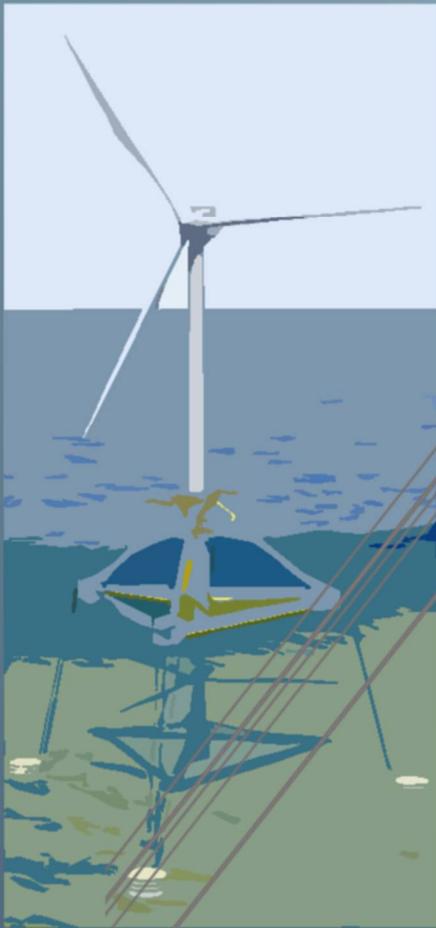




Ichnusa wind power srl

Progetto Definitivo

**PARCO EOLICO FLOTTANTE  
NEL MARE DI SARDEGNA  
SUD OCCIDENTALE**



# UR32

C0421UR32INDTER00a

**Ministero dell'Ambiente  
e della Sicurezza Energetica**

**Ministero della Cultura**

**Ministero delle Infrastrutture  
e dei Trasporti**

*Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale  
ex D.lgs. 152/2006*

*Domanda di Autorizzazione Unica  
ex D.lgs. 387/ 2003*

*Domanda di Concessione Demaniale Marittima  
ex R.D. 327/1942*

## RAPPORTO SULLE INDAGINI A TERRA

Progetto  
**Dott. Ing. Luigi Severini**  
Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni  
**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**







Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**I di V**

## SOMMARIO

<b>1. SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....</b>	<b>2</b>
<b>3. SEZIONE 1: RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE AREE DI INTERVENTO MEDIANTE DRONE</b>	<b>4</b>
3.1. Strumentazione utilizzata.....	4
3.2. Acquisizione .....	6
3.3. Metodologia.....	9
<b>4. SEZIONE 2: INDAGINI GEOGNOSTICHE E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DELLE AREE DI APPRODO DELL'ELETTRODOTTO MARINO DI ESPORTAZIONE .....</b>	<b>10</b>
4.1. Normativa di riferimento .....	10
4.2. Ubicazione indagine.....	11
4.3. Indagini dirette e caratterizzazione litostratigrafica del sedime.....	12
4.4. Prove in situ.....	15
4.4.1. Prove penetrometriche dinamiche discontinue.....	15
4.4.2. Analisi dei risultati.....	16
4.5. Prove di laboratorio.....	17
4.5.1. Determinazione della massa volumica naturale mediante pesata idrostatica (UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b).....	17
4.5.2. Determinazione del peso specifico dei costituenti solidi (ASTM D854/ASTM C127).....	18
4.5.3. Analisi granulometrica per setacciatura.....	18
4.5.4. Coefficiente di uniformità CU.....	20
4.5.5. Limiti di Atterberg (C.N.R. – UNI 10014).....	21
4.5.6. Classificazione delle terre (UNI EN 11531-1) .....	21
4.5.7. Prova di taglio diretto (ASTM D3080 – 90).....	22
4.5.8. Prova di compressione monoassiale su carote in roccia (ASTM D7012-14 - Metodo C) .	23
4.5.9. Quadro riassuntivo dei parametri nominali dei campioni ottenuti da prove di laboratorio	23
4.6. Definizione dei parametri caratteristici di resistenza al taglio.....	24
4.7. Definizione e parametrizzazione dei litotipi prevalenti .....	25
4.8. Considerazioni conclusive, prescrizioni e suggerimenti progettuali .....	27
4.9. Allegati .....	28
<b>5. SEZIONE 3: ANALISI AD ALTO LIVELLO DELLA STABILITÀ DEL MOLO .....</b>	<b>34</b>
5.1. Osservazioni preliminari .....	34
5.2. Cenni teorici sulla stabilità dei frangiflutti a gravità.....	35
5.3. Verifica della stabilità del frangiflutti.....	36
5.4. Monitoraggio della stabilità dell'armatura rocciosa.....	36
5.5. Capacità portante del frangiflutti .....	37



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>II di V</b>

<b>6. SEZIONE 4: INDAGINE GEORADAR LUNGO IL TRACCIATO DEGLI ELETTRODOTTI</b>	
<b>INTERRATI.....</b>	<b>39</b>
6.1. La metodologia georadar.....	39
6.2. Modalità di acquisizione.....	41
6.3. Strumentazione impiegata.....	42
6.4. Risultati.....	43
<b>ALLEGATO 1.....</b>	<b>44</b>



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**III di V**

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 – Schema concettuale dell’impianto.....	2
Figura 3.1 – Esempi di acquisizioni nadirali catturate lungo l’area di indagine.....	6
Figura 3.2 – Estensione dell’area rilevata mediante acquisizione fotografica da drone. Vista 1. ....	7
Figura 3.3 – Estensione dell’area rilevata mediante acquisizione fotografica da drone. Vista 1. ....	8
Figura 4.1 – Inquadramento dell’area in studio su base Ortofotografica 2016.....	11
Figura 4.2 – Inquadramento CTR.....	12
Figura 4.3 – Planimetria delle indagini.....	13
Figura 4.4 – Esecuzione del Sondaggio 2 in corrispondenza del tratto iniziale della barriera frangiflutti.....	13
Figura 4.5 – Correlazione tra il log della verticale S2 e la sezione tipo di progetto del prolungamento del molo di ponente. ....	15
Figura 4.6 – Curve granulometriche ricavate dall’analisi per setacciatura. ....	19
Figura 4.7 – Log stratigrafici riferiti ai litotipi prevalenti.....	27
Figura 5.1 – Riprese della diga frangiflutti catturate da drone.....	34
Figura 5.2 – Strumenti per il rilievo topografico della massicciata. ....	36
Figura 5.3 – Inclinomero per il rilievo in continuo della stabilità della massicciata.....	37
Figura 5.4 – Layout del sistema di monitoraggio della stabilità della massicciata.....	37
Figura 5.5 – Sezione trasversale della diga.....	38
Figura 6.1 – Influenza della frequenza del segnale radar sulla risoluzione e sulla profondità di analisi.....	40
Figura 6.2 – Operatore impegnato nell’acquisizione di un profilo georadar.....	41
Figura 6.3 – Indicazione dei sottoservizi esistenti mediante marker. ....	41
Figura 6.4 – Output digitalizzato della campagna di indagine georadar. ....	42



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>IV di V</b>

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3.1 – Datasheet drone Dji MAVIC 2 Pro.....	4
Tabella 3.2 – Datasheet drone Dji Matrice 300 RTK.....	5
Tabella 3.3 – Datasheet Ricevitore RTK GNSS EMLID REACH RS 2+ .....	5
Tabella 4.1 – Schema a consuntivo delle indagini geognostiche dirette. ....	13
Tabella 4.2 – Consuntivo prove SPT. ....	17
Tabella 4.3 – Massa volumica naturale.....	17
Tabella 4.4 – Peso specifico dei costituenti solidi.....	18
Tabella 4.5 – Risultati dell'analisi granulometrica per setacciatura e la suddivisione percentuale in classi granulometriche (Udden-Wentworth).....	18
Tabella 4.6 – Determinazione del coefficiente di uniformità $C_u$ .....	21
Tabella 4.7 – Limiti di Atterberg determinati nei i campioni di terre.....	21
Tabella 4.8 – Classificazione dei campioni.....	22
Tabella 4.9 – Tensioni di rottura. ....	23
Tabella 4.10 – Valori nominali dei parametri.....	23
Tabella 4.11 – Carichi di rottura sui campioni di roccia. ....	23
Tabella 4.12 – Valori caratteristici dei parametri $c'_k$ ed $\phi'_k$ .....	24



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**V di V**

## **INDICE DELLE VOCI**

---

<b>APR</b>	Aeromobile a Pilotaggio Remoto
<b>CTR</b>	Carta Tecnica Regionale
<b>FOS</b>	Floating Offshore Substation
<b>GIS</b>	Geographical Information System
<b>GPR</b>	Ground Penetrating Radar
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>Iac</b>	Inter-array cable
<b>Ofec</b>	Offshore export cable
<b>Oncc</b>	Onshore connection cable
<b>Onec</b>	Onshore export cable
<b>RTN</b>	Rete di Trasmissione Nazionale
<b>SIA</b>	Studio Di Impatto Ambientale
<b>SPT</b>	Standard Penetration Test
<b>WTG</b>	Wind Turbine Generator



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>1 di 85</b>

## **1. SCOPO DEL DOCUMENTO**

---

Il presente documento ha lo scopo di compendiare le metodologie e gli esiti delle indagini commissionate nell'ambito del progetto per la realizzazione di un parco eolico flottante nel Mare di Sardegna Sud-Occidentale con specifico riferimento alle aree interessate dalle previste opere a terra.

Il documento si sviluppa nelle seguenti sezioni:

- Sezione 1: Rilievo fotografico delle aree di intervento mediante drone;
- Sezione 2: Indagini geognostiche e assetto litostratigrafico delle aree di approdo dell'elettrodotto marino di esportazione;
- Sezione 3: Analisi ad alto livello della stabilità del molo;
- Sezione 4: indagine georadar lungo il tracciato degli elettrodotti interrati.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

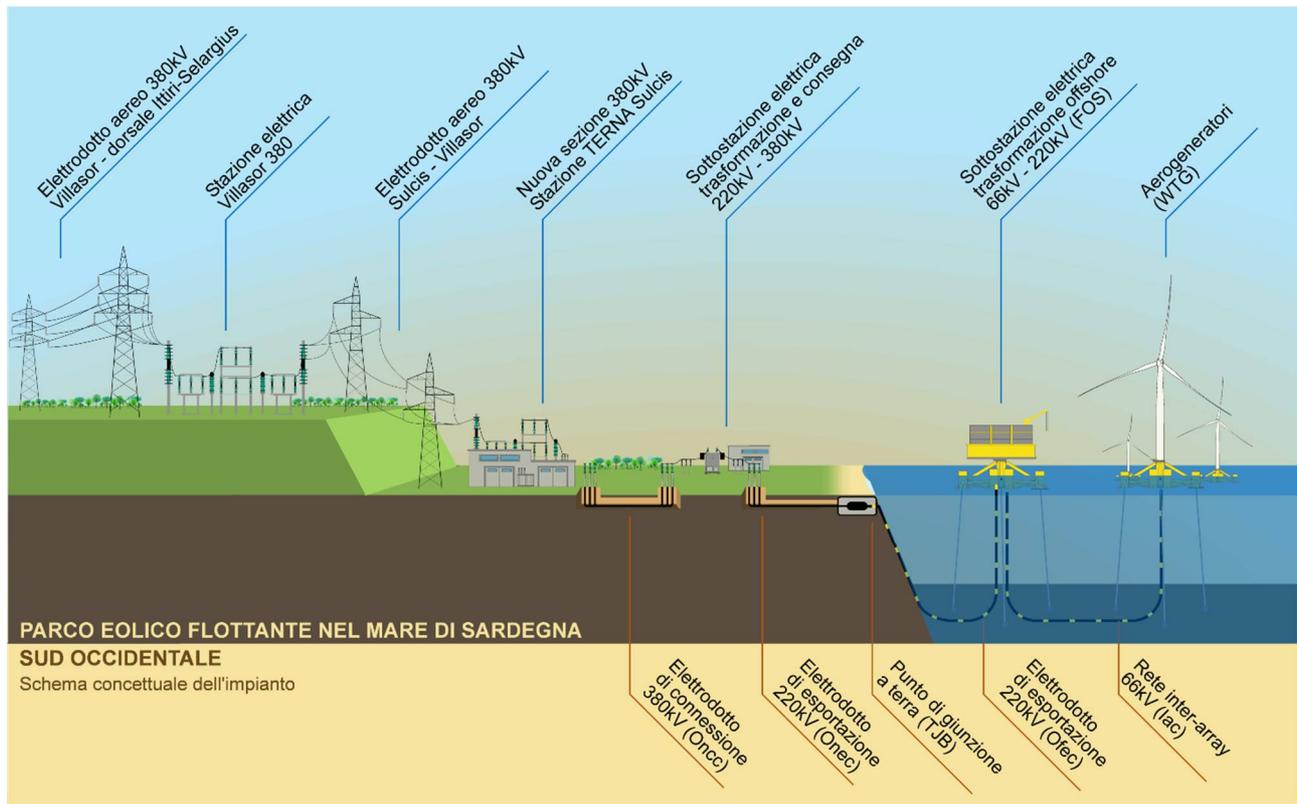
Pagina  
**2 di 85**

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel mare di Sardegna sud-occidentale nel settore geografico ovest-nord-ovest delle coste di Portoscuso e dell'isola di San Pietro, a oltre 35 km dalle più vicine coste sarde garantirà una potenza nominale massima pari a 504MW attraverso l'utilizzo di 42 aerogeneratori e 2 sottostazioni elettriche di trasformazione sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

L'impiego di questi sistemi consente l'installazione in aree marine profonde e molto distanti dalle coste, dove i venti sono più intensi e costanti e la percezione visiva dalla terraferma è estremamente ridotta, mitigando così gli impatti legati alle alterazioni del paesaggio tipici degli impianti realizzati sulla terraferma o in prossimità delle coste. La collocazione del parco, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni finalizzati alla migliore integrazione delle opere all'interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

L'opera in oggetto, nella sua completezza, si sviluppa secondo una componente a mare (sezione offshore), dedicata prevalentemente alla produzione di energia, ed una a terra (sezione onshore) destinata al suo trasporto e immissione nella rete elettrica nazionale.



**Figura 2.1 – Schema concettuale dell'impianto.**

Elaborazione iLStudio.

Ciascun aerogeneratore (*Wind Turbine Generator – WTG*) sarà costituito da un rotore tripala con diametro fino a 255 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare fino a 155 m. L'energia elettrica prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV sarà collettata attraverso una rete di cavi marini inter-array (*Inter-array cable - Iac*) e convogliata verso due sottostazioni elettriche offshore galleggianti (*Floating Offshore Substation - FOS*) per l'elevazione di tensione al livello 220 kV. Il trasporto dell'energia verso la terraferma avverrà con un elettrodotto di esportazione sottomarino (*Offshore export cable - Ofec*) fino ad un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). L'energia sarà quindi trasportata, mediante elettrodotto di esportazione interrato (*Onshore export cable - Onc*), presso una sottostazione elettrica di trasformazione e consegna in



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:

**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:

**Marzo 2023**

Pagina

**3 di 85**

località Portovesme, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 220kV a 380kV. Da qui, un breve elettrodotto interrato di connessione (*Onshore connection cable - Oncc*), permetterà il collegamento alla nuova sezione a 380kV all'interno della esistente stazione TERNA Sulcis.

Il progetto prevede la sostituzione dell'esistente elettrodotto aereo a 220 kV "Sulcis-Villasor" attraverso la costruzione di un nuovo elettrodotto a 380 kV che, seguendo il tracciato della linea esistente, unirà le stazioni di "Sulcis" e la nuova stazione elettrica Villasor 380 e raccorderà questa alla dorsale regionale 380 kV Ittiri-Selargius. Gli interventi di riqualificazione e ammodernamento della linea, oltre a consentire l'immissione in rete dell'energia prodotta dal parco, costituiranno anche una opportunità per ulteriori iniziative di produzione di energia da fonte rinnovabile, nonché il miglioramento dei servizi elettrici al territorio del Sulcis aumentandone l'efficienza e la fruibilità.



Ichonusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**4 di 85**

### 3. SEZIONE 1: RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE AREE DI INTERVENTO MEDIANTE DRONE

La presente sezione descrive le attività di rilievo fotografico eseguite sull'area interessata dalle opere terrestri relative al progetto per la realizzazione del parco eolico flottante nel Mare di Sardegna sud occidentale. L'area indagata è quella che va dal punto di sbarco dei cavi marini in corrispondenza del TJB in località Portovesme fino all'area della nuova stazione di smistamento Villasor 380 nel comune di Villasor. In particolare, oggetto del rilievo è stata l'area di costa, le cui acquisizioni sono state utile supporto alla valutazione visiva dell'estensione della prateria di Posidonia Oceanica, e l'intero percorso della esistente linea elettrica aerea 220kV Sulcis-Villasor per una caratterizzazione dello stato dei luoghi per complessivi 50km circa. Il rilievo dell'area è stato condotto durante la prima settimana di Marzo 2022, mediante l'esecuzione di una serie di voli aerofotogrammetrici con veicoli APR (droni a pilotaggio remoto), volti alla ricognizione fotografica delle aree con acquisizione di fotografie nadirali a forte sovrapposizione, coadiuvati da una serie di operazioni topografiche di appoggio svolte a terra mediante l'uso di GPS. L'acquisizione e processamento dei dati è stato effettuato dalla società specializzata Pheromed Fly S.a.s. Nel presente rapporto di indagine si forniscono i dettagli relativi alla strumentazione ed alla metodologia di rilievo adottata, alla restituzione ed alla presentazione finale degli elaborati.

#### 3.1. Strumentazione utilizzata

L'esecuzione dei voli aerofotogrammetrici è avvenuta nella prima settimana di Marzo 2022; l'acquisizione della fascia marina e delle aree di stazione sono state effettuate mediante drone quadrimotore a pilotaggio remoto mod. Dji Matrice 300RTK con camera Zenmuse P1 da 45 Mpx mentre l'area elettrodotto è stata scansionata con drone mod. Dji Mavic 2 Pro con camera Hasselblad da 20 Mpx. L'autonomia di volo, fino a 50 minuti, ha consentito la copertura di vaste estensioni areali. I droni sono equipaggiati con fotocamere ad alta risoluzione e controlli elettronici a bordo che consentono il controllo del volo e forniscono i parametri necessari all'orientamento delle fotografie e del blocco fotogrammetrico.

**Tabella 3.1 – Datasheet drone Dji MAVIC 2 Pro.**

Fonte: [www.dji.com](http://www.dji.com)

FOTOCAMERA	
<b>Sensore</b>	1" CMOS Pixel effettivi: 20 milioni
<b>Obiettivo</b>	Campo visivo: ca. 77° Formato 35 mm equivalente: 28 mm Apertura: f/2.8-f/11
<b>Velocità di scatto</b>	Otturatore elettronico: 8-1/8000 s
SOSPENSIONE CARDANICA (GIMBAL)	
<b>Stabilizzazione</b>	3 assi (inclinazione, rollio, panorama)
VELIVOLO	
<b>Autonomia di volo</b>	31 minuti (a 25 km/h costanti)
<b>Distanza di volo</b>	18 km (a 50 km/h costanti)
<b>Sistemi GNSS</b>	GPS+GLONASS
<b>Accuratezza di stazionamento in volo</b>	<b>Verticale:</b> ±0.1 m (con posizionamento visivo attivato) ±0.5 m (con posizionamento GPS)  <b>Orizzontale:</b> ±0.3 m (con posizionamento visivo attivato) ±1.5 m (con posizionamento GPS)
SENSORI	
<b>Sistema di rilevamento</b>	Rilevamento ostacoli omnidirezionale





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**5 di 85**

**Tabella 3.2 – Datasheet drone Dji Matrice 300 RTK.**

Fonte: www.dji.com

FOTOCAMERA	
<b>Sensore</b>	Dimensioni del sensore: 35.9×24 mm (Full-frame) Pixel effettivi: 45 milioni
<b>Obiettivo</b>	DJI DL 24mm F2.8 LS ASPH, FOV 84° DJI DL 35mm F2.8 LS ASPH, FOV 63.5° DJI DL 50mm F2.8 LS ASPH, FOV 46.8°
<b>Velocità di scatto</b>	Otturatore elettronico: 8-1/8000 s
SOSPENSIONE CARDANICA (GIMBAL)	
<b>Stabilizzazione</b>	3 assi (inclinazione, rollio, panorama)
VELIVOLO	
<b>Autonomia di volo</b>	55 minuti
<b>Sistemi GNSS</b>	GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo
<b>Accuratezza di stazionamento in volo</b>	<b>Con RTK abilitato e fisso:</b> 1 cm + 1 ppm (orizzontale) 1.5 cm + 1 ppm (verticale)  <b>modalità P con GPS:</b> Verticale: ±0.1 m (sistema di visione abilitato) ±0.5 m (GPS abilitato) ±0.1 m (RTK abilitato)  Orizzontale: ±0.3 m (sistema di visione abilitato) ±1.5 m (GPS abilitato) ±0.1 m (RTK abilitato)
SENSORI	
<b>Sistema di rilevamento</b>	Rilevamento ostacoli omnidirezionale



**Tabella 3.3 – Datasheet Ricevitore RTK GNSS EMLID REACH RS 2+.**

Fonte: www.strumentitopografici.it

POSIZIONAMENTO	
<b>Static</b>	H: 4 mm + 0.5 ppm V: 8 mm + 1 ppm
<b>PPK</b>	H: 5 mm + 0.5 ppm V: 10 mm + 1 ppm
<b>RTK</b>	H: 7 mm + 1 ppm V: 14 mm + 1 ppm
GNSS	
<b>Segnali tracciati</b>	GPS/QZSS L1C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b SBAS L1C/A
<b>Numero di canali</b>	184
<b>Freq. Aggiornamento</b>	20 Hz GPS / 5 Hz GNSS





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**6 di 85**

### 3.2. Acquisizione

Il rilievo sul sito ha interessato un'area di più di 500 Ha. Le acquisizioni sono state effettuate orientando l'obiettivo secondo la perpendicolare al terreno (foto nadirali) e hanno avuto due target fondamentali, l'area marina prospiciente Portovesme al fine di ottenere immagini in alta risoluzione dei fondali marini per una prima caratterizzazione della presenza biocenotica, e il tracciato della esistente linea elettrica 220 kV tra la stazione elettrica RTN TERNA Sulcis e la stazione elettrica RTN TERNA Villasor. In particolare, il tracciato dell'esistente elettrodotto 220kV aereo, è stato rilevato campionando con un buffer laterale di circa 100 m (~50m per lato). Le planimetrie di Figura 3.2 e Figura 3.3 mostrano la posizione e l'estensione dell'area complessivamente indagata. La seguente immagine mostra invece alcuni esempi di fotografie acquisite.

Foto nadirale acquisita mediante drone  
**Dettaglio area marina**

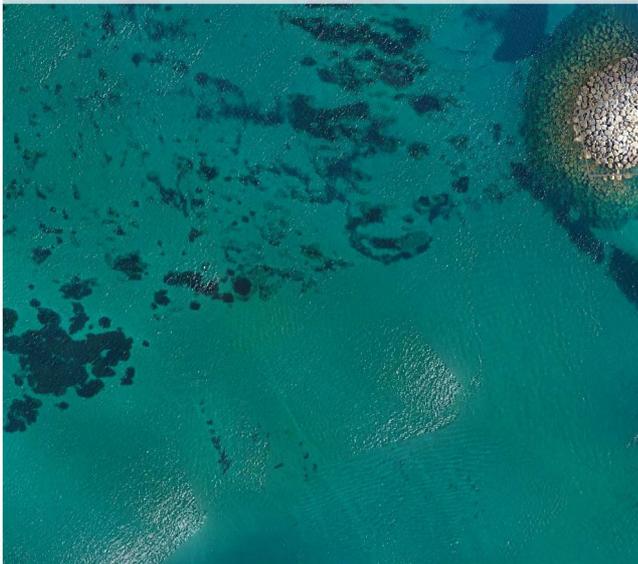


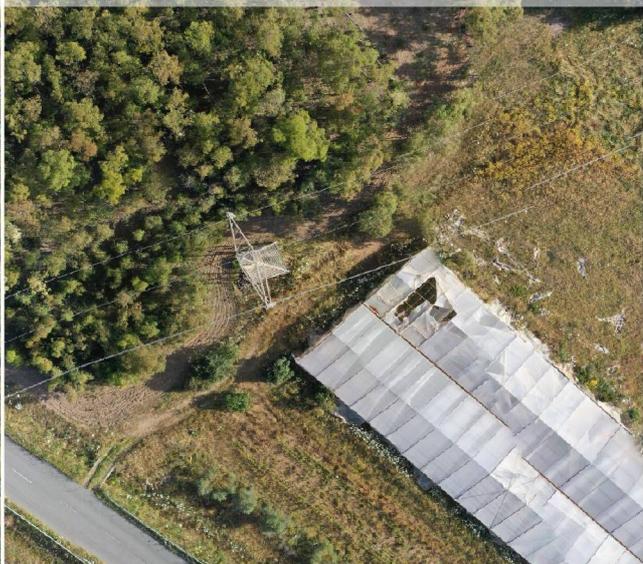
Foto nadirale acquisita mediante drone  
**Dettaglio tralicci linea esistente 220 kV - vista 1**



Foto nadirale acquisita mediante drone  
**Dettaglio tralicci linea esistente 220 kV - vista 2**



Foto nadirale acquisita mediante drone  
**Dettaglio tralicci linea esistente 220 kV - vista 3**



**Figura 3.1 – Esempi di acquisizioni nadirali catturate lungo l'area di indagine.**

Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio



**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

Sviluppo dell'elettrodotto terrestre dal punto di giunzione TJB fino al raccordo con la dorsale 380kV Ittiri - Selargius su foto aerea. In blu evidenziata l'area sottoposta a campionamento fotografico mediante drone - Vista 1  
Elaborazione iLStudio

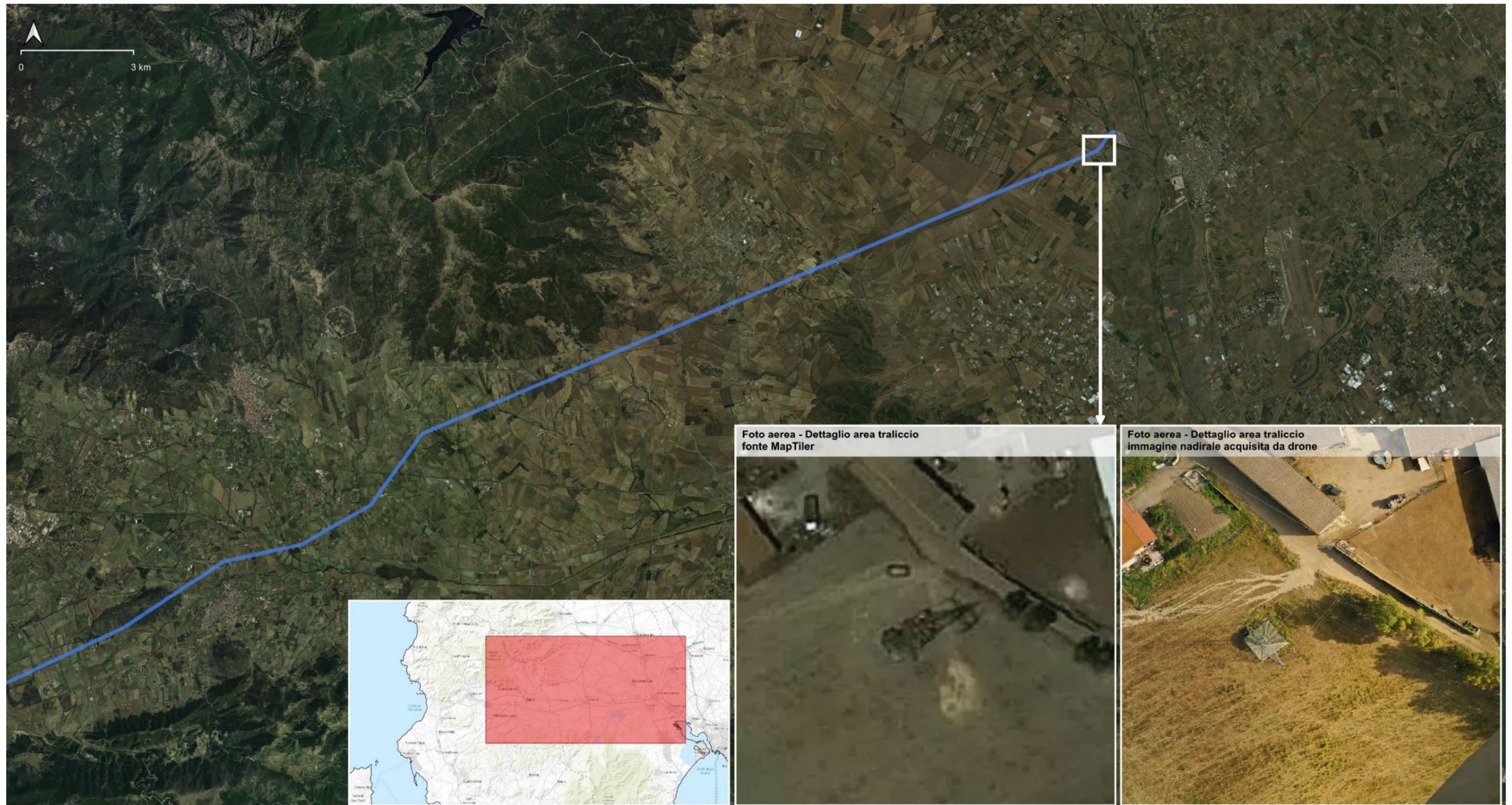
**Figura 3.2 – Estensione dell'area rilevata mediante acquisizione fotografica da drone. Vista 1.**

Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio



**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**

Sviluppo dell'elettrodotto terrestre dal punto di giunzione TJB fino al raccordo con la dorsale 380kV Ittiri - Selargius su foto aerea. In blu evidenziata l'area sottoposta a campionamento fotografico mediante drone - Vista 2  
Elaborazione iLStudio

**Figura 3.3 – Estensione dell'area rilevata mediante acquisizione fotografica da drone. Vista 1.**

Elaborazione iLStudio.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

### 3.3. Metodologia

Le procedure di acquisizione sono state programmate nel seguente modo:

#### FASE 1 (pianificazione della missione)

Analisi della zona e verifica di eventuali criticità sulle operazioni di volo, eventuale comunicazione alle autorità competenti, preparazione delle missioni e configurazione della strumentazione.



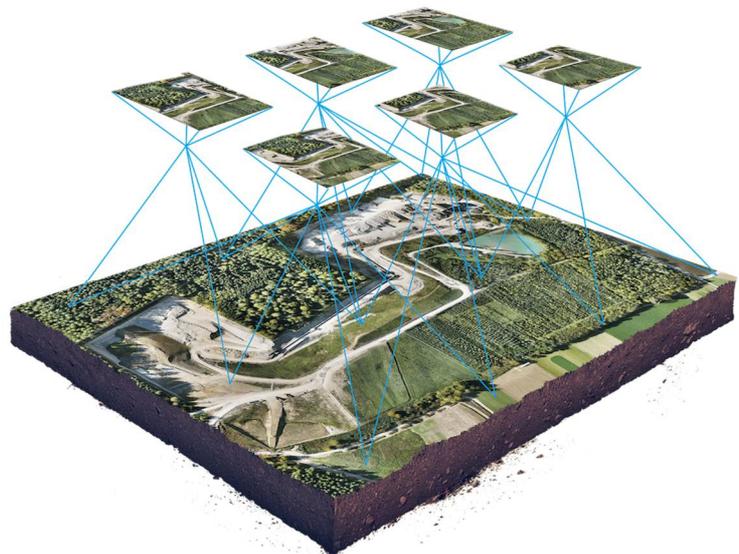
#### FASE 2 (campagna in situ)

Sopralluogo delle zone interessate al rilievo, eventuali modifiche ai piani di volo se necessario, posizionamento dei target e determinazione delle coordinate tramite rover GPS, completamento del rilievo tramite volo con drone.



#### FASE 3 (elaborazione dati post missione)

Download ed elaborazione acquisizioni tramite software Agisoft Metashape per il processamento fotogrammetrico di immagini digitali; viene generato il database georeferenziato (ortofoto, nuvole di punti ecc).





