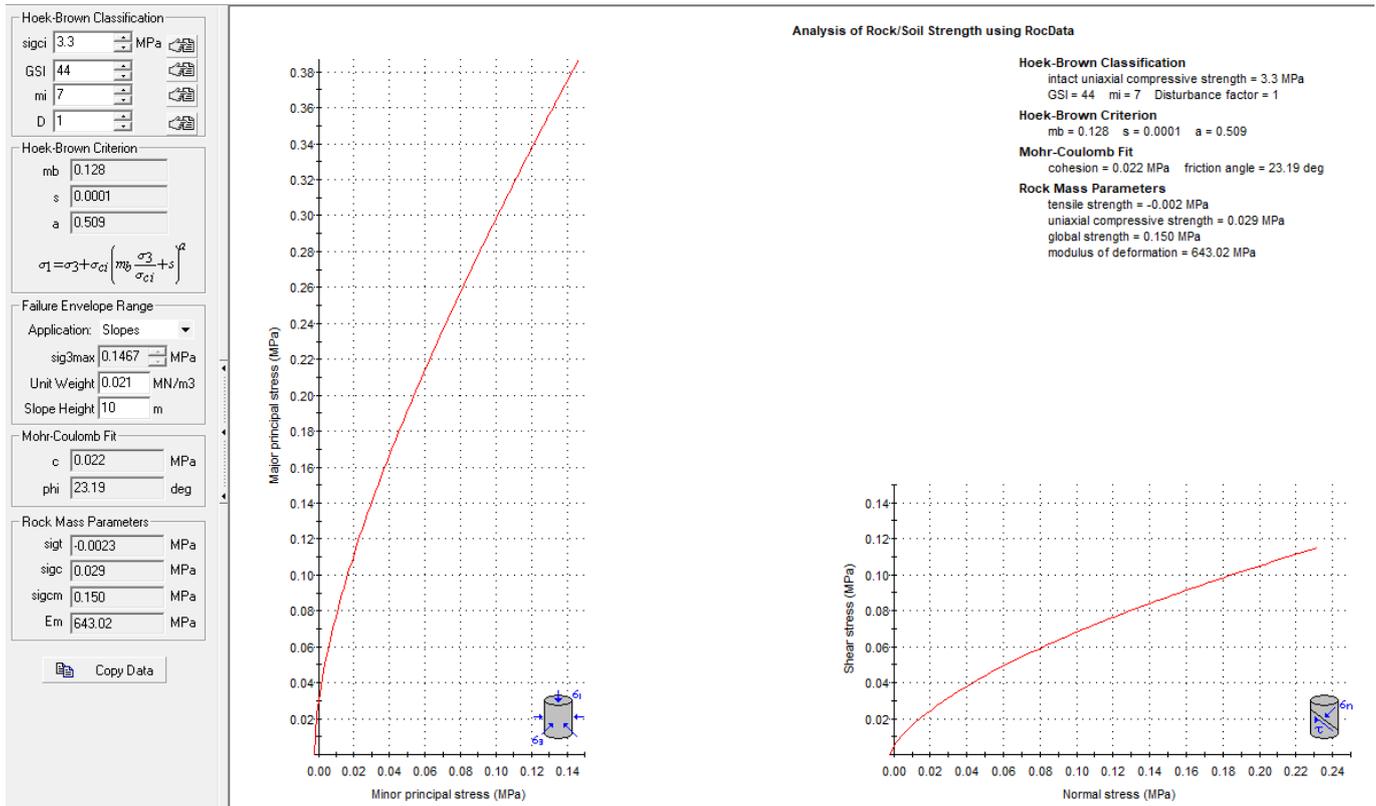


Figura 50 Classificazione dell'ammasso roccioso nei litotipi A, A' e B mediante Hoek-Brown

15. MODELLAZIONE GEOLOGICA e GEOTECNICA DI SITO

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità delle quali si è tenuto conto nella modellazione geotecnica del sito propedeutica alla progettazione esecutiva dell'opera e alle varie fasi di realizzazione.

