



**COMUNITA' MONTANA DEL MONTE ACUTO
COMUNE DI LOIRI PORTO SAN PAOLO
PROVINCIA DI SASSARI**



**PROGETTO DEFINITIVO
PER IL NUOVO ASSETTO DI PORTISTICO DEL LUNGOMARE
DI PORTO SAN PAOLO**

RELAZIONE GEOTECNICA



IL GEOLOGO



DOTT. GEOL. ALESSIO SODDE

Via Ariosto, 9
08040 Ilbono (Nu)
Tel. 3881851787
e-mail: alessiosodde81@gmail.com
Sito Web: www.geoworksardegna.it

**IL COMMITTENTE
COMUNITÀ MONTANA DEL MONTE ACUTO**

Via Regione Sarda
07020 Monti (SS)

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ING. SIMONA LEPORI**

REVISIONI

DATA	NUMERO
14.12.2021	00
20.07.2022	01



INDICE

1	PREMESSA ED OBIETTIVI DEL LAVORO	1
1.1	LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO	2
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	4
3	INDAGINI GEOGNOSTICA	6
4	CARATTERIZZAZIONE DEL VOLUME GEOTECNICO	7
5	MODELLO GEOTECNICO DI SINTESI	11
6	VERIFICHE GEOTECNICHE	12
7	CONCLUSIONI	16



1 PREMESSA ED OBIETTIVI DEL LAVORO

Nell'ambito del progetto definitivo del ***Nuovo assetto diportistico del lungomare di Porto San Paolo*** che prevede la realizzazione di un approdo marittimo, la Comunità Montana del Monte Acuto ha affidato, con determina del Dirigente n. 122 del 15.07.2021, al sottoscritto Dott. Geol. Alessio Sodde l'incarico di redigere lo studio geotecnico finalizzato a ricostruire l'assetto litotecnico dell'area di intervento e valutare la stabilità geotecnica opera-terreno.

Per il raggiungimento dei suddetti obiettivi è stata condotta nel mese di luglio 2021 una campagna geognostica investigativa a mare consistita nella realizzazione di n. 4 carotaggi eseguiti con vibrocarotiere e di n. 2 prove di laboratorio per la definizione dei parametri geotecnici, oltre ad una prova sismica a terra mediante tecnica MASW per la determinazione della categoria di sottosuolo valida ai fini sismici.



1.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DELL'INTERVENTO

L'area oggetto di intervento ricade nel settore costiero del Comune di Loiri Porto San Paolo, e comprende l'omonimo porticciolo turistico ubicato nell'insenatura posta dinanzi all'Isola Cavalli e all'Isola Piana e delimitata verso sud dalla foce del Riu Scalamala.

Nella Cartografia Regionale il sito è compreso nel:

- Foglio n. 444 sez. II Porto San Paolo e Sez. III Loiri dell'I.G.M.I. (SCALA 1:25.000);
- Foglio n. 444120 della CTR (SCALA 1:10.000);

Mentre le Coordinate in Gauss Boaga del centro del golfo risultano:

1.553.705 E 4.525.635 N

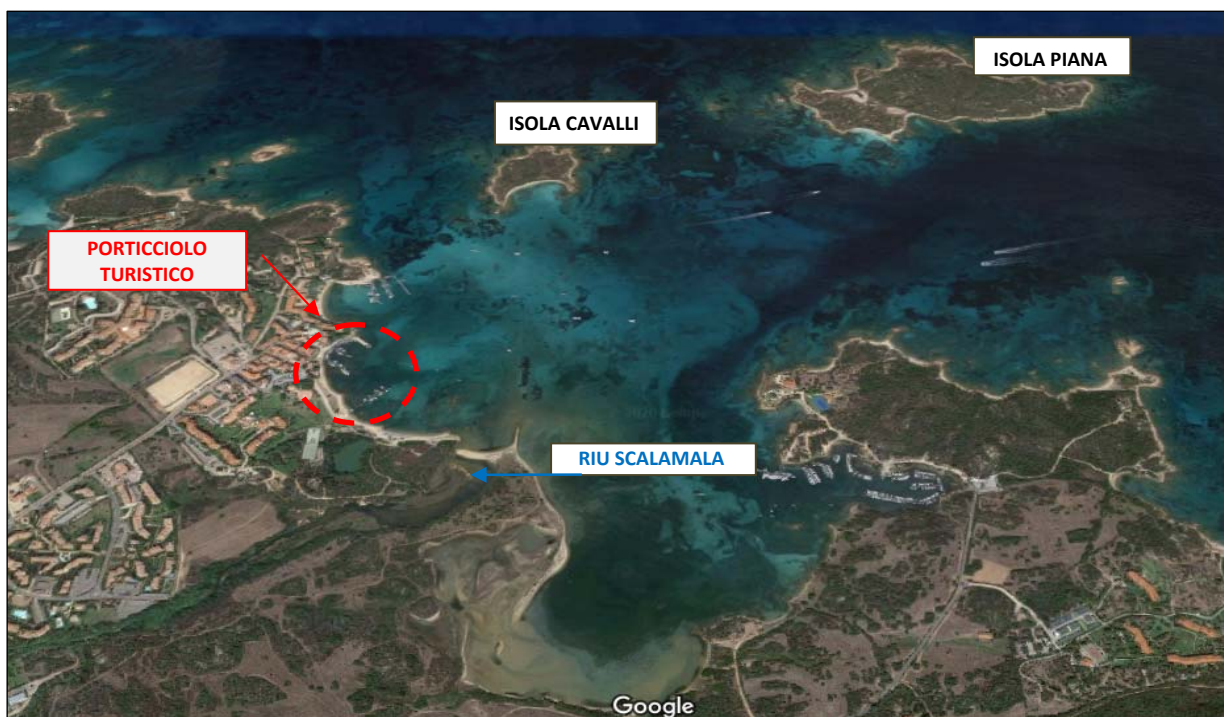


Figura 1.1-1.2: In alto panoramica generale e in basso panoramica di dettaglio dell'area del porticciolo oggetto di intervento

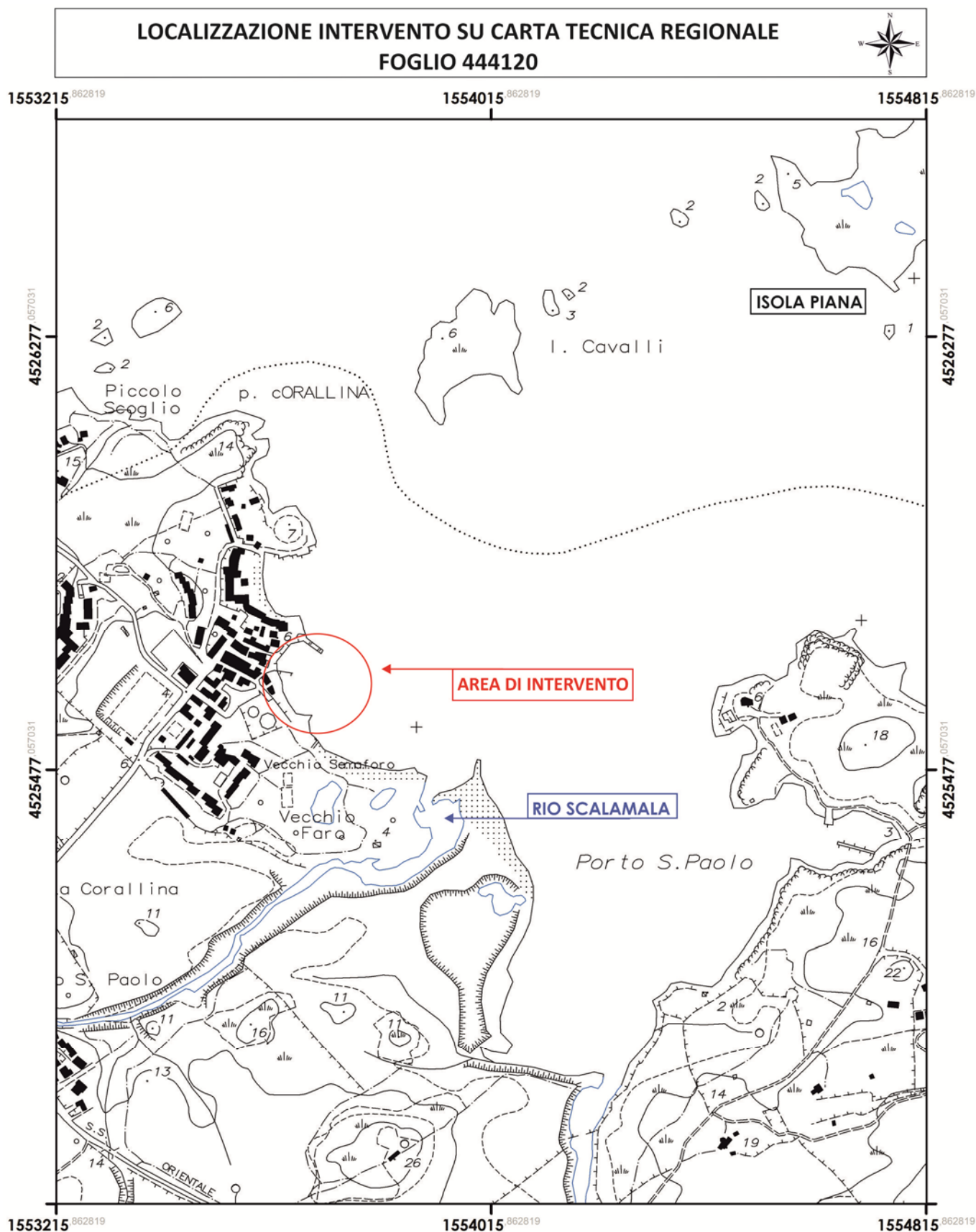


Figura 1.3: Stralcio Cartografia C.T.R. in scala 1:10.000 con ubicazione dell'area oggetto di intervento



2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

Con riferimento alla Relazione Illustrativa allegata al progetto di fattibilità tecnica ed economica redatta da Martech S.r.l., il progetto consiste in una serie di interventi finalizzati alla realizzazione di un vero e proprio approdo, così articolati:

- INTERVENTO 1 Allungamento del molo esistente mediante un banchinamento costituito da blocchi in calcestruzzo prefabbricati imbasati su scanno in pietrame;
- INTERVENTO 2 allungamento di un pontile esistente mediante il posizionamento di 3 pontili galleggianti;
- INTERVENTO 3 nuovo pontile in legno;
- INTERVENTO 4 antemurale in massi da 1 a 3 t, in modo tale da poter consentire l'utilizzo del bacino in tutte le stagioni dell'anno.