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>10 di 85</b>

## **4. SEZIONE 2: INDAGINI GEOGNOSTICHE E ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DELLE AREE DI APPRODO DELL'ELETTRODOTTO MARINO DI ESPORTAZIONE**

CEBAT S.p.A. ha conferito al dott. geol. Angelo Vigo (n. 604 dell'ordine dei Geologi della Sardegna), l'incarico per la redazione dello studio geologico a supporto della progettazione del punto di approdo dei cavi. Quanto segue stralcia il suddetto studio geologico per quanto strettamente attinente alle indagini geognostiche e alla caratterizzazione litostratigrafica delle aree. Il report originale è comunque disponibile come allegato.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- reperimento delle fonti bibliografiche cui attingere per la definizione del contesto geologico - geomorfologico a scala locale e di bacino;
- analisi cartografica e fotointerpretazione;
- rilevamento in situ a scala locale, con verifica e mappatura delle litologie in affioramento e prime ipotesi sui rapporti crono-stratigrafici;
- individuazione di criticità idrogeologiche ed idrauliche;
- direzione delle indagini in situ;
- definizione dell'assetto litostratigrafico locale mediante correlazione delle litofacies prevalenti;
- determinazione dei parametri nominali e caratteristici mediante compendio delle prove in situ e di laboratorio;
- definizione delle unità litotecniche omogenee (Litotipi).

La campagna di indagini ha previsto inoltre:

- la realizzazione di n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- l'esecuzione di n. 7 prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio;
- il campionamento disturbato dei litotipi prevalenti;
- il conferimento presso laboratorio geotecnico certificato per l'esecuzione di prove geotecniche.

### **4.1. Normativa di riferimento**

Lo studio è stato redatto ai sensi delle seguenti disposizioni di legge:

- DM 17 gennaio 2018, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale 11/2/2019, n. 35 - Suppl. ord. n. 5;
- D.M. 11/03/1988 (G.U. 1-6-1988, n. 127 suppl.) - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”, e relativa Circolare di applicazione LL.PP. 24-09-1988 n. 30483 (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale);
- Delib.G.R. 30 marzo 2004, n. 15/31, pubblicata nel B.U. Sardegna 21 agosto 2004, n. 23 Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (art. 1);



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**11 di 85**

- Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE;
- D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 – Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni.

## 4.2. Ubicazione indagine

L'area oggetto di intervento (Figura 4.1) comprende il molo e il limite meridionale del piazzale parcheggio prospiciente la spiaggia, con una quota variabile da 2.00 a 3.10 metri.



**Figura 4.1 – Inquadramento dell'area in studio su base Ortofotografica 2016.**

Ortofoto 2016 - © Consorzio TeA 2016 – tutti i diritti riservati.

Nella cartografia tecnica regionale (C.T.R.) essa ricade nella tavola 555130 – Portoscuso mentre nell'inquadramento geologico si fa riferimento al foglio 564 – Carbonia pubblicato dall'ISPRA nell'ambito del progetto CARG. Le quote assolute sono riferite al DSM RAS con cella 1 metro, ricavato dal volo LIDAR 2008,



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

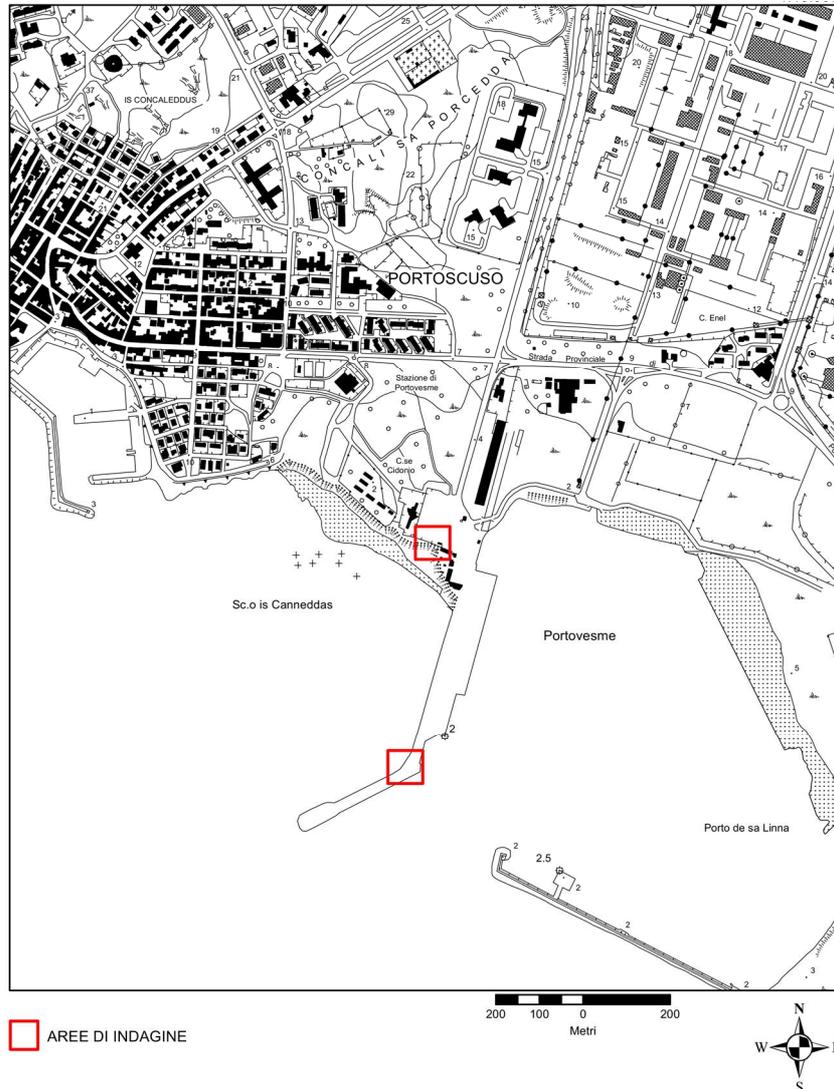
**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**12 di 85**

ed in particolare è stata considerata la sezione 564010\_04, mentre i sondaggi sono stati quotati sulla base del rilievo topografico con drone.



**Figura 4.2 – Inquadramento CTR.**

### **4.3. Indagini dirette e caratterizzazione litostratigrafica del sedime**

Sull'area sono state realizzate due verticali di indagine mediante sondaggi a carotaggio continuo, spinte sino alla profondità di 15.00 metri dal p.c.; in avanzamento entro il foro di sondaggio sono state realizzate 7 prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT (Standard Penetration Test) e sono stati prelevati 4 campioni disturbati (Q1). L'ubicazione delle terebrazioni è riportata nella planimetria delle indagini in Appendice. Di seguito il quadro a consuntivo.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**13 di 85**



**Planimetria delle indagini**



● Sondaggi geognostici

50 25 0 50  
Metri

**Figura 4.3 – Planimetria delle indagini.**

Il Sondaggio 1 (di seguito S1) è stato eseguito in corrispondenza del margine meridionale del piazzale parcheggi, a ridosso della pensilina ARST, mentre il Sondaggio 2 (di seguito S2) ricade sul tratto iniziale della diga frangiflutti (Figura 4.4).



**Figura 4.4 – Esecuzione del Sondaggio 2 in corrispondenza del tratto iniziale della barriera frangiflutti.**

**Tabella 4.1 – Schema a consuntivo delle indagini geognostiche dirette.**

Sondaggio	Profondità da p.c. (m)	Quota p.r. (m s.l.m.)	N. Prove SPT	Campioni
S1	15.00	2.00	5	S1C1 (7.00 – 8.00) S1C2 (13.00 – 14.30) S1C3 (14.30 – 15.00)
S2	15.00	3.10	2	S2C1 (7.00 – 8.00) S2C2 (13.00 – 15.00)

La verticale S1, al netto di un battuto in cemento dello spessore di circa 5 centimetri, intercetta circa 0.65 metri di massicciata in sabbia e ghiaia debolmente addensata di colore nocciola poggiante su riporto in sabbie di spiaggia locali di colore beige-grigiastro, prevalentemente medie e grossolane, pressoché sciolte, che si prolungano fino a circa 1.80 metri di profondità.

Il riporto è steso su sabbie generalmente fini e medie, con passaggi più fini debolmente limosi e livelletti centimetrici frammisti a residui algali in putrefazione, nerastri: si tratta verosimilmente della preesistente spiaggia sommersa, al limite rimaneggiata nei primi decimetri, incoerente e caratterizzata da un addensamento apprezzabile.

Detto strato raggiunge la profondità di circa 8.10 metri sino al contatto, privo di una netta soluzione di continuità,



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>14 di 85</b>

con una litofacies sabbiosa granulometricamente più assortita e frammista a limo a tratti debolmente argilloso, che include resti conchigliari non diagenizzati, talora cementati in livelletti arenacei lapidei di spessore centimetrico, probabilmente in parte triturati dal carotiere. Nella litofacies sciolta si riscontra un buon addensamento ed una sporadica componente coesiva derivante dalla frazione argillosa, che si incrementa in profondità sino al contatto (anche in questo caso poco definito, ma ubicabile a circa 11.70 metri di profondità) con le sottostanti sabbie fini e medie, limoso-argillose, frammiste a ghiaia media, di colore beige-biancastro.

Si tratta di una litofacies mediamente addensata costituita in prevalenza di frammenti di arenaria ben cementata con frequenti resti conchigliari e clasti riferibili a livelli arenacei cementati del tutto simili a quelli osservati nello strato soprastante. La matrice argillosa, plastica e scarsamente consistente, induce una debole coesione e ne riduce la permeabilità. Lo strato in questione raggiunge la profondità di circa 14.30 metri, dove si registra il contatto, questa volta ben definito, con le sottostanti sabbie limoso-argillose, frammiste a ghiaia minuta ben elaborata: si tratta di una litofacies semicoerente che presenta un buon grado di addensamento. Data la profondità finale del sondaggio, non è stato raggiunto il letto dello strato, ma è verosimile il suo prolungamento per almeno qualche metro.

La verticale S2, realizzata sulla piazzola in calcestruzzo che riveste il prolungamento del molo di ponente, ha ovviamente restituito un log dominato dai materiali di riporto costituenti l'opera e solo in profondità è stato possibile ritrovare litotipi naturali correlabili con S1. Il sondaggio ha rivelato uno spessore di calcestruzzo, privo di armatura e sostanzialmente compatto, pari a ben 2.50 metri. La colata è stata realizzata su un riempimento dello spessore di circa 1.50 metri in ghiaia medio-grossolana ad elementi ignimbrici, con pezzature generalmente inferiori a 5 centimetri, ben addensata.

Oltre tale profondità il riempimento si presenta nettamente più clastico, costituito quasi esclusivamente di ghiaia grossolana e clasti eterometrici, misti a sabbia fine e media, con qualche blocco che supera il decimetro: anche in questo caso si tratta di litotipi piroclastici in facies ignimbrica, lapidei e ben conservati, in parte macinati dal carotiere. Detto riempimento raggiunge la profondità di circa 6.70 metri per uno spessore di 2.70 metri, e poggia su un masso ciclopico di ignimbrite sana e lapidea, dello spessore di circa 1.80 metri, adagiato su un letto di riporto in ghiaia e sabbia eterometrica mediamente addensata con livelletti di paglia marina, di colore bruno grigiastro. Quest'ultimo livello, spesso all'incirca 1.20 metri, potrebbe essere riconducibile, almeno in parte, a materiali dell'originario fondale sabbioso prelevati durante i dragaggi e riutilizzati per regolarizzare/intasare il piano di posa dei blocchi ciclopici: in profondità, infatti si ritrova un ulteriore masso ciclopico di dimensioni più contenute, campionato in spezzoni più frammentati per una lunghezza complessiva di circa 1.20 metri che conduce alla profondità di circa 11.00 metri.

Oltre tale profondità è stato rivenuto uno spessore di circa 0.50 metri di sabbia media, ben classata, con ghiaia minuta che ricopre a sua volta un ultimo blocco della lunghezza di circa 0.80 metri: in questo caso, considerato anche il modesto spessore dello strato sabbioso, si può supporre che si tratti della sabbia intrappolata negli interstizi della scogliera nel corso dell'affondamento nell'originario fondale.

La base dell'opera, quindi, può considerarsi intercettata a circa 12.30 metri di profondità, ossia in corrispondenza dell'ultimo masso ciclopico rinvenuto. Oltre tale profondità, sono state rinvenute unicamente sabbie fini e medie, debolmente limose, con presenza di resti conchigliari e sporadici livelletti con alghe, da rimaneggiate a indisturbate ed assai ben addensate grazie all'azione consolidante svolta dalla scogliera.

Il livello idrico in S1 è pari a circa 1.60 metri da p.c., mentre in S2 corrisponde al livello medio del mare, ossia circa 3.10 metri da b.f.

Data la notevole distanza tra le due verticali (oltre 500 metri) e la prevalente connotazione antropica del log S2, ogni tentativo di correlazione tra le stratigrafie sarebbe affetto da margini di errore elevati. Risulta invece di maggiore utilità il confronto tra la sezione tipo di Progetto reperita presso la RAS ed il log stratigrafico S2 (Figura 4.5)

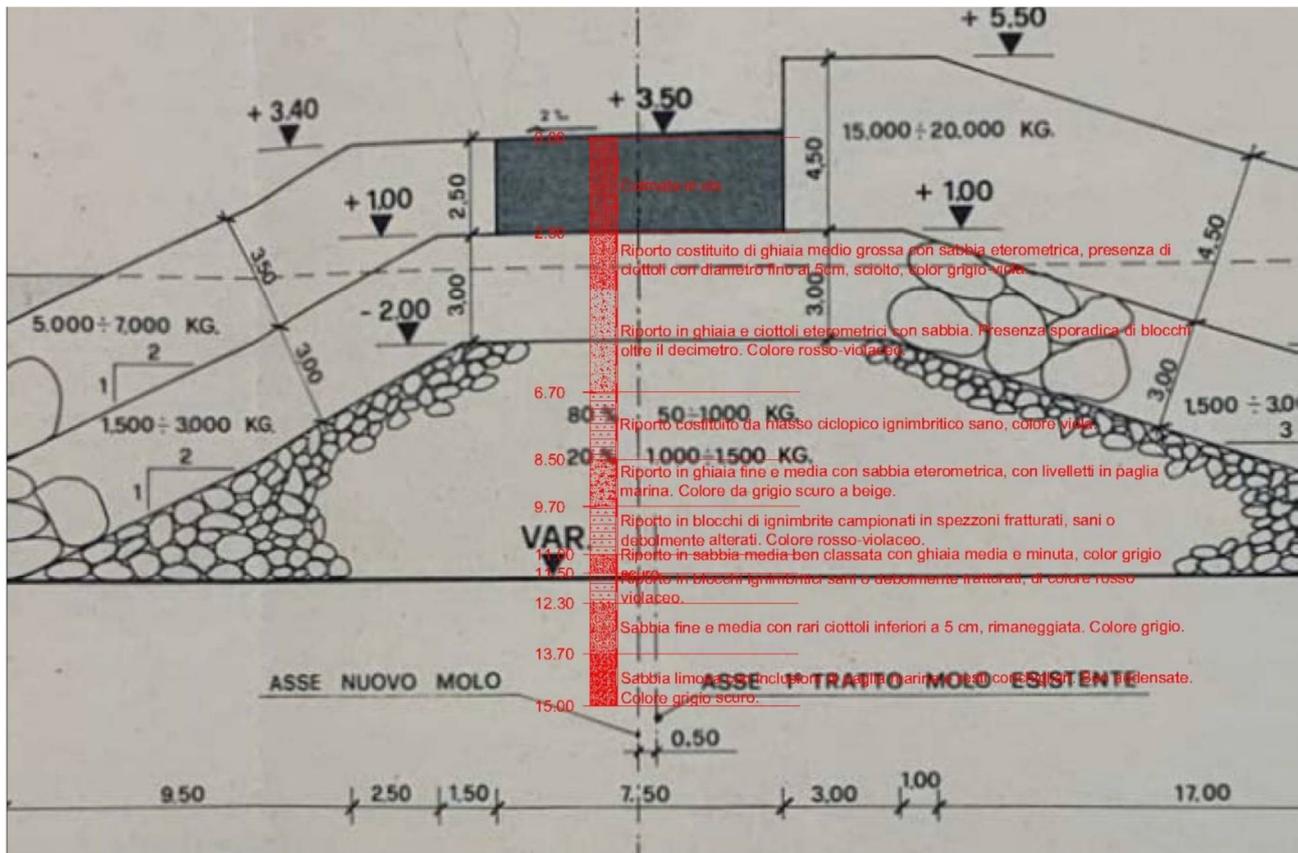


Figura 4.5 – Correlazione tra il log della verticale S2 e la sezione tipo di progetto del prolungamento del molo di ponente.

La stratigrafia conferma lo spessore della colata in cls, pari a 2.50 metri, mentre si osservano importanti scostamenti nella sequenza di formazione della scogliera almeno sino a 9.70 metri di profondità, dove si ritrovano i massi ciclopici previsti in progetto. La quota di posa dell'opera, elemento ovviamente variabile della sezione di progetto, praticamente coincide in questo caso con quella intercettata nel sondaggio: ciò potrebbe spiegarsi con la posizione del punto di indagine, in prossimità del raccordo col molo preesistente, alla quale probabilmente è stata riferita la sezione tipo.

## 4.4. Prove in situ

### 4.4.1. Prove penetrometriche dinamiche discontinue

La procedura, standardizzata secondo le "Raccomandazioni" A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) per l'esecuzione delle indagini geotecniche (1977), prevede l'infissione nel terreno di un campionatore standard o di una punta conica tramite un maglio del peso di 63.5 kg lasciato cadere da un'altezza di 750 mm sopra una testa di battuta fissata alla sommità della batteria di aste. La prova consiste nel rilevare il numero di colpi N1, N2 e N3 necessario per compiere un'infissione di 45 cm (15 cm nella fase preparatoria e 30 cm nella prova vera e propria); se  $N1 > 50$  la prova si considera conclusa in quanto il terreno oppone rifiuto alla penetrazione, diversamente si prosegue per i successivi 30 cm interrompendo anticipatamente la prova solo nel caso in cui  $N2 + N3 > 100$ . Ai fini dell'elaborazione si assume il numero di colpi  $NSPT = N2 + N3$  relativo alla somma del secondo e del terzo tratto di avanzamento, dal quale, attraverso relazioni prevalentemente empiriche, si ricavano i parametri geotecnici caratteristici, tra i quali la misura della resistenza del terreno in condizioni non drenate e il suo grado di addensamento. Il dato ottenuto in situ è stato preliminarmente corretto al fine di contenere gli errori indotti dalla stessa metodica di prova la quale è fortemente condizionata, innanzitutto, dal dispositivo di battitura e dunque dal suo rendimento energetico, dalla lunghezza delle aste, dal diametro del



Ich'nusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b>		
PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>16 di 85</b>

foro di perforazione ed infine dalla pressione litostatica ( $\sigma v'_0$ ) agente alla profondità di infissione. L'insieme delle suddette correzioni è sintetizzato nella relazione riportata di seguito:

$$N_{60} = N_{SPT} \times \frac{ER_R}{60} \times cr \times cd \times cn \quad \text{eq. (1)}$$

dove:

- cr è un coefficiente dipendente dalla lunghezza della batteria delle aste;
- cd è un coefficiente dipendente dal diametro del foro di sondaggio;
- cn è un coefficiente dipendente dalla pressione litostatica, particolarmente indicato per basse pressioni e terreni granulari addensati (Skempton).

#### 4.4.2. Analisi dei risultati

I valori di  $N_{SPT}$  ottenuti ed i corrispondenti corretti  $N_{60}$  evidenziano una marcata distinzione tra le due verticali di indagine.

In S1 la prima prova eseguita sulle sabbie di riporto a 1.50 metri fa segnare un valore di  $N_{SPT}$  pari a 10, mentre entro lo strato di sabbie fini e medie, si registrano valori assai vicini con un minimo di 13 a 6.50 metri di profondità ed un massimo di 17 a 3.10 metri. La quinta prova, eseguita a 10 metri di profondità su sabbie eterometriche limose, è in linea con le precedenti con un valore di  $N_{SPT}$  pari a 16.

In S2 la presenza della copertura in calcestruzzo e la prevalenza di ghiaie e blocchi ciclopici costituenti il molo sopraflutto, ha reso possibile la realizzazione di solo 2 delle 5 prove previste nell'originario piano di indagine. La prima è stata ubicata a 3.00 metri di profondità entro lo strato di ghiaie medie e grossolane ed è andata a rifiuto con una penetrazione di soli 22 cm, mentre la seconda, eseguita sulle sabbie fini e medie limose a circa 13.70 metri di profondità, ha restituito un valore di  $N_{SPT}$  pari a 30. Nel primo caso i dati relativi alla prova, in via cautelativa, sono stati trascurati non essendo possibile determinare con ragionevole certezza se il rifiuto dipendesse dalla effettiva resistenza alla penetrazione del materiale o dalla presenza di un clasto/blocco di dimensioni e geometria tale da essere di ostacolo all'avanzamento della punta, con conseguente alterazione del valore per eccesso.

In generale, i valori ottenuti possono comunque ritenersi apprezzabili sia nel substrato naturale in S1, sia in quello in S2: i primi definiscono una copertura sabbiosa dotata di un favorevole addensamento naturale soprattutto se rapportata all'ambiente di sedimentazione, mentre i secondi godono del positivo effetto di consolidamento indotto dal sovraccarico della scogliera. Di seguito si riporta la tabella a consuntivo delle prove penetrometriche.

Per ricavare una stima di densità relativa DR e angolo di attrito efficace  $\phi'$  il valore di  $N_{SPT}$  è stato implementato nelle relazioni empiriche, rispettivamente, di Gibbs e Holtz e De Mello, illustrate di seguito:

$$DR = \frac{21 \times N_{SPT}}{\sigma + 0.7} \quad \text{GIBBS E HOLTZ}$$

$$\phi' = 19 - 0.38\sigma v'_0 + 8.73 \log(N_{SPT}) \quad \text{DE MELLO} \quad \text{eq. (2)}$$

L'estrema dispersione dei valori è un limite congenito al carattere prettamente empirico delle teorie di calcolo a cui si è parzialmente ovviato mediando i valori per litotipi omogenei (unità litotecniche) che saranno comparati successivamente con i risultati delle prove di laboratorio. Trattandosi di una prova rapida, i parametri geotecnici attribuibili attraverso le numerose correlazioni empiriche, tipicamente utilizzate con tale tipologia di indagine, non possono essere espressi in condizioni drenate (tensioni efficaci) se non per litotipi granulari e fortemente permeabili, ossia la totalità di quelli rilevati nel corso delle indagini. La correlazione tra litotipi e valori ottenuti è riportata in Tabella 4.2.



Tabella 4.2 – Consuntivo prove SPT.

Prova	Litofacies	Profondità (m)	N <sub>SPT</sub>	N <sub>60</sub>
S1-SPT1	Riporto in sabbie fini e medie	1.5	10	13
S1-SPT2	Sabbie fini e medie	3.1	17	22
S1-SPT3	Sabbie fini e medie	5	14	18
S1-SPT4	Sabbie fini e medie	6.5	13	15
S1-SPT5	Sabbie eterometriche limose	10	16	43
S2-SPT1	Riporto in ghiaia eterometrica e sabbia	3	-	-
S2-SPT2	Sabbie eterometriche limose	13.7	30	20

## 4.5. Prove di laboratorio

I campioni prelevati nel corso delle indagini geognostiche sono stati conferiti presso il Laboratorio Geotecnico Geosystem di G.B. Demontis, con sede in Loc. Pill'e Matta – Quartucciu (CA). Di seguito l'elenco delle prove eseguite:

Prova	Norma	Campioni
Massa volumica in fustella tarata	UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b	S1C1 (7.00-8.00) S1C3 (14.30-15.00) S2C2 (13.00-15.00)
Determinazione della massa volumica dei costituenti solidi	ASTM D854/ASTM C127	S1C1 (7.00-8.00) S1C3 (14.30-15.00) S2C2 (13.00-15.00)
Analisi granulometrica per setacciatura	UNI EN 933-1	S1C1 (7.00-8.00) S1C2 (13.00-14.30) S1C3 (14.30-15.00) S2C2 (13.00-15.00)
Limiti di consistenza (Atterberg)	UNI CEN ISO/TS 17892-12	S1C1 (7.00-8.00) S1C2 (13.00-14.30) S1C3 (14.30-15.00) S2C2 (13.00-15.00)
Taglio diretto con scatola di Casagrande	ASTM D308098	S1C1 (7.00-8.00) S1C3 (14.30-15.00)
Compressione monoassiale su carote in roccia	ASTM D7012-14 - Metodo C	S2C1 (7.00-8.50)

### 4.5.1. Determinazione della massa volumica naturale mediante pesata idrostatica (UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b)

La prova consiste nell'impermeabilizzazione mediante paraffinatura di 3 provini, estratti dal campione di riferimento, e la successiva pesata idrostatica dalla quale sono ricavate le rispettive masse volumiche, successivamente mediate nel dato finale riportato nel certificato in allegato. In Tabella 6 sono riportati i risultati.

Tabella 4.3 – Massa volumica naturale.

Campione	Massa volumica naturale (Mg/m <sup>3</sup> )
S1C1	2.000
S1C3	2.104
S2C2	2.057

Nonostante il forte disturbo dei campioni (soprattutto nel caso di S1C1 e S2C2), la presenza di una frazione argillosa legante e l'apprezzabile l'addensamento dei litotipi, ha consentito di ricavare alcuni aggregati sufficientemente coerenti per essere sottoposti a paraffinatura e pesata idrostatica. Nel caso di S1C3, data la natura coerente del campione e il conseguente campionamento in carota integra, si è proceduto alla determinazione della massa volumica naturale su uno spezzone regolare e di volume noto.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>18 di 85</b>

Si tratta di valori nella media se si fa riferimento ad una massa volumica al lordo di un contenuto d'acqua rilevante, ma comunque lontano dalla condizione di saturazione nella quale sono stati prelevati tutti i provini.

#### 4.5.2. Determinazione del peso specifico dei costituenti solidi (ASTM D854/ASTM C127)

Tale prova consente di determinare il peso per unità di volume della sola frazione solida del campione, mediante l'immersione di una massa nota di grani (costituenti solidi "non solubili") entro un picnometro di volume noto che viene colmato con acqua distillata e deaerata. Il valore è ottenuto sulla media di due determinazioni. Mediante la relazione fondamentale:

$$\gamma_{nat} = \gamma_s(1 - n)(1 + w) \quad \text{eq. (3)}$$

Utilizzando la massa volumica naturale e il contenuto d'acqua è possibile determinare l'indice dei vuoti e la massa volumica in condizioni di saturazione.

I valori ottenuti nelle tre prove (Tabella 4.4) risultano pressoché sovrapponibili e quindi riferibili ad un unico bacino di sedimentazione alimentato, probabilmente, dai medesimi prodotti di disfacimento delle vulcaniti a chimismo riolitico.

**Tabella 4.4 – Peso specifico dei costituenti solidi.**

Campione	Peso specifico dei costituenti solidi (kN/m <sup>3</sup> )
S1C1	26.16
S1C3	26.30
S2C2	26.24

#### 4.5.3. Analisi granulometrica per setacciatura

La prova consiste nella vagliatura del campione attraverso una pila di setacci (ASTM E11-71) con maglie a passo decrescente e la successiva pesatura del trattenuto di ciascun vaglio, che conduce alla determinazione del peso della frazione passante per il vaglio precedente espresso in percentuale.

**Tabella 4.5 – Risultati dell'analisi granulometrica per setacciatura e la suddivisione percentuale in classi granulometriche (Udden-Wentworth).**

Apertura della maglia (mm)	Passante %			
	S1C1	S1C2	S1C3	S2C2
200	100	100	100	100
150	100	100	100	100
125	100	100	100	100
100	100	100	100	100
63	100	100	100	100
31.5	100	100	100	100
16	100	86.71	100	100
8	100	84.86	100	100
4	99.92	83.20	99.95	99.79
2	99.54	81.90	99.89	99.50
1	98.53	80.19	99.21	98.45
0.4	83.66	77.73	92.71	83.14
0.25	40.06	75.38	80.50	21.93
0.125	20.43	51.36	53.79	12.24
0.063	12.10	41.75	39.68	9.68



Frazioni granulometriche	Passante %			
	S1C1	S1C2	S1C3	S2C2
Ciottoli	0.00	0.00	0.00	0.00
Ghiaia grossolana	0.00	13.29	0.00	0.00
Ghiaia media	0.00	1.85	0.00	0.00
Ghiaia fine	0.46	2.96	0.11	0.50
Sabbia grossolana	15.88	4.17	7.18	16.36
Sabbia media	43.60	2.35	12.21	61.21
Sabbia fine	27.96	33.63	40.82	12.25
Limo + argilla	12.10	41.75	39.68	9.68
Ciottoli e ghiaia	0.46	18.10	0.11	0.50
Sabbia	87.44	40.15	60.21	89.82
Limo e argilla	12.10	41.75	39.68	9.68

I risultati possono essere poi inseriti in un diagramma semilogaritmico ( $\log \Phi$  - % passante) dal quale si ricava una curva che esprime la distribuzione percentuale delle diverse frazioni granulometriche.

Nella fattispecie, l'analisi è stata condotta su tutti i campioni (Figura 4.6), con lo scopo, tra gli altri, di valutare il grado di assortimento e l'entità della frazione fine, la cui incidenza sul comportamento meccanico, in linea generale, comincia ad essere rilevante oltre il 10% (Lancellotta, 2008 - "Il geologo nell'ambito della progettazione geologica e geotecnica – corso sulla meccanica delle terre e sui recenti orientamenti normativi in campo geotecnico"). Tale analisi, inoltre, è necessaria per l'inquadramento dei litotipi nella classificazione delle terre UNI 11531-1.

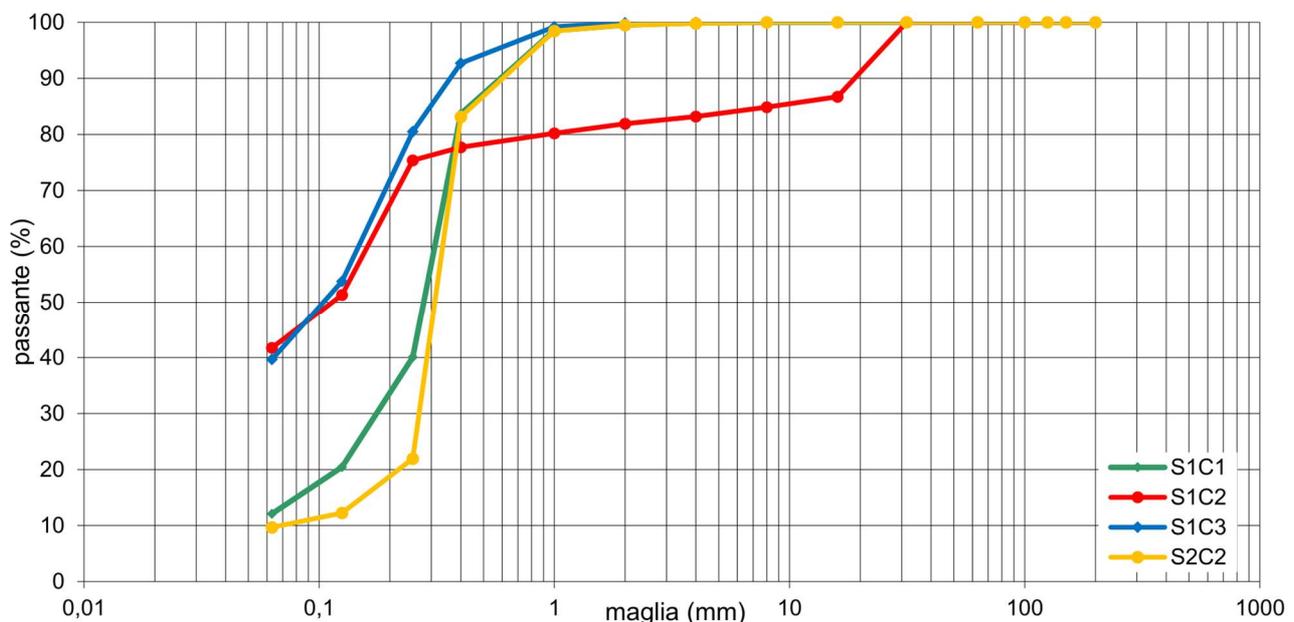


Figura 4.6 – Curve granulometriche ricavate dall'analisi per setacciatura.

