



**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 GEOLOGICA



IL GEOLOGO



DOTT. GEOL. ALESSIO SODDE

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

Firma digitale

**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	5
3	RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO	7
3.1	CONTESTO GEOLOGICO GENERALE	7
4	INDAGINI GEOGNOSTICA	10
5	RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	15
5.1	CARATTERIZZAZIONE DEL VOLUME GEOLOGICO	15
6	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO ED IDROGRAFICO	18
7	SEZIONI GEOLOGICHE	22
8	PERICOLOSITÀ SISMICA E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE	23
8.1	CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO	25
8.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA	27
8.3	PARAMETRI SISMICI DEL NODO DI RIFERIMENTO	28
8.4	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	29
8.5	RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO	30
9	CONCLUSIONI	32

APPENDICE 1 – SCHEDE SONDAGGIO



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 geologico finalizzato a ricostruire l'assetto litostratigrafico e litotecnico dell'area di intervento.

Nello specifico, gli studi e le indagini condotte mirano ad analizzare le interazioni fra la struttura in progetto ed il terreno inteso come modello geologico, e a definire le caratteristiche meccaniche dei terreni di sedime al fine di supportare le scelte progettuali più adeguate in relazione allo specifico intervento.

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.

La presente Relazione Geologica segue i dettami e le Raccomandazioni per la redazione della "Relazione Geologica" ai sensi delle Norme Tecniche, predisposte dal Consiglio Nazionale dei Geologi, ed illustra inoltre le modalità di esecuzione delle indagini geognostiche ed i risultati ottenuti.



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

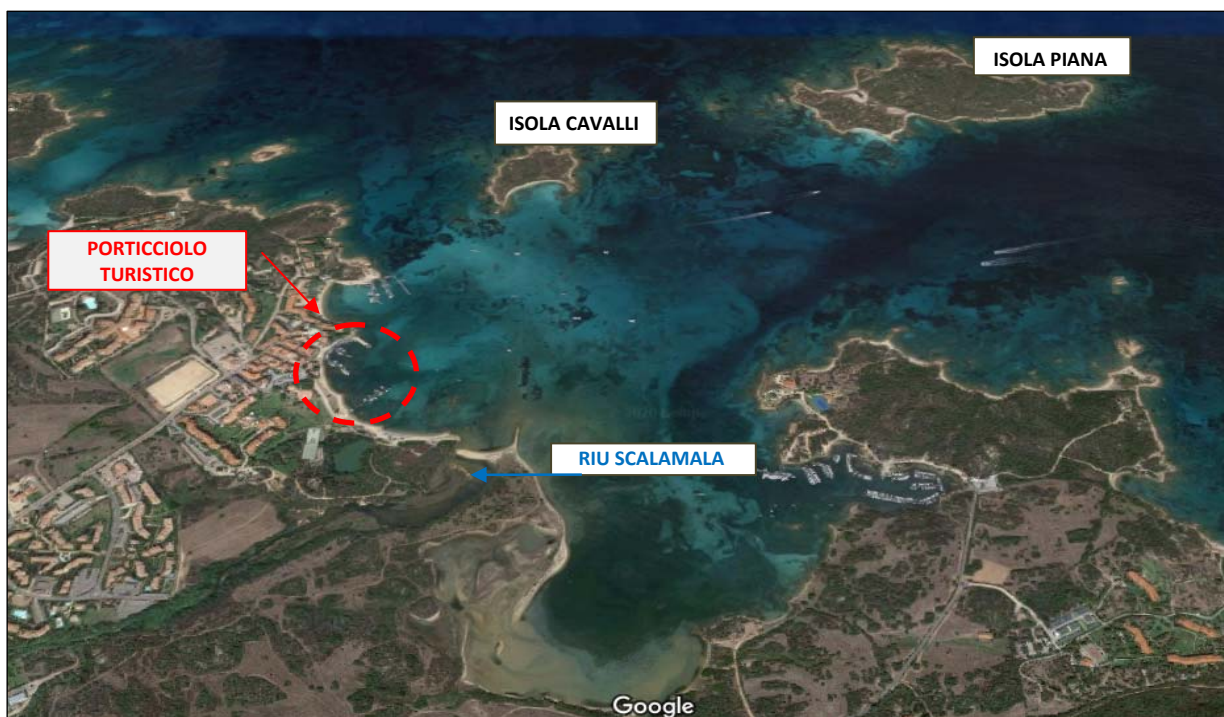


Figura 1.1-1.2: In alto panoramica generale e in basso panoramica di dettaglio dell'area del porticciolo oggetto di intervento

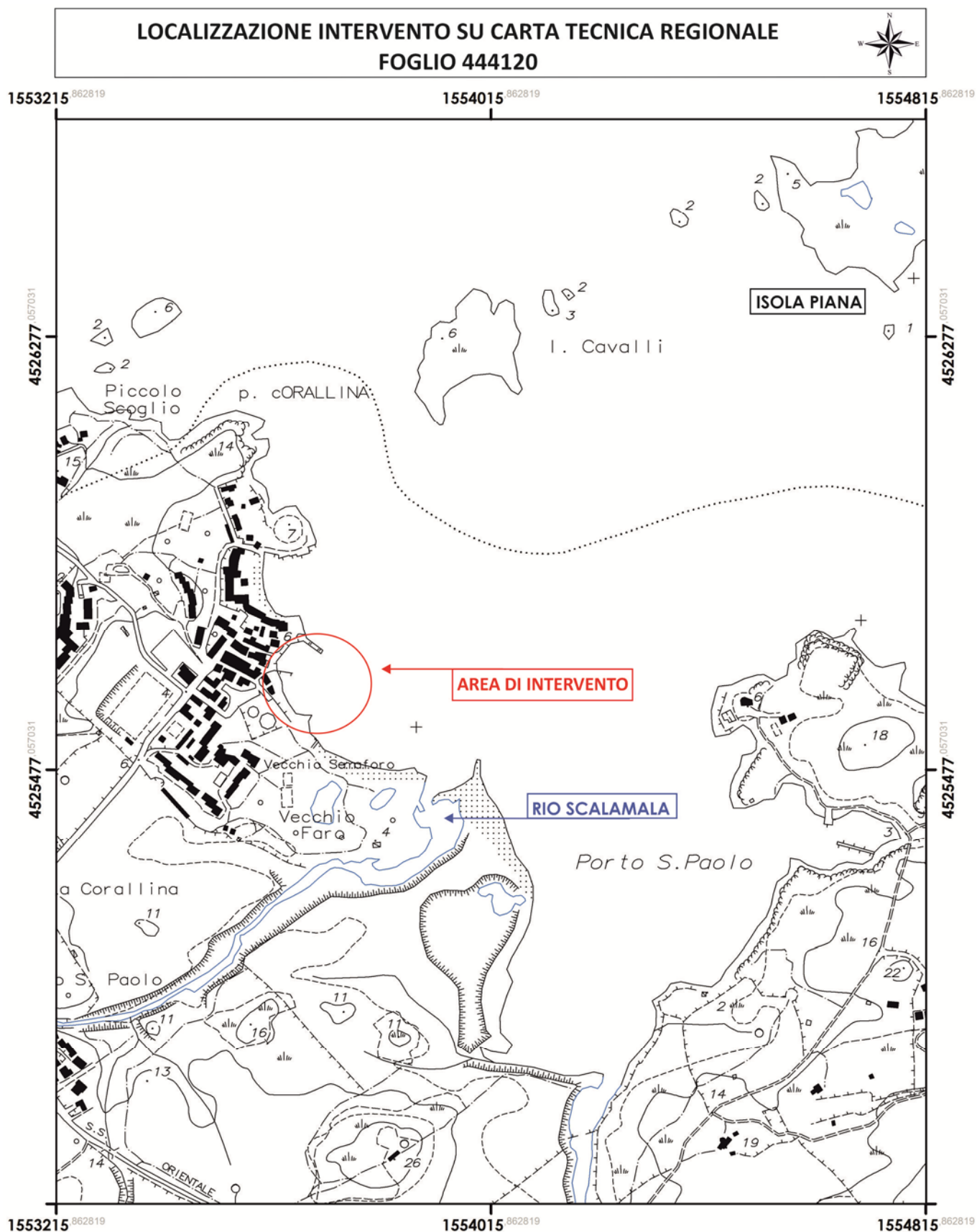


Figura 1.3: Stralcio Cartografia C.T.R. in scala 1:10.000 con ubicazione dell'area oggetto di intervento