Di seguito la planimetria ed alcune sezioni dell'intervento, mentre per i dettagli progettuali si rimanda alla Relazione Illustrativa e alle Tavole di progetto.

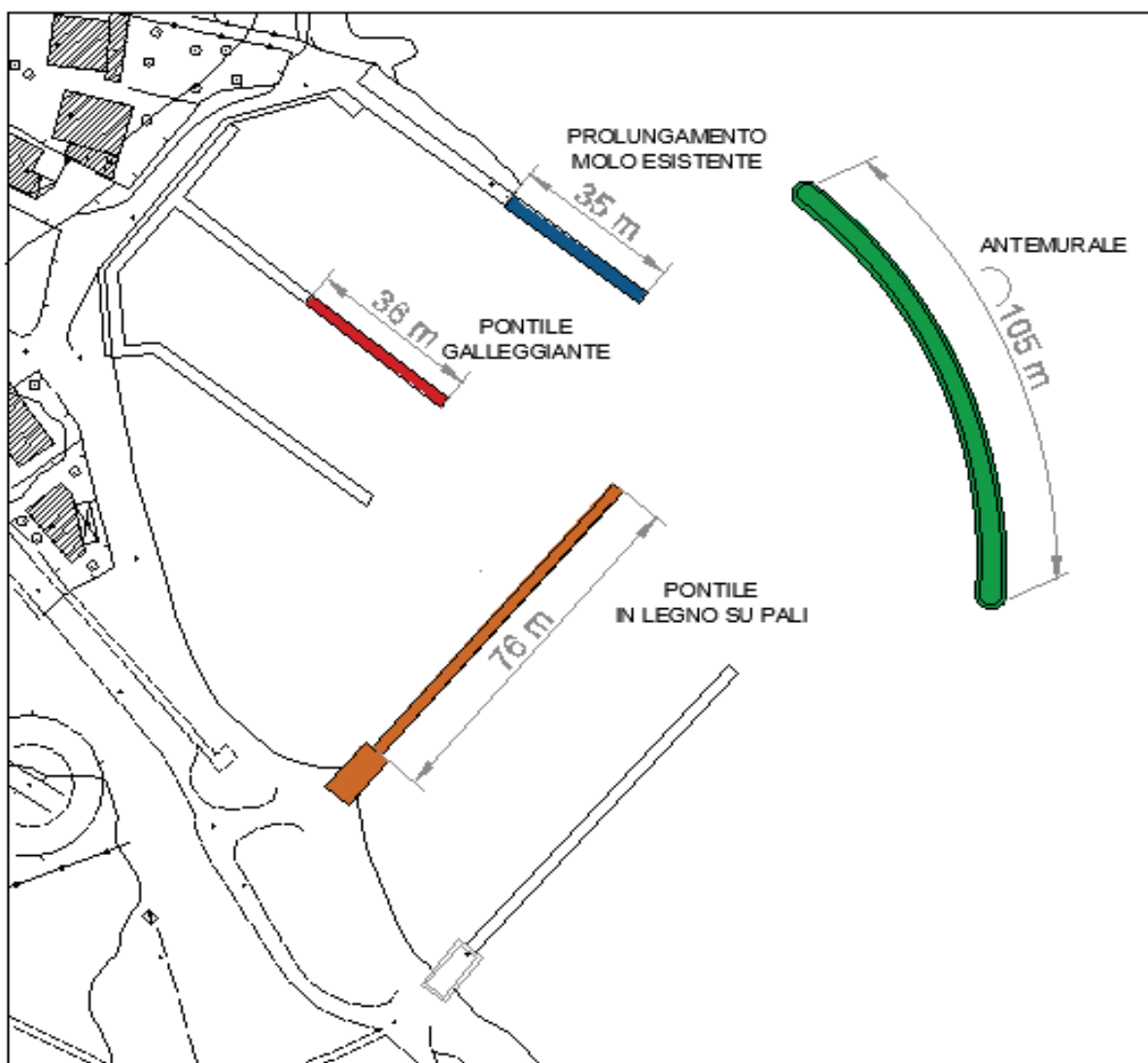
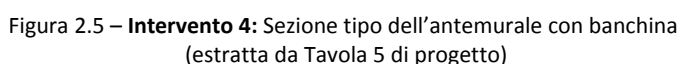
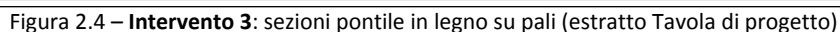
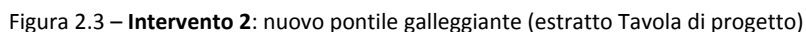
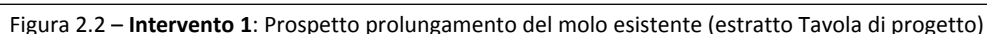