In particolare, si osserva una forte similitudine che accomuna i campioni S1C1 e S2C2, benché prelevati da verticali ed a quote differenti: si tratta in effetti della medesima litofacies riferibile a depositi litorali assai ben classati entro un fuso composto in prevalenza di sabbia media (rispettivamente 43.6% e 61.2%) e subordinatamente fine (28.0% e 12.3%) e grossolana (15.9 e 16.4%). La frazione dei fini (argilla e limo) non supera il 12.1%.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>20 di 85</b>

Nel caso di S1C2 e S1C3, campionati in sequenza in S1, si registra una significativa divergenza sino al passante alla maglia 0.25 mm: ciò si spiega con la presenza in S1C2 di livelli di sabbie cementate che, frantumate dal carotiere, hanno alterato la curva originaria con una frazione ghiaiosa grossolana pari al 13.3%: l'anomalia spicca nettamente nella curva, dove le frazioni di ghiaia media e minuta sono appena apprezzabili. Al di sotto della maglia 0.25 mm le due curve si sovrappongono evidenziando in entrambi i campioni una cospicua frazione di sabbia fine (33.6% in S1C2 e 40.8% in S1C3) e di limo ed argilla (rispettivamente 41.8% e 39.7%) distribuite in proporzioni simili. Come si preciserà nel paragrafo seguente, tuttavia, i fini in S1C2 possono verosimilmente ritenersi composti in prevalenza di limi.

#### 4.5.4. Coefficiente di uniformità CU

Mediante la determinazione delle frazioni corrispondenti al 60% ( $D_{60}$ ) e al 10% ( $D_{10}$ ) del passante è possibile ricavare il coefficiente di uniformità del campione con la formula:

$$C_U = D_{60}/D_{10} \quad \text{eq. (4)}$$

Esso esprime il grado di assortimento delle terre che lo compongono ed è ovviamente  $C_U \geq 1$ : il valore unitario rappresenta il massimo grado di uniformità corrispondente ad una terra perfettamente classata su una frazione. Generalmente per valori compresi tra 1 e 5 si rientra nel campo delle terre ben classate.

In assenza di analisi per sedimentazione che consenta la ripartizione percentuale tra la frazioni di limo ed argilla, non è stato possibile determinare il valore del  $D_{10}$  nei campioni prelevati dalla verticale S1, mentre è stato possibile determinarlo nel caso del campione S2C2. Di seguito si riportano i risultati:

Tabella 4.6 – Determinazione del coefficiente di uniformità  $C_u$ .

Frazione passante	Diametro corrispondente (mm)			
	S1C1	S1C2	S1C3	S2C2
D <sub>60</sub>	0.319	0.215	0.169	0.343
D <sub>10</sub>	-	-	-	0.071
$C_u$	-	-	-	4.852

Il campione S2C2 ricade tra le sabbie medio-fini ben classate.

#### 4.5.5. Limiti di Atterberg (C.N.R. – UNI 10014)

I limiti di consistenza o di Atterberg definiscono la variazione delle proprietà meccaniche di un terreno in funzione del suo contenuto d'acqua ( $w$ ). Nella fattispecie, sono stati determinati, come richiesto dalla UNI EN 11531-1, il limite liquido ( $W_L$ ) ed il limite plastico ( $W_P$ ) dei campioni.

Il primo segna il contenuto d'acqua al passaggio fra lo stato fluido e lo stato plastico del campione, il secondo fra lo stato plastico e quello semisolido o pulverulento. Entrambe le prove si compiono sul passante al setaccio 0.40 mm.

Il limite di liquidità si determina per mezzo dell'Apparecchio di Casagrande ed è il contenuto d'acqua per il quale il solco tracciato con apposita spatola sulla terra posta in un cucchiaino si richiude dopo 25 cadute. Il limite di plasticità viene determinato realizzando dei cilindri del diametro di 3 mm ed è il contenuto d'acqua corrispondente al formarsi delle prime screpolature.

La differenza tra i due limiti consente di ricavare l'indice di plasticità, il quale definisce l'intervallo di umidità entro cui il campione si mantiene plastico:

$$I_p = W_L - W_P \quad \text{eq. (5)}$$

Di seguito si riportano i valori ottenuti per i campioni esaminati:

Tabella 4.7 – Limiti di Atterberg determinati nei i campioni di terre.

Campione	WL (%)	WP (%)	IP (%)
S1C1	ND	NP	NP
S1C2	ND	NP	NP
S1C3	31	20	11
S2C2	ND	NP	NP

La tabella mette in luce l'assenza di plasticità dei campioni S1C1, S1C2 e S2C2: la matrice fine, infatti, non ha raggiunto lo stato di consistenza minimo necessario all'esecuzione delle prove.

Nei provini ricavati da S1C3 sia il limite di liquidità che quello plastico possono ritenersi moderati e l'indice di plasticità definisce un campione debolmente plastico.

Come anticipato, tuttavia, i limiti di Atterberg sono eseguiti solo sulla matrice fine di un campione rimaneggiato, per cui non possono fornire indicazioni dirette sul comportamento del corrispondente litotipo in situ, strettamente dipendente dal grado di consolidazione e dalla percentuale della suddetta matrice fine.

#### 4.5.6. Classificazione delle terre (UNI EN 11531-1)

Nella definizione delle caratteristiche delle terre nell'ambito della realizzazione di fondazioni stradali, è stata utilizzata la classificazione UNI EN 11531-1 la quale si fonda sull'analisi granulometrica e sulla determinazione dei limiti di consistenza del campione, sintetizzati attraverso l'indice di gruppo (IG):



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

$$I_G = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \quad \text{eq. (6)}$$

dove:

- a, passante al setaccio 200 ASTM meno 35 (val. max = 40);
- b, passante al setaccio 200 ASTM meno 15 (val. max = 40);
- c, pari a  $W_L - 40$  (min = 0, max = 40);
- d, pari a  $I_p - 10$  (min = 0, max = 20).

La classe attribuita al campione è riportata nella Tabella 4.8.

**Tabella 4.8 – Classificazione dei campioni.**

Campione	Ig	Gruppo
S1C1	0	A2-4
S1C2	0	A4
S1C3	1	A6
S2C2	0	A3

I campioni ricadono in parte tra le terre granulari (S1C1 e S2C2) ed in parte tra quelle fini (S1C2 e S1C3). Nel primo caso il campione S1C1 ricade nel gruppo A2-4 delle terre granulari (nella fattispecie non plastiche) caratterizzate da un certo assortimento con presenza di una frazione fine limosa leggermente superiore al 10%, mentre il campione S2C2 ricade tra le sabbie fini ben classate (come anticipato nell'analisi granulometrica), non plastiche: in definitiva, si tratta di due terre di buona qualità anche nell'ambito del riutilizzo come letti o rinfianchi di tubazioni.

Il campione S1C2 ricade nel gruppo A4, corrispondente a quello di migliore qualità tra le terre fini entro le quali sono incluse, costituito in prevalenza da limi poco compressibili (in questo caso non plastici): benché comprenda una significativa frazione sabbiosa, tale definizione può ritenersi, in prima istanza, abbastanza appropriata. Il campione S1C3, infine, ricade nel gruppo A6, sebbene con valori al limite del gruppo A5: tale gruppo è definito di qualità mediocre/scadente per la presenza di una consistente frazione fine plastica compressibile, sebbene l'indice plastico corrisponda al limite minimo della classe.

#### 4.5.7. Prova di taglio diretto (ASTM D3080 – 90)

Allo scopo di rilevare i valori efficaci di angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  e coesione  $c'$ , i campioni S1C1 e S1C3, rappresentativi dei principali litotipi granulari, sono stati sottoposti ad una prova di taglio diretto con Scatola di Casagrande. La prova si svolge in condizioni di saturazione, su tre gradini di pressione verticale ( $\sigma_v$ ) crescente, di norma pari a 98.1, 196.1 e 294.2 kPa, registrando per ognuno il picco dello sforzo di taglio ( $\tau_{max}$ ) a rottura. Detti valori, tratti dal certificato di prova, sono stati interpolati sul piano di Mohr-Coulomb, ricavando l'involuppo di rottura ed i corrispondenti valori di  $c'$  e  $\phi'$  secondo la retta  $\tau_{max} = c' + \sigma' \tan \phi$ . La prova, di norma, si interpreta nel campo delle tensioni efficaci ( $\phi'$  e  $c'$ ), tuttavia la natura coerente del campione S1C3 non offre garanzie di un completo esaurimento delle sovrappressioni neutre durante la fase di rottura, anche se estesa in tempi lunghi.

La prova si può eseguire su provini sia indisturbati/semidisturbati sia su provini ricostruiti, nel caso di campioni incoerenti o con elementi con passante superiore al vaglio 2 mm: ciò poiché la dimensione della scatola rende prive di significato le prove eseguite su campioni costituiti da elementi grossolani con dimensioni superiori. Nel caso in studio i provini ricavati dal campione S1C1, sciolto e rimaneggiato, sono stati ricostruiti secondo la procedura descritta sopra, mentre sono stati ricavati integri dal campione S1C3, coerente, sebbene siano da considerarsi disturbati per le modalità di esecuzione del campionamento.

I valori di resistenza al taglio ottenuti sono riportati nella Tabella 4.9.



Tabella 4.9 – Tensioni di rottura.

$\sigma$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	
	S1C1	S1C3
98.1	73.0	81.0
196.1	150.0	146.0
294.2	205.0	211.0

L'involuppo di rottura, che presenta un allineamento soddisfacente, va interpretato come tangente comune ai rispettivi cerchi di Mohr e quindi come limite di rottura del terreno, proporzionale alla tensione verticale efficace. Il coefficiente angolare della retta quantifica la resistenza tangenziale per attrito (qui espressa in gradi sessagesimali), mentre l'intercetta individua la resistenza al taglio per coesione, presente quasi esclusivamente in terreni coerenti o semicoerenti. I valori ottenuti sono riportati nella Tabella 4.10.

Tabella 4.10 – Valori nominali dei parametri.

Campione	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (deg)
S1C1	33.9	10.6
S1C3	33.5	16.0

Come si osserva nel grafico, le rette di involuppo sono pressoché sovrapponibili nonostante la notevole differenza nella composizione granulometrica dei campioni: la spiccata componente attritiva determinata dalla frazione granulare tanto delle sabbie quanto dei limi ha evidentemente prevalso, restituendo un apprezzabile valore di angolo di resistenza al taglio pur con coesione non particolarmente contenuta, soprattutto nel caso del S1C1, apparentemente sciolto ed incoerente.

Ad ogni buon conto, in entrambi i casi il valore di coesione può ritenersi sovrastimato per effetto della dissipazione incompleta delle tensioni neutre e pertanto sarà oggetto di parzializzazione nella definizione dei parametri caratteristici.

#### 4.5.8. Prova di compressione monoassiale su carote in roccia (ASTM D7012-14 - Metodo C)

La prova viene eseguita su provini cilindrici ricavati dalle carote campionate. La superficie dei provini deve essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0.5 mm e le facce laterali devono essere perpendicolari all'asse del provino con tolleranza massima di 0.25°. Il campione così preparato viene portato a rottura impiegando una pressa idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, in ogni caso non inferiore a 1500 kN, ed incrementando la pressione con continuità ad una velocità di applicazione costante.

Nello specifico, sono stati sottoposti alla prova due provini in roccia ignimbritica ottenuti dalla carota S2C1, appartenente alla scogliera su cui è fondato il molo.

Tabella 4.11 – Carichi di rottura sui campioni di roccia.

Campione	Resistenza unitaria (MPa)	Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )
S1C1	65.65	2404.7
S1C2	57.75	2395.2

I valori di resistenza unitaria, simili tra i due provini, rientrano nella media dei litotipi ignimbritici ben conservati o debolmente alterati.

#### 4.5.9. Quadro riassuntivo dei parametri nominali dei campioni ottenuti da prove di laboratorio

Il quadro sinottico dei risultati delle prove di laboratorio è riportato di seguito:



Campione		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	W (%)	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	n	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (deg)	$c'$ (kPa)
S1C1	Sabbia fine e media debolmente limosa	16.61	6.66%	18.39	26.16	0.297	21.36	33.9	10.6
S1C2	Sabbia fine con limo argilloso	20.50	16.00%	17.67	26.22	0.326	20.93	-	-
S1C3	Sabbia argillosa con limo	20.63	7.97%	17.49	26.30	0.335	20.84	33.5	16.0
S2C1	Ignimbrite lapidea della scogliera (blocchi)	23.54	-	-	-	-	-	-	-
S2C2	Sabbia fine e media	20.17	16.48%	17.32	26.24	0.340	20.72	-	-

#### 4.6. Definizione dei parametri caratteristici di resistenza al taglio

Nella definizione del valore caratteristico dei parametri di resistenza al taglio, sono applicabili sia caratterizzazioni stocastiche su distribuzione di tipo gaussiano (frattile 5% prescritto negli Ec7), sia valutazioni soggettive (Istruzioni CSLP sulle NTC2018) affidate al giudizio del geotecnico, con opzione tra valori medi (ossia quelli comunemente utilizzati come nominali) e valori minimi, a seconda che siano coinvolti, rispettivamente, volumi di terreno elevati o modesti. Data la ridotta popolazione di campioni e di correlazioni da SPT, si è ricorsi ad un approccio Bayesiano (Cherubini e Orr - 1999):

$$x_m = \sum x_i / n$$

$$x_k = x_m \left( 1 - \frac{CV}{2} \right) \quad \text{con} \quad s_x = \sqrt{\sum (x_i - x_m)^2 / (n - 1)} \quad \text{eq. (7)}$$

$$CV = s_x / x_m$$

Tale approccio è stato utilizzato esclusivamente per ricavare l'angolo di attrito dei vari strati sulla base delle prove di laboratorio e delle correlazioni delle SPT, mentre per quanto attiene alla coesione, fortemente sovrastimata, si è ricorsi al taglio lineare.

Per quanto attiene alla scogliera sulla quale è fondato il molo, si è fatto riferimento esclusivamente a dati cautelativi di letteratura.

Tabella 4.12 – Valori caratteristici dei parametri  $c'_k$  ed  $\phi'_k$ .

S1				
Litofacies	Profondità	Descrizione	$\phi'_k$ (deg)	$c'_k$ (deg)
Riporto 1	0.00 - 1.80	Riporto in sabbia media e grossolana debolmente addensata	28.0	0.0
Litofacies 1	1.80 - 8.10	Sabbia fine e media debolmente limosa	31.0	2.0
Litofacies 2	8.10 - 14.30	Sabbia eterometrica limoso-argillosa mista a ghiaia media	30.0	2.0
Litofacies 3	14.30 - 15.00	Sabbia argillosa con limo e clasti	30.0	8.0
S2				
Litofacies	Profondità	Descrizione	$\phi'_k$ (deg)	$c'_k$ (deg)
Riporto 2	2.50 - 6.70	Riporto in sabbia media e grossolana debolmente addensata	35.0	0.0
Riporto 3	6.70 - 8.50	Sabbia fine e media debolmente limosa	45.0	0.0
	9.70 - 11.00			
Riporto 4	11.50 - 12.30	Sabbia eterometrica limoso-argillosa mista a ghiaia media	30.0	0.0
	8.50 - 9.70			
Litofacies 4	13.70 - 15.00	Sabbia argillosa con limo e clasti	31.0	0.0



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**25 di 85**

## 4.7. Definizione e parametrizzazione dei litotipi prevalenti

Sulla scorta delle indagini e dei risultati delle prove in situ e di laboratorio sono state distinte le Unità Litotecniche (di seguito Litotipi) che contraddistinguono l'assetto stratigrafico ed il modello geotecnico del sedime delle opere in progetto.

### RIPORTO 1

Costituisce il ricoprimento con il quale è stata regolarizzata e sopraelevata l'area dell'attuale parcheggio del Porto, intercettato nella sola verticale S1. Consta in prevalenza di sabbie medie e grossolane, con ghiaia e ciottoli nei primi decimetri, debolmente addensate. La resistenza al taglio è apprezzabile ed espressa esclusivamente nel dominio attritivo. Colore da nocciola a beige.

$\gamma_{nat}$	17.25 kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	18.90 kN/m <sup>3</sup>
$\phi'_k$	28°
$c'_k$	0.0 kPa

### RIPORTO 2

Riporto in sabbia e ghiaia eterometriche con clasti e rari blocchi di natura quasi esclusivamente ignimbritica (frantumato di cava), intercettato soltanto in S2 con funzione di rilevato di fondazione della colata in cls. Si tratta di un tout-venant ben assortito ed addensato, caratterizzato da ottima resistenza a taglio limitata al solo dominio attritivo. Scavabilità agevole, in assenza di blocchi lapidei. Colore da violaceo a rossastro.

$\gamma_{nat}$	20.50 kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	21.80 kN/m <sup>3</sup>
$\phi'_k$	35°
$c'_k$	0.0 kPa

### RIPORTO 3

Scogliera in blocchi ciclopici di ignimbriti da sane e lapidee a corrose e debolmente alterate. Tale tipologia è stata rilevata esclusivamente in S2 in continuità alla precedente, a formare la base del solido in materiali sciolti su cui è fondato il molo. I blocchi, disposti in modo caotico ed intercalati a sacche di riporto in sabbie locali (RIPORTO 4), presentano una buona resistenza a compressione e richiedono utensili e modalità di perforazione specifiche per lapidei. I parametri di resistenza al taglio sono riferiti all'abbancamento in scogliera.

$\gamma_{nat}$	23.54 kN/m <sup>3</sup>
$\phi'_k$	45°
$c'_k$	0.0 kPa

### RIPORTO 4

Si tratta di sabbie fini e medie, a luoghi con intercalazioni centimetriche di posidonia putrescente, sciolte o debolmente addensate, riferibili a scavi e movimentazione sul fondale. Si ritrovano unicamente in S2, intercalate ai blocchi di scogliera della quale intasano gli ampi interstizi, nella porzione basale per lo stesso affondamento dei blocchi. La resistenza al taglio è apprezzabile ed espressa quasi esclusivamente nel dominio attritivo. Colore da beige a bruno-grigiastro.

$\gamma_{nat}$	17.25 kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	18.90 kN/m <sup>3</sup>
$\phi'_k$	30°



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**26 di 85**

$c'_k$  2.0 kPa

### **LITOTIPO 1**

Sabbia fine e media debolmente limosa, ben classata, con sporadiche intercalazioni di livelli centimetrici di posidonia in putrefazione, ritrovata unicamente nella verticale S1. Si tratta di un litotipo non plastico, spiccatamente incoerente, da debolmente a mediamente addensato, con apprezzabile resistenza al taglio nel dominio attritivo. Moderatamente compressibile, può essere soggetto a liquefazione. Colore grigio-beige.

$\gamma_{nat}$  19.61 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$  21.36 kN/m<sup>3</sup>  
 $\phi'_k$  31°  
 $c'_k$  0.0 kPa

### **LITOTIPO 2**

Sabbia eterometrica con limo argilloso, debolmente ghiaiosa con diffusa presenza di resti conchigliari non diagenizzati di fauna marina. La frazione ghiaiosa è riconducibile a livelli ben cementati frantumati dalla sonda. Litotipo debolmente semicoerente con matrice non plastica, dotato di buona resistenza al taglio nel dominio attritivo e modesta in quello coesivo. Moderatamente compressibile. Colore avana-biancastro.

$\gamma_{nat}$  20.50 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$  20.93 kN/m<sup>3</sup>  
 $\phi'_k$  30°  
 $c'_k$  2.0 kPa

### **LITOTIPO 3**

Sabbia argillosa con limo e ghiaia minuta inglobante resti conchigliari non diagenizzati. Litotipo semicoerente, con matrice assai consistente e debolmente plastica, presenta un'apprezzabile resistenza al taglio sia nel dominio attritivo che in quello coesivo. Moderatamente compressibile. Colore ocra.

$\gamma_{nat}$  20.63 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$  20.84 kN/m<sup>3</sup>  
 $\phi'_k$  30°  
 $c'_k$  8.0 kPa  
 $S_{U_k}$  60.0 kPa

### **LITOTIPO 4**

Sabbia fine e media ben classata, con sporadiche intercalazioni di livelli centimetrici di posidonia in putrefazione e resti conchigliari non diagenizzati, ritrovata unicamente nella verticale S2. Si tratta di un litotipo, spiccatamente incoerente, assai ben addensato, con ottima resistenza al taglio nel dominio attritivo. Colore grigio.

$\gamma_{nat}$  20.17 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_{sat}$  20.84 kN/m<sup>3</sup>  
 $\phi'_k$  31°  
 $c'_k$  0.0 kPa  
 $C_U$  0.485

Di seguito (Figura 4.7) si riporta la correlazione tra le verticali stratigrafiche ed i litotipi suddescritti.

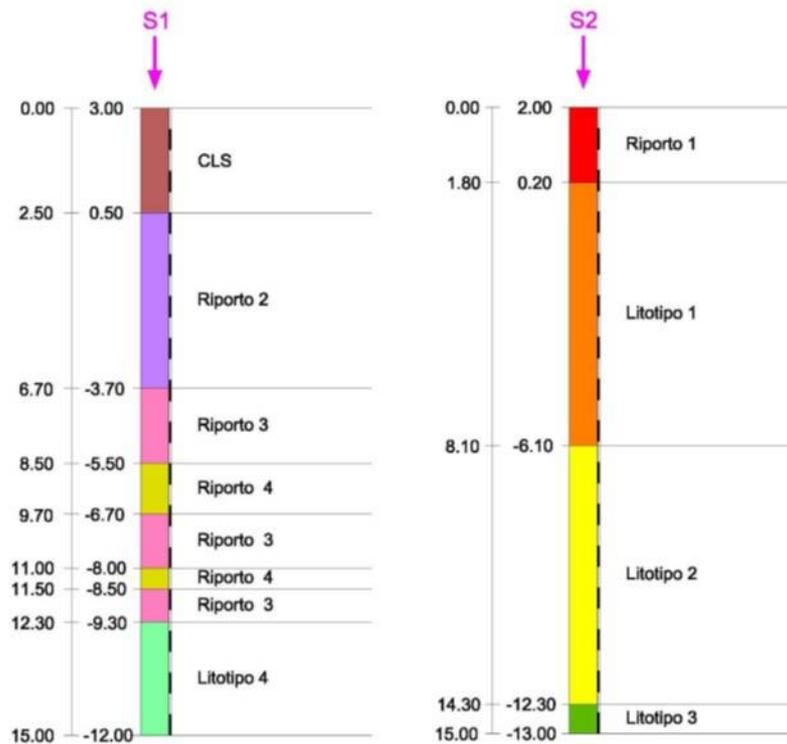


Figura 4.7 – Log stratigrafici riferiti ai litotipi prevalenti.

#### 4.8. Considerazioni conclusive, prescrizioni e suggerimenti progettuali

I siti in studio ricadono in un ambito costiero fortemente antropizzato a quote comprese tra 2.00 e 3.00 metri s.l.m. In affioramento prevale la litofacies sabbiosa di ambiente litorale, parzialmente rimaneggiata e riportata in prossimità dell'infrastruttura portuale. Non si registrano evidenze di fenomeni di erosione costiera e i siti di interesse non ricadono entro aree di pericolosità da frana ed idraulica perimetrate nell'ambito dei vigenti Piani stralcio per il dissesto idrogeologico e, in generale, non presentano criticità geomorfologiche di rilievo.

I due siti sono stati indagati mediante l'esecuzione di altrettanti sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1 e S2) spinti sino alla profondità di 15.00 metri dal piano di riferimento. Le verticali hanno consentito di ricavare l'assetto litostratigrafico del relativo sedime, caratterizzato in prevalenza da litofacies sabbiose naturali di ambiente litorale in S1 e da materiali di riporto in S2.

Nel primo caso è stata ritrovata la copertura di regolarizzazione del piazzale parcheggi (Riporto 1), per uno spessore di circa 1.80 metri, seguite da sabbie limose litorali mediamente addensate (Litotipo 1) sino a circa 8.10 metri di profondità e da sabbie con limo argilloso e clasti cementati (Litotipo 2) sino a circa 14.30 metri di profondità. Chiude la sequenza, sino a fondo foro, uno strato di sabbie argilloso-limose semicoerenti (Litotipo 3).

In S2, come anticipato, la verticale intercetta in prevalenza litotipi di riporto: a partire dalla base della colata di calcestruzzo che ricopre il molo per uno spessore di 2.50 metri, si ritrova uno strato di sabbia e ghiaia eterometrica ben assortita con clasti e rari blocchi pluridecimetrici, compatta e ben addensata (Riporto 2) che raggiunge la profondità di 6.70 metri. Oltre tale profondità sono stati intercettati i blocchi ciclopici di ignimbrite violacea, sani o debolmente corrosi e alterati (Riporto 3), che costituiscono la scogliera sommersa su cui si fonda il prolungamento del molo di ponente: la loro presenza in colonna è discontinua e si registra un'alternanza in livelli da pluridecimetrici a poco più che metrici con sabbie locali fini e medie, sciolte (Riporto 4), che ne intasano gli interstizi. Oltre tale livello, a circa 12.30 metri di profondità, è stato intercettato il fondale naturale, sabbioso e assai ben classato (Litotipo 4), da sciolto e rimaneggiato a ben addensato.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:

**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:

**Marzo 2023**

Pagina

**28 di 85**

I litotipi naturali (L1-L4), da incoerenti a debolmente legati in matrice limoso-argillosa, presentano apprezzabili valori di resistenza al taglio espressa prevalentemente nel dominio attritivo e, solo nel caso del Litotipo 3, con valori significativi anche in quello coesivo. La scavabilità è agevole mentre il sostegno di trincee e cavità necessita di misure di contenimento sia provvisionali che strutturali.

I litotipi di riporto R2 e R3, pur eterogenei, sono accreditati di un'elevata resistenza al taglio (nel caso di R3 riferita all'ammasso costituente la scogliera) esclusivamente di natura attritiva. R3, inoltre, si compone di blocchi ciclopici di natura ignimbratica la cui tenacità rende necessario per gli scavi il ricorso a metodologie e strumenti specifici per i lapidei.

#### **4.9. Allegati**

---



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**29 di 85**

PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME							
Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI			Sondaggio: <b>S2</b>		
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.			Impresa: Dott. Antonello Angius		
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm			Ø rivestimento: 127 mm		
Scala 1:50	Data: 09/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 2.00			Profondità F.F. (m): 15.00		
Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT	Campione	Vane test (kg/cm²)
0.00	2.00		Cls 5 cm su riporto in sabbia e ghiaia sciolte				
0.70	1.30		Riporto in sabbie medie e grossolane debolmente addensate. Colore beige.		1.50 4 3 7 1.95		
1.80	0.20		Sabbia fine e media, debolmente limosa, con rare inclusioni di paglia marina, mediamente addensata. Colore grigio		3.10 7 9 8 3.55		
					5.00 6 7 7 5.45		
					6.50 6 6 7 6.95	7.00	
						S1-C1	
8.10	-6.10		Sabbia eterometrica limosa con passaggi debolmente argillosi e sporadici livelli bioclastici cementati di spessore centimetrico. Mediamente addensata. Colore beige.			8.00	
10.00	-8.00						
NOTE:							



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**30 di 85**

PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME							
Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI			Sondaggio: <b>S2</b>		
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.			Impresa: Dott. Antonello Angius		
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm			Ø rivestimento: 127 mm		
Scala 1:50	Data: 10/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 3.10			Profondità F.F. (m): 15.00		
Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT 10.00	Campione	Vane test (kg/cm²)
10.00	-8.00		Sabbia eterometrica limosa con passaggi debolmente argillosi e sporadici livelli bioclastici cementati di spessore centimetrico. Mediamente addensata. Colore beige.	15 9 7 10.45			
11.70	-9.70		Sabbia fine con limo argilloso scarsamente consistente, con ghiaia media e presenza di resti conchigliari non diagenizzati. Colore avana-biancastro.			13.00	
14.30	-12.30		Sabbia limosa con argilla, frammista a ghiaia minuta ben elaborata e resti conchigliari. Coerente e consistente. Colore ocre.			S1-C2 14.30	
15.00	-13.00					S1-C3 15.00	
NOTE:							



Ichonusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**31 di 85**

PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME							
Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI			Sondaggio: <b>S2</b>		
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.			Impresa: Dott. Antonello Angius		
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm			Ø rivestimento: 127 mm		
Scala 1:50	Data: 09/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 3.00			Profondità F.F. (m): 15.00		
Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT	Campione	Vane test (kg/cm²)
0.00	3.00		Colmata in cls				
2.50	0.50		Riporto costituito di ghiaia media e grossolana con sabbia eterometrica, mediamente addensata, color grigio-viola.		3.00 26 50cp-7cm -		
4.00	-1.00		Riporto in ghiaia e ciottoli eterometrici con sabbia. Presenza sporadica di blocchi oltre il decimetro. Colore rosso-violaceo.		3.45		
6.70	-3.70		Riporto costituito da massa ciclopica ignimbricio sano, colore viola.			7.00	
8.50	-5.50		Riporto in ghiaia fine e media con sabbia eterometrica, con livelletti in paglia marina. Colore da grigio scuro a beige.			S2-C1	
9.70	-6.70		Riporto in blocchi di ignimbrite campionati in spezzoni fratturati, sani o debolmente alterati. Colore rosso-violaceo.			8.50	
10.00	-7.00		Riporto in blocchi di ignimbrite campionati in spezzoni fratturati, sani o debolmente alterati. Colore rosso-violaceo.				
NOTE:							



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**32 di 85**

PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME							
Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI			Sondaggio: <b>S2</b>		
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.			Impresa: Dott. Antonello Angius		
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm			Ø rivestimento: 127 mm		
Scala 1:50	Data: 10/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 3.10			Profondità F.F. (m): 15.00		
Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT	Campione	Vane test (kg/cm²)
10.00	-7.00	^ ^ ^	Riporto in blocchi di ignimbrite campionati in spezzoni fratturati, sani o debolmente alterati. Colore rosso-violaceo.				
11.00	-8.00	^ ^ ^	Sabbia media ben classata con ghiaia minuta, color grigio scuro.				
11.50	-8.50	^ ^ ^	Riporto in blocchi ignimbricitici sani o debolmente fratturati, di colore rosso violaceo.				
12.30	-9.30	^ ^ ^	Sabbia fine e media con clasti di taglia inferiore a 5,0 cm, rimaneggiata. Colore grigio.			13.00	
13.70	-10.70	^ ^ ^	Sabbia limosa con inclusioni di paglia marina e resti conchigliari. Ben addensate. Colore grigio scuro.		13.70 16 16 14 14.15	S2-C2	
15.00	-12.00					15.00	
NOTE:							



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

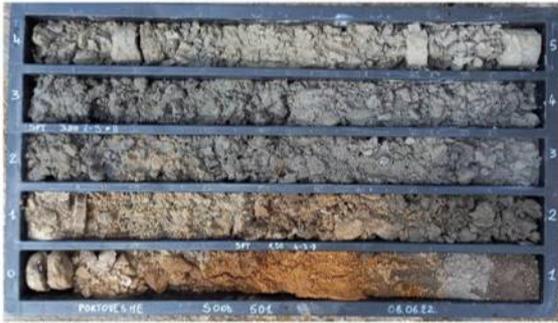
**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**33 di 85**



S1 C1 (0.00 - 5.00)



S1 C2 (5.00 - 10.00)



S1 C3 (10.00 - 15.00)



S2 C1 (0.00 - 5.00)



S2 C2 (5.00 - 10.00)



S2 C3 (10.00 - 15.00)



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

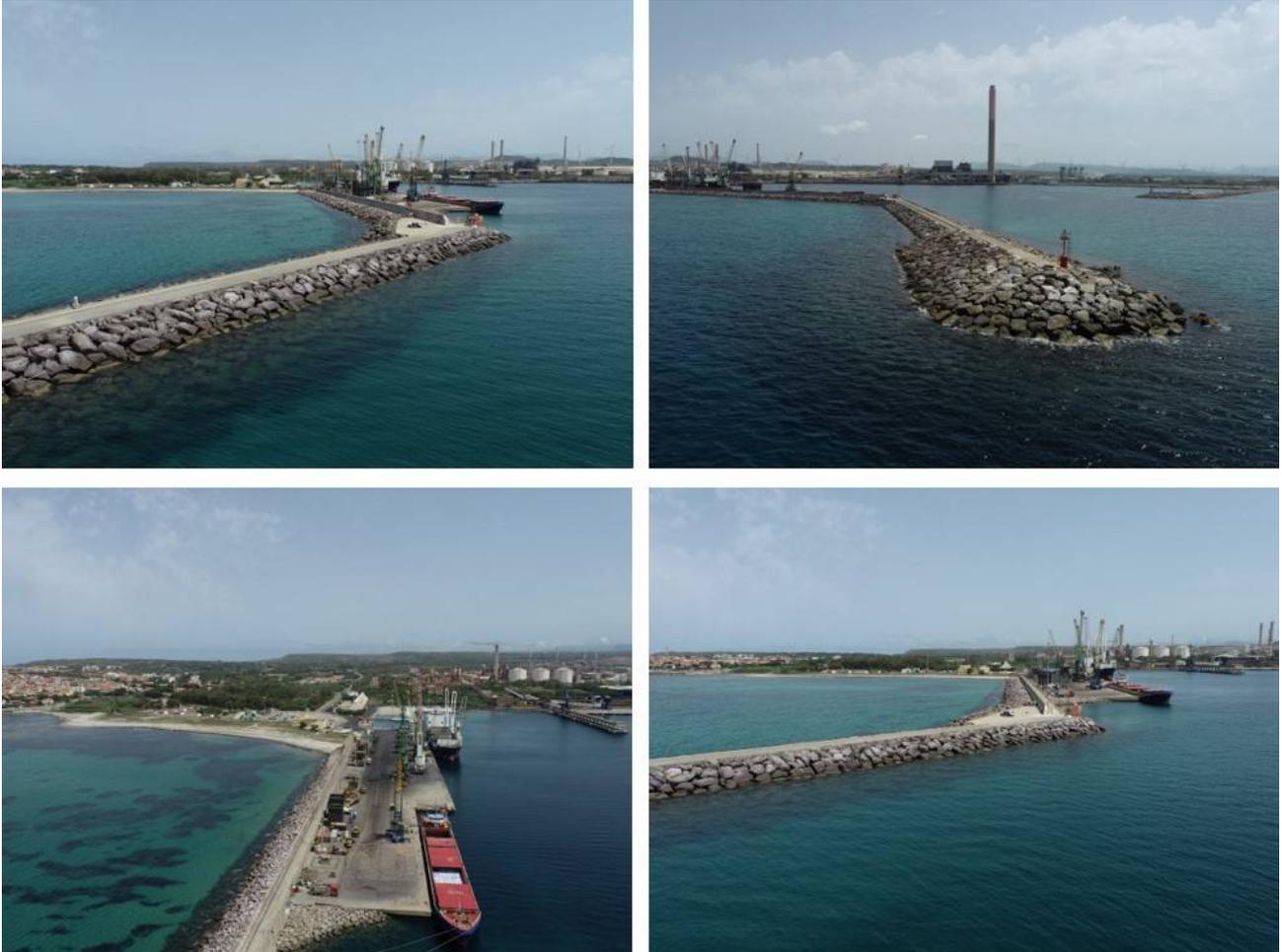
Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**34 di 85**

## 5. SEZIONE 3: ANALISI AD ALTO LIVELLO DELLA STABILITÀ DEL MOLO

Questa sezione descrive i risultati dell'analisi di stabilità della massicciata di protezione della diga frangiflutti del porto di Portovesme durante l'esecuzione dei lavori.