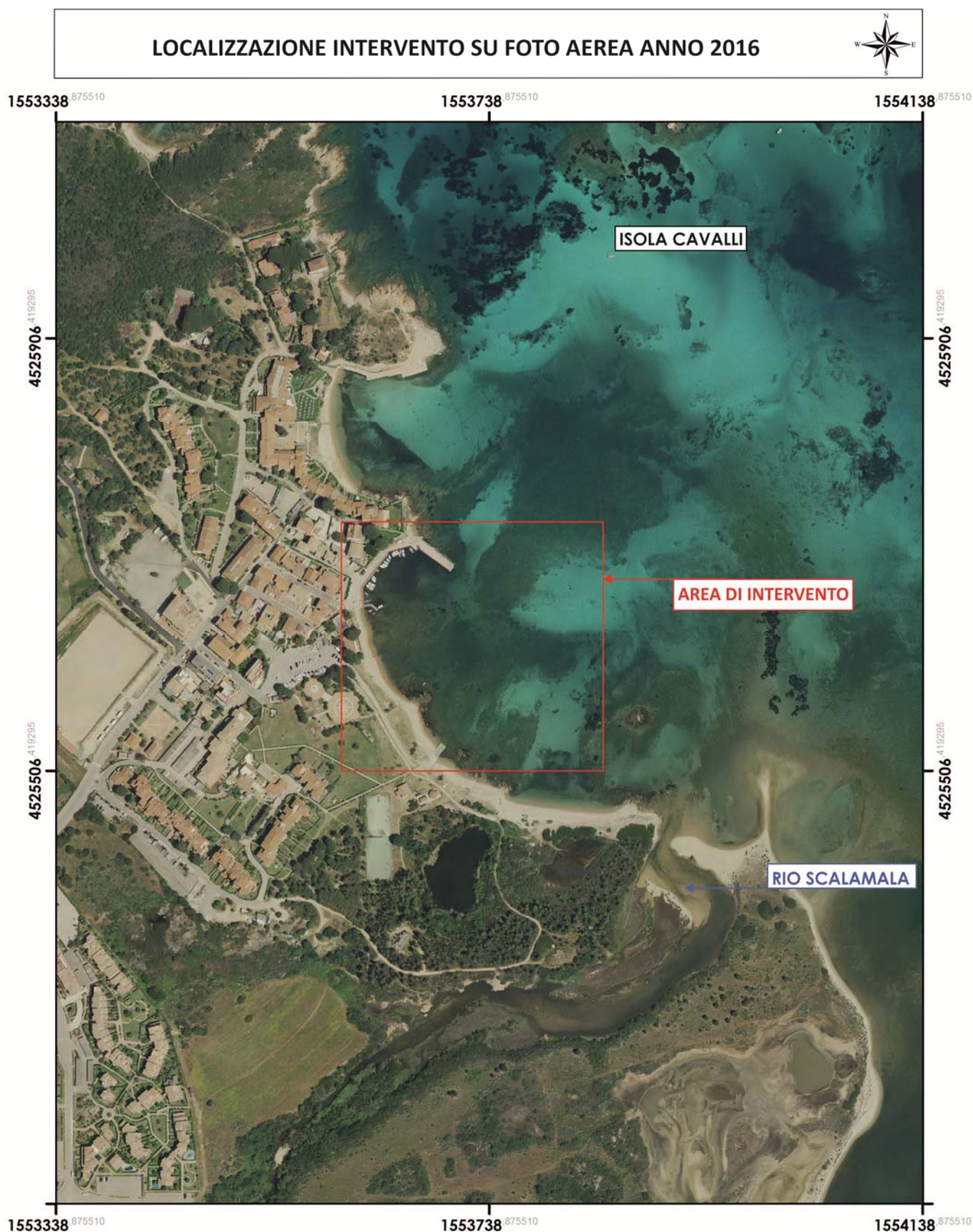


Figura 1.4: Stralcio ortofoto in scala 1:5.000 con ubicazione dell'area oggetto di intervento



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.

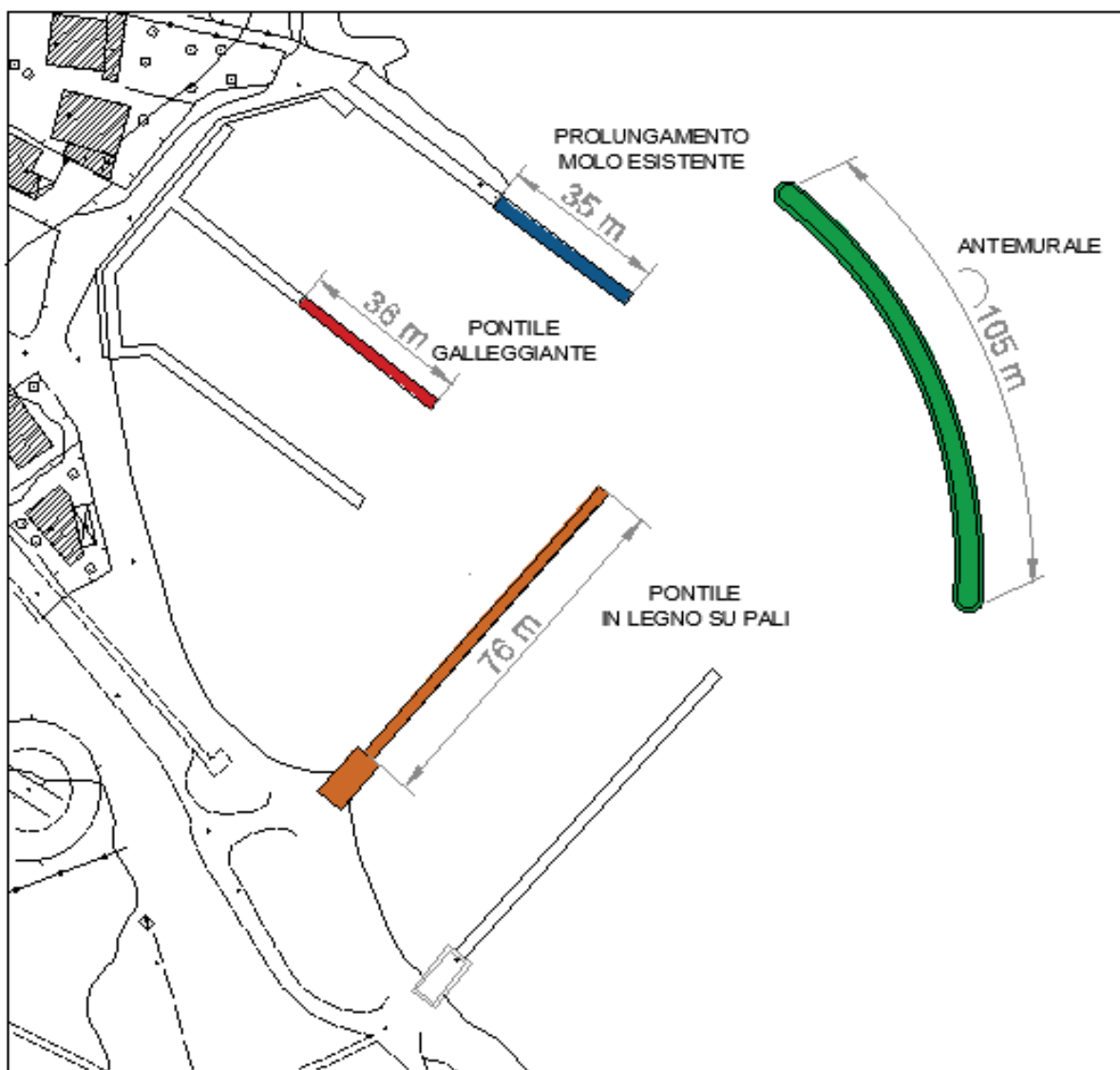


Figura 2.1. – Planimetria degli interventi in progetto



3 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO

3.1 CONTESTO GEOLOGICO GENERALE

Il settore territoriale entro il quale ricade il porticciolo turistico oggetto di intervento, è caratterizzato dalla diffusa presenza del complesso intrusivo ercinico della Sardegna ("batolite sardo-corso"), attraversato da un variegato corteo filoniano-tardo ercinico, sormontato dalla coperture quaternarie di origine sedimentaria di tipo marino-litorale e alluvionale.

Il sistema tettonico locale mostra la presenza di un'importante direttrice tettonica nota come Faglia di Tavolara, che comprende un insieme di faglie parallele orientate NE-SW (sistema N60°), su cui quasi per intero è impostata la valle del Riu Scalamala, ubicata poco a sud rispetto all'area in studio. Altre direttrici di taglio con sistema coniugato a quello principale sono le discontinuità orientate NW-SE (sistema N 320°).

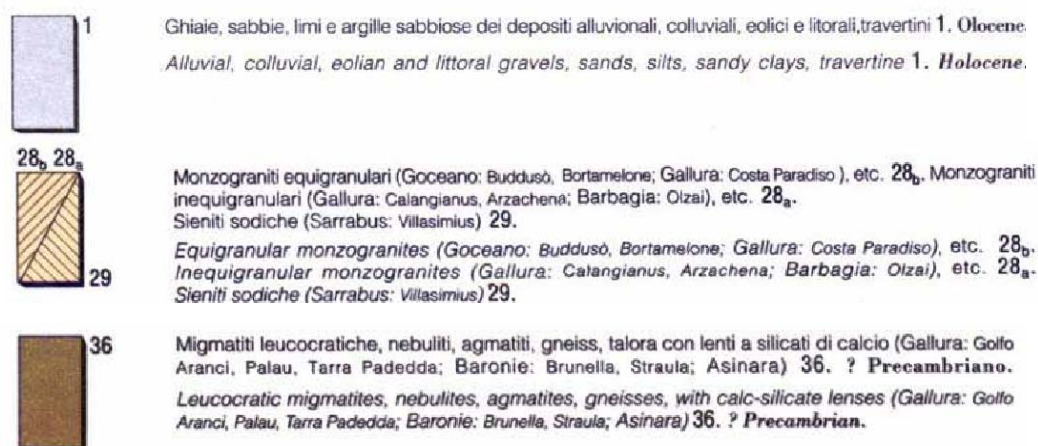


Figura 3.1 - Stralcio Carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000 (fuori scala)



Focalizzando l'attenzione su un congruo intorno del settore del lungomare di Porto San Paolo, come direttamente rappresentato nella Carta Geologica di Figura 3.2 edita da APAT (Agenzia per la Protezione all'ambiente e ai Servizi Tecnici), il basamento lapideo del settore è rappresentato dal **Complesso Granitoide della Gallura** (età Carbonifero sup. – Permiano), distinto nella letteratura geologica secondo le seguenti unità:

- **Facies Arzachena (AZN2e - Subunità intrusiva di Monte Tiana - Unità Intrusiva di Arzachena)** costituita da monzograniti inequigranulari, a rari fenocristalli euedrali di Kfs di taglia compresa tra 0.5 e 2 cm datati Carbonifero sup. - Permiano
- **Facies Sos Preigadores (NTIa - Unità intrusiva di Monti)** rappresentata da gabbri.

Il basamento magmatico intrusivo è irregolarmente ricoperto da una coltre di alterazione (**Granito Arenizzato s.s.**) derivante dalla degradazione della parte più superficiale della roccia dovuta a meccanismi di tipo fisico e chimico, guidati dal sistema di fessurazione e fratture che facilitano l'azione degli agenti atmosferici in particolare temperatura e acqua, i quali portano lentamente ad una progressiva degradazione della roccia originaria.