Figura 2.1. – Planimetria degli interventi in progetto





3 INDAGINI GEOGNOSTICA

Con l'obiettivo di ricostruire il modello geotecnico locale del sito di intervento, e valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni di sedime del sito su cui sarà realizzato l'approdo, la Comunità Montana del Monte Acuto – Ufficio Lavori Pubblici e Servizio al Territorio, ha affidato, sulla base del piano di indagini redatto nella fase preliminare, l'esecuzione delle seguenti indagini geognostiche:

- ⇒ n. 4 carotaggi mediante vibrocarotiere condotti dalla ditta Coral Reef S.a.s.;
- ⇒ prelievo di campioni da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio (**Prova Di Taglio Diretto C.D. e Classificazione Granulometrica**);
- ⇒ **1 Prova MASW** per la determinazione delle VS nel sottosuolo secondo una sezione bidimensionale mediante la tecnica di *Multichannel Analysys of Surface Waves* per profili fino a 30,00 m comprensiva di relazione geofisica, affidata alla Dott.ssa Geol. Laura Mascia.

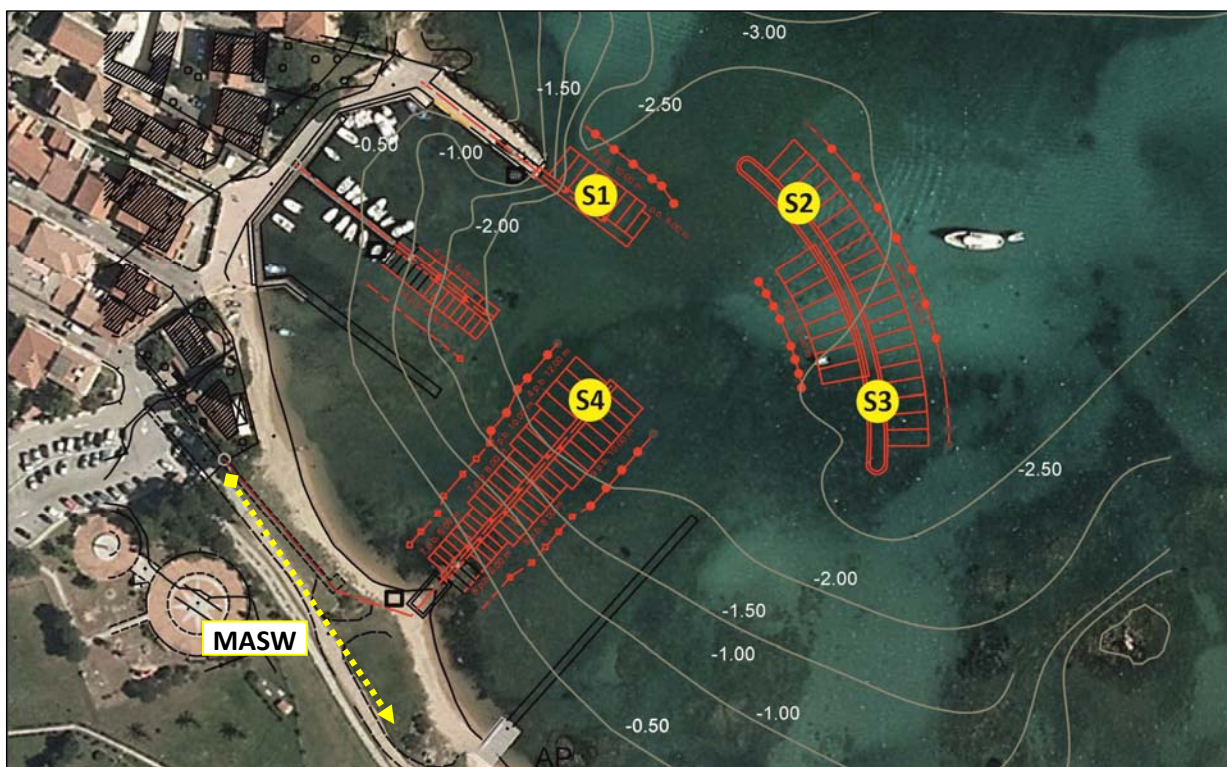


Figura 3.1 - Ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti con vibrocarotiere e della prova sismica MASW
In verde il sondaggio dove è stato prelevato il campione



4 CARATTERIZZAZIONE DEL VOLUME GEOTECNICO

Con riferimento ai risultati provenienti dalla campagna geognostica e alla ricostruzione del modello geologico contenuta nella Relazione Geologica, il sottosuolo di intervento si caratterizza per la diffusa presenza del basamento granitico locale fratturato (**Strato B**), visibile anche in affioramento per lunghi tratti di costa, talora obliterato da una coltre di sabbie di origine marina di spessore metrico (**Strato A**).