**Figura 5.1 – Riprese della diga frangiflutti catturate da drone.**

### 5.1. Osservazioni preliminari

Lo studio della documentazione progettuale mostra che la diga frangiflutti del porto di Portovesme è realizzata mediante un nucleo di massi grossolani (costituito per l'80% da massi di peso compreso tra 50 e 1000 kg e per il 20% da massi di peso compreso tra 1000 e 1500 kg), uno strato filtrante spesso 3.00 m costituito da massi più grossolane (peso tra 1500 e 3000 kg per pezzo), e uno strato protettivo di 3.5 m di spessore costituito da massi di peso compreso tra 15 e 20 tonnellate.

Una lastra di cemento spessa 2.50 m e larga 7.50 m corona in cima la diga. La pendenza degli strati rocciosi è di 3:1 sul lato esterno e 2:1 sul lato interno rivolto al porto.

Le opere di costruzione del punto di approdo dei cavi marini interesseranno la barriera frangiflutti nel punto in cui essa cambia direzione.

Il paraggio di Portovesme è caratterizzata da un fetch molto significativo nel settore di traversia relativo ai venti soffianti da nord-ovest, caratteristica comune all'intera costa occidentale sarda. Le onde di progetto qui tipicamente impiegate per il calcolo delle strutture portuali sono sempre dell'ordine di 5-6 m di altezza significativa.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>35 di 85</b>

Per tal motivo l'area di lavoro sarà adeguatamente protetta mediante la realizzazione di una protezione temporanea; una barriera di smorzamento del moto ondoso sarà inoltre prevista allo scopo di ridurre drasticamente l'effetto di eventuali mareggiate determinando onde residue massime stimate in 2.50 m di altezza significativa e una sostanziale riduzione dell'energia cinetica sulla paratia di protezione.

## 5.2. Cenni teorici sulla stabilità dei frangiflutti a gravità

Una diga frangiflutti dissipa l'energia delle onde attraverso i movimenti vorticosi generati dalla struttura e alla sua permeabilità. Infatti, all'interno della struttura, il livello dell'acqua varia continuamente in base ai flussi idrici sviluppati nei meati e diretti verso l'alto e verso il basso; le asperità degli elementi lapidei costituenti la diga realizzano inoltre un'efficace dissipazione dell'energia, limitando sia l'onda trasmessa sia quella riflessa.

Il moto ondoso, tuttavia, genera azioni di trascinamento e sovrappressioni potenzialmente in grado di spostare i grandi massi del mantello roccioso. È quindi necessario garantire che gli elementi costituenti la diga siano di dimensioni tali da evitare perdite di materiale e pericolosi cedimenti considerando anche che la stabilità dei singoli elementi è strettamente legata alla stabilità degli elementi contigui.

I modelli empirici forniscono una soddisfacente indicazione delle caratteristiche di stabilità sotto l'azione delle forzanti d'onda.

Iribarren ha definito empiricamente le condizioni di equilibrio di un singolo elemento dell'armatura sottoposto alle forzanti agenti derivando formule in cui le dimensioni degli elementi della barriera sono esprimibile in funzione dell'altezza dell'onda incidente. Il modello tuttavia non considera gli effetti del periodo dell'onda e della durata del moto ondoso.

Studi successivi, basati sull'osservazione sperimentale degli effetti indotti dall'azione delle onde su strutture centenarie dislocate negli Stati Uniti e in Inghilterra, hanno consentito un perfezionamento del modello di calcolo inserendo fattori quali la pendenza, il tipo di rottura e la distanza del punto di rottura dalla base della struttura.

Per la verifica della stabilità, si fa riferimento a possibili danni, distinguendoli in *danni idraulici* e *danni strutturali*.

I metodi attualmente seguiti per la valutazione del danno idraulico consistono sia nella misura della variazione del profilo della superficie di pendio sia nel conteggio dei massi mobili sotto l'azione delle onde vi si infrangono.

È quindi possibile definire la seguente classificazione dei movimenti:

- Tipo A, nessun movimento;
- Tipo B, ondeggiamento di singoli massi;
- Tipo C, i singoli massi si spostano dalla loro posizione iniziale entro una distanza D uguale alla lunghezza del masso;
- Tipo D, i singoli massi si spostano dalla loro posizione iniziale entro una distanza D maggiore della lunghezza del masso;
- Tipo E, scorrimento di un gruppo di massi.

I movimenti di tipo B, C, D si verificano nella banda di agitazione delle onde tra il livello medio del mare e  $\pm H_s$  (altezza significativa dell'onda).

Per quanto riguarda la definizione del danno strutturale, analogamente, ci si riferisce al numero di massi rotti in una determinata area di pendio sottoposta a pulsazioni dinamiche, impatto dinamico, sollecitazioni abrasive, termiche e chimiche.

I primi tre tipi di sollecitazioni hanno effetti maggiori sugli elementi sottili, le sollecitazioni termiche sono più pericolose per gli elementi più massicci.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

### 5.3. Verifica della stabilità del frangiflutti

Di tutte le formule per verificare la stabilità del mantello, la formula di Hudson è quella più diffusa, per la sua semplicità e coerenza con l'esperienza di laboratorio. La formula di Hudson può essere scritta come segue:

$$M = \frac{d_c H^3}{K_D D^3 \cot ga} \quad \text{eq. (8)}$$

in cui  $M$  è la massa dell'elemento mantello,  $D = (d_c/d_w - 1)$  con  $d_c$  la densità del materiale dell'elemento e  $d_w$  è la densità dell'acqua,  $H$  è l'altezza dell'onda di design,  $a$  è la pendenza in gradi,  $K_D$  è il coefficiente di stabilità per il quale esistono diverse tabelle di riferimento.

Nel caso in esame si considera:

$$\begin{aligned} d_c &= 2.8 & a &= 45^\circ \\ D &= 1.8 & H &= 2.5 \end{aligned}$$

Sostituendo si ottiene  $M$  pari a 3.75 tonnellate. I massi nel mantello (>15 t) verificano abbondantemente tale indicazione. L'ottimo stato di conservazione della diga, a circa trent'anni dalla sua costruzione, dimostra la corrispondenza tra i valori teorici e il suo comportamento effettivo.

### 5.4. Monitoraggio della stabilità dell'armatura rocciosa

In relazione ai livelli di incertezza associati alla modellazione empirica, si è progettato un sistema di controllo per il monitoraggio della stabilità della massicciata durante lo svolgimento dei lavori di realizzazione del punto di sbarco. Il sistema di controllo si basa sulla misurazione giornaliera dello spostamento dei massi eseguita sia mediante rilievo topografico sia mediante rilievo continuo.

La misurazione topografica avviene mediante l'incollaggio di bersagli riflettenti su diversi elementi della massicciata operando la misura da una posizione scelta a una distanza sufficiente e in luogo indisturbato. La misura sarà effettuata mediante un teodolite elettronico con una precisione di 0.001 gradi sulle misure angolari e 0.003 m/km sulle misure di distanza; i rilievi dovranno essere eseguiti almeno giornalmente (preferibilmente due volte al giorno, prima e dopo i lavori) registrando su apposito registro.

Le posizioni assunte dagli obiettivi definiranno il quadro di stabilità della barriera durante le diverse fasi di lavoro.



Figura 5.2 – Strumenti per il rilievo topografico della massicciata.

Il rilievo continuo prevede invece l'applicazione di 4 inclinometri digitali su altrettanti massi (3 sul lato offshore



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**

Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

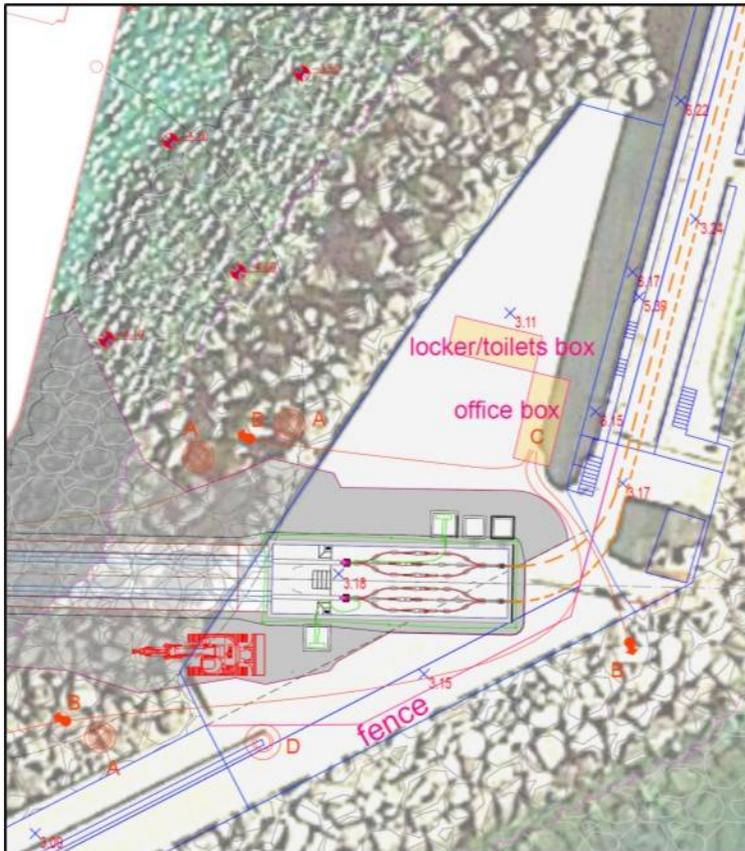
Pagina  
**37 di 85**

e uno sul lato inshore) collegati ad una unità di registrazione dati in continuo collocata presso uffici in sito. Ogni settimana i dati raccolti da entrambi i metodi saranno sintetizzati in apposito report e, in presenza di dati anomali, il responsabile del cantiere adotterà misure correttive per la riduzione del rischio e garantire così la sicurezza delle operazioni di costruzione.



**Figura 5.3 – Inclinometro per il rilievo in continuo della stabilità della massicciata.**

La figura seguente riporta uno schema preliminare della configurazione di cantiere per il controllo della condizione di stabilità della massicciata durante le operazioni di realizzazione del punto di sbarco dei cavi marini provenienti dal parco eolico offshore.



**Cantiere per la realizzazione del punto di sbarco dei cavi marini**

**LAYOUT PREVISTO PER IL SISTEMA DI CONTROLLO DELLA STABILITÀ DELLA MASSICCIATA**

- A. Target riflettenti applicati sui massi
- B. Inclinometri digitali
- C. Unità di controllo degli inclinometri (nel locale ufficio)
- D. Stazione di rilevazione topografica

**Figura 5.4 – Layout del sistema di monitoraggio della stabilità della massicciata.**

## 5.5. Capacità portante del frangiflutti

L'analisi della sezione trasversale della diga frangiflutti mostra la presenza di uno strato superficiale in



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

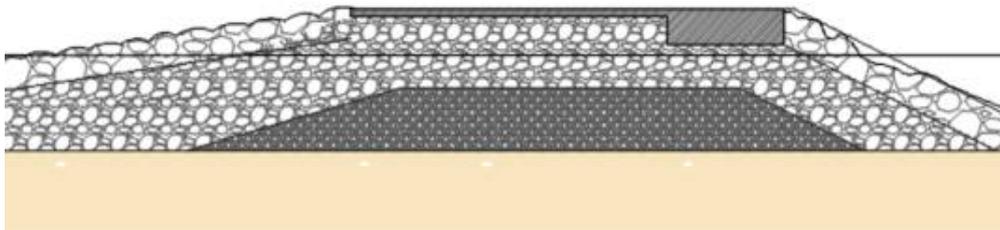
**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**38 di 85**

calcestruzzo appoggiato su un sottofondo roccioso di forma trapezoidale adatto alla distribuzione del carico.



**Figura 5.5 – Sezione trasversale della diga.**

I carichi determinati dai mezzi pesanti e dalle attrezzature di lavoro si riferiscono essenzialmente agli escavatori e agli autocarri per il trasporto del materiale di scavo. A tal proposito, per la valutazione dei carichi massimi agenti, si considerano:

- Escavatore da 50 ton con cingoli di 4.34 x 0.5 m;
- Camion a 4 assi con una capacità di 20 m<sup>3</sup>.

La pressione P1 determinata dall'escavatore può essere stimata come segue:

$$P1 = \frac{50}{4.34 \times 0.5 \times 2} = 11.52 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{eq. (9)}$$

La pressione P2 determinata dal camion vale invece:

$$P2 = \frac{45}{4 \times 0.6 \times 0.35 \times 2} = 26.78 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} = 2.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{eq. (10)}$$

Poiché la sezione della diga è completamente riempita e coperta da uno strato continuo di calcestruzzo con una forma che garantisce un'adeguata distribuzione dei carichi sulla fondazione, è presumibile che l'aumento dei carichi ai piedi della fondazione della diga sia trascurabile. Eventuali cedimenti sarebbero comunque monitorati attraverso il su proposto sistema di monitoraggio. Un valutazione più dettagliata sarà comunque effettuata preliminarmente all'avvio dei lavori.



Ichnusa wind power srl

iLStudio.  
Engineering & Consulting Studio

PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE  
PROGETTO DEFINITIVO

Rapporto sulle indagini a terra

Codice documento:  
C0421UR32INDTER00a

Data emissione:  
Marzo 2023

Pagina  
39 di 85

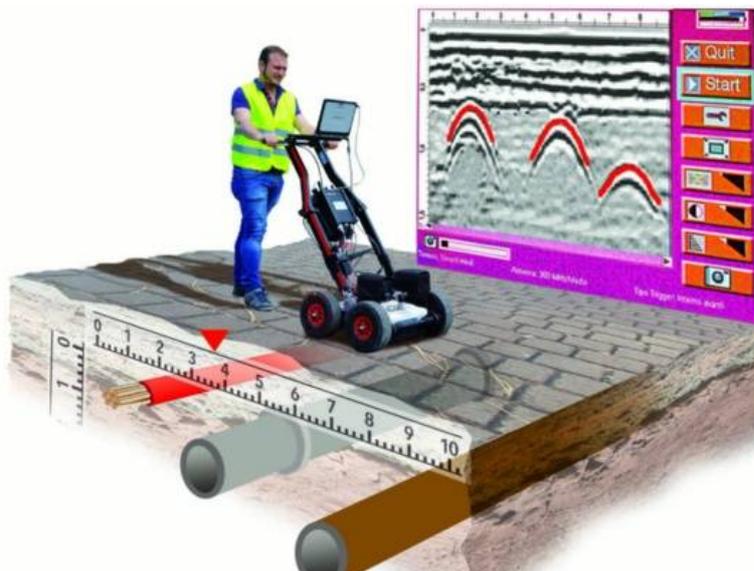
## 6. SEZIONE 4: INDAGINE GEORADAR LUNGO IL TRACCIATO DEGLI ELETTRODOTTI INTERRATI

La società COMPUCART è stata incaricata dal proponente per la predisposizione ed esecuzione di un piano di indagine geofisica mediante georadar finalizzato all'individuazione di sottoservizi, infrastrutture di terze parti o anomalie del terreno al di sotto delle sedi stradali interessate dal tracciato dell'elettrodotto terrestre a realizzarsi nell'ambito del progetto di costruzione del parco eolico offshore flottante nel Mare di Sardegna sud-occidentale. Tale elettrodotto terrestre, si svilupperà tra la sezione di sbarco a terra dei cavi marini provenienti dall'impianto di generazione offshore e la nuova stazione di trasformazione, misure e consegna "Sulcis". La stazione di consegna sorgerà in prossimità della esistente stazione RTN TERNA Sulcis e consentirà l'immissione in rete della potenza elettrica rinnovabile generata dal parco eolico per una capacità nominale di 504MW.

L'indagine ha comportato l'esecuzione di una campagna di prospezioni georadar longitudinali e trasversali per una lunghezza di circa 2700 metri.

### 6.1. La metodologia georadar

La metodologia di indagine geofisica GPR (Ground Penetrating Radar, o georadar) è una tecnica di indagine non distruttiva che consente di investigare la struttura e la composizione del sottosuolo attraverso l'analisi della riflessione di onde elettromagnetiche ad alta frequenza trasmesse nel terreno.



Il sistema GPR trasmette al terreno impulsi elettromagnetici a determinata frequenza tramite un trasduttore (antenna). L'impulso propaga verticalmente nel terreno e incontrando un'interfaccia (ovvero una superficie di contatto tra due materiali diversi) parte di esso viene riflessa nuovamente verso la superficie. L'antenna riceve gli impulsi riflessi e, in base al tempo di arrivo degli impulsi riflessi ed al valore stimato di alcune proprietà fisiche del substrato, il sistema di acquisizione elabora una stima delle profondità delle diverse interfacce rilevate. Le proprietà fisiche dei materiali che governano la propagazione delle onde elettromagnetiche sono la costante dielettrica e l'attenuazione.

I materiali caratterizzati da elevati valori di attenuazione limitano in modo determinante la profondità di indagine; per contro, sono ottimi bersagli in quanto riflettono buona parte della radiazione incidente.

La risoluzione e la profondità di indagine dipendono anche dalla frequenza delle onde elettromagnetiche utilizzate. In linea generale, al crescere della frequenza si ha un aumento della risoluzione ed una diminuzione



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

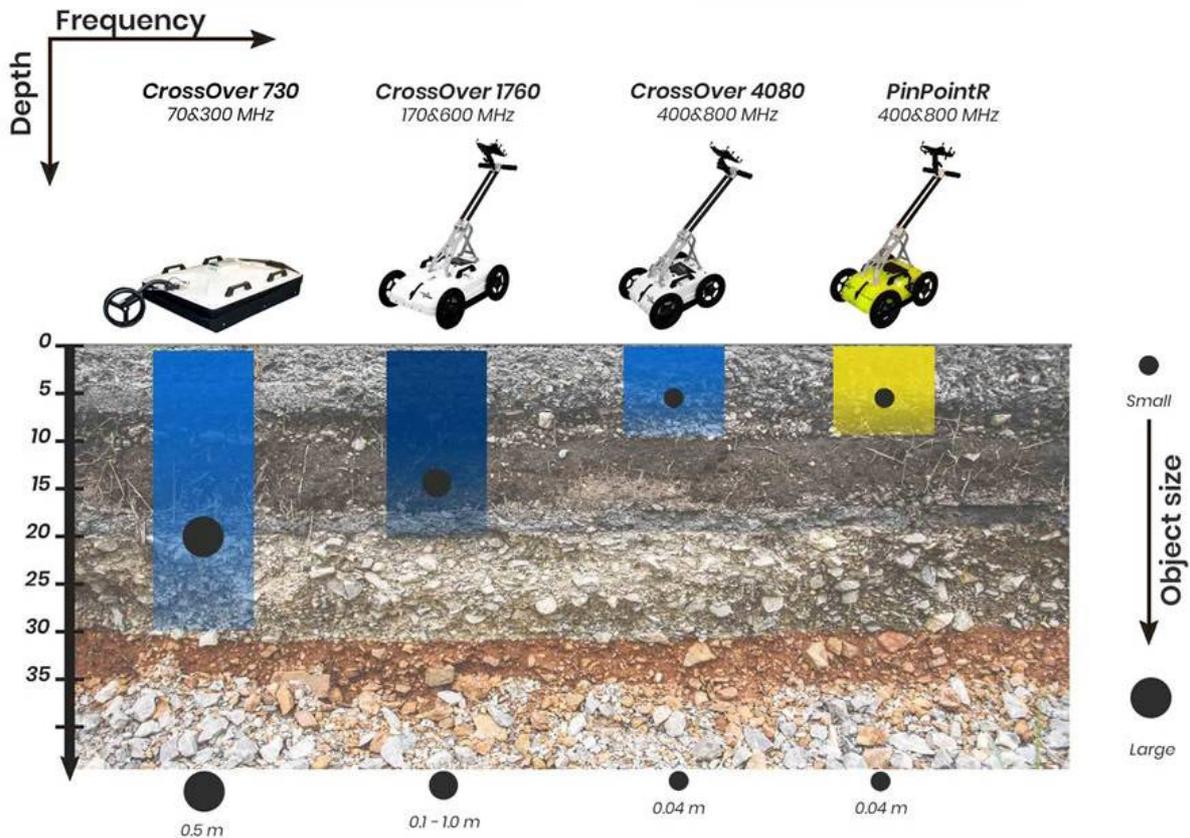
**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**40 di 85**

della profondità investigabile. Le frequenze normalmente utilizzate sono comprese tra 100Mhz e 2Ghz; nell'ambito della presente campagna si sono ritenuti adeguati valori compresi tra 200 e i 600 Mhz.



**Figura 6.1 – Influenza della frequenza del segnale radar sulla risoluzione e sulla profondità di analisi.**

Una sezione GPR si effettua ripetendo il ciclo di trasmissione e ricezione innumerevoli volte spostando progressivamente l'antenna lungo una direzione prefissata; il software di elaborazione provvede ad accostare opportunamente le tracce dei segnali ricevuti.

Il risultato base dell'analisi è costituito da sezioni verticali (radargrammi) che illustrano visivamente gli andamenti delle discontinuità presenti nella superficie indagata, permettendo così di individuare la presenza di materiali metallici, fondazioni in cemento, resti di edifici in muratura, tubazioni di qualsivoglia materiale (con annessa mappatura dei sottoservizi), cavi, cavità perdite di liquidi e disomogeneità di varia natura.

L'acquisizione di un profilo GPR può realizzarsi mediante due differenti tecniche operative: la metodologia cosiddetta *nel dominio del tempo* e quella *nel dominio dello spazio*. Esse differiscono per la modalità con cui si realizza la ripetizione del ciclo trasmissione / ricezione dell'impulso radar.

Nei profili in dominio del tempo gli impulsi radar sono emessi ad intervalli di tempo costanti (da 1 a 100ms) e l'operatore muove l'antenna sulla superficie da investigare, lungo una determinata direzione di analisi, mantenendo una velocità costante di modo che, in fase di interpretazione, sia possibile associare la posizione di un riflettore individuato sulla sezione GPR alla reale posizione sul terreno.

Nelle sezioni GPR nel dominio dello spazio l'intervallo tra gli impulsi è invece regolato in funzione della posizione. I georadar in grado di operare nel dominio dello spazio si avvalgono di un trasduttore di posizione mediante il quale il sistema tiene conto dello spazio percorso dall'antenna. L'emissione degli impulsi radar viene effettuata ogni qualvolta il sistema rileva che l'antenna (spinta dall'operatore) ha percorso una determinata lunghezza (da 10 mm a 1 m). In questo modo l'operatore può spostare l'antenna più o meno velocemente, fermarsi e ripartire senza che ciò si ripercuota sull'accuratezza della sezione. Le sezioni GPR nel



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**41 di 85**

dominio dello spazio offrono una precisione assai più elevata nella localizzazione dei riflettori in senso longitudinale.

## 6.2. Modalità di acquisizione

L'analisi per la mappatura dei sottoservizi è stata svolta con approccio integrato, impiegando sia la tecnica del rilievo diretto, sia il georadar, sia altre tecniche/tecnologie in uso atte ad ottimizzare l'informazione finale ottenuta con metodologie indirette d'indagine. Nello specifico l'indagine ha previsto una prima fase di raccolta delle informazioni e dei riferimenti cartografici e satellitari, atti ad inquadrare il sito in esame. È stata quindi eseguita una taratura strumentale reiterata in loco e la successiva acquisizione dei profili georadar per l'ottenimento dei radargrammi.

Le indagini dirette tramite georadar sono state svolte nel rispetto dei riferimenti normativi vigenti:

- ASTM D6432-99 (REV. 2005): Standard guide for using the Surface Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation”;
- CEI 306-8 (2004-07 – FASC. 7355) “Impiego del radar per introspezione del suolo per prospezioni preliminari ad opera di posa servizi ed infrastrutture sotterranee”;
- UNI/PdR 7:2014.

Nello specifico, la metodologia operativa ha previsto la realizzazione di:

- due profili longitudinali alla carreggiata stradale al fine di rilevare le interferenze generate dalla possibile presenza di sottoservizi passanti trasversalmente alla sede stradale;
- una serie di profili trasversali in numero sufficiente a determinare una maglia di indagine adeguata alla definizione dei sottoservizi con sviluppo longitudinale rispetto alla sede stradale o al percorso di indagine.



**Figura 6.2 – Operatore impegnato nell'acquisizione di un profilo georadar.**

Durante l'acquisizione dei profili sono state individuate e segnate sul terreno (con marker colorato) tutte le tubazioni e le interferenze presenti nel sottosuolo.



**Figura 6.3 – Indicazione dei sottoservizi esistenti mediante marker.**



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**42 di 85**

Le profondità rilevate, indicate in planimetria, si riferiscono all'estradosso superiore delle tubazioni. Le informazioni acquisite sono state digitalizzate su piattaforma CAD mediante creazione di apposito file ".dwg".



**Figura 6.4 – Output digitalizzato della campagna di indagine georadar.**  
Individuazione delle infrastrutture interrate di terze parti.

### 6.3. Strumentazione impiegata

Per l'esecuzione dell'indagine sono state utilizzate le seguenti strumentazioni e attrezzature.

<b>Strumentazione</b>	<b>RIS MF Hi-Mod 1</b>
Scansioni al secondo	Da 741 a 181
Intervallo di scansione	42 scansioni/sec.
Max velocità acquisizione	4 km/h
Tipologia di antenna	TR DUAL-F
Impronta antenna	38x43 cm
Profondità indagata indicativa	3.0/3.5 m
Frequenza antenna	200 e 600 Mhz
Canali	2
Polarizzazione antenna	HH





Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting Studio

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**43 di 85**

**Strumentazione** **Leica GS18 T GNSS RTK Rover**

Segnali tracciati	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
Numero di canali	555
Tempo di inizializzazione	~ 4s
Condizioni ambientali	Temp. da -40 a 65 °C
Protezione acqua, sabbia, polvere	IP66, IP68
Umidità	95%



**Strumentazione** **Bomboletta spray**

L'immagine ha il solo scopo di presentare l'attrezzatura.



## 6.4. Risultati

I dati ottenuti dalla campagna di indagine hanno consentito l'individuazione di tre tipologie di interferenze:

- Generica;
- Fogna bianca;
- Solette in c.a.

Per tutte le interferenze è stata quantificare la relativa quota al di sotto del piano stradale.

Per le interferenze generiche, la mancanza di evidenze superficiali quali, chiusini, pozzetti, ecc, non ha consentito l'identificazione precisa dell'anomalia. Diversamente per le anomalie "fogna bianca" e "solette in c.a", la presenza di strutture a quota stradale, ha permesso un loro preciso riconoscimento.

La mappatura dei sottoservizi, rilevati mediante campagna georadar, ha permesso l'ottimizzazione del percorso dell'elettrodotto interrato tra il punto di giunzione TJB, la stazione di consegna utente e la nuova sezione 380kV della esistente stazione RTN TERNA Sulcis.

Specifici approfondimenti saranno effettuati in fase esecutiva al fine di comprendere puntualmente la natura delle interferenze e determinare le specifiche di installazione.