L'analisi di tali fattori, funzionale alla progettazione, 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 sia alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare componenti a franapoggio. L'alterazione presente nei litotipi indagati, indebolendo la roccia può localmente creare le condizioni favorevoli all'insorgere di fenomeni di smottamento pertanto si ritiene importante in fase di realizzazione degli scavi di fondazione provvedere al controllo del comportamento delle pareti ed eventualmente anche localmente all'uso di opere provvisorie di contenimento dei fronti di scavo per il tempo di posa e ricoprimento dell'opera di fondazione.

- **Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta** – 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. In tal caso, in fase di realizzazione, sarà opportuno provvedere a mantenere lo scavo asciutto mediante l'installazione di pompe adeguatamente dimensionate per la portata da emungere.

L'analisi ha permesso di fatto di definire il modello geologico e geotecnico di sito in relazione alle diverse condizioni geologiche e geostrutturali rilevate, sintetizzato di seguito.

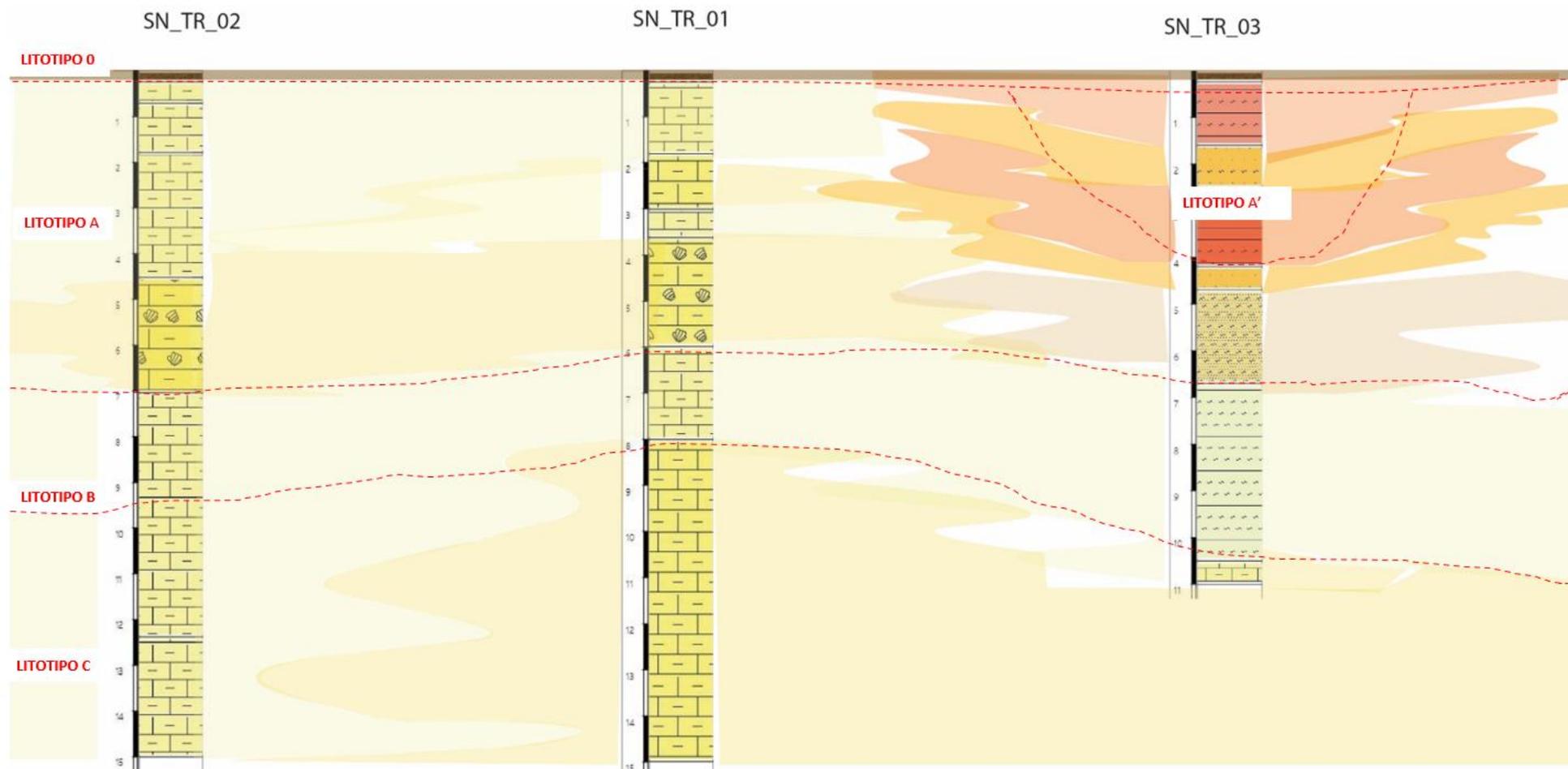


Figura 51 Modello Geologico del sito

Vengono di seguito definiti, come sintesi dei risultati delle indagini i parametri geotecnici che caratterizzano il modello geotecnico del sito.

	prof. da - a	Descrizione	γ_d	γ_{sat}	c'	ϕ	V_p	V_s	Nspt	Poisson	Ed – mod. Young din	Ed – mod. Young stat.	Modulo taglio G_0	Mod.Comprim.Bulk	Point LOAD	Uniax compress (Mod.Y.AX)
	m		Kg/m3	Kg/m3	kPa	°	m/s	m/s			MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	N/mm2
LITOTIPO 0	0,00 – 0,30	suolo	1900	2000	0	20	880	440	-	0.33	981	98	373	981		
LITOTIPO A	0,30 – 6,00	Calcarenite bianca molto fratturata	2000	2100	24*	24,83*	1250	625	10	0.33	2079	312	785	2079	4,22	
LITOTIPO A'	0,30 – 4,00	Argilla rossa dura e compatta con alternanze di livelli sabbioso-argillosi	2100	2200	15*	18,21*	1250	625	-	0.33	2079	312	785	2079		