Nel seguito si riporta la ricostruzione del modello litostratigrafico del sottosuolo dell'area di indagine, a partire dallo strato più recente fino al più antico:

- **STRATO A** **SABBIE MARINE BIOCLASTICHE DA MEDIO-FINI A GROSSOLANE SCIOLTE/POCO ADDENSATE**
- **STRATO B** **BASAMENTO GRANITICO FRATTURATO LITOIDE**

STRATO A – SABBIE MEDIO-FINI BIANCASTRE

Tetto: 0,00 m – Letto: -0,40 m ÷ variabile

Spessore: metrico

Sabbie marine biancastre da fini a medie a grossolane, a composizione quarzoso-feldspatica con qualche ciottolo e frammenti conchigliari dispersi. Sono state rinvenute in superficie al di sopra del basamento lapideo granitico. Presentano ridotto spessore (in S2 pari a 0,50 m) o risultato del tutto assenti.



Foto 4.1 - Sedimenti sabbiosi dello Strato A

In via cautelativa, a favore della sicurezza è stato ipotizzato uno spessore pari a 2 m nel settore centrale dell'antemurale in quanto durante i rilievi si è notata la presenza di un maggiore spessore di sabbie. Per caratterizzare dal punto di vista meccanico i terreni è stato prelevato 1 campione, denominato C1-S2 rappresentativo dell'intervallo sottoposto a Classificazione delle Terre e Taglio Diretto C.D..



L'Analisi Granulometrica ha evidenziato la seguente composizione: Ghiaia 9,3% (trattenuto al setaccio 2mm) , Sabbia 88,6% (passante al setaccio 2 mm), Argilla e Limo 2,1% (passante al setaccio 0,063 mm), permettendo di assegnare per la **Classificazione UNI CEN ISO/TS 17892-12 la Classe A3** indicative di **Sabbie fini**. I Limiti di Atterberg hanno fornito una valore di Limite Liquido $LL=ND$ (non determinabile) Limite Plastico $LP=NP$, Indice Plastico $I_p = NP$ (non plastico) ed Indice di Gruppo $I_g=0$.

Nella **Classificazione USCS** sono ascrivibile al gruppo **SP “ Sabbie pulite con granulometria poco assortita”**.

La **Prova di Taglio Diretto di tipo lento (C.D.)** eseguita su un campione ricostruito in laboratorio ha fornito i seguenti parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate: angolo di resistenza al taglio $\phi' = 39,9^\circ$, coesione drenata il valore di $c' = 6,8 \text{ KPa}$ e peso di volume naturale $\gamma_n = 1580 \text{ kg/m}^3$.

Seppur i risultati di resistenza al taglio appaiano discreti, è necessario tener conto del fatto che il campione sottoposto a prova d laboratorio è stato ricostruito e pertanto il dato risulta sovrastimato rispetto alla sua reale condizione. Infatti trattasi di terre non addensate, per via della posizione superficiale, caratterizzate da una elevata comprimibilità.

Il comportamento meccanico è di tipo attritivo-incoerente ed i parametri geotecnici risultano:

STRATO A – SABBIE MEDIO-FINI POCO ADDENSATE		
Spessore: da nullo a metrico		
PESO SPECIFICO NATURALE	$\gamma_n =$	15,5 kN/m ³
PESO SPECIFICO IMMERSO	$\gamma' =$	5,5 kN/m ³
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO DRENATO	$\phi' =$	26° ÷ 27°
COESIONE DRENATA	$c' =$	0,0 daN/cm ²
MODULO ELASTICO	$E_{El} =$	50 ÷ 60 daN/cm ²
CLASS. UN CEN ISO 17892-12		A3
GRADO DI ADDENSAMENTO STIMATO	$N_{SPT} =$	“sciolto/poco addensato”
COMPORTAMENTO GEOTECNICO		INCOERENTE
Tabella 4.1 – Parametri meccanici Strato A		



STRATO B – SUBSTRATO GRANITICO ± FRATTURATO

Tetto: 0,00 m – Letto: -0,40 m ÷ variabile

Spessore: plurimetrico

Graniti di colore dal grigio con sfumature rosa, a grana medio-fine, ± fratturati e poco alterati nella porzione superficiale. Rappresentano il basamento indeformabile del settore caratterizzato da ottime caratteristiche geotecniche ed affiorano in diversi tratti del settore costiero di intervento oltre che nel settore interessato dalle opere talora al di sotto di una finissima coltre di sabbie (S2 0,5 m). .

Lo spessore della roccia granitica è plurichilometrico.



Foto 4.2 - Frammenti di basamento granitico estratti dal Sondaggio S1



Foto 4.3 – Basamento granitico fratturato affiorante sul promontorio del Vecchio Semaforo



Foto 4.4÷4.4 – Basamento granitico fratturato affiorante visibile sul promontorio del Vecchio Semaforo

Si tratta di un ottimo strato di fondazione, in quanto caratterizzato da elevati valori di resistenza la taglio, coesione, resistenza a compressione uniassiale e ridotta/nulla deformabilità sotto carico.