Detto basamento è ricoperto dalle coperture sedimentarie quaternarie rappresentate da:

- ❖ **Depositi marino-litorali delle spiagge attuali (g2)** costituite da sabbie e ghiaie talvolta con molluschi (Olocene).
- ❖ **Depositi palustri (e5)** costituite da limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi (Olocene).
- ❖ **Depositi alluvionali(b)** recenti ed in evoluzione ed antichi (**bn**), formati da ghiaie e sabbie da grossolane a medie che possono essere mobilizzate in occasione di intensi eventi alluvionali (Olocene).

Diffusi nelle aree edificate sono i **depositi di natura antropica (hr)** e **manufatti antropici (h)** costituiti i primi da materiali di riporto provenienti perlopiù da scavi entro il substrato geologico in posto (sia esso di natura granitica o sedimentaria) e ricollocati in situ al fine di regolarizzare le superfici topografiche su cui poter costruire ed i secondi dalle strutture diportistiche.

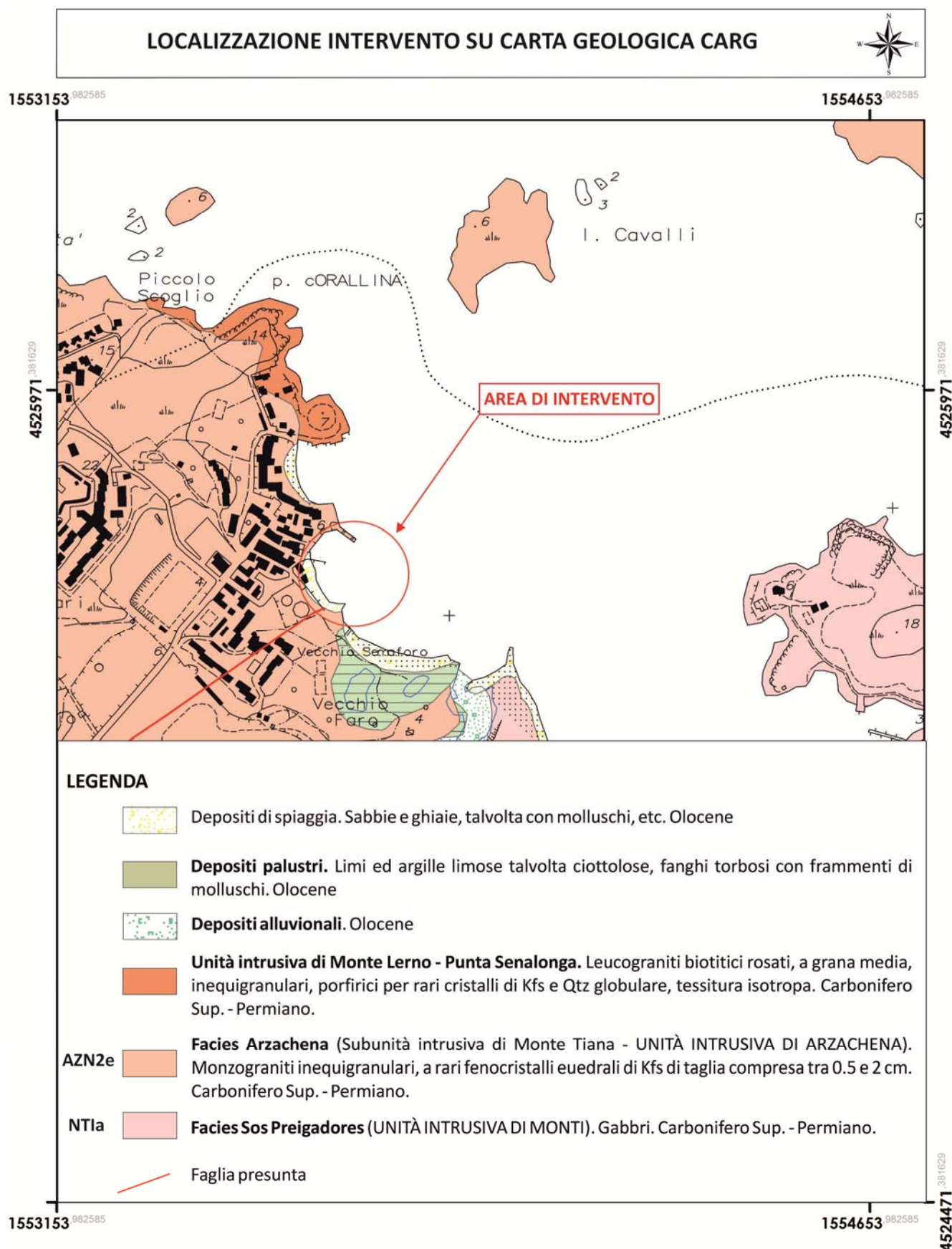


Figura 3.2 - Stralcio carta geologica di inquadramento tratta dal progetto CARG (modificata), con ubicazione dell'area oggetto di intervento



4 INDAGINI GEOGNOSTICA

Con l'obiettivo di ricostruire il modello geologico e 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 indagini geognostiche e delle indagini geofisiche mediante tecnica MASW, finalizzate alla caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni e alla definizione della categoria di suolo ai fini della normativa.

In particolare le indagini sono consistite in:

- ⇒ n. 4 carotaggi mediante vibrocarotiere condotti dalla ditta Coral Reef ;
- ⇒ 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 Analysis of Surface Waves* per profili fino a 30,00 m comprensiva di relazione geofisica, affidata alla Dott.ssa Geol. Laura Mascia.

Di seguito vengono esplicitate le modalità esecutive delle indagini effettuate e viene mostrata in Figura 4.1 e 4.2 la loro distribuzione areale.



FIGURA 4.1 – Ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti con vibrocarotiere.
In giallo il sondaggio dove è stato prelevato il campione



4.1 SONDAGGI MEDIANTE VIBROCAROTIERE E PROVE GEOTECNICHE

In data 02.07.2021 la Ditta affidataria, la Coral Reef S.a.as. , ha effettuato nei previsti punti di indagine a mare n. 4 carotaggi mediante vibrocarotiere. In tre di questi – denominati S1, S3 ed S4 - è stata immediatamente intercettata la roccia e pertanto i sondaggi sono stati interrotti, mentre nel sondaggio S2 è stata raggiunta la profondità di 0,50 m ed è stato prelevato un campione da sottoporre a prove di laboratorio. Nello specifico è stata condotta una Classificazione Granulometrica dei sedimenti marini con individuazione delle principali frazioni dimensionali (ghiaia, sabbia, silt, argilla) secondo il sistema classico di analisi granulometrica ed 1 Prova di Taglio diretto con scatola di Casagrande (di tipo lento c.d.).

Nella Tabella è riportata l'ubicazione ed i dati sulle profondità raggiunte mentre nelle per le stratigrafie si rimanda alle apposite Schede Sondaggio allegate alla presente Relazione.

SONDGGIO	PROFONDITÀ (m)	QUOTA FONDALE DA LIVELLO MARE	COORDINATE GAUSS BOAGA	
S1	2,10	2,00	1.553.717 N	4.525.681 E
S2	2,90	2,30	1.553.775 N	4.525.683 E
S3	2,80	2,60	1.553.802 N	4.525.625 E
S4	2,30	2,20	1.553.722 N	4.525.627 E

Tabella 4.1 : Caratteristiche dei sondaggi geognostici



Foto 4.1 – Spostamento nei punti di campionamento mediante la piattaforma galleggiante



Foto 4.2 – Frammenti di basamento granitico estratti dal Sondaggio S1

Foto 4.3 - Sedimenti sabbiosi sottoposti a prove geotecniche di laboratorio prelevati dal Sondaggio S2



Foto 4.4 - Ubicazione del Sondaggio S3

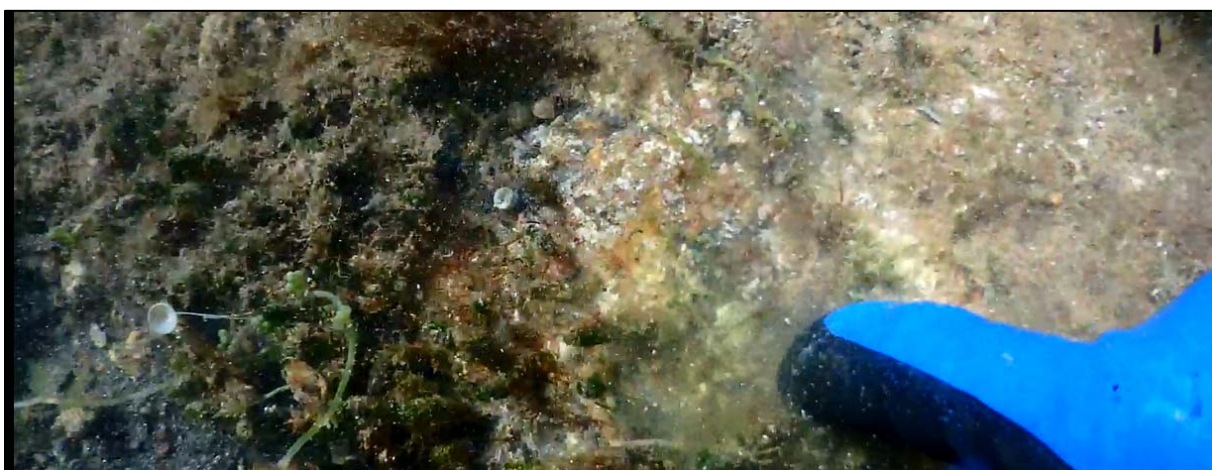


Foto 4.5 - Particolare del basamento granitico visibile sul fondale marino nel punto S4



Foto 4.6 – Carotiere per il campionamento dei sedimenti e cassetta catalogatrice

4.2 PROVA SISMICA CON TECNICA MASW

In data 06.08.2021 la professionista incaricata ha eseguito la prova sismica MASW lungo uno stendimento ubicato sulla terraferma, come nella Figura 4.2.