LITOTIPO B	6,00 – 9,00	Calcarenite grossolana bianca, mediamente cementata, da mediamente a estremamente fratturata	2100	2200	22*	23,19*	2140	1070	-	0.33	6414	1283	2403	6414		3,30 (6655) 2.60 (3431)
LITOTIPO C	9,00 – 15,00	Calcare giallo mediamente cementato molto fratturato	2200	2300	23,1	34,3	2600	1300	-	0.33	9915	2974	3717	9915	4,56 3,45 3,69	

Tabella 23 Modello geotecnico e parametri caratteristici dei litotipi 0, A, A' e B

Si sottolinea che i parametri geotecnici individuati, pur molto accurati, sono derivati da indagine geofisica realizzata su 1 turbina prossima a quelle dell'impianto e rappresentativa ma non di dettaglio delle condizioni geostrutturali dell'ammasso roccioso e da formulazioni empiriche pertanto tale modellazione, come l'esistenza o meno di cavità carsiche, dovrà essere verificata e validata per ogni singola WTG in fase di progettazione esecutiva.

15.1. VIABILITÀ DI IMPIANTO E SOTTOSTAZIONE

La viabilità di impianto è stata scelta utilizzando in parte dei tracciati preesistenti che verranno adeguatamente ridefiniti nelle sezioni nella misura utile e funzionale al servizio destinato con particolare riferimento alla fase di realizzazione del parco ove avverrà la maggior se non totale movimentazione di carichi e mezzi. Verrà inoltre realizzata viabilità ex novo che si svilupperà per brevi tratti di raccordo con la viabilità esistente e gli aerogeneratori, a servizio dell'impianto per il collegamento delle singole aerostazioni e il passaggio del cavidotto di connessione. La stessa viabilità sarà mantenuta in fase di esercizio.

La viabilità di percorrenza dovrà avere le seguenti caratteristiche minime: larghezza pari ad almeno 5,40 metri, compresi 70 centimetri per lato di fascia di distanza; Raggio interno di curvatura: 43 m; Pendenza massima per strade asfaltate: 12%; Pendenza massima per strade con fondo in misto stabilizzato: 7%, Pendenza laterale massima: 2%.