A tale strato possono attribuirsi i seguenti parametri geotecnici:

STRATO B – BASAMENTO GRANITICO Spessore: plurimetrico		
PESO SPECIFICO NATURALE	$\gamma_n =$	25 kN/m ³
ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO	$\varphi' =$	38° ÷ 40°
COESIONE	$c' =$	1,0 daN/cm ²
MODULO ELASTICO	$E_{El} =$	5000 daN/cm ²
GRADO DI ADDENSAMENTO STIMATO	$N_{SPT} =$	Rifiuto
COMPORTAMENTO GEOTECNICO	LITOIDE	
Tabella 4.2 – Parametri meccanici Strato B		



5 MODELLO GEOTECNICO DI SINTESI

Nelle figure a seguire è schematizzato il modello geologico relativo ai diversi interventi.

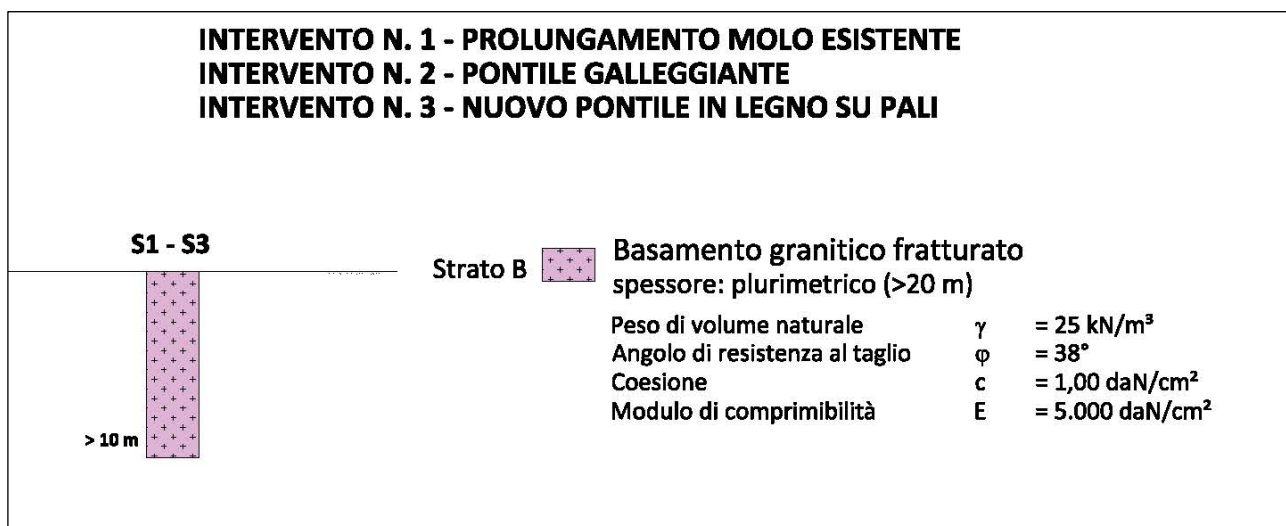


Figura 5.1 - Schema litotecnico degli interventi n.1, n.2 e n.3

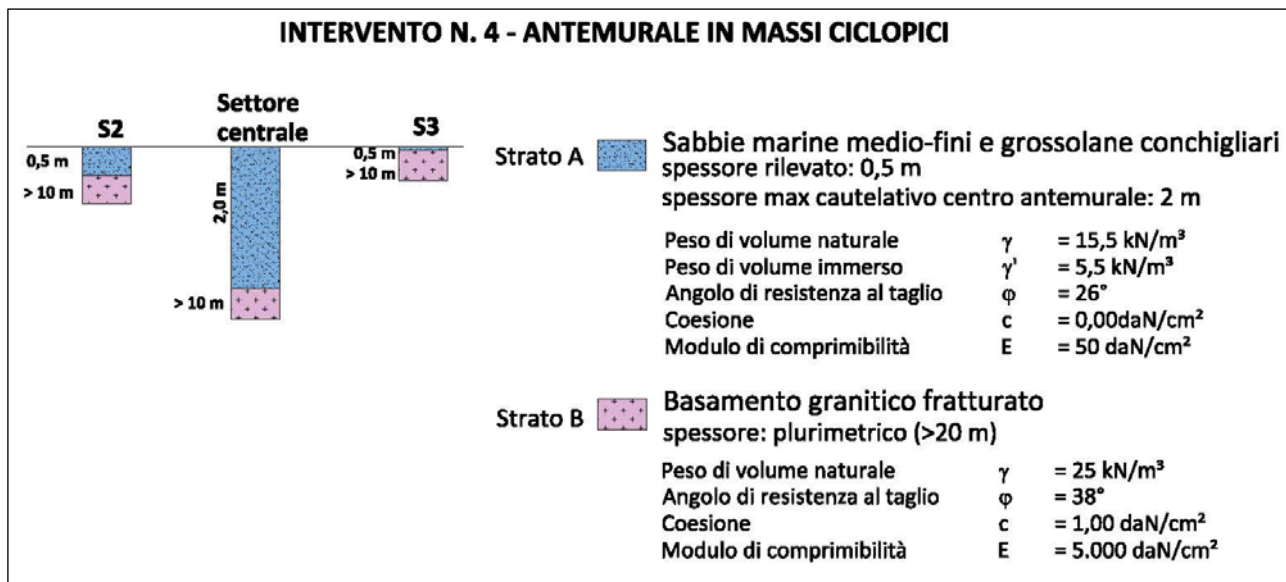


Figura 5.2 - Schema litotecnico dell'intervento n.4



6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le previste opere di intervento poggeranno direttamente o indirettamente per mezzo di uno strato di sabbie medio-fini poco addensate dello Strato A, sul basamento granitico locale, dotato di ottime caratteristiche meccaniche di resistenza al taglio e ridotta/nulla deformabilità sotto carico.

Per la valutazione della capacità portante del terreno e dei cedimenti, sono state eseguite le seguenti verifiche geotecniche ai sensi delle NTC 2018, rimandando comunque al calcolatore delle strutture la verifica in riferimento alle previste azioni di progetto.

Le verifiche sono state eseguite con riferimento ai meccanismi di rottura e alle sollecitazioni indotte sulla struttura di fondazione nelle condizioni di Stato Limite Ultimo, sia a breve che a lungo termine, che di Stato Limite di esercizio. Le stesse devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che sia soddisfatta per ogni stato limite considerato la condizione

$$R_D \geq E_D,$$

R_D la resistenza del terreno

E_D il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione.

I calcoli sono stati sviluppati applicando **la combinazione (A1+M1+R3)** di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per i parametri geotecnici e le azioni di Tabelle 6.1 e 6.2 e di quelli riportati in Tabella 6.3 per le resistenze.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE Parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente all'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	χ_{vk}	$\gamma_{\chi v}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Tabella 6.1 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