La prova consiste nell'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh con una sorgente generata da una forza verticale prodotta da una massa battente da 8 Kg che colpisce una piastra metallica in alluminio.



Figura 4.2– Ubicazione della prova MASW

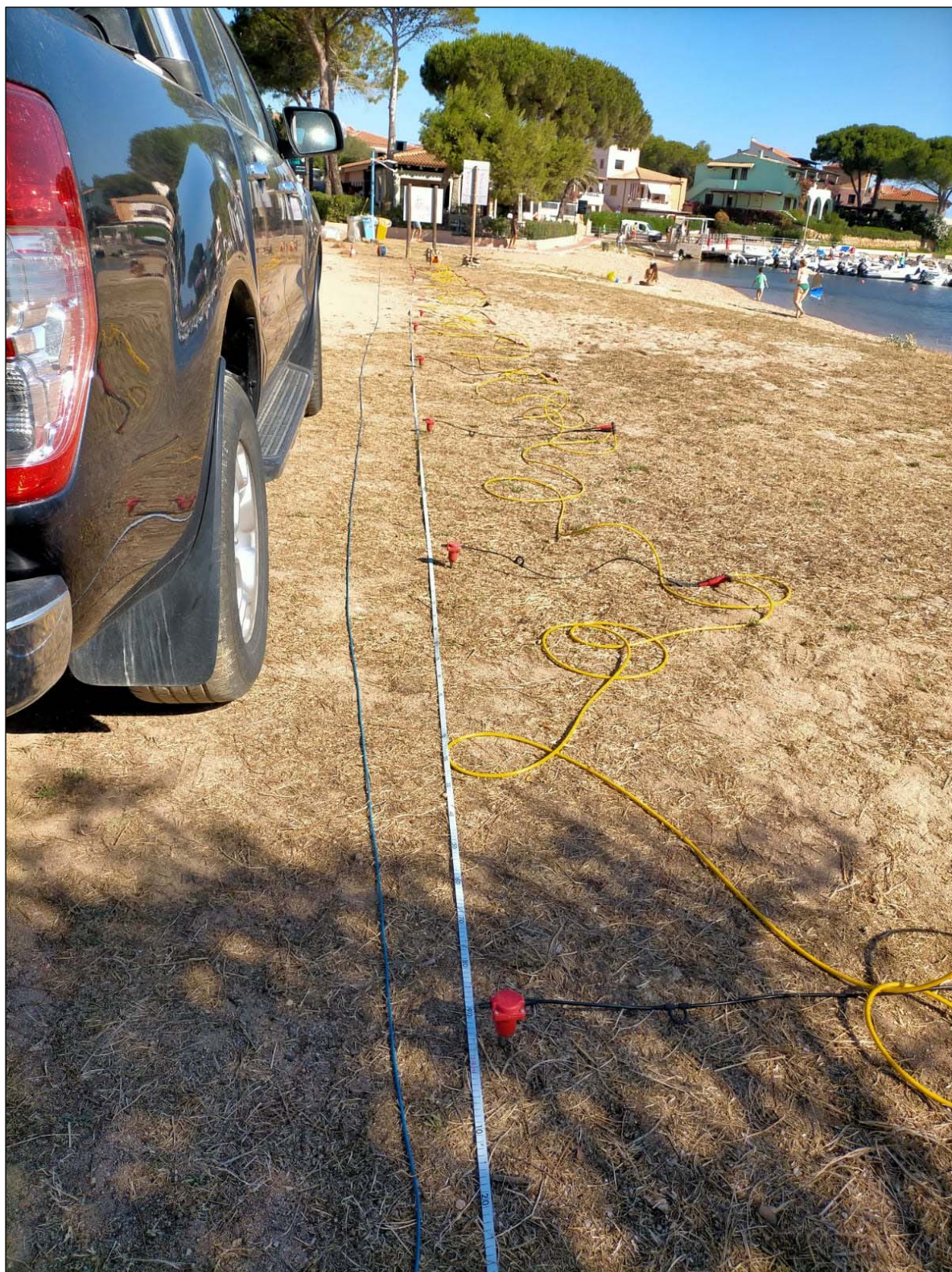


Foto 4.7 - Stendimento geofisico MASW con i geofoni



5 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

5.1 CARATTERIZZAZIONE DEL VOLUME GEOLOGICO

Con riferimento ai risultati provenienti dalla campagna geognostica, il modello geologico locale del sito si caratterizza per la diffusa presenza del basamento granitico locale fratturato (**Strato B**), oblitterato talora da una sottile coltre di sabbie di origine marina (**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**
- **STRATO B** **BASAMENTO GRANITICO FRATTURATO**

STRATO A – SABBIE MARINE BIOCLASTICHE MEDIO-FINI E GROSSOLANE

Tetto: 0,00 m – Letto: -0,50 m ÷ variabile

Spessore: metrico

Sabbie marine biancastre da medie a fini a grossolane, a composizione quarzoso-feldspatica con qualche ciottolo granitico pluricentimetrico e frammenti conchigliari. 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 negli altri sondaggi. 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.



Foto 5.1 - Sedimenti sabbiosi dello Strato A



Foto 5.2 - Sedimenti sabbiosi bioclastici grossolani dello Strato A (immagine tratta dalle riprese del fondale)



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, di spessore plurichilometrico. 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). .



Foto 5.3 e 5.4 – Basamento granitico visibile nel fermo immagine delle riprese eseguite dalla Coral Reef S.a.s in corrispondenza dei sondaggi S4 (in alto) ed S3 (in basso)



Foto 5.5 - Frammenti di basamento granitico estratti dal Sondaggio S1



Foto 5.6 e 5.7 – Basamento granitico fratturato affiorante lungo la linea di costa antistante l'area del porticciolo



Figura 5.1 – Affioramenti di roccia granitica

6 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO ED IDROGRAFICO

L'area oggetto di intervento comprende il settore marino antistante la spiaggia di Porto San Paolo, nel tratto di costa esposto verso il quadrante nord orientale, delimitato a N dal piccolo promontorio granitico e dal molo esistente da cui partono i collegamenti con l'Isola di Tavolara e a sud da una piccola cuspide sabbiosa e dal pontile in legno posto a metà della spiaggia stessa.

Come indicato anche nello Studio meteo-marino, dove sono stati presi come riferimento per la determinazione de clima ondoso i dati registrati dalla boa ondometrica di Capo Comino, detto tratto di costa è esposto principalmente a due traversie: il vento da scirocco che costituisce il vento più frequente e di grecale che determina gli eventi più estremi.

Relativamente al tratto costiero in studio, l'intensità di detti venti rispetto a quanto registrato nella stazione di Capo Comino è senz'altro attenuata dalla posizione dello stesso paraggio all'interno dell'insenatura, in particolare per quanto riguarda il vento di scirocco, smorzato dalla presenza dei due promontori di Punta Don Diego e di Punta La Greca.

Le batimetrie risultano piuttosto ridotte, con valori massimi di -2,50 m dal livello del mare in corrispondenza degli areali dove si prevede di realizzare l'antemurale e l'allungamento del molo esistente, mentre mediamente di -1,50 m dal livello del mare in corrispondenza dei pontili.

La principale ricarica della spiaggia di Porto San Paolo è rappresentata dagli apporti sedimentari del corso d'acqua del Rio Scalamala che sfocia poco più a sud, ridistribuiti poi dalle correnti marine (tratteggiato rosso in Figura 6.2), ed in subordine dall'erosione della roccia granitica affiorante in corrispondenza dei promontori circostanti (Punta Corallina, Punta Don Diego e Punta La Greca).