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

**PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE**  
PROGETTO DEFINITIVO

**Rapporto sulle indagini a terra**

Codice documento:  
**C0421UR32INDTER00a**

Data emissione:  
**Marzo 2023**

Pagina  
**44 di 85**

**ALLEGATO 1**

---

Provincia del Sud Sardegna

# COMUNE DI PORTOSCUSO



*Studio di Fattibilità dei punti di approdo nella costa sud occidentale della Sardegna relativi al Progetto "impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica di tipo offshore galleggiante (Floating Offshore Wind Farm - FOWF)*

RELAZIONE GEOLOGICA

ALL. GL

Scala -

Il Committente

**CEBAT S.p.A.**

Via Angelo Banti n. 26/28

00138 ROMA

P.IVA n. 15324221009

Il Geologo

dott. Angelo Vigo

DATA: LUGLIO 2022

Rev.:

DOTT.GEOL. ANGELO VIGO

Via Brigata Sassari, 31 - 09045 Quartu S.E. (CA) Tel/Fax +39 070 680927 - Cell +39 3887448274 - P.I. 02940660927 - [geol.angelo.vigo@gmail.com](mailto:geol.angelo.vigo@gmail.com)

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrizione sintetica dello studio di fattibilità.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO A SCALA DI BACINO.....</b>	<b>6</b>
<b>4.1</b>	<b>Inquadramento geologico e geomorfologico dell'unità fisiografica di riferimento.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>CENNI AL CONTESTO MICROCLIMATICO.....</b>	<b>8</b>
<b>5.1</b>	<b>Acquisizione ed analisi dei dati locali.....</b>	<b>8</b>
<b>5.2</b>	<b>Analisi della distribuzione delle temperature medie diurne.....</b>	<b>10</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Elaborazione umbrotermica di Walter e Lieth.....</b>	<b>11</b>
<b>5.3</b>	<b>Cenni ai venti prevalenti.....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO A SCALA D'INTERVENTO.....</b>	<b>13</b>
<b>6.1</b>	<b>Assetto geomorfologico locale.....</b>	<b>13</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Pericolosità geologica ed idraulica: inquadramento nel PAI.....</b>	<b>13</b>
<b>6.2</b>	<b>Indagini geognostiche ed assetto litostratigrafico delle aree di intervento.....</b>	<b>15</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Indagini dirette e caratterizzazione litostratigrafica del sedime.....</b>	<b>15</b>
<b>6.3</b>	<b>Prove in situ.....</b>	<b>17</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Prove penetrometriche dinamiche discontinue.....</b>	<b>17</b>
<b>6.3.1.1</b>	<b>Analisi dei risultati.....</b>	<b>17</b>
<b>6.4</b>	<b>Prove di laboratorio.....</b>	<b>18</b>
<b>6.4.1</b>	<b>Determinazione della massa volumica naturale mediante pesata idrostatica (UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b).....</b>	<b>18</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Determinazione del peso specifico dei costituenti solidi (ASTM D854/ASTM C127).....</b>	<b>18</b>
<b>6.4.3</b>	<b>Analisi granulometrica per setacciatura.....</b>	<b>19</b>
<b>6.4.3.1</b>	<b>Coefficiente di uniformità <math>C_u</math>.....</b>	<b>20</b>
<b>6.4.4</b>	<b>Limiti di Atterberg (C.N.R. – UNI 10014).....</b>	<b>20</b>
<b>6.4.7</b>	<b>Prova di compressione monoassiale su carote in roccia (ASTM D7012-14 - Metodo C).....</b>	<b>23</b>
<b>6.4.8</b>	<b>Quadro riassuntivo dei parametri nominali dei campioni ottenuti da prove di laboratorio.....</b>	<b>23</b>
<b>6.5</b>	<b>Definizione dei parametri caratteristici di resistenza al taglio.....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE DEI LITOTIPI PREVALENTI.....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE, PRESCRIZIONI E SUGGERIMENTI PROGETTUALI.....</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>29</b>

## APPENDICE

INQUADRAMENTO CTR	Scala 1:10.000
CARTA GEOLOGICA	Scala 1:5.000
PLANIMETRIA DELLE INDAGINI	Scala 1:1.000
LOG STRATIGRAFICI	Scala 1:50
FOTOGRAFIE CASSETTE CATALOGATRICI	

## 1 PREMESSA

CEBAT S.p.A. ha conferito al sottoscritto, dott. geol. Angelo Vigo (n.604 dell'ordine dei Geologi della Sardegna), l'incarico per la redazione dello studio geologico a corredo dello Studio di Fattibilità dei punti di approdo nella costa sud occidentale della Sardegna relativi al Progetto "impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile eolica di tipo offshore galleggiante (Floating Offshore Wind Farm - FOWF)".

Il presente elaborato ed i relativi allegati sono stati redatti in conformità alla normativa vigente, a corredo del progetto summenzionato, del quale costituiscono parte integrante e non diversamente utilizzabile per scopi ed interventi differenti da quelli di destinazione. I risultati di indagini e prove, le elaborazioni dei dati, le verifiche di sicurezza e tutti i contenuti della presente relazione sono basati su indicazioni ed elementi progettuali forniti dalla Committenza, e riferibili solo ad essi.

Scopo del presente studio è quello di fornire il modello geologico dell'area d'intervento, con specifico approfondimento delle tematiche elencate di seguito:

Inquadramento geologico a scala di bacino, con identificazione delle formazioni prevalenti e descrizione dell'assetto strutturale, e a scala di intervento con la definizione dei caratteri dei litotipi in affioramento e di quelli profondi, mediante indagini *in situ*, e ai loro rapporti stratigrafici;

Inquadramento geomorfologico a scala di bacino e a scala di intervento, con individuazione delle forme prevalenti, del loro grado di evoluzione e delle possibili problematiche a carico del territorio;

Inquadramento idrogeologico con definizione delle unità idrogeologiche principali, del grado di trasmissività e della geometria e profondità degli acquiferi a scala di intervento;

Pericolosità geologica in rapporto alla pericolosità intrinseca del territorio ed agli effetti dell'inserimento dell'opera.

Lo studio è stato articolato come segue

1. reperimento delle fonti bibliografiche cui attingere per la definizione del contesto geologico-geomorfologico a scala locale e di bacino;
2. analisi cartografica e fotointerpretazione;
3. rilevamento in situ a scala locale, con verifica e mappatura delle litologie in affioramento e prime ipotesi sui rapporti crono-stratigrafici;
4. individuazione di criticità idrogeologiche ed idrauliche
5. direzione delle indagini in situ;
6. definizione dell'assetto litostratigrafico locale mediante correlazione delle litofacies prevalenti;
7. determinazione dei parametri nominali e caratteristici mediante compendio delle prove in situ e di laboratorio;
8. definizione delle unità litotecniche omogenee (Litotipi).

La campagna di indagini è stata concordata con la Committenza ed il Progettista nel rispetto della normativa vigente e delle esigenze del progetto.

Di seguito si riporta il piano di indagine eseguito:

- realizzazione di n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;*
- esecuzione di n.7 prove penetrometriche dinamiche (SPT) in foro di sondaggio;*
- campionamento disturbato dei litotipi prevalenti;*
- conferimento presso laboratorio geotecnico certificato per l'esecuzione di prove geotecniche.*

Gli elaborati relativi alle indagini sono allegati in appendice.

## 2    NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo scrivente ha redatto il presente studio ai sensi alle seguenti disposizioni di legge:

DM 17 gennaio 2018, pubblicato in *Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale* contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. *Gazzetta Ufficiale 11/2/2019, n. 35 - Suppl. ord. n. 5*;

D.M. 11/03/1988 (G.U. 1-6-1988, n. 127 suppl.) - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", e relativa Circolare di applicazione LL.PP. 24-09-1988 n. 30483 (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale).

Delib.G.R. 30 marzo 2004, n. 15/31, pubblicata nel B.U. Sardegna 21 agosto 2004, n. 23 Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (art. 1).

Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE.

D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 – Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni.

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area oggetto di intervento (Fig.1) comprende il molo e il limite meridionale del piazzale parcheggi prospiciente la spiaggia, con una quota variabile da 2,00 a 3,10 metri.



Figura 1. Inquadramento dell'area in studio su base Ortofotografica 2016 (Ortofoto 2016 - © Consorzio TeA 2016 – tutti i diritti riservati).

Nella cartografia tecnica regionale (C.T.R.) essa ricade nella tavola 555130 – Portofino mentre nell'inquadramento geologico si fa riferimento al foglio 564 – Carbonia pubblicato dall'ISPRA nell'ambito del progetto CARG. Le quote assolute sono riferite al DSM RAS con cella 1 metro, ricavato dal volo LIDAR 2008, ed in particolare è stata considerata la sezione 564010\_04, mentre i sondaggi sono stati quotati sulla base del rilievo topografico con drone.

#### 3.1 Descrizione sintetica dello studio di fattibilità

Lo studio di fattibilità è finalizzato alla definizione di 2 punti di approdo dell'elettrodotto proveniente dal parco eolico offshore, uno situato sul molo ed uno sulla spiaggia antistante il parcheggio del porto. In entrambi i casi la linea sarà posata mediante TOC.



Figura 2. Schema sintetico dell'ubicazione dei punti d'approdo considerati nell'ambito dello studio di fattibilità.

#### 4 ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO A SCALA DI BACINO

Dal punto di vista geologico, il territorio di Portoscuso ricade all'estremità occidentale della regione del Sulcis-Iglesiente, che si caratterizza per un esteso affioramento di prodotti vulcanici terziari (Fig.3): le formazioni prevalenti sono costituite dai prodotti effusivi del *Ciclo Calcalcalino Oligo-Miocenico*. Esso è caratterizzato da colate laviche e ignimbriti peralcaline di composizione riolitico comenditica, appartenenti al complesso vulcanico della Sardegna sud-occidentale (Sulcis e isole di S. Antioco e San Pietro) qui rappresentato dalla "Serie ignimbrítica" Auct (Carta Litologica in allegato), che si sovrappone alla *Successione Andesitica Auct.*, affiorante soprattutto nel settore centro-meridionale, per uno spessore complessivo stimato in circa 500 metri (ASSORGIA et alii, 1990a; 1990b; MORRA et alii, 1994).

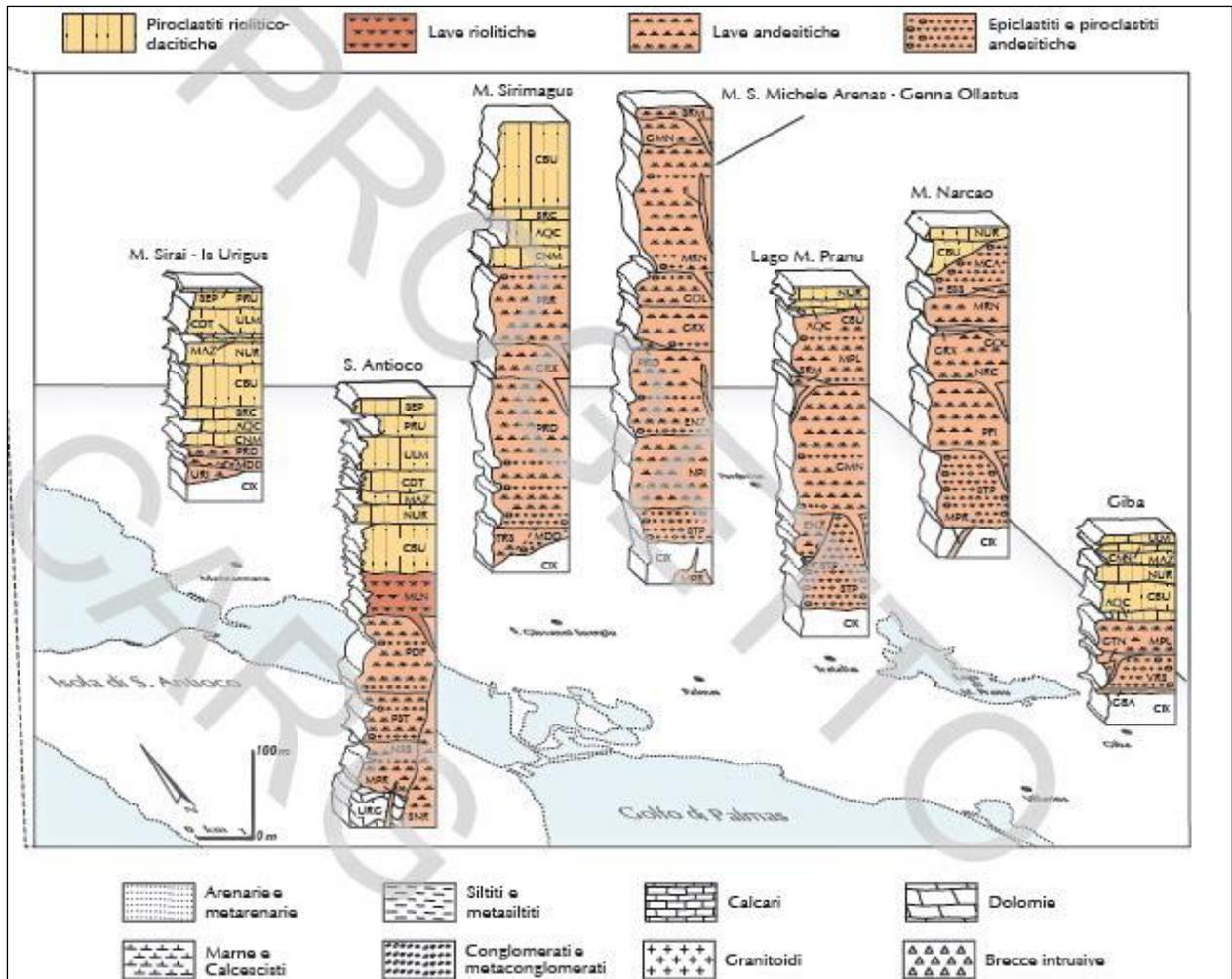


Figura 3. Colonna stratigrafica del foglio 564 - Carbonia (CARG - Note illustrative, modificato).

Sull'Isola di Sant'Antioco la Successione Andesitica, affiorante nel settore centro-meridionale, è rappresentata dal Gruppo di S. Antioco che, assieme al gruppo di Serbariu di Sopra (il più antico) e di Carbonia racchiudono l'insieme delle 27 formazioni che ne costituiscono l'intera successione. Il gruppo di Sant'Antioco, in particolare, poggia in discordanza su una superficie di erosione nei calcari mesozoici.

I depositi di flusso piroclastico, in particolare, si possono suddividere (GARBARINO et alii, 1990) in tre formazioni principali, procedendo dalle più antiche alle più recenti:

1. *vulcanismo calcalcalino antico*, costituito da formazioni principalmente a composizione riolitica e subordinatamente a composizione quarzo-latitica, in facies lavica ed ignimbrítica;
2. *vulcanismo comenditico*, costituito da formazioni riolitiche ad affinità peralcalina di composizione comenditica, in facies ignimbrítica, lavica e piroclastica;
3. *vulcanismo calcalcalino recente*, costituito da formazioni riolitiche in facies lavica ed ignimbrítica.

Tra le più antiche unità affioranti nel settore settentrionale dell'isola, lungo direttrici NS, si distinguono le *Rioliti di Nuraxi* (Lipariti  $\tau_4$  Auct.): caratterizzate da marcata foliazione, presentano un livello vitrofirico alla base ed uno spessore che mediamente varia da circa 20 metri fino ad un centinaio, con presenza nella parte alta di orizzonti epiclastici e paleosuoli.

Stratigraficamente sovrapposto vi è il Complesso Comenditico, in facies di in duomi e colate laviche nella parte basale che affiora esclusivamente nel settore sud-orientale, in piccoli lembi, discontinui, ma risulta ben visibile nell'area Settentrionale dell'isola di San Pietro.

Seguono le Unità del Gruppo di Cala Lunga (Fig.4), che poggiano in discordanza angolare sul gruppo di Monte Sirai, con le *Rioliti di Serra di Paringianu* (Lipariti "τ" Auct.), costituite da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a composizione riolitica, di colore da grigio a bruno rossastro, densamente saldati, con tessitura da eutassitica a paratassitica e vitrofiro basale, e le *Rioliti di Paringianu* (Lipariti "τ<sub>1</sub>" Auct.) con spessore fino a oltre 40 metri, di colore variabile da grigio giallastro a rosa arancio, da non saldati a densamente saldati, con tessitura eutassitica. Alla base, si rinvengono localmente depositi epiclastici prevalentemente arenaceo-conglomeratici e paleosuoli a tetto.

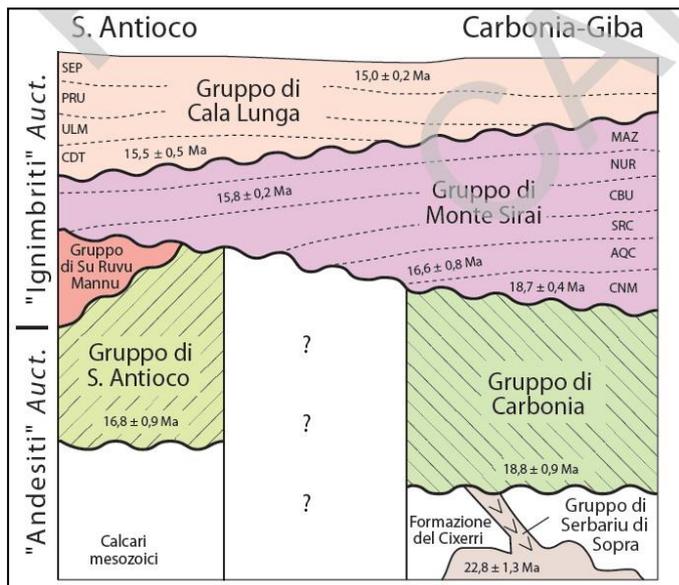


Figura 4. Schema non in scala dei rapporti stratigrafici tra i gruppi in cui è suddiviso il complesso vulcanico terziario del Foglio 564 Carbonia (da CARG, Note Illustrative, modificato).

Il reticolo idrografico mostra uno sviluppo modesto, con aste brevi ed un pattern prevalentemente sub-dendritico, talora con tratti sub-paralleli o angolari per controllo tettonico o per marcata erosione differenziale dei litotipi vulcanoclastici. Le aste minori scorrono spesso in incisioni dal marcato profilo a V, con pendenze elevate e tracciati spiccatamente rettilinei.

Il limite di retrospiaggia giace prevalentemente nei depositi pleistocenici del *Subsistema di Portosucosu*, costituito di sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali: tale formazione, in particolare, affiora estesamente nel pianoro su cui è ubicato il sedime in studio. Diffuse su tutto il territorio, e localizzate principalmente alle pendici dei piccoli rilievi modellati sulle vulcaniti, si rinvengono coltri eluvio-colluviali oloceniche costituite di detriti spesso grossolani, in matrice talora argillosa, coerente, di norma di potenze modeste.

L'assetto tettonico si caratterizza per la prevalenza di lineazioni con asse NS: nell'area di Maladroxia si osservano con strutture plicative che deformano i sedimenti della successione cretacea in un'ampia anticlinale, delimitata da faglie oligo-mioceniche dirette, che separano i bacini sedimentari entro cui si raccolgono i prodotti vulcanici ed i sedimenti marini miocenici.

#### 4.1 Inquadramento geologico e geomorfologico dell'unità fisiografica di riferimento

Nella definizione dei caratteri generali dell'area vasta, in mancanza di un sub-bacino significativo e sufficientemente definito, è stata considerata l'unità fisiografica che si estende dalle pendici della dorsale collinare di *Concali De Su Graboni* (73 m s.l.m.) sino al porto.

Detta unità si caratterizza per il profilo tendenzialmente a gradinata nella parte sommitale dove, con maggiore frequenza, affiorano in tipiche bancate sub-orizzontali le ignimbriti. L'andamento del declivio assume un profilo progressivamente più raccordato e continuo all'approssimarsi della pineta, in corrispondenza della quale i depositi sabbiosi eolici tendono ad addolcire i salti di quota.

Questi ultimi sono suddivisibili in depositi eolici olocenici e pleistocenici: i primi sono costituiti in genere da sabbie sciolte ben classate disposte in estesi apparati dunari che ormai appaiono ampiamente deteriorati, e talora compromessi, da un'elevata pressione antropica. I secondi sono anch'essi ascrivibili a prevalenti fenomeni di deposizione eolica, costituiti da sabbie fini e medie compatte ed addensate, talora cementate in bancate litoidi, alternate a livelli grossolani, ghiaiosi, in facies alluvionale.

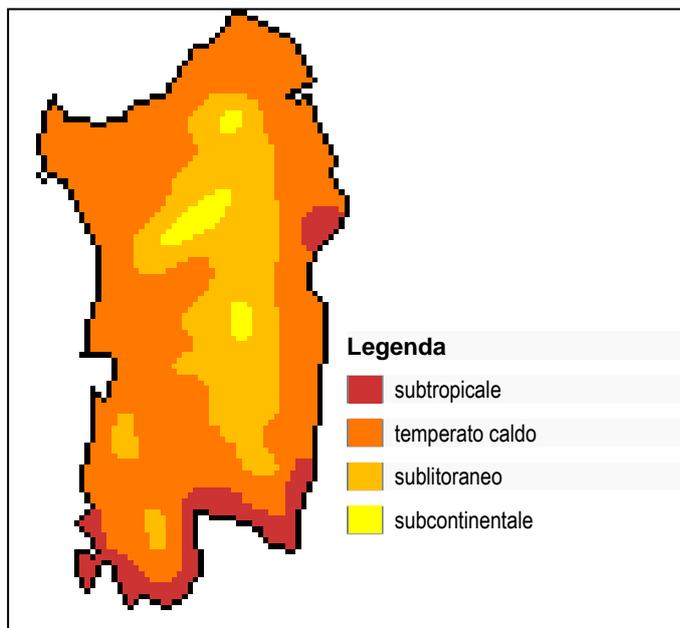
Le dinamiche a scala di bacino mostrano una sostanziale prevalenza di forme deposizionali a carattere eolico, sebbene con i limiti descritti in precedenza, mentre si ravvisano frequenti facies di alterazione delle litologie ignimbriche con formazione di alveoli e tafoni. La fisiografia si caratterizza per una generale stabilità attribuibile sia alle modeste pendenze del versante sia alle buone proprietà della roccia in affioramento, scarsamente soggetta ad inneschi di crolli di entità preoccupante.

## 5 CENNI AL CONTESTO MICROCLIMATICO

La posizione geografica, il carattere di insularità e l'orografia della Sardegna costituiscono i principali fattori che ne condizionano il clima (M. Pinna, 1954): occupando il centro del bacino occidentale del mediterraneo, essa è esposta al dominio dei venti occidentali e delle masse d'aria calda tropicale.

Nella classificazione di Köppen (1936) il clima regionale ricade nel novero di quelli temperati, corrispondente al tipo C – *Climi temperati delle medie latitudini* caratterizzato dal mese più freddo con temperature medie inferiori a 18°C ma superiore a -3°C e da almeno un mese avente temperatura media pari ad almeno 10°C. Si tratta quindi di un clima che esprime sia una stagione estiva che una invernale, ed è genericamente definito come clima Mediterraneo.

In ambito regionale la quasi totalità del territorio, ad eccezione delle zone interne e montuose, ricade nel sottotipo Csa della



classificazione di Köppen, che si caratterizza per una temperatura media, nel mese più caldo, superiore ai 22°C e precipitazioni, nel mese più secco del semestre arido, inferiore a un terzo di quello del mese invernale più piovoso, e comunque non superiore a 30 mm.

Tale classificazione è stata ulteriormente dettagliata da Pinna nella Carta Climatica d'Italia (Fig.5) dove sono distinti quattro sottotipi del tipo C: *subtropicale* lungo tutta la costa meridionale e per un breve tratto della costa orientale (Siniscola-Orosei); *temperato caldo* nelle restanti zone costiere, in particolare quelle occidentali, e per tutto il Campidano e Logudoro-Marghine; le aree interne e montuose sono interessate prevalentemente dai climi *sublitoraneo* e, limitatamente ai rilievi più pronunciati, *subcontinentale*. Il comune di Portoscuso ricade nel primo sottotipo.

La peculiare differenziazione delle stagioni deriva principalmente dalla migrazione del limite settentrionale delle celle di alta pressione che insistono nelle fasce subtropicali (Peixoto, 1992). Lo spostamento dell'alta pressione (*Anticiclone delle Azzorre*) raggiunge l'arco alpino nei mesi estivi, determinando un regime stabile talvolta tipico di climi subtropicali aridi, con temperature

Figura 5. Climi temperati (tipo C di Köppen) caratteristici della Sardegna nella classificazione di Pinna (da Carta Climatica d'Italia - Modificata).

elevate e precipitazioni scarse o assenti lungo le coste.

A partire dall'autunno l'alta pressione rimane confinata al margine Nordafricano, favorendo la circolazione di aria umida atlantica che, scontrandosi con le masse d'aria calda ancora stazionanti sul mediterraneo, dà vita alla *ciclogenesi*<sup>1</sup> che interessa la Sardegna (Pinna, 1954) generando le perturbazioni cui si deve il più elevato apporto in termini di precipitazioni, seguito dal meno abbondante massimo primaverile.

### 5.1 Acquisizione ed analisi dei dati locali

La base dati di riferimento è stata ricavata dal nuovo Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna (SISS) pubblicato nel 1998 per conto della R.A.S. dall'Ente Autonomo del Flumendosa (oggi ENAS), nel quale si considera un modulo di 69 anni per le temperature (1924-1992) e di 71 anni per le precipitazioni. Dette misure sono state completate con i dati resi disponibili dal *Servizio tutela e gestione delle risorse idriche* della RAS sul sito istituzionale: sino al 2005 nel caso delle precipitazioni e sino al 2002 nel caso delle temperature, così da poter disporre di due moduli sufficientemente rappresentativi, con durata di 84 anni per le precipitazioni e 78 anni per le temperature.

Nell'acquisizione dei parametri meteorologici si è fatto ricorso a tre distinte stazioni di rilevamento: una per i dati pluviometrici e due per quelli termometrici. I primi sono riferiti alla stazione di Sant'Anna Arresi (58 m s.l.m.) mentre i secondi a quella di Palmas (12 m s.l.m.) per i dati sino al 1992 e a quella di San Giovanni Suergiu (12 m s.l.m.), relativamente vicina ed a un'identica quota,

<sup>1</sup> La regione mediterranea presenta la più alta frequenza e concentrazione di ciclogenesi del mondo (Landsberg, 1988).

per quelli successivi.

Di seguito (Tabella 1) si riportano le medie delle precipitazioni e delle temperature medie diurne mensili rispetto al modulo considerato:

Tabella 1. Medie termo-pluviometriche dell'area di intervento.

MESE	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
MEDIA PLUV. (mm)	82,7	68,9	56,2	45,2	28,8	10,4	1,9	7,7	32,1	69,8	93,6	101,1
MEDIA TEMP. (°C)	11,5	11,5	12,8	14,6	17,9	21,6	24,4	24,9	23,0	19,5	15,5	12,6

Il regime delle precipitazioni evidenzia una media annuale di circa 531 mm, molto inferiore alla media regionale di 775 mm, ed una distribuzione in accordo con un clima sub-tropicale semi-arido che caratterizza le coste sud-occidentali della Sardegna (Pinna, 1954): le piogge si concentrano soprattutto nella stagione autunnale con eventi più rari nei primi mesi dell'inverno che tendono a decrescere rapidamente con l'approssimarsi della primavera e a scomparire quasi completamente in estate.

Tale andamento si evince piuttosto chiaramente dalla media delle precipitazioni mensili (tabella e grafico sottostanti) in cui il minimo si colloca in luglio, con una media mensile di soli 1,3 mm di pioggia. Il massimo assoluto è ubicato nel mese di dicembre con poco più di 85 mm di pioggia che superano di poco i circa 78 mm del mese di novembre e i 69 mm del mese di ottobre, per un totale di circa 233 mm nel solo periodo autunnale, più di un terzo delle precipitazioni annuali.

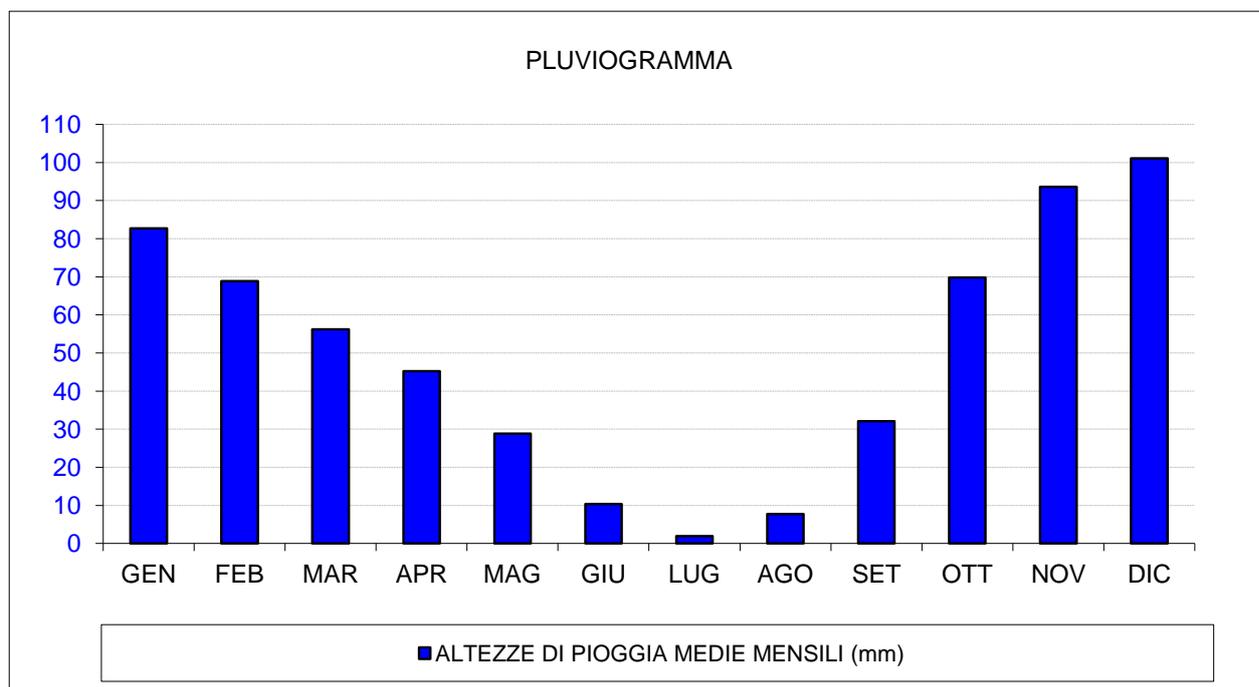


Figura 6. Diagramma delle pluviometrie medie mensili ed annue, su un modulo di 86 anni.

Per quanto attiene la durata e l'intensità delle piogge, esse sono rappresentate a scala regionale nello studio "Il clima in Sardegna" predisposto a cura di P.A. Chessa e A. Delitala per il Dipartimento Specialistico Regionale Idrometeorologico dell'ARPA Sardegna (<http://www.sar.sardegna.it>).

Tale studio è stato realizzato su dati circoscritti al periodo 1951-1980 per temperature e precipitazioni, e al 1951-1993 per i restanti parametri. Nella fattispecie, è di notevole interesse la distribuzione del numero di giorni piovosi sul territorio regionale (Fig.9), che evidenzia un massimo di oltre 80 giorni in corrispondenza dell'altipiano di Campeda, e dei massicci del Gennargentu e del Limbara.

Il comune di Portoscuso ricade tra quelle a minore piovosità, con valori medi annui compresi tra 50 e 60 giorni.

In termini di intensità giornaliere, espresse in numero medio di giorni per altezza di pioggia, è significativa la carta regionale del numero di giorni con valore di precipitazioni superiore a 50 mm (Fig.8), nella quale si evidenzia un netto gradiente W-E con oltre 3 giorni piovosi in corrispondenza dell'Ogliastra: i rovesci violenti ed intensi sono quindi nettamente localizzati lungo il settore orientale dell'isola, benché il numero dei giorni piovosi sia tra i più bassi, contrariamente a quanto accade nel settore in studio dove al valore non elevato dei giorni piovosi corrisponde comunque una distribuzione più uniforme delle precipitazioni.

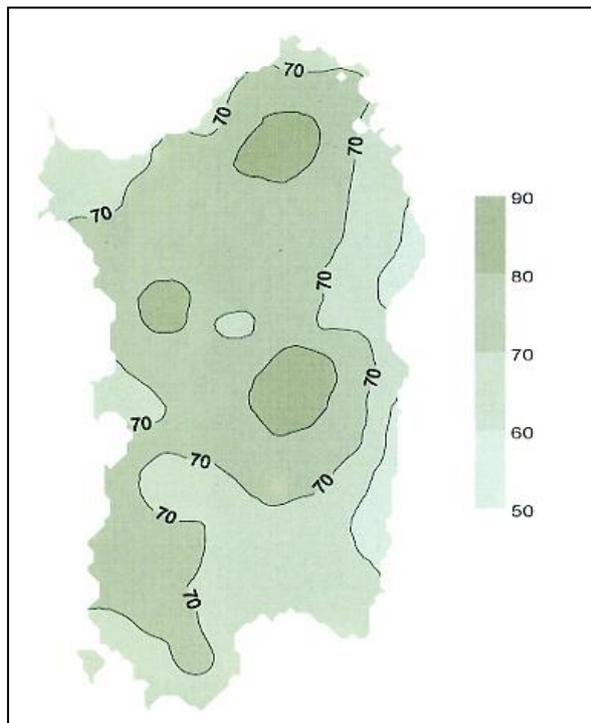


Figura 7. Distribuzione del numero medio annuo dei giorni piovosi.

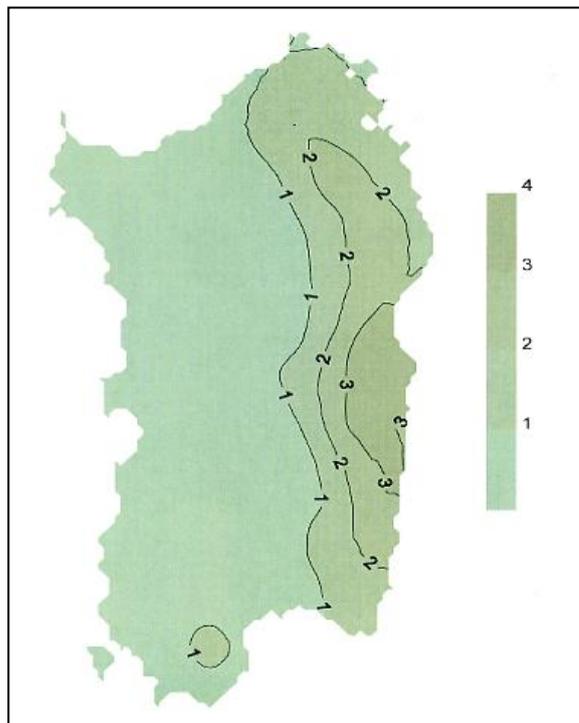


Figura 8. Distribuzione del numero medio annuo dei giorni con altezze di pioggia superiori a 50 mm.