AZIONE	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE γ_G o γ_Q	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G2	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,5

Tabella 6.2 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.



VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 6.3 - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.**Caratteristiche Terreno**

LEGENDA	SPESSORE	PESO DI VOLUME		ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO φ (°)	COESIONE c (daN/cm ²)	MODULO DI COMPRIMIBILITÀ (daN/cm ²)
		NATURALE Y'n (kN/cm ²)	IMMERSO Y' (kN/cm ²)			
STRATO A SABBIE MARINE	1,00 m	15,5	5,5	26	0,00	50
STRATO B GRANITO FRATTURATO	> 5,00 m	25,0	-	38	1,00	5.000

Tabella 6.4 – Parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche geotecniche

Azione sismica

Zona sismica	IV
Tipo Opera	2 – Opere Ordinarie
Classe d'uso	III
Vita nominale	50 anni
Categoria sottosuolo	B
Categoria topografica	T1
Accelerazione massima (ag/g)	0,07
Coefficiente sismico orizzontale	kh = 0,014
Coefficiente sismico verticale	kv = 0,007

Resistenza di progetto (Rd)

In questo caso la capacità portante è stata calcolata applicando la combinazioni di calcolo secondo l'Approccio 2 delle N.T.C. con l'Autore più cautelativo ed assumendo come strato di fondazione sia il direttamente il basamento roccioso (Strato B) che la coltre di terre sabbiose (Strato A) di spessore a anche plurimetrico (cautelativamente max 2 m) poggiante sempre sul basamento granitico.

**INTERVENTO N. 1, 2 e 3 – FONDAZIONE SULLO STRATO GRANITICO**

I suddetti punti di intervento sono stati indagati mediante i carotaggi S1 ed S4 che hanno rilevato la presenza del substrato granitico ricoperto da uno spessore di ordine centimetrico di terre sabbiose dello Strato A.

FONDAZIONE SU SUBSTRATO GRANITICO (STRATO B)			
APPROCCIO 2			
Rd daN/cm²		COMBINAZIONE 1	COMBINAZIONE 1
		STATICA	CON SISMA
	AUTORE	A1+M1+R3	A1+M1+R3
	Meyerhof & Hanna	11,87	15,16
	Verifica soddisfatta se 11.87 ≥ Ed		

Tabella 6.5 – Valori di capacità portante per il substrato granitico

Relativamente ai cedimenti, la fondazione sullo strato granitico non produrrà cedimenti apprezzabili, e anche ipotizzando la presenza di un sottile strato di sabbia lungo lo sviluppo dell'opera, il cedimento atteso sarà di tipo elastico e pertanto verrà dissipato nel breve periodo, contestualmente all'applicazione dei carichi.