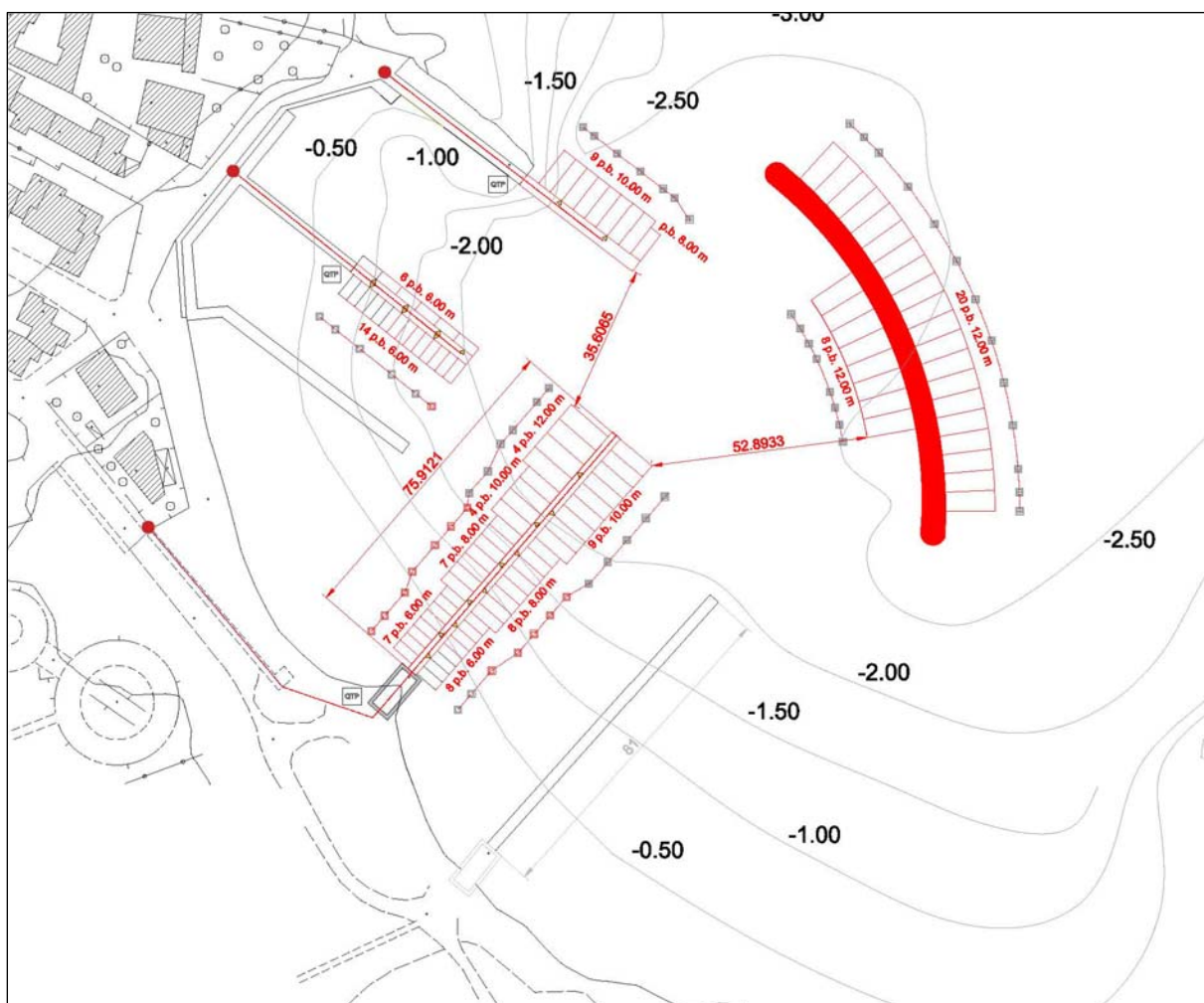


Figura 5.1 – Rilievo batimetrico ed interventi in progetto



Figura 6.2 – Apporti sedimentari provenienti dal Riu Scalamala; in rosso la distribuzione dei sedimenti prodotta dalle correnti sottocosta locali

Dal punto di vista idrografico l'unità principale è rappresentata appunto dal Riu Scalamala, che sfocia immediatamente a sud dell'area di intervento. Si tratta di un corso d'acqua della lunghezza complessiva di circa 4 km, che drena un bacino impostato bassorilievi granitici di circa 6,6 km² orientato SW-NE.

Il corso d'acqua è stato studiato nell'ambito del Piano Stralcio Fasce Fluviali (PSFF), dal quale risultano le aree a pericolosità idraulica. Come visibile in Figura 5.3 il tratto di spiaggia antistante l'area del porticciolo è lambita da un'area a pericolosità elevata di livello Hi4. Relativamente agli interventi in progetto, dovendosi realizzare a mare, risultano al di fuori di tali aree.

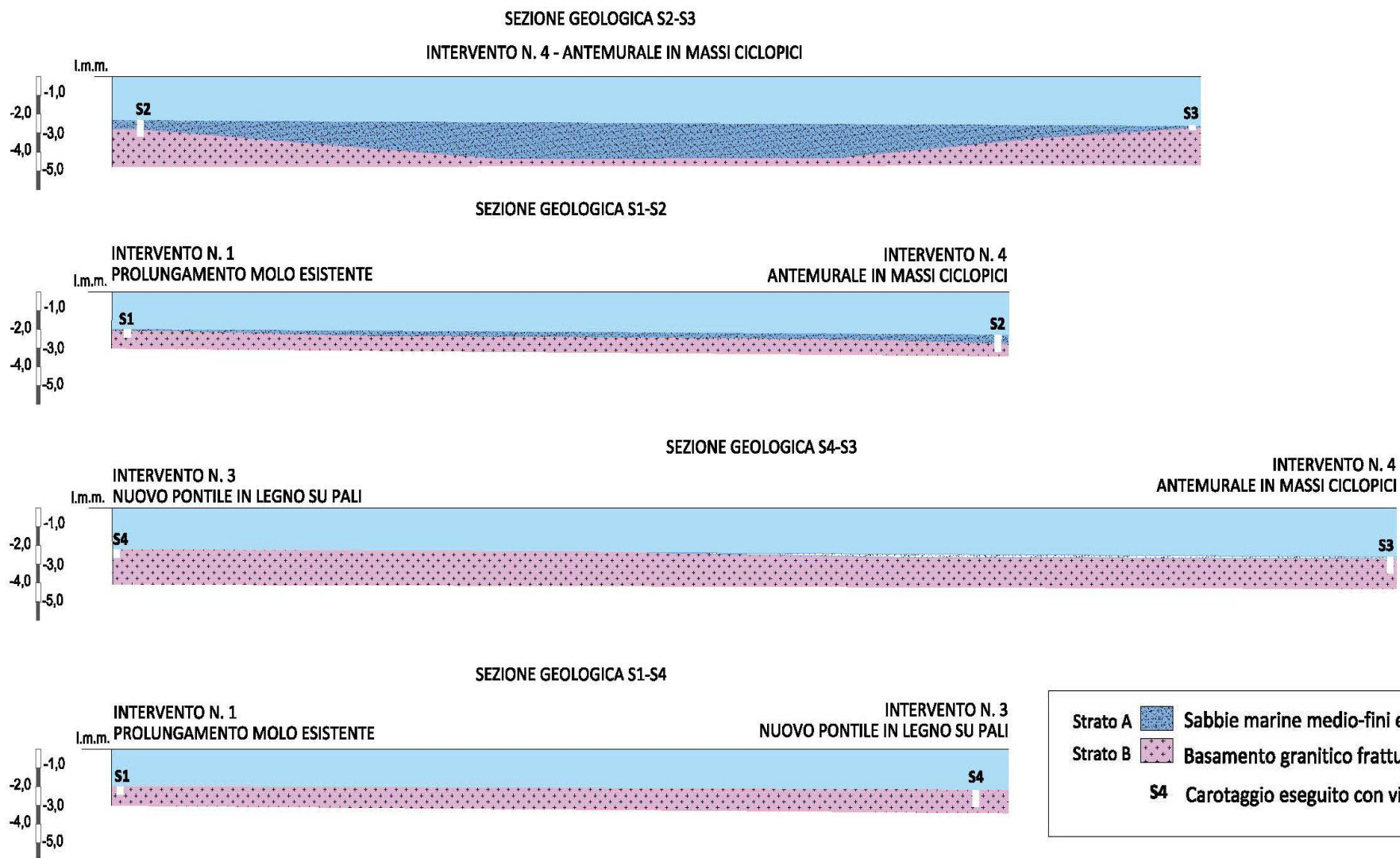
Anche rispetto a possibili criticità da frana la presenza di un substrato stabile e le ridotte acclività non lasciano prevedere problematiche di alcun tipo.



Figura 6.3 – Inquadramento intervento nell’ambito del PSFF



7 SEZIONI GEOLOGICHE





8 PERICOLOSITÀ SISMICA E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti
Zona 2 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti
Zona 3 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari
Zona 4 - E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari

Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'OPCM 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità, allegato ALL'OPCM n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

Nella cartografia di **pericolosità sismica**, tutta la Sardegna è ricompresa all'interno della **Zona sismica 4** ovvero **molto bassa** con un valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni minore di 0,05 g.

In considerazione di ciò anche la vulnerabilità degli edifici e delle infrastrutture, ovvero la possibilità che esse possano essere danneggiate da un terremoto risulta molto basso.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

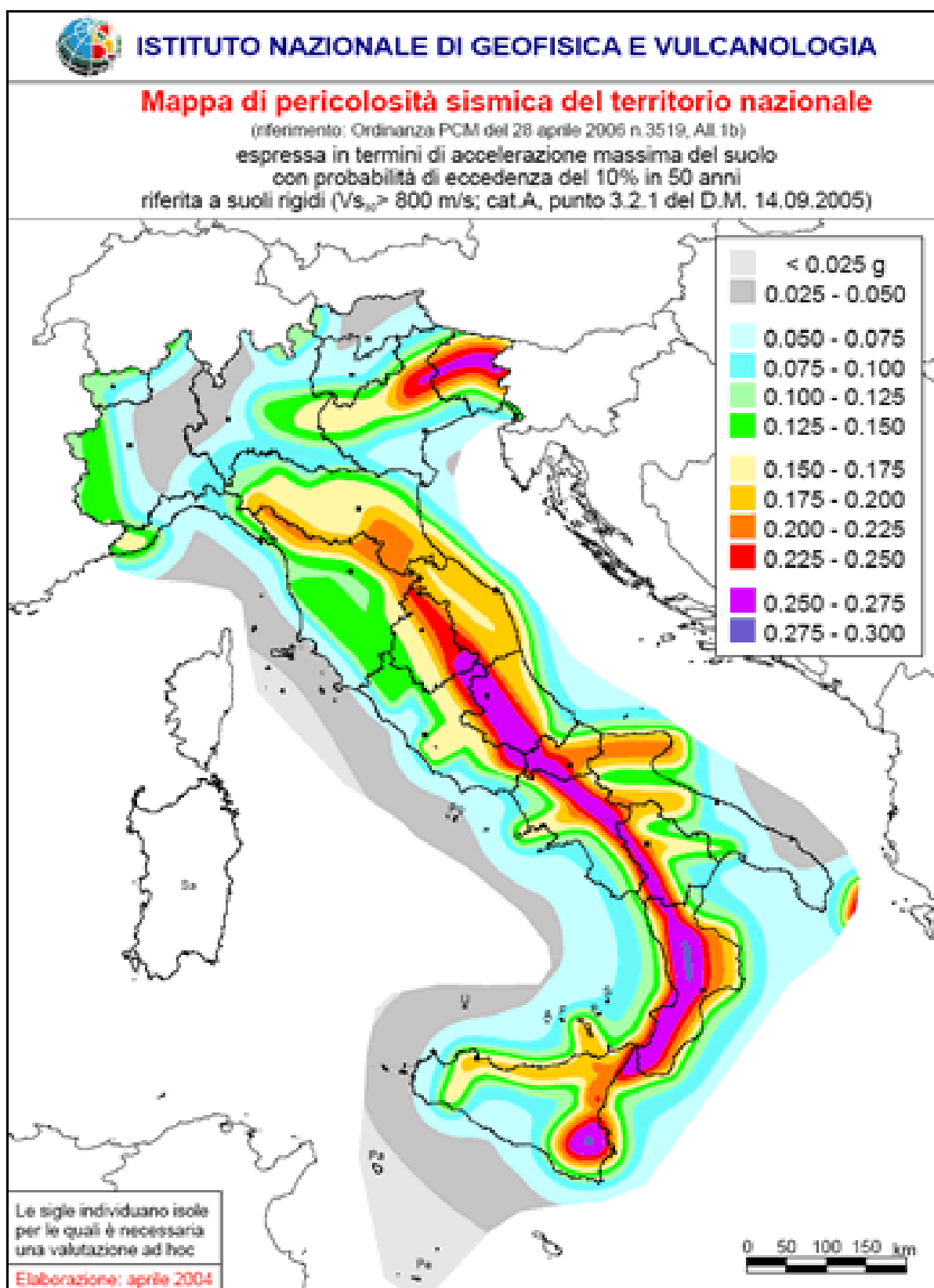


Figura 8.1 -Mappa di pericolosità sismica



8.1 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO

Le “Norme Tecniche per le Costruzioni” aggiornate con D.M. del 17.01.2018 definiscono le regole per progettare l’opera sia in zona sismica che in zona non sismica.