## 5.2 Analisi della distribuzione delle temperature medie diurne

La temperatura è un parametro geograficamente più stabile e meno soggetto a variazioni locali rispetto alle precipitazioni, per cui è oggettivamente arduo, e talora artificioso, stabilire correlazioni a scala così ridotta. Con i dati riferiti alla Tabella 2 è stato elaborato il grafico (Fig.9) della distribuzione delle medie diurne mensili.

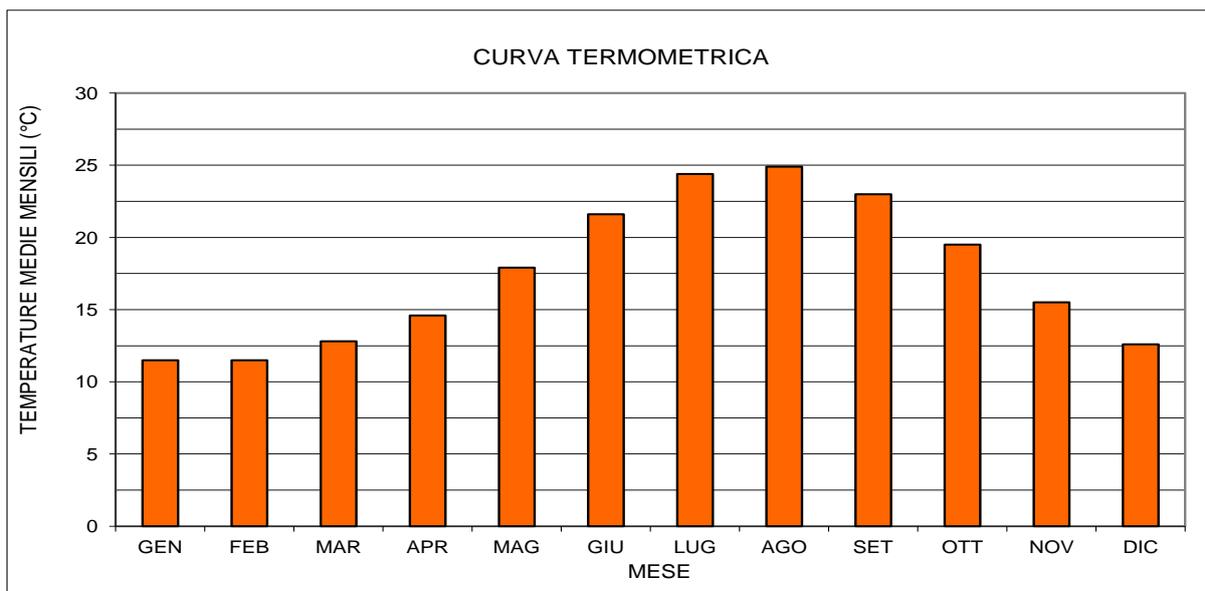


Figura 9. Trend annuo delle temperature medie mensili.

L'andamento delle temperature manifesta, com'era lecito attendersi, un trend esattamente opposto, con valori più bassi nei mesi invernali, il cui minimo si registra a gennaio con una media diurna di 10,0 °C, e temperature più elevate nel periodo estivo con il massimo diurno assoluto ad agosto (24,7 °C).

La curva delle temperature mette in luce una ridotta escursione termica stagionale derivante, probabilmente, dalla relativa prossimità della costa della stazione termometrica.

### 5.2.1 Elaborazione umbrotermica di Walter e Lieth

Nella definizione del regime microclimatico è di notevole utilità la correlazione tra la curva termometrica e quella pluviometrica, ottenuta mediante la costruzione del diagramma di Walter e Lieth (Fig.10) sulle medie dell'intero comune.

Il diagramma confronta in modo diretto l'andamento stagionale dei due parametri, posti convenzionalmente su scale fisse, con quella delle precipitazioni doppia rispetto a quella delle temperature, evidenziandone il trend stagionale e le reciproche interazioni nel corso dell'anno.

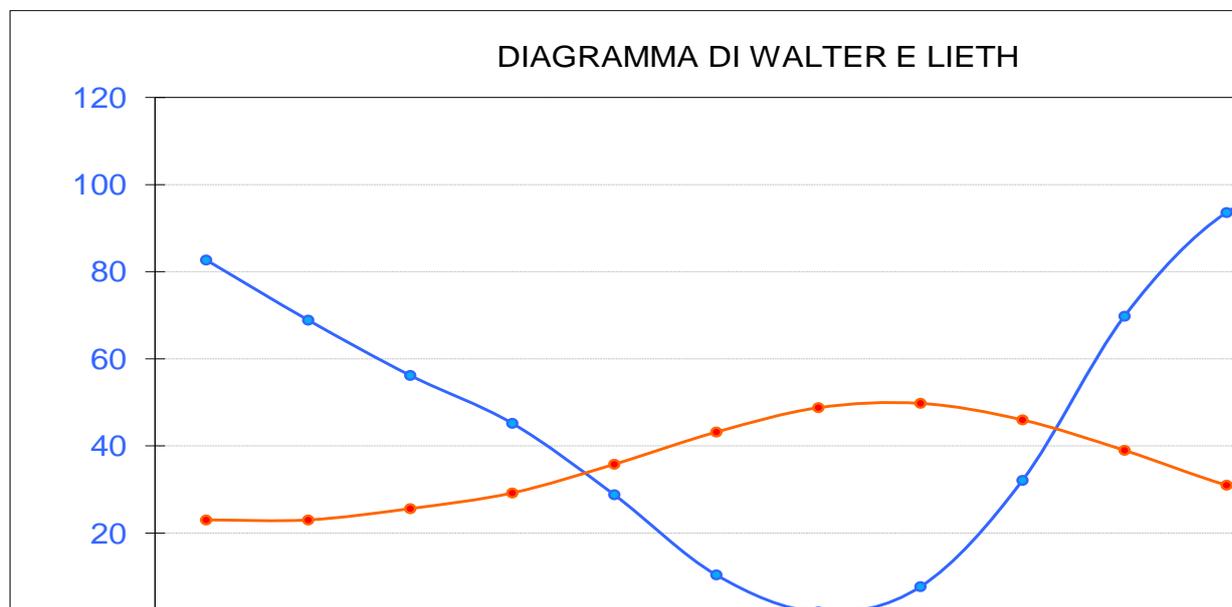


Figura 10. Diagramma umbrotermico di Walter-Lieth riferito alle medie dell'area di intervento.

L'area compresa tra le due curve corrisponde alla durata del periodo di aridità che, nella fattispecie, si colloca tra maggio e settembre, in linea con quanto si registra comunemente nelle zone costiere della Sardegna.

La media piuttosto bassa delle precipitazioni annuali, però, si evidenzia con un incremento dell'area di aridità, denunciando sostanzialmente un microclima decisamente poco piovoso e soggetto a periodi siccitosi. Nel periodo estivo si avrà, pertanto, una prevalenza dell'evapotraspirazione sul bilancio idrologico, mentre il periodo autunno-invernale si caratterizza per precipitazioni raramente intense, ma talora concentrate in rovesci che possono avere carattere eccezionale, innescando fenomeni di ruscellamento diffuso e concentrato, ed il rapido ingrossarsi dei corsi d'acqua minori entro le strette vallecole che incidono il massiccio ignimbritico.

### 5.3 Cenni ai venti prevalenti

La ventosità è un parametro difficilmente valutabile e correlabile a scala locale sia per la carenza di stazioni di rilevamento (con distribuzione disomogenea), sia per il numero di variabili che incidono sul movimento delle masse d'aria. Nella distribuzione regionale dei venti di superficie si fa riferimento allo studio del Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna (S.A.R. Sardegna, Nota Tecnica n.2).

La base di dati comprende le rilevazioni compiute sul vento di massima intensità nell'arco delle 24 ore, presso dieci stazioni regionali, nel periodo compreso tra il 1951 ed il 1993. La classificazione dei venti è stata ottenuta suddividendo le direzioni in ottanti e valutandone, indipendentemente dalla velocità, la distribuzione percentuale rispetto al totale dei dati disponibili (Tabella 2).

Tabella 2. Distribuzione delle direzioni dei venti principali.

Stazione	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Direzione variabile o calma di vento
Capo Frasca (Arbus)	10,41	3,97	9,62	15,94	2,00	9,72	19,83	28,26	0,26
Decimomannu	10,94	2,10	2,78	23,17	14,71	3,62	9,10	32,97	0,62
Elmas 1	4,68	0,84	4,35	17,68	20,85	2,36	11,98	27,11	0,15
Spalmatoreddu (Carloforte)	15,02	3,83	6,42	10,62	8,98	6,68	10,31	38,14	0,00
Fonni	6,79	6,60	7,94	6,58	5,40	16,00	33,60	16,41	0,67
Capo Bellavista (Arbatax)	8,34	15,07	10,94	7,98	15,45	5,23	15,70	21,19	0,10
Perdasdefogu	2,05	6,28	22,53	11,63	1,20	10,13	39,10	6,44	0,63
Guardiavecchia (La Maddalena)	4,41	10,53	15,95	5,51	0,72	6,64	51,07	4,99	0,19
Asinara	3,07	3,02	22,68	4,29	3,77	9,16	40,84	13,03	0,13
Alghero	6,85	11,57	4,24	0,73	16,65	12,05	27,76	19,97	0,19

La tabella evidenzia una netta prevalenza a scala regionale di venti nord-occidentali (Maestrale e Ponente), soprattutto quelli a forte intensità caratterizzati da velocità superiori a 13,5 m/s, sebbene vi sia una notevole dispersione dei dati, come appare chiaramente dall'istogramma in Fig.12.

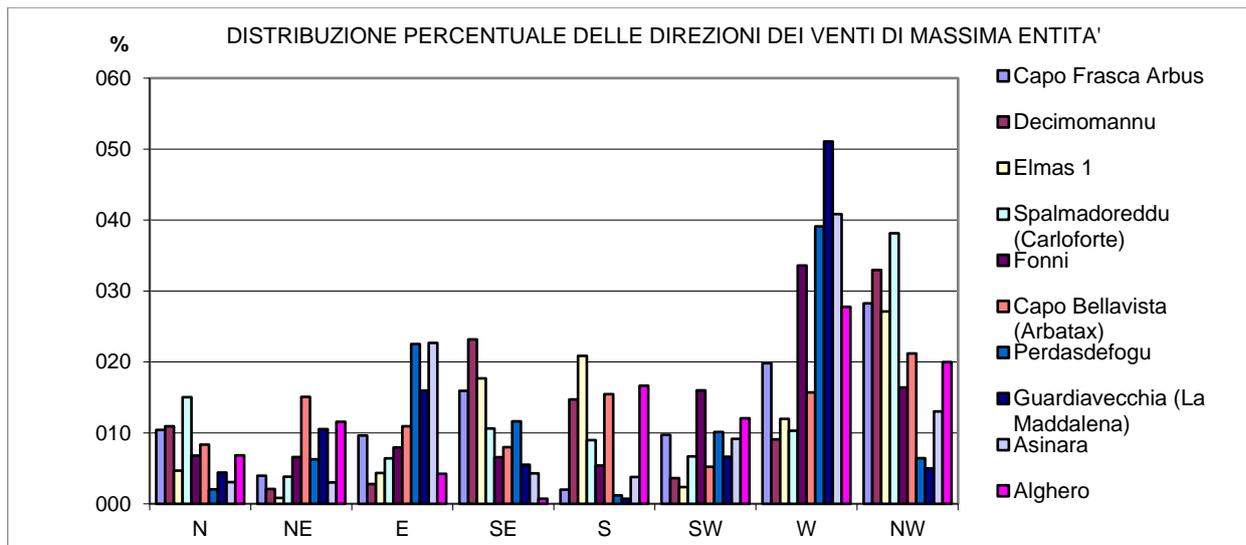


Figura 11. Iistogramma della distribuzione dei venti (Da Il Clima in Sardegna di P.A. Chessa e A. Delitala, modificato)

Se si analizza la sola stazione di Spalmadoreddu, quella più prossima al Comune di Portoscuso, si osserva un certo allineamento con la media regionale, caratterizzata dalla netta prevalenza del quadrante NW, Maestrale, Tramontana e Ponente (Fig.12).

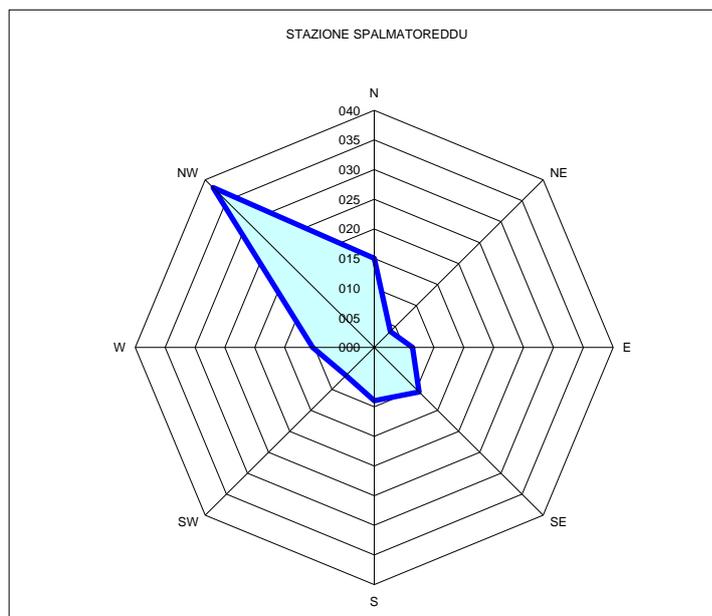


Figura 12. Diagramma di distribuzione percentuale dei venti oltre i 13,5 m/s nella stazione di Spalmadoreddu.

con la media regionale, caratterizzata dalla netta prevalenza del quadrante NW, Maestrale, Tramontana e Ponente (Fig.12).

Nelle fasce di intensità moderata ( $1,5 < v < 8,0$  m/s) la distribuzione è condizionata da fattori locali, quali brezze, orografia e disposizione della stazione di rilevamento.

La distribuzione delle direzioni ha inoltre evidenziato una scarsa correlazione con le stagioni, dimostrandosi costante durante l'intero arco dell'anno, mentre la velocità aumenta nella stagione invernale.

## 6 DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO A SCALA D'INTERVENTO

Nella definizione dei principali caratteri geologici e geomorfologici dell'area (Carta Geologica in Appendice), lo scrivente si è avvalso del rilevamento di superficie e dei log stratigrafici ottenuti dalle indagini geognostiche.

### 6.1 **Assetto geomorfologico locale**

La banchina del molo di ponente è ubicata sul fondale marino ad una profondità media di circa 5 metri, sulla sequenza di sedimenti sabbioso-ghiaiosi che costituisce la spiaggia sommersa. Rispetto all'originario assetto naturale, l'area portuale è stata ampiamente dragata per consentire il transito delle navi, sino a raggiungere profondità superiori ai 10 metri.

Sorta a partire dai primi anni '50, si raccorda alla costa su un lembo di spiaggia artificiale realizzata con l'abbancamento di sabbie prelevate, presumibilmente, da cantieri e dragaggi su aree contermini: come si illustrerà meglio in seguito, parte di quelle sabbie si ritrova anche settore dei parcheggi, in corrispondenza del Sondaggio 1.

La morfologia attuale di questa parte del territorio costiero risulta quindi in gran parte obliterata e compromessa dalle infrastrutture portuali ed industriali, tuttavia non sono leggibili riflessi diretti sull'area in studio che permane "congelata" nel suo stato attuale dalle suddette infrastrutture, in particolare scogliera e molo, cui è demandato il contrasto all'energica azione erosiva del mare. La spiaggia peraltro, sembra essersi

#### 6.1.1 *Pericolosità geologica ed idraulica: inquadramento nel PAI*

Data l'ubicazione e la fisiografia dell'area in studio, non si registrano criticità di natura gravitativa, come confermato dal PAI attualmente vigente, che la inserisce tra le aree a pericolosità assente, così come accade anche nell'ambito idraulico (Fig.13). In quest'ultimo caso, tuttavia, sono state definite le aree inondabili relative al Riu Cannoni sino alla foce intubata, ubicata sul vertice nord-occidentale dell'area portuale.

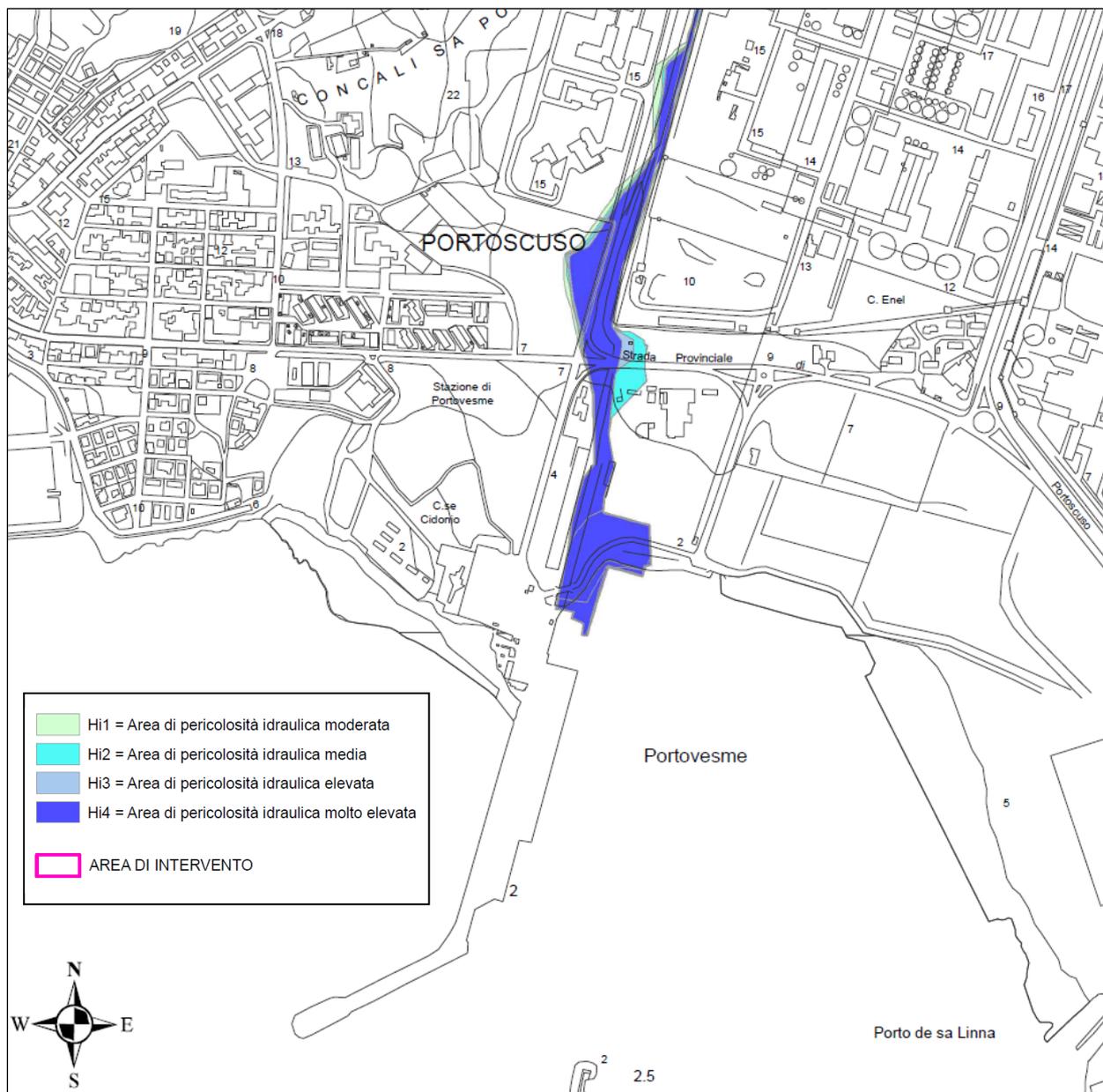


Figura 13. Inquadramento nel PAI Idraulico vigente.

## 6.2 Indagini geognostiche ed assetto litostratigrafico delle aree di intervento

### 6.2.1 Indagini dirette e caratterizzazione litostratigrafica del sedime

Sull'area sono state realizzate due verticali di indagine mediante sondaggi a carotaggio continuo, spinte sino alla profondità di 15,00 metri dal p.c.; in avanzamento entro il foro di sondaggio sono state realizzate 7 prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT (Standard Penetration Test) e sono stati prelevati 4 campioni disturbati (Q1). L'ubicazione delle terebrazioni è riportata nella *Planimetria delle indagini* allegata in Appendice. Di seguito il quadro a consuntivo.

Tabella 3. Schema a consuntivo delle indagini geognostiche dirette.

SONDAGGIO	PROFONDITA' DA P.C. (m)	QUOTA P.R. (m s.l.m.)	N. PROVE SPT	CAMPIONI
S1	15.00	2.00	5	S1C1 (7.00 – 8.00) S1C2 (13.00-14.30) S1C3 (14.30-15.00)
S2	15.00	3.10	2	S2C1 (7.00 – 8.00) S2C2 (13.00 – 15.00)

Come rappresentato nella summenzionata *Planimetria delle indagini*, il Sondaggio 1 (di seguito S1) è stato eseguito in corrispondenza del margine meridionale del piazzale parcheggi, a ridosso della pensilina ARST, mentre il Sondaggio 2 (di seguito S2) ricade sul tratto iniziale della diga frangiflutti (Fig.14).



Figura 14. Esecuzione del Sondaggio 2 in corrispondenza del tratto iniziale della barriera frangiflutti

La verticale S1, al netto di un battuto in cemento dello spessore di circa 5 centimetri, intercetta circa 0,65 metri di massicciata in sabbia e ghiaia debolmente addensata di colore nocciola poggiante su riporto in sabbie di spiaggia locali di colore beige-grigiastro, prevalentemente medie e grossolane, pressoché sciolte, che si prolungano fino a circa 1,80 metri di profondità.

Il riporto è steso su sabbie generalmente fini e medie, con passaggi più fini debolmente limosi e livelletti centimetrici frammisti a residui algali in putrefazione, nerastri: si tratta verosimilmente della preesistente spiaggia sommersa, al limite rimaneggiata nei primi decimetri, incoerente e caratterizzata da un addensamento apprezzabile.

Detto strato raggiunge la profondità di circa 8,10 metri sino al contatto, privo di una netta soluzione di continuità, con una litofacies sabbiosa granulometricamente più assortita e frammista a limo a tratti debolmente argilloso, che include resti conchigliari non diagenizzati, talora cementati in livelletti arenacei lapidei di spessore centimetrico, probabilmente in parte triturati dal carotiere. Nela litofacies sciolta si riscontra un buon addensamento ed una sporadica componente coesiva derivante dalla frazione argillosa, che si incrementa in profondità sino al contatto (anche in questo caso poco definito, ma ubicabile a circa 11,70 metri di profondità) con le sottostanti sabbie fini e medie, limoso-argillose, frammiste a ghiaia media, di colore beige-biancastro.

Si tratta di una litofacies mediamente addensata costituita in prevalenza di frammenti di arenaria ben cementata con frequenti resti conchigliari e clasti riferibili a livelli arenacei cementati del tutto simili a quelli osservati nello strato soprastante. La matrice argillosa, plastica e scarsamente consistente, induce una debole coesione e ne riduce la permeabilità. Lo strato in questione raggiunge la profondità di circa 14,30 metri, dove si registra il contatto, questa volta ben definito, con le sottostanti sabbie limoso-argillose, frammiste a ghiaia minuta ben elaborata: si tratta di una litofacies semicoerente che presenta un buon grado di addensamento. Data la profondità finale del sondaggio, non è stato raggiunto il letto dello strato, ma è verosimile il suo prolungamento per almeno qualche metro.



### 6.3 Prove in situ

#### 6.3.1 Prove penetrometriche dinamiche discontinue

La procedura, standardizzata secondo le "Raccomandazioni" A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) per l'esecuzione delle indagini geotecniche (1977), prevede l'infissione nel terreno di un campionatore standard o di una punta conica tramite un maglio del peso di 63,5 kg lasciato cadere da un'altezza di 750 mm sopra una testa di battuta fissata alla sommità della batteria di aste.

La prova consiste nel rilevare il numero di colpi N1, N2 e N3 necessario per compiere un'infissione di 45 cm (15 cm nella fase preparatoria e 30 cm nella prova vera e propria); se N1>50 la prova si considera conclusa in quanto il terreno oppone rifiuto alla penetrazione, diversamente si prosegue per i successivi 30 cm interrompendo anticipatamente la prova solo nel caso in cui N2 + N3>100.

Ai fini dell'elaborazione si assume il numero di colpi  $N_{SPT} = N2 + N3$  relativo alla somma del secondo e del terzo tratto di avanzamento, dal quale, attraverso relazioni prevalentemente empiriche, si ricavano i parametri geotecnici caratteristici, tra i quali la misura della resistenza del terreno in condizioni non drenate e il suo grado di addensamento.

Il dato ottenuto *in situ* è stato preliminarmente corretto al fine di contenere gli errori indotti dalla stessa metodica di prova la quale è fortemente condizionata, innanzitutto, dal dispositivo di battitura e dunque dal suo rendimento energetico, dalla lunghezza delle aste, dal diametro del foro di perforazione ed infine dalla pressione litostatica ( $\sigma_{v0}$ ) agente alla profondità di infissione.

L'insieme delle suddette correzioni è sintetizzato nella relazione riportata di seguito:

$$N_{60} = N_{SPT} * ER_R / 60 * cr * cd * cn$$

dove:

**cr** = coefficiente dipendente dalla lunghezza della batteria delle aste

**cd** = coefficiente dipendente dal diametro del foro di sondaggio

**cn** =  $3/(2+\sigma_{v0}/100)$  coefficiente dipendente dalla pressione litostatica, particolarmente indicato per basse pressioni e terreni granulari addensati (Skempton).

##### 6.3.1.1 Analisi dei risultati

I valori di  $N_{SPT}$  ottenuti ed i corrispondenti corretti  $N_{60}$  evidenziano una marcata distinzione tra le due verticali di indagine

In S1 la prima prova eseguita sulle sabbie di riporto a 1,50 metri fa segnare un valore di  $N_{SPT}$  pari a 10, mentre entro lo strato di sabbie fini e medie, si registrano valori assai vicini con un minimo di 13 a 6,50 metri di profondità ed un massimo di 17 a 3,10 metri. La quinta prova, eseguita a 10 metri di profondità su sabbie eterometriche limose, è in linea con le precedenti con un valore di  $N_{SPT}$  pari a 16.

In S2 la presenza della copertura in calcestruzzo e la prevalenza di ghiaie e blocchi ciclopici costituenti il molo sopraflutto, ha reso possibile la realizzazione di solo 2 delle 5 prove previste nell'originario piano di indagine. La prima è stata ubicata a 3,00 metri di profondità entro lo strato di ghiaie medie e grossolane ed è andata a rifiuto con una penetrazione di soli 22 cm, mentre la seconda, eseguita sulle sabbie fini e medie limose a circa 13,70 metri di profondità, ha restituito un valore di  $N_{SPT}$  pari a 30. Nel primo caso i dati relativi alla prova, in via cautelativa, sono stati trascurati non essendo possibile determinare con ragionevole certezza se il rifiuto dipendesse dalla effettiva resistenza alla penetrazione del materiale o dalla presenza di un clasto/blocco di dimensioni e geometria tale da essere di ostacolo all'avanzamento della punta, con conseguente alterazione del valore per eccesso.

In generale, i valori ottenuti possono comunque ritenersi apprezzabili sia nel substrato naturale in S1, sia in quello in S2: i primi definiscono una copertura sabbiosa dotata di un favorevole addensamento naturale soprattutto se rapportata all'ambiente di sedimentazione, mentre i secondi godono del positivo effetto di consolidamento indotto dal sovraccarico della scogliera.

Di seguito si riporta la tabella a consuntivo delle prove penetrometriche.

Tabella 4. Consuntivo prove SPT.

PROVA	LITOFACIES	PROFONDITA' (m)	$N_{SPT}$	$N_{60}$
S1-SPT1	Riporto in sabbie fini e medie	1.50	10	13
S1-SPT2	Sabbie fini e medie	3.10	17	22
S1-SPT3	Sabbie fini e medie	5.00	14	18
S1-SPT4	Sabbie fini e medie	6.50	13	15
S1-SPT5	Sabbie eterometriche limose	10.00	16	43
S2-SPT1	Riporto in ghiaia eterometrica e sabbia	3.00	Rif.	Rif.
S2-SPT2	Sabbie eterometriche limose	13.70	30	20

Per ricavare una stima di densità relativa DR e angolo di attrito efficace  $\phi'$  il valore di  $N_{SPT}$  è stato implementato nelle relazioni empiriche, rispettivamente, di Gibbs e Holtz e De Mello, illustrate di seguito:

GIBBS E HOLTZ:  $Dr = 21 * [N_{spt} / (\sigma + 0.7)]$

DE MELLO:  $\phi' = 19 - 0.38\sigma_{v0} + 8.73 \log(N_{spt})$

L'estrema dispersione dei valori è un limite congenito al carattere prettamente empirico delle teorie di calcolo a cui si è parzialmente ovviato mediando i valori per litotipi omogenei (unità litotecniche) che saranno comparati successivamente con i risultati delle prove di laboratorio. Trattandosi di una prova rapida, i parametri geotecnici attribuibili attraverso le numerose correlazioni empiriche, tipicamente utilizzate con tale tipologia di indagine, non possono essere espressi in condizioni drenate (tensioni efficaci) se non per litotipi granulari e fortemente permeabili, ossia la totalità di quelli rilevati nel corso delle indagini.

La correlazione tra litotipi e valori ottenuti è riportata in Tabella 5.

Tabella 5. Parametri stimati da prove SPT.

PROVA	LITOFACIES	Dr (%)	$\phi'$ (Deg)
S1-SPT1	Riporto in sabbie fini e medie	42	28
S1-SPT2	Sabbie fini e medie	42	30
S1-SPT3	Sabbie fini e medie	31	29
S1-SPT4	Sabbie fini e medie	25	28
S1-SPT5	Sabbie eterometriche limose	21	29
S2-SPT1	Riporto in ghiaia eterometrica e sabbia	-	-
S2-SPT2	Sabbie eterometriche limose	16	31

#### 6.4 Prove di laboratorio

I campioni prelevati nel corso delle indagini geognostiche sono stati conferiti presso il Laboratorio Geotecnico Geosystem di G.B. Demontis, con sede in Loc. Pill'e Matta – Quartucciu (CA). Di seguito l'elenco delle prove eseguite:

PROVA	NORMA	CAMPIONI
Massa volumica in fustella tarata	UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b	S1C1 (7,00-8,00) S1C3 (14,30-15,00) S2C2 (13,00-15,00)
Determinazione della massa volumica dei costituenti solidi	ASTM D854/ASTM C127	S1C1 (7,00-8,00) S1C3 (14,30-15,00) S2C2 (13,00-15,00)
Analisi granulometrica per setacciatura	UNI EN 933-1	S1C1 (7,00-8,00) S1C2 (13,00-14,30) S1C3 (14,30-15,00) S2C2 (13,00-15,00)
Limiti di consistenza (Atterberg)	UNI CEN ISO/TS 17892-12	S1C1 (7,00-8,00) S1C2 (13,00-14,30) S1C3 (14,30-15,00) S2C2 (13,00-15,00)
Taglio diretto con scatola di Casagrande	ASTM D308098	S1C1 (7,00-8,00) S1C3 (14,30-15,00)
Compressione monoassiale su carote in roccia	ASTM D7012-14 - Metodo C	S2C1 (7,00-8,50)

##### 6.4.1 Determinazione della massa volumica naturale mediante pesata idrostatica (UNI CEN ISO/TS 17892-2 Metodo b)

La prova consiste nell'impermeabilizzazione mediante paraffinatura di 3 provini, estratti dal campione di riferimento, e la successiva pesata idrostatica dalla quale sono ricavate le rispettive masse volumiche, successivamente mediate nel dato finale riportato nel certificato in allegato. In Tabella 6 sono riportati i risultati.