INTERVENTO N. 4 – FONDAZIONE SULLO STRATO SABBIOSO

Il sottosuolo di detto intervento è stato indagati mediante i carotaggi S2, S4 che hanno rilevato la presenza del substrato granitico ricoperto nei settori laterali da uno spessore pari a 0,50 m di terre sabbiose dello Strato A mentre nel settore centrale è stato ipotizzato uno maggiore spessore di terre, stimato cautelativamente nell'ordine di 2 m. Assimilando la struttura ad una fondazione diretta continua delle dimensioni B= 10 m e L = 100 m si ottiene la seguente capacità portante:

FONDAZIONE SU STRATO SABBIOSO (STRATO A)			
APPROCCIO 2			
Rd daN/cm ²		COMBINAZIONE 1	COMBINAZIONE 1
		STATICA	CON SISMA
	AUTORE	A1+M1+R3	A1+M1+R3
	Meyerhof & Hanna	1,17	1,50
	Verifica soddisfatta se 1,17 ≥ Ed		

Tabella 6.6 – Valori di capacità portante per il substrato granitico



Relativamente ai cedimenti, considerando un carico di progetto dato dal peso proprio dei massi pari a 26 KN/m^3 a meno del volume occupato dai vuoti stimabile nel 30% e, relativamente alla parte sommersa, della spinta dell'acqua, si ottiene un carico trasmesso dall'opera sul fondale marino pari a $q = \sim 40 \text{ KN/m}^2$, da cui si ricavano i seguenti cedimenti:

Strato	Spessore strato (m)		Modulo di comprimibilità (Kg/cm²)	Cedimento assoluto (cm)		Cedimento differenziale (cm)
	min	max		Min bordo antemurale	Max centro antemurale	
Strato A	0,50	2,00	50	0,21	0,81	0,60
Strato B	10,00		5000	-		

Tabella 6.7 – Esito dei calcoli dei cedimenti.

Poiché la scogliera insiste sui litotipi incoerenti sabbiosi dello Strato A, il cui comportamento deformativo è essenzialmente “frizionale”, si assume che i cedimenti teorici calcolati per detti terreni granulari si esauriranno in un intervallo temporale “breve” ovvero nell’arco di tempo di qualche settimana, successivo all’applicazione del carico di progetto.



7 CONCLUSIONI

Dalle ricostruzioni operate in questa sede, basate su una campagna geognostica a mezzo sondaggi eseguiti con vibrocarotiere e prove geotecniche di laboratorio, è stato ricostruito il modello geologico locale interessato dal progetto denominato **“Nuovo assetto diportistico del lungomare di Porto San Paolo”** che prevede l’allungamento del molo e di un pontile esistente, la realizzazione di un nuovo pontile in legno e di un antemurale in pietrame e massi.

In particolare, è emerso che il settore di intervento si contraddistingue per la presenza del **substrato granitico locale (Strato B)**, visibile in affioramento in più punti del litorale e nel fondale marino ricoperto da **sedimenti marini sabbiosi medio-fino (Strato A)** di spessore variabile da poche decine di centimetri fino a mezzo metro.

Il substrato granitico rappresenta lo strato di fondazione degli interventi n. 1 - Allungamento del molo esistente mediante, dell’Intervento n.2 - Allungamento di un pontile esistente mediante il posizionamento di 3 pontili galleggianti e dell’intervento n. 3 - nuovo pontile in legno.

Trattasi di uno strato caratterizzato da elevate caratteristiche geotecniche, che assicurano un’elevata capacità portante, stimata nell’ordine di grandezza di 10 daN/cm², e cedimenti nulli.

Relativamente alla realizzazione dell’intervento 4 - antemurale, la scogliera da realizzare poggerà sui sedimenti sabbiosi dello Strato A, il cui spessore nelle porzioni laterali è dell’ordine di 0,50 m mentre nella porzione centrale è stato cautelativamente stimato nell’ordine di max 2 m. Al riguardo, detti sedimenti sabbiosi risultano dotati di buone proprietà geotecniche, in considerazione della discreta resistenza al taglio mentre per contro lo scarso addensamento si traduce in elevata comprimibilità sotto carico.

Al riguardo le verifiche geotecniche condotte assimilando la struttura ad una fondazione estesa ($B=10$ m e $L=100$ m) hanno ricavato valori di capacità portante dell’ordine di $R_d = 1,0$ daN/cm² ed anche i cedimenti teorici calcolati ipotizzando un carico dell’ordine di 0,40 daN/cm² hanno fornito un valore $w=0,81$ cm al centro e $w=0,21$ cm al bordo della struttura, da cui si ricava un cedimento differenziale pari a 0,60 cm. Considerata la struttura da realizzarsi detti cedimenti, esauribili nel breve termine in corso di applicazione del carico, sono da ritenersi accettabili, e influenti.



Si rimanda comunque al progettista delle strutture il dimensionamento delle fondazioni e la verifica della condizione $R_D \geq E_D$ in funzione dei carichi di progetto.

Ilbono, 10.12.2021

Il Tecnico incaricato

Geologo Alessio Sodde



NORMATIVA VIGENTE

Per redigere la presente relazione si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l'obbligatorietà dell'applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero LL.PP.;
- D.M. LL.PP. 11.03.1988 di applicazione della legge suddetta «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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione»;
- Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988 che prevede l'obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono;
- Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica;
- D.M. LL.PP. 16.01.1996 Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche;
- Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018;
- P.A.I – Piano stralcio per l'assetto idrogeologico delle Regione Autonoma della Sardegna
- P.G.R.A. Piano Stralcio di Gestione del Rischio Alluvioni delle Regione Autonoma della Sardegna.