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

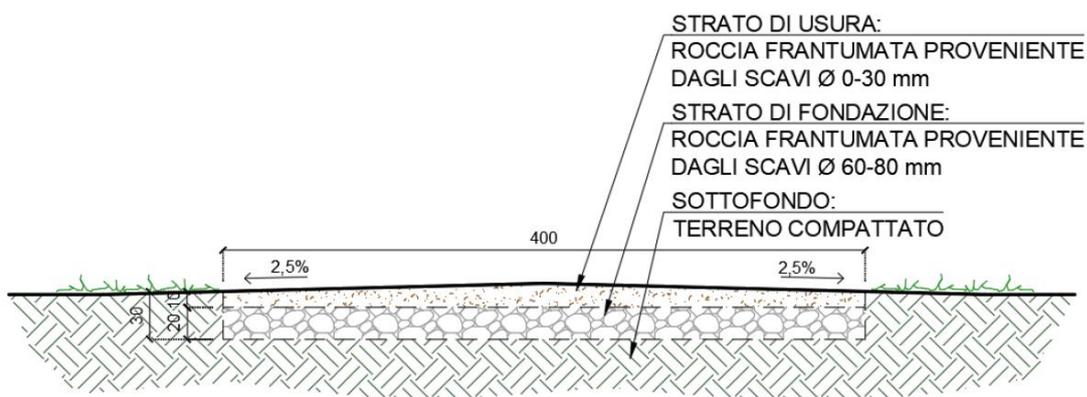


Figura 1 - Sezioni tipica strada accesso

Per quanto riguarda la scavabilità del substrato roccioso esso, nelle varie facies presenti e nella parte superficiale, risulta quasi sempre da fratturato a molto fratturato per cui facilmente scavabile con ripper e martellone per uno spessore generalmente individuato in 4-5m da piano campagna.

La sottostazione sorgerà a Sud dell'impianto in località Giannà de Mari sulla formazione arenaceo-conglomeratica di Mores e su depositi quaternari. Non sono previste fondazioni profonde, pertanto, non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali.

16. CONCLUSIONI: CRITICITÀ GEOLOGICHE E SUGGERIMENTI OPERATIVI

Lo studio condotto finalizzato ad individuare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche idrogeologiche e geostrutturali dell'area di interesse alle opere di progetto ha permesso, attraverso il rilievo diretto in sito, le indagini geognostiche e l'interpretazione sinergica tra le informazioni derivate di definire nr. 1 modello geologici e geotecnico ai sensi delle NTC 2018 rappresentativo delle diverse condizioni del sito, con particolare riferimento alle posizioni degli aerogeneratori e alla viabilità di accesso e di servizio al sito.

Per quanto concerne l'installazione degli aerogeneratori, gli stessi prevedono opere fondanti costituite da plinti circolari a sezione troncoconica il cui piano di posa è previsto ad una profondità di riferimento di 3m da piano campagna.

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

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

- Azioni sulle pareti e stabilità dei fronti. Lo scavo stesso, in quanto genera depressione, può innescare locali smottamenti in corrispondenza degli orizzonti meno competenti a causa di fenomeni di detensionamento determinati dall'asportazione del materiale durante l'escavazione, in relazione soprattutto alle direzioni del sistema di fratturazione che può generare ribaltamenti di blocchi e

scivolamenti di cunei deconfinati, 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.

- L'esclusione della possibile presenza di cavità carsiche nel sottosuolo verrà verificata mediante l'esecuzione di prospezioni geofisiche utilizzando la metodologia della tomografia elettrica in corrispondenza di ogni turbina coadiuvata dall'esecuzione di sondaggi diretti.

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

La viabilità di impianto è stata scelta utilizzando in parte dei tracciati preesistenti che verranno adeguatamente ridefiniti nelle sezioni nella misura utile e funzionale al servizio destinato con particolare riferimento alla fase di realizzazione del parco ove avverrà la maggior se non totale movimentazione di carichi e mezzi. Verrà inoltre realizzata viabilità ex novo si svilupperà in sostanza lungo la cresta dei rilievi e in qualche tratto lungo il versante a servizio dell'impianto per il collegamento delle singole aerostazioni e il passaggio del cavidotto di connessione. La stessa viabilità sarà mantenuta in fase di esercizio.

La sottostazione sorgerà a NE dell'impianto tra Monte Rose e Monte Alvaro sulla formazione di di Monte Nurra costituita da calcari e dolomie bioclastiche.

Non sono previste fondazioni profonde, pertanto, non si rilevano particolari criticità salvo il controllo del deflusso delle acque superficiali essendo posizionata alle pendici di un versante.