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale. A tal fine si esegue una classificazione dei terreni compresi fra il piano di campagna ed il “bedrock” attraverso la stima delle velocità medie delle onde di taglio (V_s).

L’approccio semplificato prevede una classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (V_{seq} in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{si}}} \text{ [m/s]}$$

h_i = spessore dello strato i -esimo (in m)

N = numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h (strato) e dalla velocità delle onde S V_s (strato);

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m sommitali;

H = profondità del substrato definito come formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Alla luce di quanto, ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le «*Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*», un sito può essere classificato attraverso il valore delle V_{seq} con l’appartenenza alle differenti categorie sismiche, ovvero:

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



CATEGORIA	DESCRIZIONE
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

L'indagine sismica condotta attraverso la metodologia MASW ha mostrato la presenza di 4 sismostrati.

In particolare la stratigrafia è la seguente:

STRATO	PROFONDITA'	SPESSORE	VS (m/s)
Strato 1	0,00	2,15	340
Strato 2	2,15	2,60	550
Strato 3	2,60	3,45	585
Strato 4	3,45	>30	> 800

Tabella 7.1 - Sismostratigrafia ricostruita dalla MASW

Il profilo risultante è stato ottenuto dalla analisi congiunta delle due battute effettuate (diretta ed inversa), per cui il modello stratigrafico ottenuto rappresenta un valore medio dell'andamento della velocità delle Vs nel sito in studio.

È presente un substrato rigido caratterizzato da $V_s > 800$ m/s entro i primi 30 m di profondità (strato 4), pertanto la Vs equivalente viene calcolata sulla base delle velocità misurate negli strati sovrastanti il basamento rigido.

Sulla base della stratigrafia ottenuta la **Vs eq del substrato c risulta pari a 400 m/s**.

Pertanto, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il profilo stratigrafico dell'area in esame risulta compreso nella **categoria di sottosuolo B**:

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

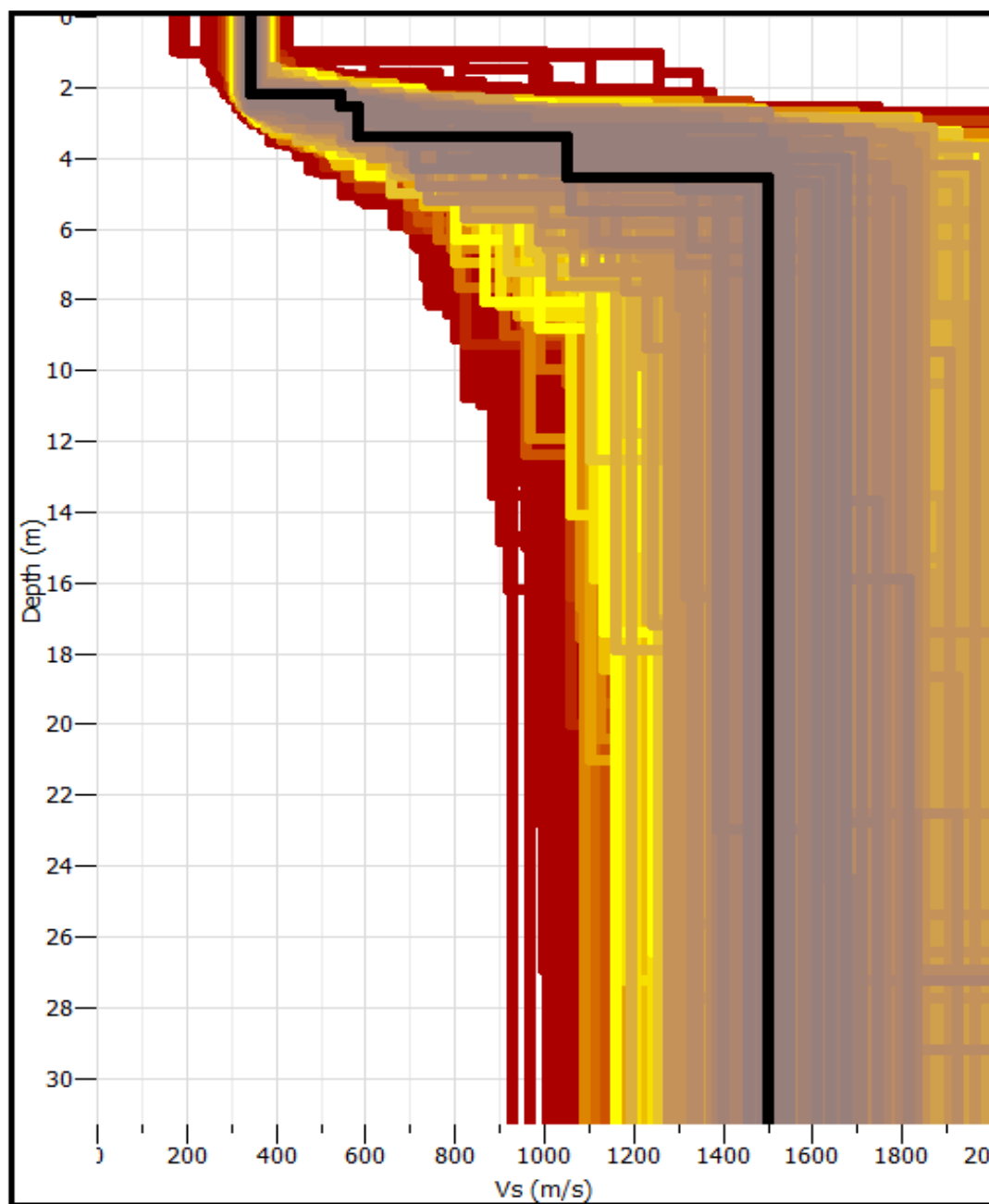


Figura 8.2 - Sismostratigrafia del sito

8.2 CATEGORIA TOPOGRAFICA

In considerazione dell'andamento morfologico del sito, la categoria topografica risulta **"T1"**, ovvero **«Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ »** a cui si applica un coefficiente correttivo pari a 1.



8.3 PARAMETRI SISMICI DEL NODO DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione al periodo di riferimento V_R che si ricava puntualmente moltiplicando la vita nominale V_N di una costruzione per il coefficiente d'uso del suolo C_U , secondo la seguente relazione: $V_R = V_N \cdot C_U$

La Vita Nominale V_N di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso dello specifico intervento edilizio, questo può classificarsi come un'opera ordinaria con $V_N \geq 50$.

TIPI DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE V_N (in anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 100

Tabella 8.2 - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono definite secondo le seguenti **Classi d'uso C_U** :

TIPI DI COSTRUZIONE	CLASSE	COEFFICIENTE
Costruzione con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli	I	0,7
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe III-IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	II	1,0
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.	III	1,5
Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità, Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	IV	2,0

Tabella 7.3 – Tipi di costruzione e corrispondenti classe e coefficiente d'uso



Con riferimento alla struttura in progetto, l'opera ricade in **classe d'uso III**, a cui corrisponde un coefficiente d'uso **Cu = 1,5**.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE Cu	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 8.4 – Valori del coefficiente d'uso Cu.

8.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni introducono il concetto di “pericolosità sismica di base” definita a sua volta in termini di accelerazione orizzontale massima a_g in condizioni ideali su un sito di riferimento rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1) e con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} .

In pratica si stabilisce il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si determinano in relazione alla pericolosità del sito, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo A, e del corrispondente spettro di risposta elastico. Per accelerazione massima attesa s'intende il picco del segnale che ha una certa probabilità P_{VR} di essere superato in un periodo di riferimento V_r .

Le forme spettrali sono definite invece, per ciascuna probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento, a partire dai tre parametri validi:

a_g = accelerazione massima del terreno [g/10];

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

In funzione della probabilità di eccedenza P_{VR} e del periodo di riferimento V_r , si trova il periodo di ritorno T_R del sisma

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -C_u \cdot \frac{V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$



Nel caso specifico si ottiene:

STATO LIMITE	PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA VITA DI RIFERIMENTO (%)	PERIODO DI RITORNO T_R (anni)	a_g [m/s ²]	F_0 [-]	T_c^* [sec]
SLO	81	45	0,022	2,658	0,291
SLD	63	75	0,028	2,704	0,303
SLV	10	712	0,056	2,936	0,358
SLC	5	1462	0,066	3,027	0,384

Tabella 8.5: Valori di a_g , F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A

Il valore di a_g è desunto dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita dalla I.N.G.V.¹, mentre F_0 e T_c^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle N.T.C. approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento. I valori di a_g , F_0 e T_c^* .

8.5 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO

Il moto generato da un sisma in un sito dipende, quindi, dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Il moto sismico alla superficie di un sito associato a ciascuna categoria di sottosuolo è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, è possibile valutare l'accelerazione massima a_{max} attesa al sito mediante la relazione:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

$S_S = 1,20$ coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica

$S_T = 1,00$ coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica

$a_g =$ da Tabella 7.5 accelerazione massima orizzontale sul suolo di categoria A

⁽¹⁾ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia



Conoscendo $a_{\max}$ è possibile calcolare anche i coefficienti K_h e K_v tramite le seguenti espressioni:

$$K_h = \beta_s \frac{a_{\max}}{g}$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$$

essendo:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

$a_{\max}$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

Da cui si ricavano i parametri e coefficienti sismici per i diversi tempi di ritorno come in Tabella 7.6.