Tabella 6. Massa volumica naturale.

Campione	Massa volumica naturale (Mg/m <sup>3</sup> )
S1C1	2,000
S1C3	2,104
S2C2	2,057

Nonostante il forte disturbo dei campioni (soprattutto nel caso di S1C1 e S2C2), la presenza di una frazione argillosa legante e l'apprezzabile l'addensamento dei litotipi, ha consentito di ricavare alcuni aggregati sufficientemente coerenti per essere sottoposti a paraffinatura e pesata idrostatica. Nel caso di S1C3, data la natura coerente del campione e il conseguente campionamento in carota integra, si è proceduto alla determinazione della massa volumica naturale su uno spezzone regolare e di volume noto.

Si tratta di valori nella media se si fa riferimento ad una massa volumica al lordo di un contenuto d'acqua rilevante, ma comunque lontano dalla condizione di saturazione nella quale sono stati prelevati tutti i provini.

##### 6.4.2 Determinazione del peso specifico dei costituenti solidi (ASTM D854/ASTM C127)

Tale prova consente di determinare il peso per unità di volume della sola frazione solida del campione, mediante l'immersione di una massa nota di grani (costituenti solidi "non solubili") entro un picnometro di volume noto che viene colmato con acqua distillata e deaerata. Il valore è ottenuto sulla media di due determinazioni.

Mediante la relazione fondamentale:

$$\gamma_{\text{nat}} = \gamma_s(1-n)(1+w)$$

utilizzando la massa volumica naturale e il contenuto d'acqua è possibile determinare l'indice dei vuoti e la massa volumica in condizioni di saturazione.

I valori ottenuti nelle tre prove (Tabella 7) risultano pressoché sovrapponibili e quindi riferibili ad un unico bacino di sedimentazione alimentato, probabilmente, dai medesimi prodotti di disfacimento delle vulcaniti a chimismo riolitico.

Tabella 7. Peso specifico dei costituenti solidi.

Campione	Peso specifico dei costituenti solidi (kN/m <sup>3</sup> )
S1C1	26,16
S1C3	26,30
S2C2	26,24

#### 6.4.3 Analisi granulometrica per setacciatura

La prova consiste nella vagliatura del campione attraverso una pila di setacci (ASTM E11-71) con maglie a passo decrescente e la successiva pesatura del trattenuto di ciascun vaglio, che conduce alla determinazione del peso della frazione passante per il vaglio precedente espresso in percentuale.

Tabella 8. Risultati dell'analisi granulometrica per setacciatura e la suddivisione percentuale in classi granulometriche (Udden-Wentworth)

Apertura della maglia (mm)	Passante %			
	S1C1	S1C2	S1C3	S2C2
200	100,00	100,00	100,00	100,00
150	100,00	100,00	100,00	100,00
125	100,00	100,00	100,00	100,00
100	100,00	100,00	100,00	100,00
63	100,00	100,00	100,00	100,00
31,5	100,00	100,00	100,00	100,00
16	100,00	86,71	100,00	100,00
8	100,00	84,86	100,00	100,00
4	99,92	83,20	99,95	99,79
2	99,54	81,90	99,89	99,50
1	98,53	80,19	99,21	98,45
0,4	83,66	77,73	92,71	83,14
0,25	40,06	75,38	80,50	21,93
0,125	20,43	51,36	53,79	12,24
0,063	12,10	41,75	39,68	9,68

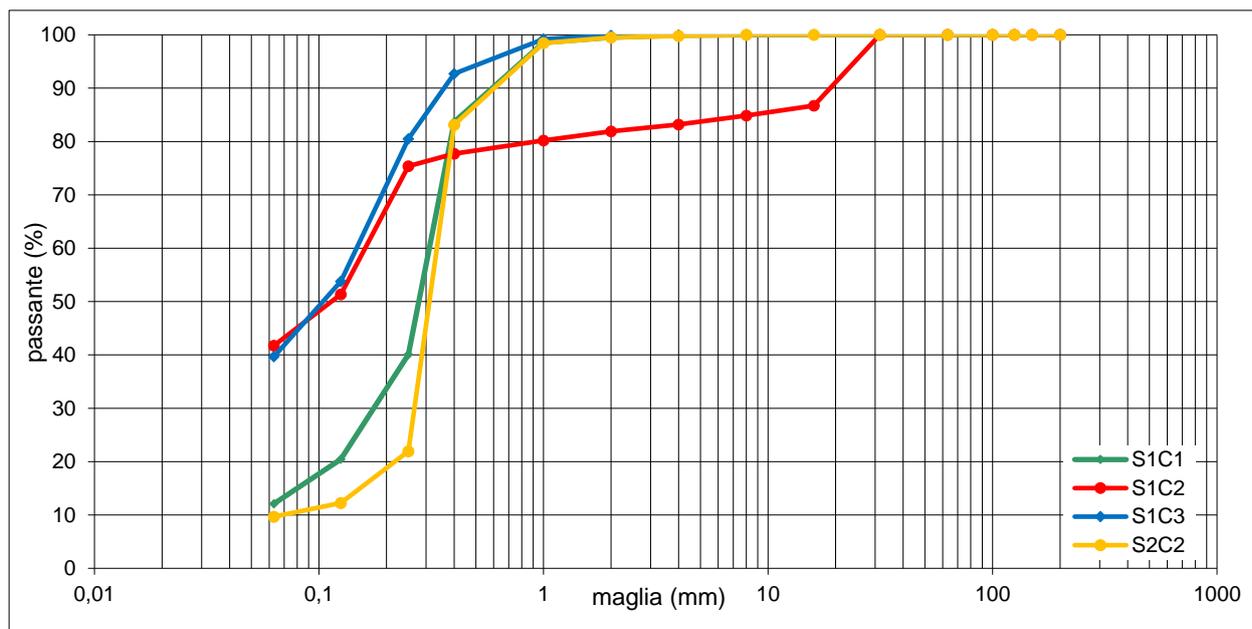
Frazioni granulometriche	Passante %			
	S1C1	S1C2	S1C3	S2C2
ciottoli	0,00	0,00	0,00	0,00
ghiaia grossolana	0,00	13,29	0,00	0,00
ghiaia media	0,00	1,85	0,00	0,00
ghiaia fine	0,46	2,96	0,11	0,50
sabbia grossolana	15,88	4,17	7,18	16,36
sabbia media	43,60	2,35	12,21	61,21
sabbia fine	27,96	33,63	40,82	12,25
limo + argilla	12,10	41,75	39,68	9,68

Ciottoli e ghiaia	0,46	18,10	0,11	0,50
Sabbia	87,44	40,15	60,21	89,82
Limo e argilla	12,10	41,75	39,68	9,68

I risultati possono essere poi inseriti in un diagramma semilogaritmico (log Φ - % passante) dal quale si ricava una curva che esprime la distribuzione percentuale delle diverse frazioni granulometriche.

Nella fattispecie, l'analisi è stata condotta su tutti i campioni (Grafico 1), con lo scopo, tra gli altri, di valutare il grado di assortimento e l'entità della frazione fine, la cui incidenza sul comportamento meccanico, in linea generale, comincia ad essere rilevante oltre il 10% (Lancellotta, 2008 - "Il geologo nell'ambito della progettazione geologica e geotecnica – corso sulla meccanica delle terre e sui recenti orientamenti normativi in campo geotecnico"). Tale analisi, inoltre, è necessaria per l'inquadramento dei litotipi nella classificazione delle terre UNI 11531-1.

Grafico 1. Grafico semilogaritmico nel quale sono riportate le curve granulometriche ricavate dall'analisi per setacciatura.



In particolare, si osserva una forte similitudine che accomuna i campioni S1C1 e S2C2, benché prelevati da verticali ed a quote differenti: si tratta in effetti della medesima litofacies riferibile a depositi litorali assai ben classificati entro un fuso composto in prevalenza di sabbia media (rispettivamente 43,6% e 61,2%) e subordinatamente fine (28,0% e 12,3%) e grossolana (15,9 e 16,4%). La frazione dei fini (argilla e limo) non supera il 12,1%.

Nel caso di S1C2 e S1C3, campionati in sequenza in S1, si registra una significativa divergenza sino al passante alla maglia 0,25 mm: ciò si spiega con la presenza in S1C2 di livelli di sabbie cementate che, frantumate dal carotiere, hanno alterato la curva originaria con una frazione ghiaiosa grossolana pari al 13,3%: l'anomalia spicca nettamente nella curva, dove le frazioni di ghiaia media e minuta sono appena apprezzabili. Al di sotto della maglia 0,25 mm le due curve si sovrappongono evidenziando in entrambi i campioni una cospicua frazione di sabbia fine (33,6% in S1C2 e 40,8% in S1C3) e di limo ed argilla (rispettivamente 41,8% e 39,7%) distribuite in proporzioni simili. Come si preciserà nel paragrafo seguente, tuttavia, i fini in S1C2 possono verosimilmente ritenersi composti in prevalenza di limi.

#### 6.4.3.1 Coefficiente di uniformità $C_U$

Mediante la determinazione delle frazioni corrispondenti al 60% ( $D_{60}$ ) e al 10% ( $D_{10}$ ) del passante è possibile ricavare il coefficiente di uniformità del campione con la formula

$$C_U = D_{60}/D_{10}$$

Esso esprime il grado di *assortimento* delle terre che lo compongono ed è ovviamente  $C_U \geq 1$ : il valore unitario rappresenta il massimo grado di uniformità corrispondente ad una terra perfettamente classificata su una frazione. Generalmente per valori compresi tra 1 e 5 si rientra nel campo delle terre ben classate.

In assenza di analisi per sedimentazione che consenta la ripartizione percentuale tra la frazioni di limo ed argilla, non è stato possibile determinare il valore del  $D_{10}$  nei campioni prelevati dalla verticale S1, mentre è stato possibile determinarlo nel caso del campione S2C2.

Di seguito si riportano i risultati:

Tabella 9. Determinazione del coefficiente di uniformità  $C_U$

FRAZIONE PASSANTE	DIAMETRO CORRISPONDENTE (mm)			
	S1C1	S1C2	S1C3	S2C2
$D_{60}$	0,319	0,215	0,169	0,343
$D_{10}$	-	-	-	0,071
$C_U$	-	-	-	4,852

Il campione S2C2 ricade tra le sabbie medio-fini ben classate.

#### 6.4.4 Limiti di Atterberg (C.N.R. – UNI 10014)

I limiti di consistenza o di Atterberg definiscono la variazione delle proprietà meccaniche di un terreno in funzione del suo contenuto d'acqua ( $w$ ). Nella fattispecie, sono stati determinati, come richiesto dalla UNI EN 11531-1, il limite liquido ( $W_L$ ) ed il limite plastico ( $W_P$ ) dei campioni.

Il primo segna il contenuto d'acqua al passaggio fra lo stato fluido e lo stato plastico del campione, il secondo fra lo stato plastico e quello semisolido o pulverulento. Entrambe le prove si compiono sul passante al setaccio 0,40 mm.

Il limite di liquidità si determina per mezzo dell'Apparecchio di Casagrande ed è il contenuto d'acqua per il quale il solco tracciato con apposita spatola sulla terra posta in un cucchiaino si richiude dopo 25 cadute. Il limite di plasticità viene determinato realizzando dei cilindri del diametro di 3 mm ed è il contenuto d'acqua corrispondente al formarsi delle prime screpolature.

La differenza tra i due limiti consente di ricavare l'indice di plasticità, il quale definisce l'intervallo di umidità entro cui il campione si mantiene plastico:

$$I_p = W_L - W_p$$

Di seguito si riportano i valori ottenuti per i campioni esaminati:

Tabella 10. Limiti di Atterberg determinati nei i campioni di terre.

Campione	WL (%)	WP (%)	IP (%)
S1C1	ND	NP	NP
S1C2	ND	NP	NP
S1C3	31	20	11
S2C2	ND	NP	NP

La tabella mette in luce l'assenza di plasticità dei campioni S1C1, S1C2 e S2C2: la matrice fine, infatti, non ha raggiunto lo stato di consistenza minimo necessario all'esecuzione delle prove.

Nei provini ricavati da S1C3 sia il limite di liquidità che quello plastico possono ritenersi moderati e l'indice di plasticità definisce un campione debolmente plastico.

Come anticipato, tuttavia, i limiti di Atterberg sono eseguiti solo sulla matrice fine di un campione rimaneggiato, per cui non possono fornire indicazioni dirette sul comportamento del corrispondente litotipo *in situ*, strettamente dipendente dal grado di consolidazione e dalla percentuale della suddetta matrice fine.

#### 6.4.5 Classificazione delle terre (UNI EN 11531-1)

Nella definizione delle caratteristiche delle terre nell'ambito della realizzazione di fondazioni stradali, è stata utilizzata la classificazione UNI EN 11531-1a quale si fonda sull'analisi granulometrica e sulla determinazione dei limiti di consistenza del campione, sintetizzati attraverso l'indice di gruppo ( $I_G$ ):

$$I_G = 0.2a + 0.005ac + 0,01bd$$

Dove:

- $a =$  passante al setaccio 200 ASTM meno 35 (val. max = 40);
- $b =$  passante al setaccio 200 ASTM meno 15 (val. max = 40);
- $c = W_L - 40$  (min = 0, max = 40);
- $d = I_p - 10$  (min = 0, max = 20).

Tabella 11. Classificazione delle terre UNI EN 11531-1

Classificazione generale	Terre ghiaia - sabbiosa							Terre limo - argillose				Torbe e terre organiche palustri	
	Frazione passante al setaccio 0,063 UNI 2332 ≤ 35%							Frazione passante al setaccio 0,063 UNI 2332 >35%					
Gruppo	A1		A3	A2			A4	A5	A6	A7		A8	
Sottogruppo	A1 a	A1 b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica - Frazione passante al setaccio													
2 UNI 2332 %	≤ 80												
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 80	≥ 80										
0,063 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35		
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	0			≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41		
Indice di plasticità	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10max	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11 (IP<LL-30)	≥ 11 (IP>LL-30)	
Indice di gruppo	0		0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 18	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	ghiaia e breccia, sabbione, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	ghiaia e sabbia limosa e argillosa				Limi poco compressibili	Limi fort. compressibili	Argille poco compressibili	Argille fort. compressibili med. plastiche	Argille fort. compressibili fort. plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre

Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellenti a buone		Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulla qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve		Media	media	elevata	Media	elevata	Media
Ritiro o rigonfiamento	Nullo		Nullo o lieve		Lieve o media		elevato	elevato
Permeabilità	Elevata		Media o scarsa			Scarsa o nulla		
Identificazione dei territori in sito	Facilmente individuabili a vista	Aspri al tatto Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media e elevata allo strato asciutto indica la presenza di argilla	Reagiscono alla prova di scuotimento - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento - Tenaci allo stato asciutto - Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido		Fibrosi di colore bruno a nero - facilmente individuabili a vista

La classe attribuita al campione è riportata nella Tabella 12.

Tabella 12. Classificazione dei campioni.

Campione	Ig	Gruppo
S1C1	0	A2-4
S1C2	0	A4
S1C3	1	A6
S2C2	0	A3

I campioni ricadono in parte tra le terre granulari (S1C1 e S2C2) ed in parte tra quelle fini (S1C2 e S1C3). Nel primo caso il campione S1C1 ricade nel gruppo A2-4 delle terre granulari (nella fattispecie non plastiche) caratterizzate da un certo assortimento con presenza di una frazione fine limosa leggermente superiore al 10%, mentre il campione S2C2 ricade tra le sabbie fini ben classate (come anticipato nell'analisi granulometrica), non plastiche: in definitiva, si tratta di due terre di buona qualità anche nell'ambito del riutilizzo come letti o rinfianchi di tubazioni.

Il campione S1C2 ricade nel gruppo A4, corrispondente a quello di migliore qualità tra le terre fini entro le quali sono incluse, costituito in prevalenza da limi poco compressibili (in questo caso non plastici): benché comprenda una significativa frazione sabbiosa, tale definizione può ritenersi, in prima istanza, abbastanza appropriata. Il campione S1C3, infine, ricade nel gruppo A6, sebbene con valori al limite del gruppo A5: tale gruppo è definito di qualità mediocre/scadente per la presenza di una consistente frazione fine plastica compressibile, sebbene l'indice plastico corrisponda al limite minimo della classe.

#### 6.4.6 Prova di taglio diretto (ASTM D3080 – 90)

Allo scopo di rilevare i valori efficaci di angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  e coesione  $c'$ , i campioni S1C1 e S1C3, rappresentativo dei principali litotipi granulari, sono stati sottoposti ad una prova di taglio diretto con Scatola di Casagrande. La prova si svolge in condizioni di saturazione, su tre gradini di pressione verticale ( $\sigma_v$ ) crescente, di norma pari a 98.1, 196.1 e 294.2 kPa, registrando per ognuno il picco dello sforzo di taglio ( $\tau_{max}$ ) a rottura. Detti valori, tratti dal certificato di prova in allegato, sono stati interpolati sul piano di Mohr-Coulomb, ricavando l'involuppo di rottura ed i corrispondenti valori di  $c'$  e  $\phi'$ , secondo la retta  $\tau_{max} = c' + \sigma' \tan \phi'$ . La prova, di norma, si interpreta nel campo delle tensioni efficaci ( $\phi'$  e  $c'$ ), tuttavia la natura coerente del campione S1C3 non offre garanzie di un completo esaurimento delle sovrappressioni neutre durante la fase di rottura, anche se estesa in tempi lunghi.

La prova si può eseguire su provini sia indisturbati/semidisturbati sia su provini ricostruiti, nel caso di campioni incoerenti o con elementi con passante superiore al vaglio 2 mm: ciò poiché la dimensione della scatola rende prive di significato le prove eseguite su campioni costituiti da elementi grossolani con dimensioni superiori. Nel caso in studio i provini ricavati dal campione S1C1, sciolto e rimaneggiato, sono stati ricostruiti secondo la procedura descritta sopra, mentre sono stati ricavati integri dal campione S1-C3, coerente, sebbene siano da considerarsi disturbati per le modalità di esecuzione del campionamento.

I valori di resistenza al taglio ottenuti sono riportati nella Tabella 13 dalla quale si è ricavato il Grafico 2.

Tabella 13. Tensioni di rottura.

$\sigma$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	
	S1C1	S1C3
98,1	73,0	81,0
196,1	150,0	146,0
294,2	205,0	211,0

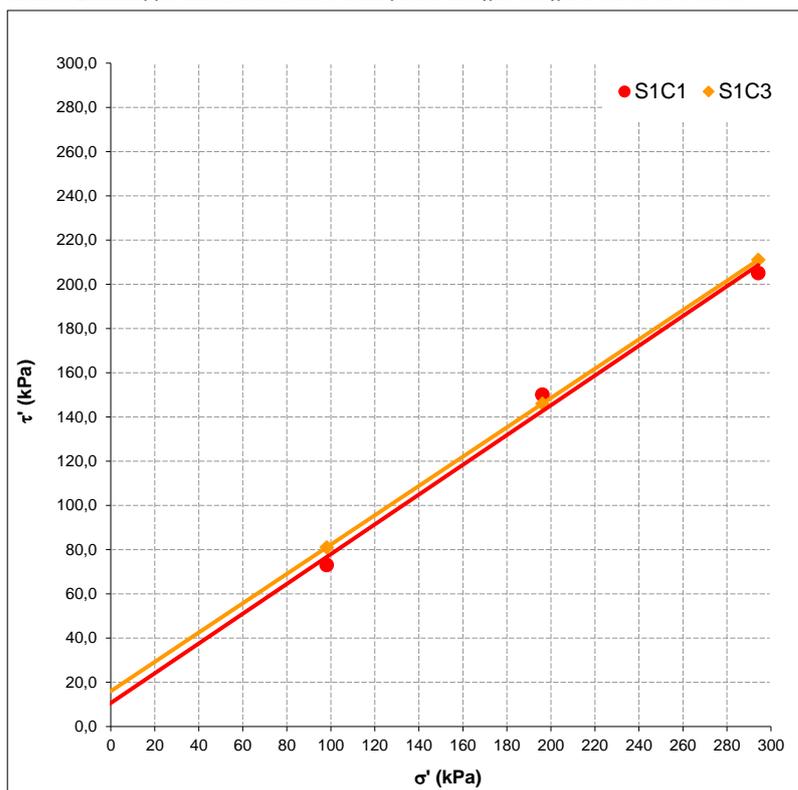
L'involuppo di rottura, che presenta un allineamento soddisfacente, va interpretato come tangente comune ai rispettivi cerchi di Mohr e quindi come limite di rottura del terreno, proporzionale alla tensione verticale efficace. Il coefficiente angolare della retta quantifica la resistenza tangenziale per attrito (qui espressa in gradi sessagesimali), mentre l'intercetta individua la resistenza al taglio per coesione, presente quasi esclusivamente in terreni coerenti o semicoerenti.

I valori ottenuti sono riportati nella Tabella 14.

Tabella 14. Valori nominali dei parametri  $c'$  ed  $\phi'$

Campione	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (deg)
S1C1	33,9	10,6
S1C3	33,5	16,0

Grafico 2. Involuppo di rottura ottenuto dalla prova di taglio eseguita su S1C1 e S1C3



Come si osserva nel grafico, le rette di involuppo sono pressoché sovrapponibili nonostante la notevole differenza nella composizione granulometrica dei campioni: la spiccata componente attritiva determinata dalla frazione granulare tanto delle sabbie quanto dei limi ha evidentemente prevalso, restituendo un apprezzabile valore di angolo di resistenza al taglio pur con coesione non particolarmente contenuta, soprattutto nel caso del S1C1, apparentemente sciolto ed incoerente.

Ad ogni buon conto, in entrambi i casi il valore di coesione può ritenersi sovrastimato per effetto della dissipazione incompleta delle tensioni neutre e pertanto sarà oggetto di parzializzazione nella definizione dei parametri caratteristici.

#### 6.4.7 Prova di compressione monoassiale su carote in roccia (ASTM D7012-14 - Metodo C)

La prova viene eseguita su provini cilindrici ricavati dalle carote campionate. La superficie dei provini deve essere liscia e priva di irregolarità superiori a 0,5 mm e le facce laterali devono essere perpendicolari all'asse del provino con tolleranza massima di 0,25°. Il campione così preparato viene portato a rottura impiegando una pressa idraulica di adeguata rigidità e capacità di carico, in ogni caso non inferiore a 1500 kN, ed incrementando la pressione con continuità ad una velocità di applicazione costante.

Nello specifico, sono stati sottoposti alla prova due provini in roccia ignimbratica ottenuti dalla carota S2C1, appartenente alla scogliera su cui è fondato il molo.

Tabella 15. Carichi di rottura sui campioni di roccia.

Campione	Resistenza unitaria (MPa)	Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )
S1-C1	65,65	2404,7
S1-C2	57,75	2395,2

I valori di resistenza unitaria, simili tra i due provini, rientrano nella media dei litotipi ignimbratici ben conservati o debolmente alterati.

#### 6.4.8 Quadro riassuntivo dei parametri nominali dei campioni ottenuti da prove di laboratorio

Il quadro sinottico dei risultati delle prove di laboratorio è riportato di seguito:

CAMPIONE		$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	W (%)	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	n	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (deg)	$c'$ (kPa)
S1C1	Sabbia fine e media debolmente limosa	19,61	6,66%	18,39	26,16	0,297	21,36	33,9	10,6
S1C2	Sabbia fine con limo argilloso	20,50	16,00%	17,67	26,22	0,326	20,93	-	-
S1C3	Sabbia argillosa con limo	20,63	17,97%	17,49	26,30	0,335	20,84	33,5	16,0
S2C1	Ignimbrite lapidea della scogliera (blocchi)	23,54	-	-	-	-	-	-	-
S2C2	Sabbia fine e media	20,17	16,48%	17,32	26,24	0,340	20,72	-	-



## 7 DEFINIZIONE E PARAMETRIZZAZIONE DEI LITOTIPI PREVALENTI

Sulla scorta delle indagini e dei risultati delle prove in situ e di laboratorio sono state distinte le Unità Litotecniche (di seguito Litotipi) che contraddistinguono l'assetto stratigrafico ed il modello geotecnico del sedime delle opere in progetto.

### RIPORTO 1

Costituisce il ricoprimento con il quale è stata regolarizzata e sopraelevata l'area dell'attuale parcheggio del Porto, intercettato nella sola verticale S1. Consta in prevalenza di sabbie medie e grossolane, con ghiaia e ciottoli nei primi decimetri, debolmente addensate. La resistenza al taglio è apprezzabile ed espressa esclusivamente nel dominio attritivo. Colore da nocciola a beige.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 17,25 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 18,90 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_k &= 28^\circ \\ c'_k &= 0,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

### RIPORTO 2

Ripporto in sabbia e ghiaia eterometriche con clasti e rari blocchi di natura quasi esclusivamente ignimbratica (frantumato di cava), intercettato soltanto in S2 con funzione di rilevato di fondazione della colata in cls. Si tratta di un tout-venant ben assortito ed addensato, caratterizzato da ottima resistenza a taglio limitata al solo dominio attritivo. Scavabilità agevole, in assenza di blocchi lapidei. Colore da violaceo a rossastro.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 20,50 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 21,80 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_k &= 35^\circ \\ c'_k &= 0,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

### RIPORTO 3

Scogliera in blocchi ciclopici di ignimbriti da sane e lapidee a corrose e debolmente alterate. Tale tipologia è stata rilevata esclusivamente in S2 in continuità alla precedente, a formare la base del solido in materiali sciolti su cui è fondato il molo. I blocchi, disposti in modo caotico ed intercalati a sacche di ripporto in sabbie locali (RIPORTO 4), presentano una buona resistenza a compressione e richiedono utensili e modalità di perforazione specifiche per lapidei. I parametri di resistenza al taglio sono riferiti all'abbancamento in scogliera.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{blocchi}} &= 23,54 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_k &= 45^\circ \\ c'_k &= 0,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

### RIPORTO 4

Si tratta di sabbie fini e medie, a luoghi con intercalazioni centimetriche di posidonia putrescente, sciolte o debolmente addensate, riferibili a scavi e movimentazione sul fondale. Si ritrovano unicamente in S2, intercalate ai blocchi di scogliera della quale intasano gli ampi interstizi, nella porzione basale per lo stesso affondamento dei blocchi. La resistenza al taglio è apprezzabile ed espressa quasi esclusivamente nel dominio attritivo. Colore da beige a bruno-grigiastro.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 17,50 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 18,90 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_k &= 30^\circ \\ c'_k &= 2,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

### LITOTIPO 1

Sabbia fine e media debolmente limosa, ben classata, con sporadiche intercalazioni di livelli centimetrici di posidonia in putrefazione, ritrovata unicamente nella verticale S1. Si tratta di un litotipo non plastico, spiccatamente incoerente, da debolmente a mediamente addensato, con apprezzabile resistenza al taglio nel dominio attritivo. Moderatamente compressibile, può essere soggetto a liquefazione. Colore grigio-beige.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 19,61 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 21,36 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_k &= 31^\circ \\ c'_k &= 0,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

## LITOTIPO 2

Sabbia eterometrica con limo argilloso, debolmente ghiaiosa con diffusa presenza di resti conchigliari non diagenizzati di fauna marina. La frazione ghiaiosa è riconducibile a livelli ben cementati frantumati dalla sonda. Litotipo debolmente semicoerente con matrice non plastica, dotato di buona resistenza al taglio nel dominio attritivo e modesta in quello coesivo. Moderatamente compressibile. Colore avana-biancastro.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 20,50 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 20,93 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_{\text{k}} &= 30^\circ \\ c'_{\text{k}} &= 2,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

## LITOTIPO 3

Sabbia argillosa con limo e ghiaia minuta inglobante resti conchigliari non diagenizzati. Litotipo semicoerente, con matrice assai consistente e debolmente plastica, presenta un'apprezzabile resistenza al taglio sia nel dominio attritivo che in quello coesivo. Moderatamente compressibile. Colore ocra.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 20,63 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 20,84 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_{\text{k}} &= 30^\circ \\ c'_{\text{k}} &= 8,0 \text{ kPa} \\ S_{\text{Uk}} &= 60,0 \text{ kPa}\end{aligned}$$

## LITOTIPO 4

Sabbia fine e media ben classata, con sporadiche intercalazioni di livelli centimetrici di posidonia in putrefazione e resti conchigliari non diagenizzati, ritrovata unicamente nella verticale S2. Si tratta di un litotipo, spiccatamente incoerente, assai ben addensato, con ottima resistenza al taglio nel dominio attritivo. Colore grigio.

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{nat}} &= 20,17 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= 20,84 \text{ kN/m}^3 \\ \phi'_{\text{k}} &= 31^\circ \\ c'_{\text{k}} &= 0,0 \text{ kPa} \\ C_{\text{U}} &= 0,485\end{aligned}$$

Di seguito (Fig.16) si riporta la correlazione tra le verticali stratigrafiche ed i litotipi suddescritti.

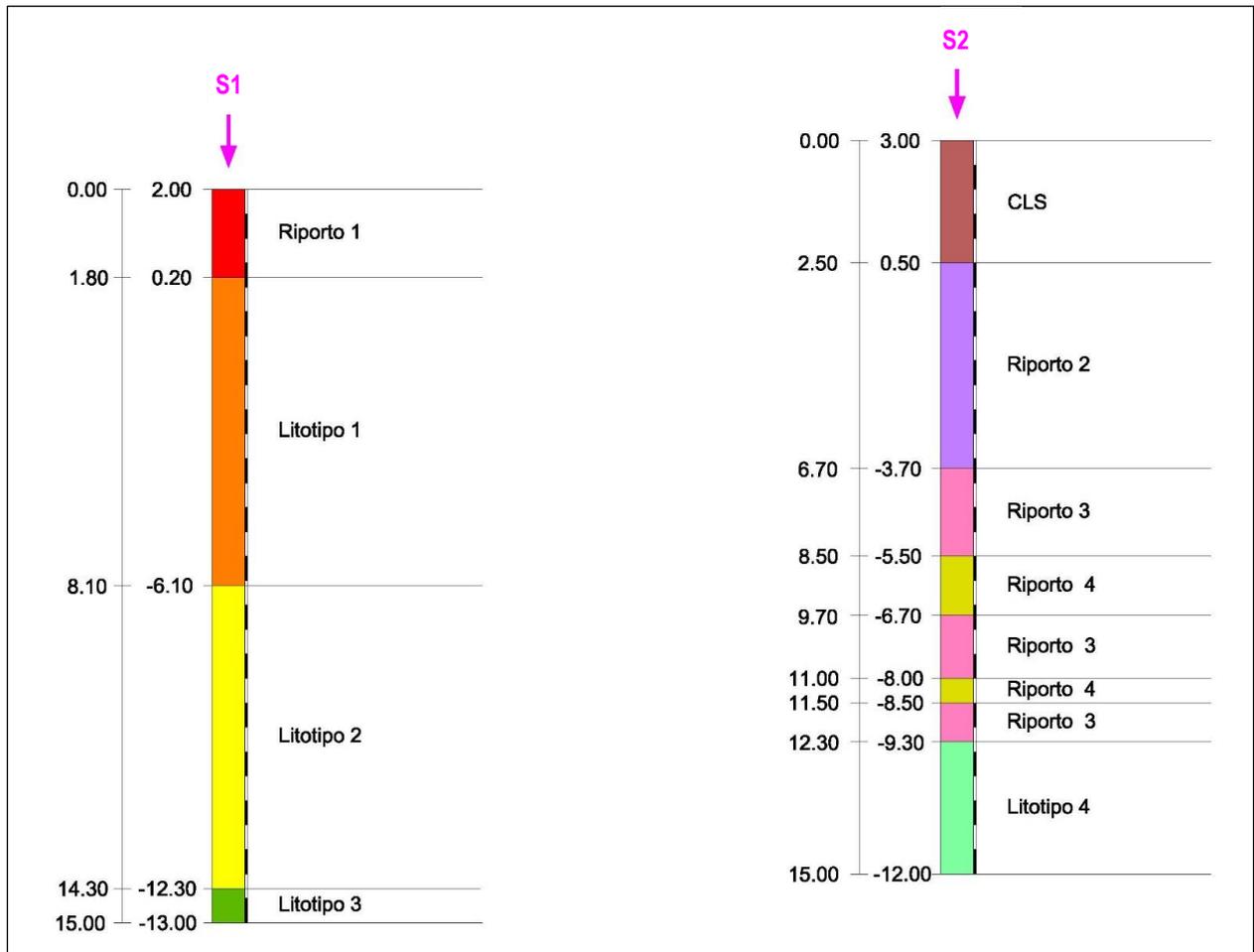


Figura 16. Log stratigrafici riferiti ai litotipi prevalenti.