STATO LIMITE	T_R (anni)	$a_{\max}$ [m/s^2]	B [-]	K_h [-]	K_v [-]	S_s [-]	C_c [-]	S_t [-]
SLO	45	0,264	0,20	0,005	0,003	1,20	1,410	1,00
SLD	75	0,328	0,20	0,007	0,003	1,20	1,400	1,00
SLV	712	0,654	0,20	0,013	0,007	1,20	1,350	1,00
SLC	1462	0,779	0,20	0,016	0,008	1,20	1,330	1,00

Tabella 8.6: Valori di $a_{\max}$ per i diversi tempi di ritorno

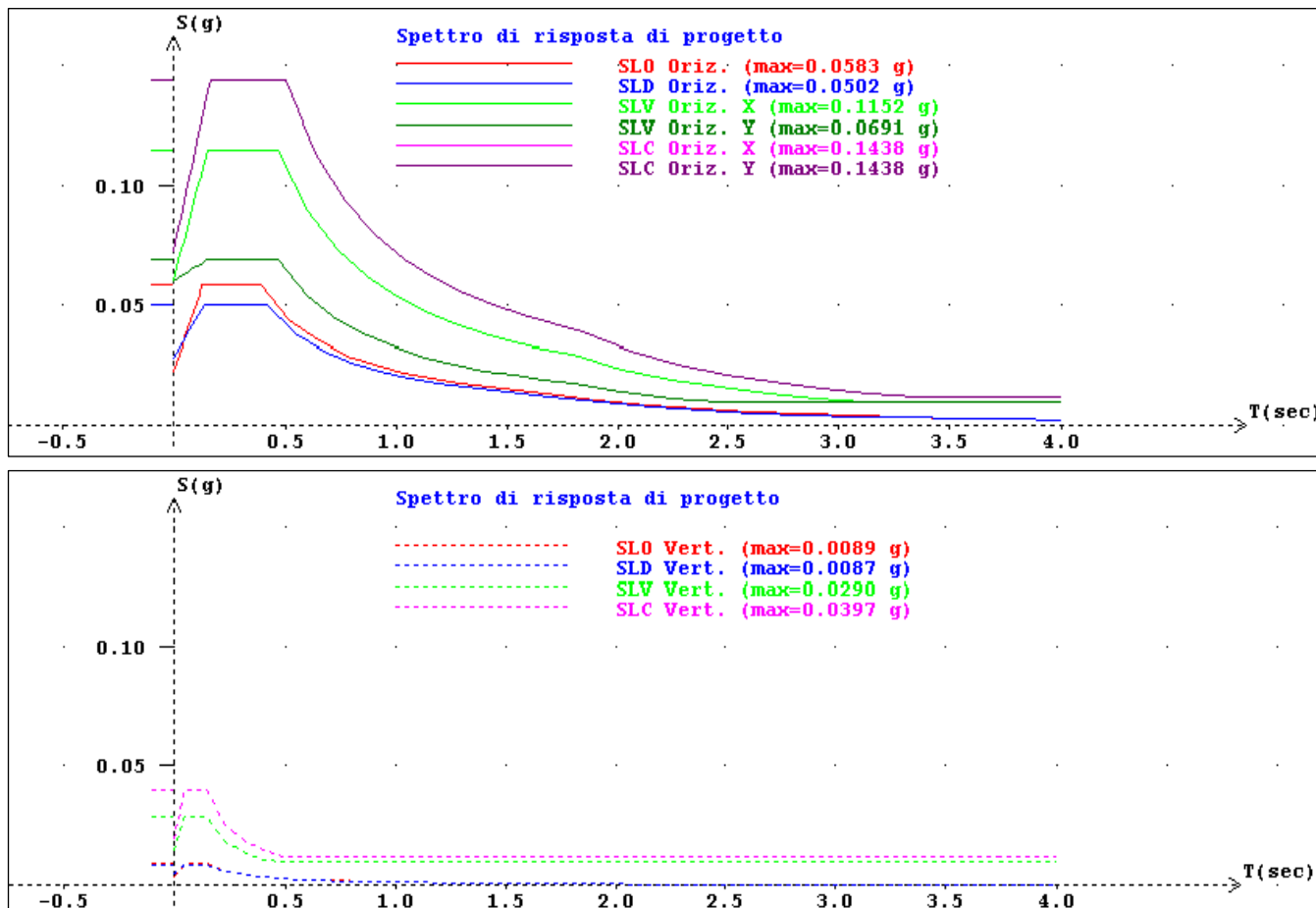


Figure 8.3 – Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale (in alto) e verticale (in basso)



9 CONCLUSIONI

Dalle ricostruzioni operate in questa sede, basate su una campagna geognostica a mezzo sondaggi eseguiti con vibrocarotiere e rilievo del fondale marino, 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 qualche metri.

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 e cedimenti nulli.

Relativamente all’intervento di 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 qualche metro (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.

Ai fini della valutazione della vulnerabilità sismica, stata realizzata una prova sismica mediante tecnica MASW che ha consentito di determinare una velocità $V_s eq = 400$ m/s e quindi di determinare la seguente categoria di sottosuolo: **“B”** ovvero **“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”**.

Ilbono, 10.12.2020

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;
- D.P.R. 380/01
- 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.



APPENDICE 1 – SCHEDE SONDAGGIO

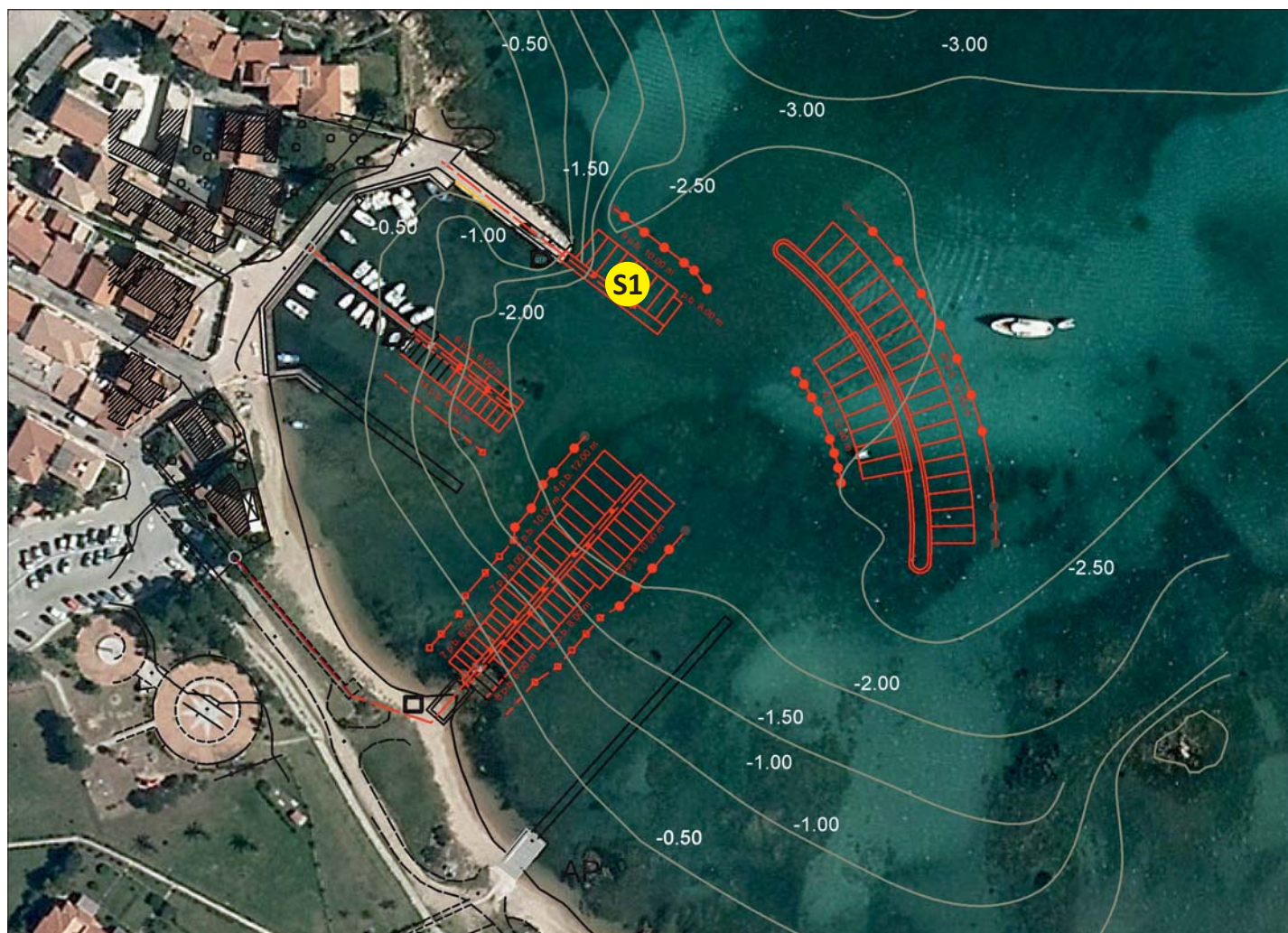
SONDAGGIO - S1

SCALA 1 : 33

Pagina 1/1

Riferimento: Nuovo assetto diportistico del lungomare di Porto San Paolo	Sondaggio: S1
Località: Porticciolo Loiri Porto San Paolo	Quota: fondale marino (ca -2 m da l.m.m.)
Impresa esecutrice: Coral Reef S.a.s	Data: 02.07.2021
Coordinate: 1.553.717 N 4.525.681 E	Reda. ore: Geol. Alessio Sodde
Perforazione: Sondaggio con vibrocarotiere	

ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1										Mare
				2									2.0	
													2.2	Strato B - Basamento grani?co



SONDAGGIO GEOGNOSTICO S1

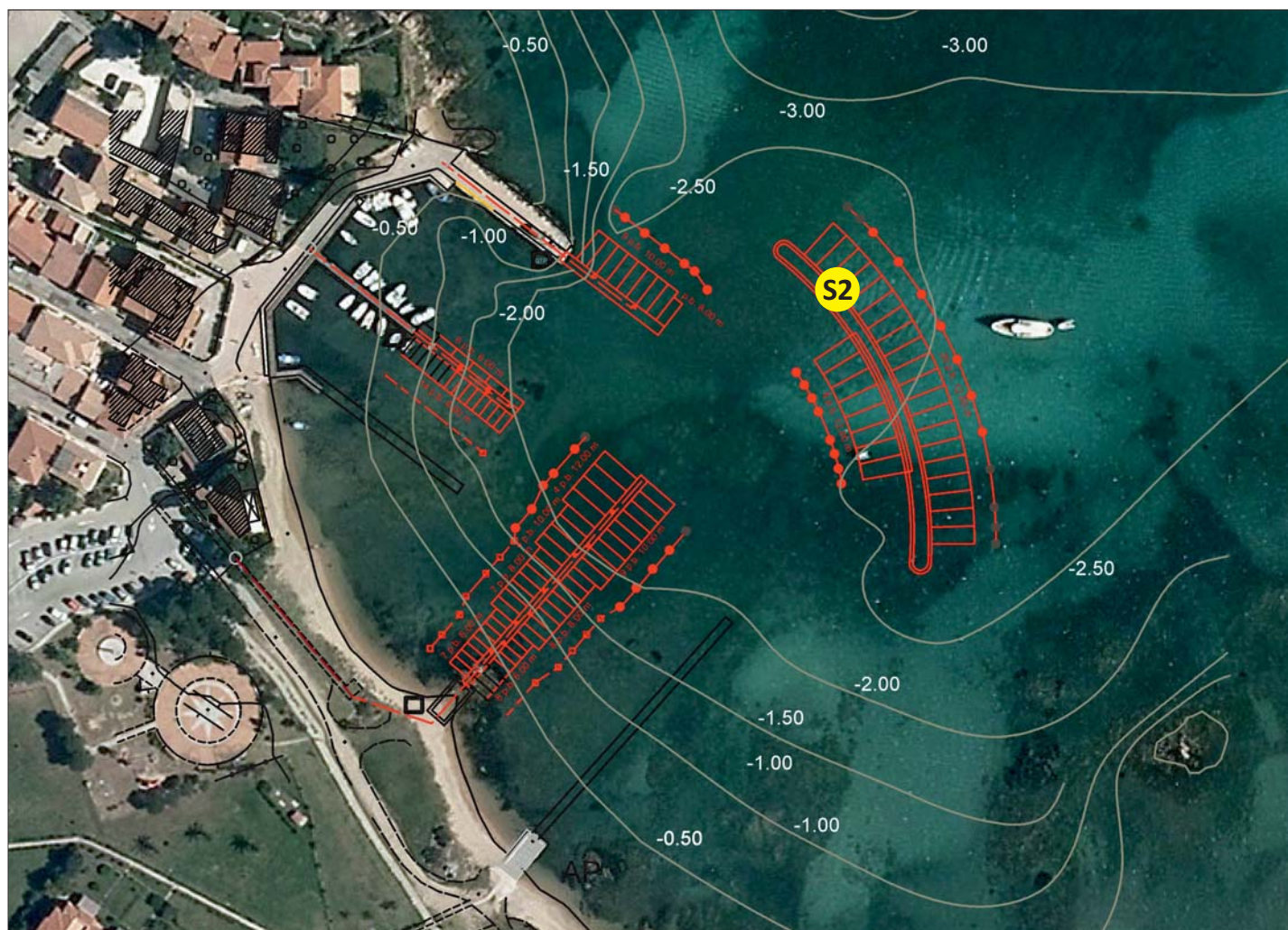


SONDAGGIO - S2

SCALA 1 : 33 Pagina 1/1

Riferimento: Nuovo assetto diportistico del lungomare di Porto San Paolo	Sondaggio: S2
Località: Porticciolo Loiri Porto San Paolo	Quota: fondale marino (ca 2,3 m l,m,m,)
Impresa esecutrice: Coral Reef S.a.s	Data: 02.07.2021
Coordinate: 1.553.775 N 4.525.683 E	Redattore: Geol. Alessio Sodde
Perforazione: Sondaggio con vibrocarotiere	

ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1										Mare
				2										
													2.3	Strato A - Sabbie medio-fini con frammenti conchigliari
													2.8	
													2.9	Strato B - Basamento granitico





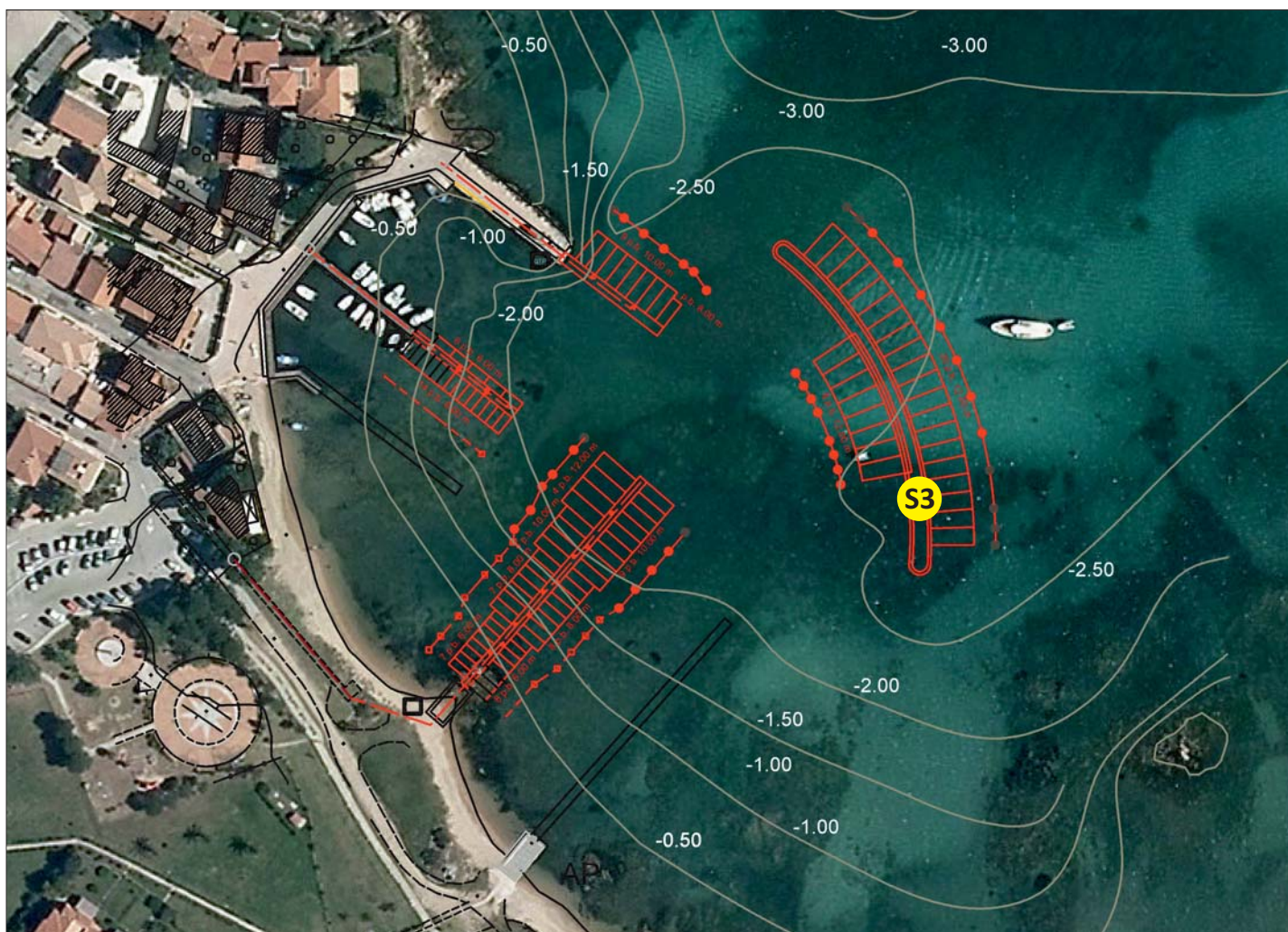
SONDAGGIO - S3

SCALA 1 : 33

Pagina 1/1

Riferimento: Nuovo assetto diportistico del lungomare di Porto San Paolo	Sondaggio: S3
Località: Porticciolo Loiri Porto San Paolo	Quota: fondale marino (ca 2,3 m l,m,m,)
Impresa esecutrice: Coral Reef S.a.s	Data: 02.07.2021
Coordinate: 1.553.775 N 4.525.683 E	Redattore: Geol. Alessio Sodde
Perforazione: Sondaggio con vibrocarotiere	

Ø mm	R v	A r	S	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					1										Mare
					2										
														2.3	Strato A - Sabbie medio-fini con frammenti conchigliari
														2.4	
														2.5	Strato B - Basamento granitico





SONDAGGIO - S4

SCALA 1 : 33

Pagina 1/1

Riferimento: Nuovo assetto diportistico del lungomare di Porto San Paolo	Sondaggio: S4
Località: Porticciolo Loiri Porto San Paolo	Quota: fondale marino (ca 2,2 m l.m.m.)
Impresa esecutrice: Coral Reef S.a.s	Data: 02.07.2021
Coordinate: 1.553.722 N 4.525.627 E	Redattore: Geol. Alessio Sodde
Perforazione: Sondaggio con vibrocarotiere	

ø mm	R v	A r	S	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
					1										Mare
					2									2.2	
														2.4	Strato B - Basamento granitico