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE, PRESCRIZIONI E SUGGERIMENTI PROGETTUALI

I siti in studio ricadono in un ambito costiero fortemente antropizzato a quote comprese tra 2,00 e 3,00 metri s.l.m. In affioramento prevale la litofacies sabbiosa di ambiente litorale, parzialmente rimaneggiata e riportata in prossimità dell'infrastruttura portuale. Non si registrano evidenze di fenomeni di erosione costiera e i siti di interesse non ricadono entro aree di pericolosità da frana ed idraulica perimetrate nell'ambito dei vigenti Piani stralcio per il dissesto idrogeologico e, in generale, non presentano criticità geomorfologiche di rilievo.

I due siti sono stati indagati mediante l'esecuzione di altrettanti sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1 e S2) spinti sino alla profondità di 15,00 metri dal piano di riferimento. Le verticali hanno consentito di ricavare l'assetto litostratigrafico del relativo sedime, caratterizzato in prevalenza da litofacies sabbiose naturali di ambiente litorale in S1 e da materiali di riporto in S2.

Nel primo caso è stata ritrovata la copertura di regolarizzazione del piazzale parcheggi (Riporto 1), per uno spessore di circa 1,80 metri, seguite da sabbie limose litorali mediamente addensate (Litotipo 1) sino a circa 8,10 metri di profondità e da sabbie con limo argilloso e clasti cementati (Litotipo 2) sino a circa 14,30 metri di profondità. Chiude la sequenza, sino a fondo foro, uno strato di sabbie argilloso-limose semicoerenti (Litotipo 3).

In S2, come anticipato, la verticale intercetta in prevalenza litotipi di riporto: a partire dalla base della colata di calcestruzzo che ricopre il molo per uno spessore di 2,50 metri, si ritrova uno strato di sabbia e ghiaia eterometrica ben assortita con clasti e rari blocchi pluridecimetri, compatta e ben addensata (Riporto 2) che raggiunge la profondità di 6,70 metri. Oltre tale profondità sono stati intercettati i blocchi ciclopici di ignimbrite violacea, sani o debolmente corrosi e alterati (Riporto 3), che costituiscono la scogliera sommersa su cui si fonda il prolungamento del molo di ponente: la loro presenza in colonna è discontinua e si registra un'alternanza in livelli da pluridecimetri a poco più che metrici con sabbie locali fini e medie, sciolte (Riporto 4), che ne intasano gli interstizi. Oltre tale livello, a circa 12,30 metri di profondità, è stato intercettato il fondale naturale, sabbioso e assai ben classato (Litotipo 4), da sciolto e rimaneggiato a ben addensato.

I litotipi naturali (L1-L4), da incoerenti a debolmente legati in matrice limoso-argillosa, presentano apprezzabili valori di resistenza al taglio espressa prevalentemente nel dominio attritivo e, solo nel caso del Litotipo 3, con valori significativi anche in quello coesivo. La scavabilità è agevole mentre il sostegno di trincee e cavità necessita di misure di contenimento sia provvisionali che strutturali.

I litotipi di riporto R2 e R3, pur eterogenei, sono accreditati di un'elevata resistenza al taglio (nel caso di R3 riferita all'ammasso costituente la scogliera) esclusivamente di natura attritiva. R3, inoltre, si compone di blocchi ciclopici di natura ignimbritica la cui tenacità rende necessario per gli scavi il ricorso a metodologie e strumenti specifici per i lapidei.

Quartu S.E., 07/07/2022

## 9 ABSTRACT

### CONCLUDING CONSIDERATIONS, REQUIREMENTS AND DESIGN SUGGESTIONS

*The sites under study fall within a strongly anthropized coastal area at altitudes between 2.00 and 3.00 meters above sea level. On the outcrop the sandy lithofacies of the coastal environment prevails, partially reworked, and brought in proximity to the port infrastructure. No coastal erosion phenomena have been evident, and the sites of interest do not fall within areas subject to landslides and hydraulic hazard, which are outlined in their perimeter by the current transitional plans for hydrogeological instability, and, in general, they do not present significant geomorphological criticalities.*

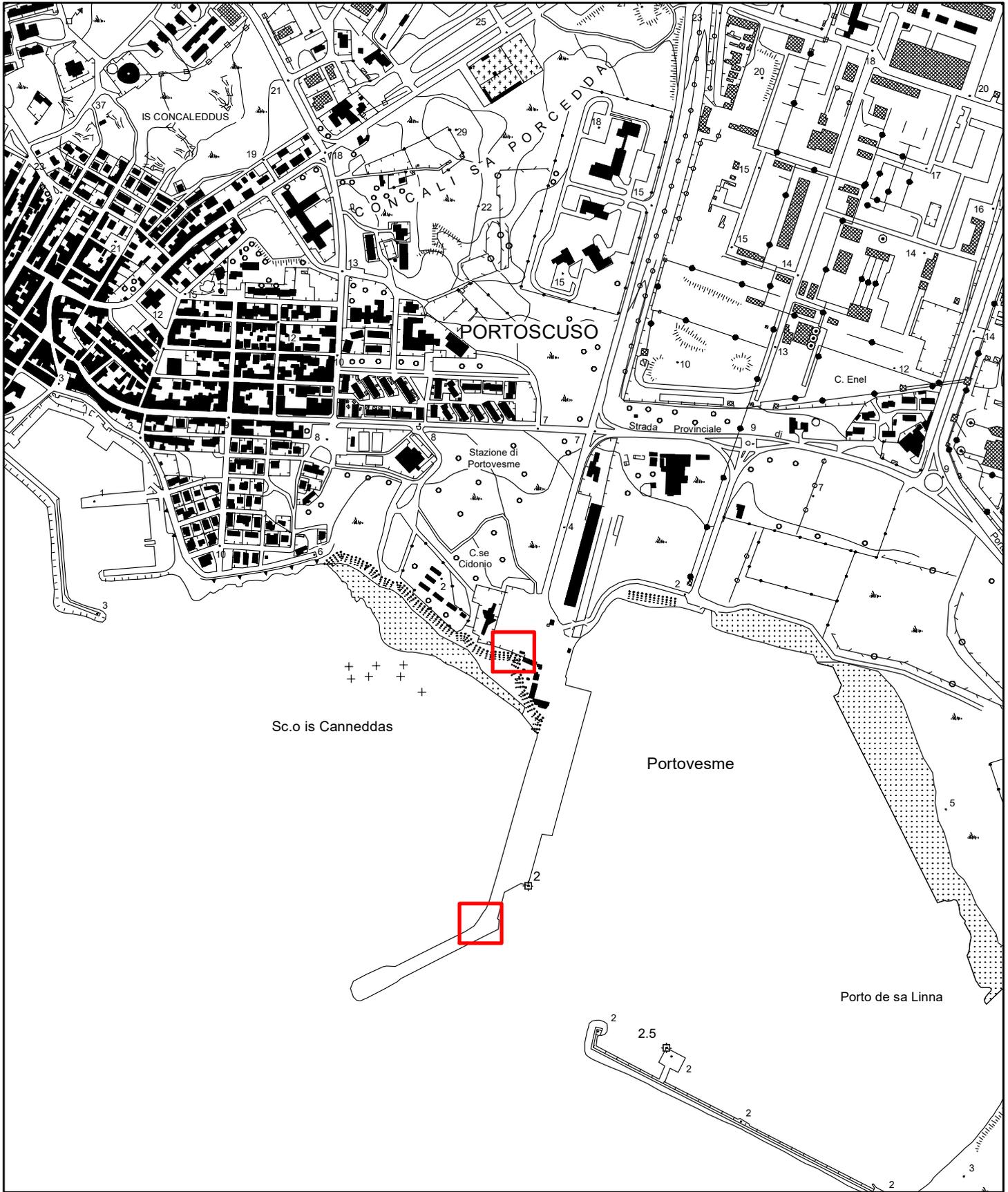
*The two sites were examined by carrying out as many geognostic surveys with continuous coring (S1 and S2) pushed to a depth of 15.00 meters from the reference plane. The borehole made it possible to obtain the lithostratigraphic structure of the relative sediment, mainly characterized by the natural sandy lithofacies of the coastal environment in S1 and by fill materials in S2.*

*In the first case, the evened out backfill of the parking area (Fill material 1) was found, for a thickness of about 1.80 meters, followed by silty coastal sands of medium packing density (Lithotype 1) up to about 8.10 meters deep, and from sands with clayey silt and cemented clasts (Lithotype 2) up to about 14.30 meters deep. A layer of semi-coherent clayey-silty sands (Lithotype 3) ends the sequence till the bottom of the hole.*

*In S2, as anticipated, the borehole intercepts mainly filling lithotypes: starting from the base of the concrete cast that covers the pier for a thickness of 2.50 meters, there is a layer of sand and heterometric gravel which is compact and with good packing density (Fill material 2) reaching a depth of 6.70 meters and well sorted with clasts and rare pluri-decimeter blocks. Beyond this depth, the cyclopean blocks of purplish ignimbrite, fresh or faintly corroded and weathered, have been intercepted (Fill material 3), which constitute the submerged cliff on which the extension of the western pier is based: their presence in the column is discontinuous and an alternation in levels is recorded from pluri-decimeter to little more than metric with fine and medium local sands, which are loose (Fill material 4) and clog their interstices. Beyond this level, at a depth of about 12.30 meters, the natural, sandy and very well sorted seabed (Lithotype 4) was intercepted, from loose and reworked to having a good packing density.*

*The natural lithotypes (L1-L4), from incoherent to weakly bound in a silty-clayey matrix, have appreciable shear strength values expressed mainly in the frictional domain and, only in the case of Lithotype 3, with significant values also in the cohesive one. Digging is easily doable whereas the support of trenches and cavities requires both temporary and structural containment measures.*

*The F2 and F3 filling lithotypes, although heterogeneous, are credited with a high shear resistance (in the case of F3 referring to the rock mass constituting the cliff) exclusively of frictional nature. Furthermore, F3 consists of cyclopean blocks of ignimbritic nature whose tenacity makes it necessary for the excavations to resort to specific methods and tools for stone.*

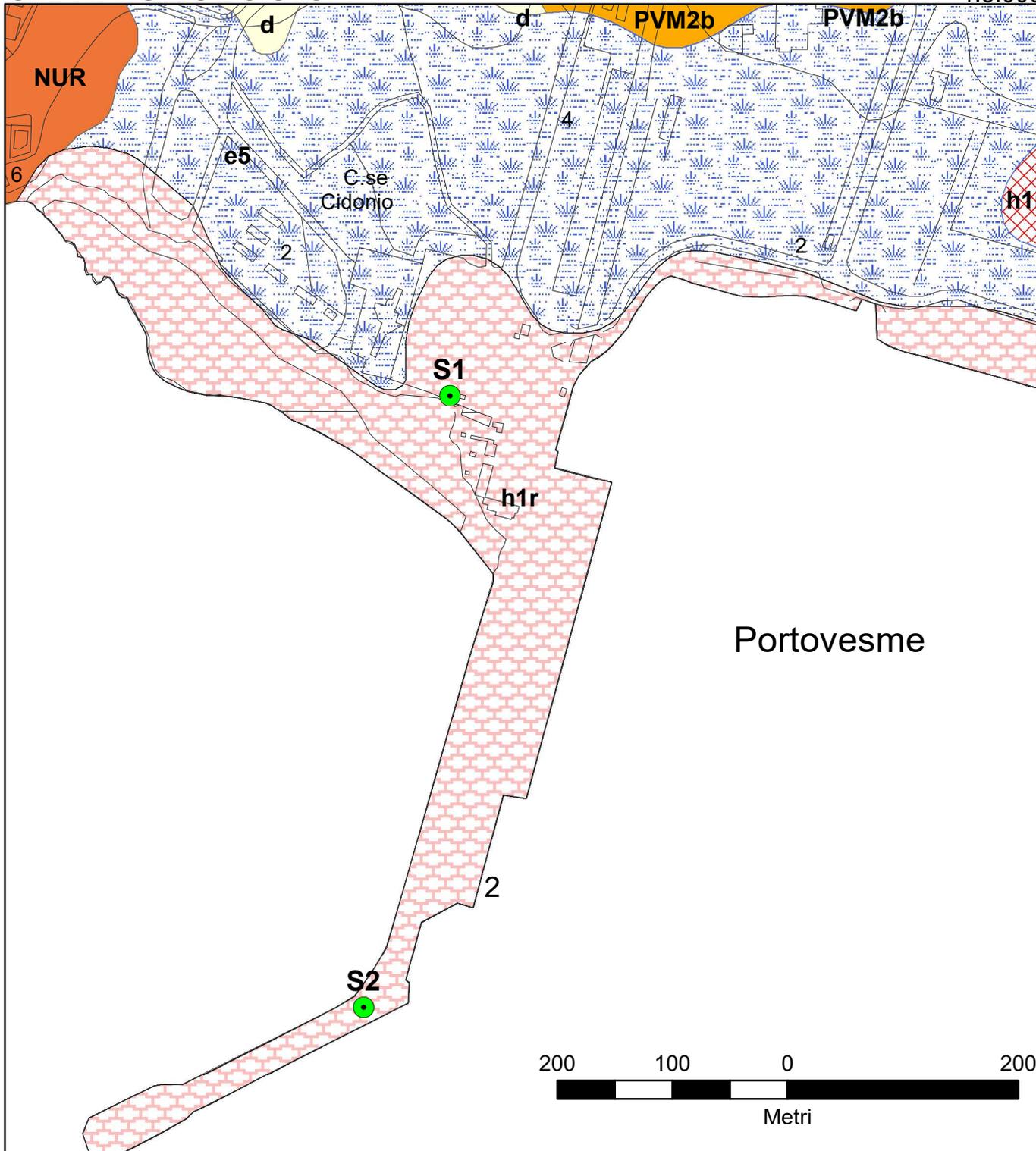


 AREE DI INDAGINE

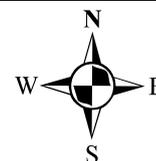


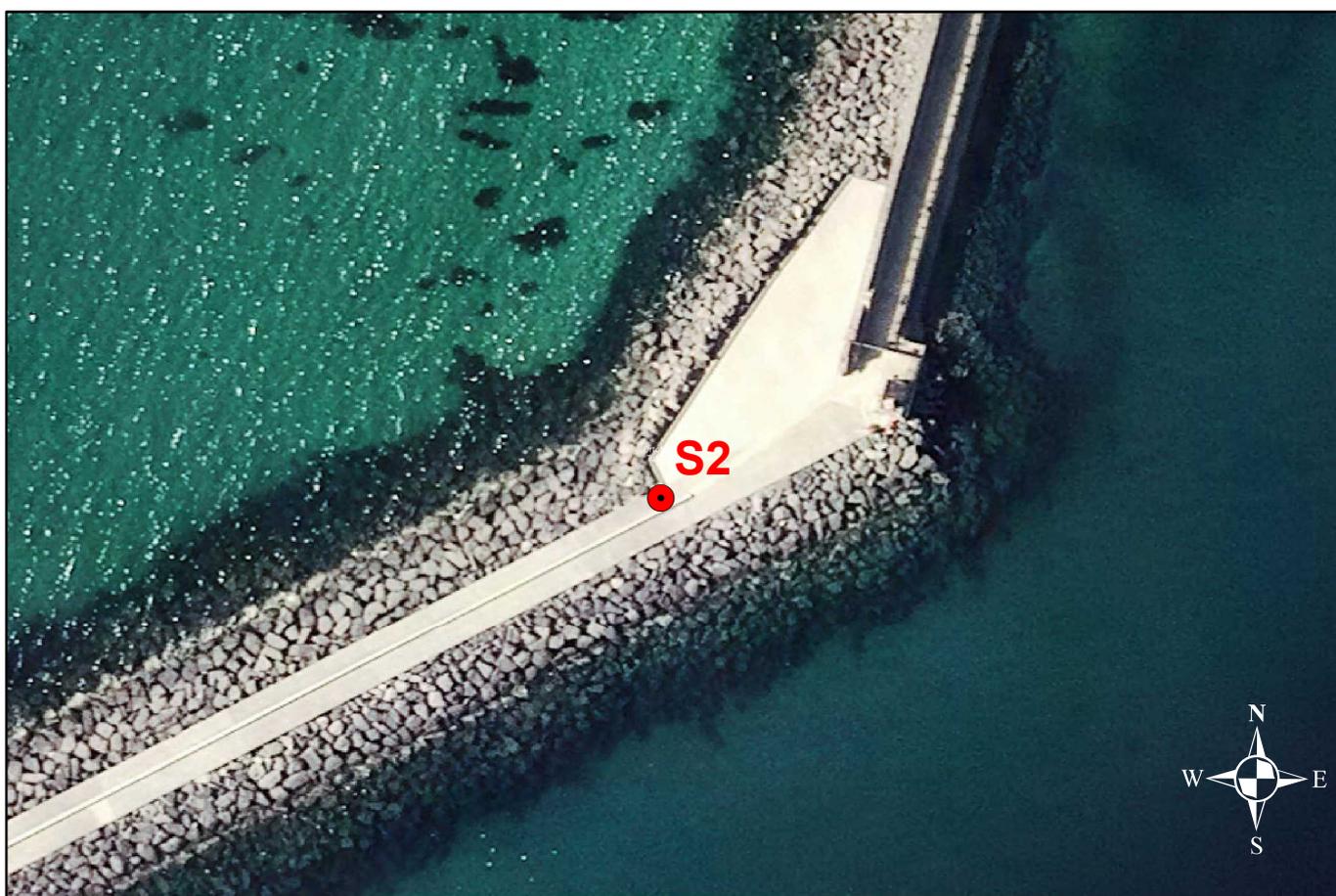
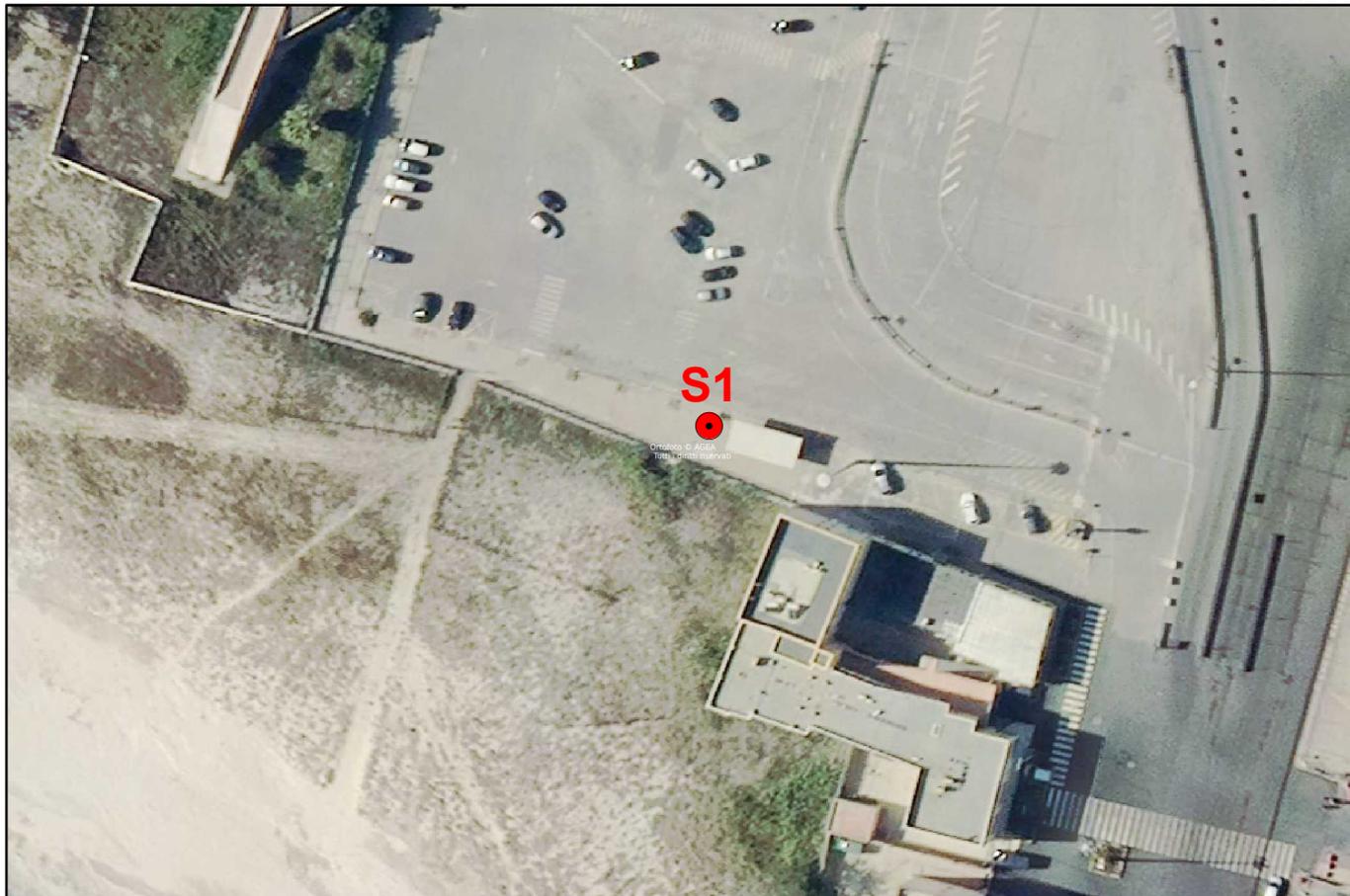
# CARTA GEOLOGICA

1:5.000

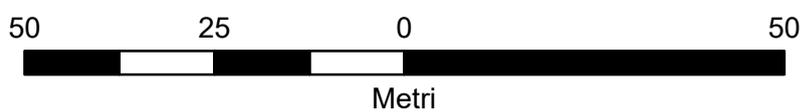


-  *h1i- Depositi antropici. Discariche industriali. OLOCENE*
-  *h1r - Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE*
-  *d - Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE*
-  *e5 - Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE*
-  *PVM2b - Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.*
-  *NUR - RIOLITI DI NURAXI (Lipariti t4 Auct.). Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico, con cristalli liberi di Pl (con orlo di Sa), Sa, scarsi Opx, Cpx, Mag, di colore variabile da grigio ceruleo a bruno violaceo, spesso respeso reomorfici, densamente saldati, con tessitura da eutassitica a paratassica, con marcata foliazione; livello vitrofirico alla base. Spessore: mediamente 20 m fino a oltre un centinaio. Nella parte alta presenza di livelli epiclastici e paleosuoli. (15,8 Ma) LANGHIANO*
-  **SONDAGGI GEOGNOSTICI**



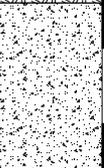
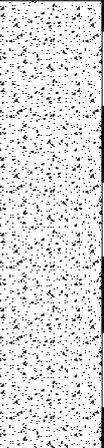
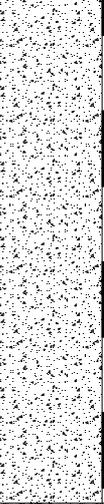
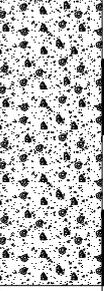


● Sondaggi geognostici



PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME

Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI		Sondaggio: <b>S2</b>	
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.		Impresa: Dott. Antonello Angius	
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm		Ø rivestimento: 127 mm	
Scala 1:50	Data: 09/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 2.00		Profondità F.F. (m): 15.00	

Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT	Campione	Vane test (kg/cm²)
0.00	2.00		Cls 5 cm su riporto in sabbia e ghiaia sciolte				
0.70	1.30		Riporto in sabbie medie e grossolane debolmente addensate. Colore beige.		1.50 4 3 7 1.95		
1.80	0.20		Sabbia fine e media, debolmente limosa, con rare inclusioni di paglia marina, mediamente addensata. Colore grigio		3.10 7 9 8 3.55		
			Sabbia eterometrica limosa con passaggi debolmente argillosi e sporadici livelli bioclastici cementati di spessore centimetrico. Mediamente addensata. Colore beige.		5.00 6 7 7 5.45		
					6.50 6 6 7 6.95	7.00	S1-C1
8.10	-6.10					8.00	
10.00	-8.00						

NOTE:

PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME

Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI		Sondaggio: <b>S2</b>	
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.		Impresa: Dott. Antonello Angius	
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm		Ø rivestimento: 127 mm	
Scala 1:50	Data: 10/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 3.10		Profondità F.F. (m): 15.00	

Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT 10.00	Campione	Vane test (kg/cm²)
10.00	-8.00		Sabbia eterometrica limosa con passaggi debolmente argillosi e sporadici livelli bioclastici cementati di spessore centimetrico. Mediamente addensata. Colore beige.		15 9 7 10.45		
11.70	-9.70		Sabbia fine con limo argilloso scarsamente consistente, con ghiaia media e presenza di resti conchigliari non diagenizzati. Colore avana-biancastro.			13.00	
14.30	-12.30		Sabbia limosa con argilla, frammista a ghiaia minuta ben elaborata e resti conchigliari. Coerente e consistente. Colore ocra.			S1-C2 14.30	
15.00	-13.00					S1-C3 15.00	

NOTE:

PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME

Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI		Sondaggio: <b>S2</b>	
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.		Impresa: Dott. Antonello Angius	
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm		Ø rivestimento: 127 mm	
Scala 1:50	Data: 09/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 3.00		Profondità F.F. (m): 15.00	

Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT	Campione	Vane test (kg/cm²)
0.00	3.00		Colmata in cls				
2.50	0.50		Riporto costituito di ghiaia media e grossolana con sabbia eterometrica, mediamente addensata, color grigio-viola.		3.00 26 50cp-7cm -		
4.00	-1.00		Riporto in ghiaia e ciottoli eterometrici con sabbia. Presenza sporadica di blocchi oltre il decimetro. Colore rosso-violaceo.				
6.70	-3.70		Riporto costituito da masso ciclopico ignimbrítico sano, colore viola.			7.00	
8.50	-5.50		Riporto in ghiaia fine e media con sabbia eterometrica, con livelletti in paglia marina. Colore da grigio scuro a beige.				8.50
9.70	-6.70		Riporto in blocchi di ignimbrite campionati in spezzoni fratturati, sani o debolmente alterati. Colore rosso-violaceo.				
10.00	-7.00		Riporto in blocchi di ignimbrite campionati in spezzoni fratturati, sani o debolmente alterati. Colore rosso-violaceo.				

NOTE:

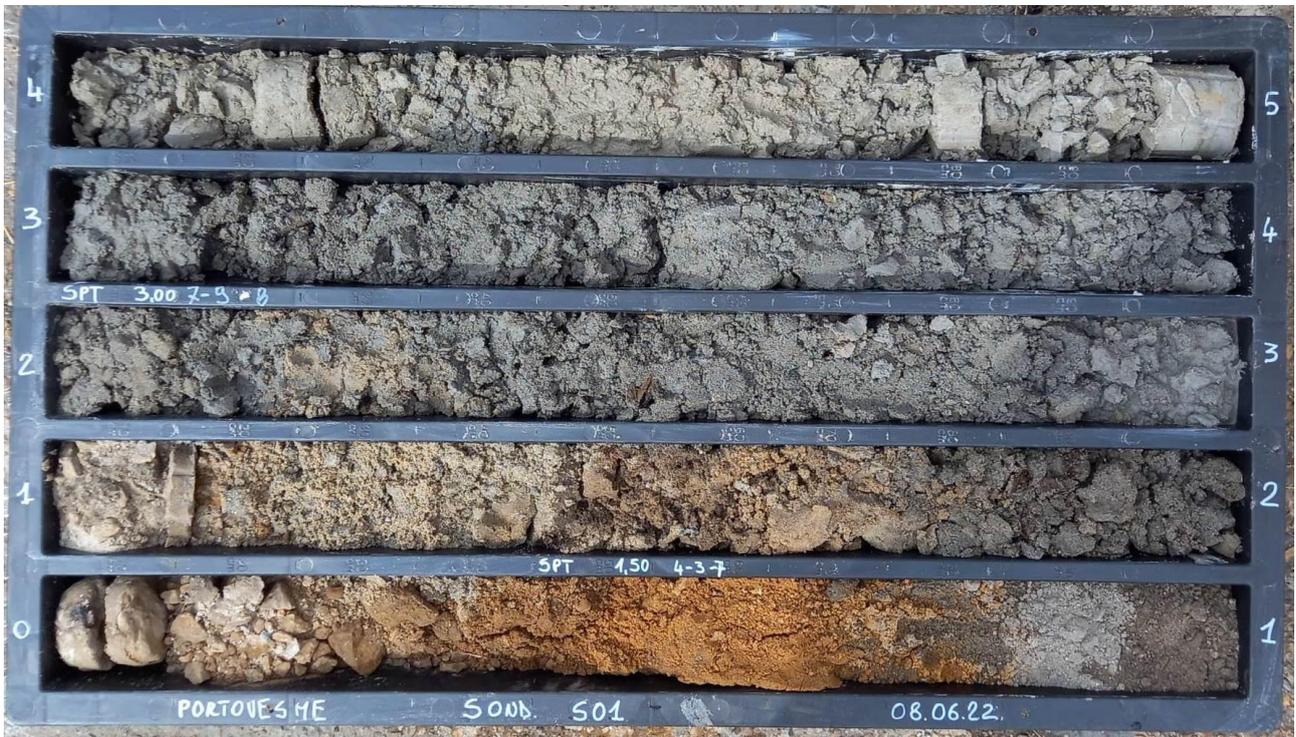
PROGETTO: NUOVO CAVIDOTTO PRESSO IL MOLO DI PORTOVESME

Località: Portoscuso - Molo		Rilevatori: A. VIGO, P.CONI		Sondaggio: <b>S2</b>	
Coordinate GB (RM40)		Metodo di perforazione: ROT. CONT.		Impresa: Dott. Antonello Angius	
N: 4.338.524,4	E: 1.447.283,5	Ø perforo: 101 mm		Ø rivestimento: 127 mm	
Scala 1:50	Data: 10/06/2022	Quota s.l.m.m. (m): 3.10		Profondità F.F. (m): 15.00	

Profondità da p.c. (m)	Quota s.l.m.m. (m)	SIMBOLO	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Profondità falda da p.c. (m)	SPT	Campione	Vane test (kg/cm²)
10.00	-7.00	^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^	Riperto in blocchi di ignimbrite campionati in spezzoni fratturati, sani o debolmente alterati. Colore rosso-violaceo.				
11.00	-8.00		Sabbia media ben classata con ghiaia minuta, color grigio scuro.				
11.50	-8.50	^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^ ^	Riperto in blocchi ignimbrifici sani o debolmente fratturati, di colore rosso violaceo.				
12.30	-9.30		Sabbia fine e media con clasti di taglia inferiore a 5,0 cm, rimaneggiata. Colore grigio.				13.00
13.70	-10.70		Sabbia limosa con inclusioni di paglia marina e resti conchigliari. Ben addensate. Colore grigio scuro.		13.70 16 16 14 14.15	S2-C2	
15.00	-12.00						15.00

NOTE:

# ALLEGATO FOTOGRAFICO



S1 C1 (0.00 - 5.00)



S1 C2 (5.00 - 10.00)



S1 C3 (10.00 - 15.00)



S2 C1 (0.00 - 5.00)



S2 C2 (5.00 - 10.00)



S2 C3 (10.00 - 15.00)



Ichnusa wind power srl

**iLStudio.**  
Engineering & Consulting **Studio**

<b>PARCO EOLICO FLOTTANTE NEL MARE DI SARDEGNA SUD OCCIDENTALE</b> PROGETTO DEFINITIVO		
<b>Rapporto sulle indagini a terra</b>		
Codice documento: <b>C0421UR32INDTER00a</b>	Data emissione: <b>Marzo 2023</b>	Pagina <b>85 di 85</b>

*Il presente documento, composto da n. 92 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.*

Taranto, Marzo 2023

Dott. Ing. Luigi Severini