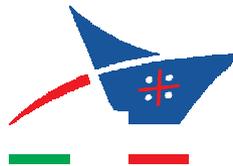


COMUNE DI PORTO TORRES

Provincia di Sassari



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare di Sardegna

## PROGETTO DEFINITIVO

**REALIZZAZIONE NEL PORTO DI PORTO TORRES DELLO SCALO DI ALAGGIO  
E VARO DELLE IMBARCAZIONI CON GRU,  
ALL'INTERNO DEL POLO NAUTICO DEL NORD – OVEST DELLA SARDEGNA  
– CIG 775715814A**

PROGETTISTI:

dott. ing. Marco Pittori



COLLABORAZIONI:

Arch. Ana Rodriguez

Ing. Beatrice Volpetti

Ing. Giulia Zanza

Arch. Pietro Certa

Ing. Silvia Potenza

<b>ELABORATO</b> <b>R2</b>		<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>			<b>SCALA</b>
		Doc.: 8542			<b>DATA</b> Giugno 2019
Rev. n°	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO DA	APPROVATO	
00	Emissione	Giu. 19	geol. M.A. Antonini	ing. M. Pittori	
01	Revisione in risposta al rapporto iniziale di verifica del 01.08.2019	Set. 19	geol. M.A. Antonini	ing. M. Pittori	

**INTERPROGETTI**

INTERPROGETTI S.r.l.  
Via Luigi Lilio, 62 00142 ROMA - Tel. 0686200297 fax: 0686200298  
E-mail: INFO@INTERPROGETTI.NET

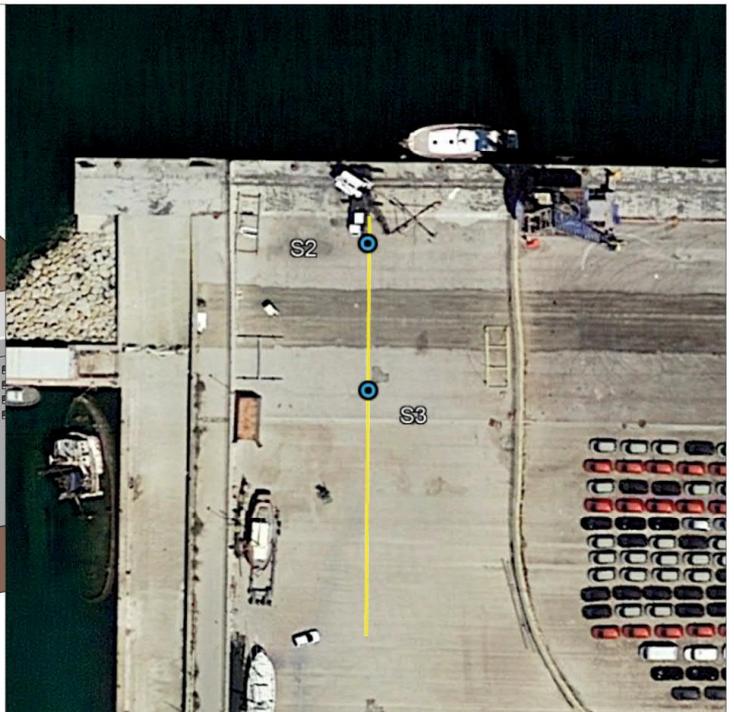
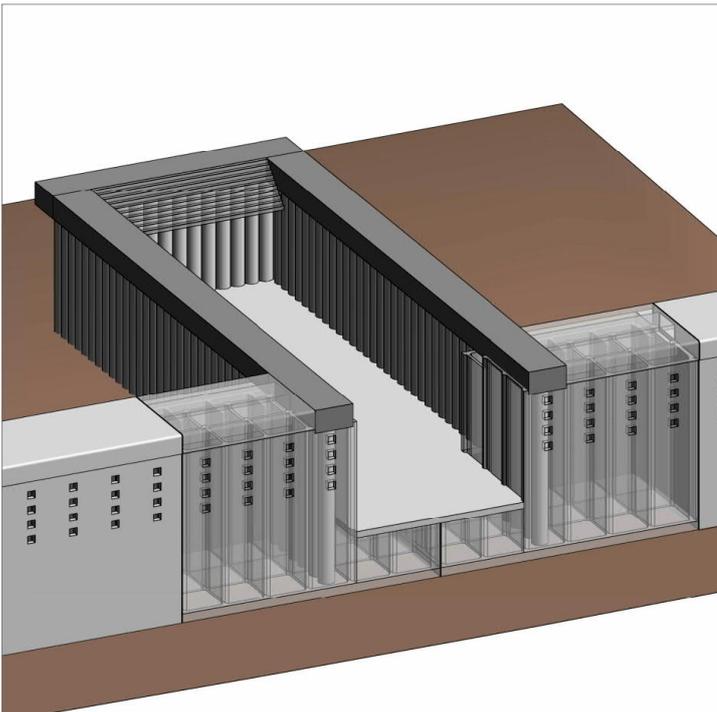
Società certificata  
ISO 9001:2015  
Certificato n° 50 100  
9408/3

# COMUNE DI PORTO TORRES



PROVINCIA DI SASSARI

## Relazione Geologica e Relazione Geotecnica



 Dott. Geol. Mario Alberto Antonini Viale Italia, 10 - Sassari [g.mascal@gmail.com](mailto:g.mascal@gmail.com) 347 5238011

Tav.

--

Committente:

 **INTERPROGETTI**

Data:

maggio 2019

Progetto:

*Scalo di alaggio e varo delle imbarcazioni con gru  
all'interno del Polo Nautico nel Nord-Ovest della Sardegna*

Dott. Geol. Mario Alberto Antonini



**INDICE**

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO.....	2
3	ANALISI DISPOSIZIONI E VINCOLI (PAI, PSFF, PGRA).....	3
3.1	PAI – Piano Stralcio d’Assetto Idrogeologico.....	4
3.2	PGRA – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....	4
4	RELAZIONE GEOLOGICA.....	5
4.1	Finalità e metodologia di studio.....	5
4.2	Inquadramento Geologico.....	5
4.1	Cenni strutturali.....	7
4.2	Inquadramento geomorfologico, idrologico e idrogeologico.....	8
4.3	Campagna Indagini.....	9
4.3.1	Sondaggi 2017.....	9
4.4	Campionamento e Prove di laboratorio.....	10
4.4.1	Indagine geofisica.....	11
4.5	Contesto geologico e morfologico con preciso riferimento al progetto.....	11
4.6	Modellazione Geologica.....	15
5	MODELLAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	15
5.1	Sismicità storica.....	15
6	AZIONE SISMICA.....	16
6.1	Sismicità storica.....	16
6.2	Pericolosità sismica di base.....	16
6.3	Azione Sismica di progetto.....	18
6.4	Categoria di sottosuolo.....	18
6.5	Condizioni topografiche.....	20
6.6	Liquefazione.....	20
6.7	Parametri e coefficienti sismici di progetto.....	21
7	DETTAGLI PROGETTUALI.....	23
8	PARAMETRIZZAZIONE MECCANICA E VALUTAZIONI GEOTECNICHE.....	24
8.1	Caratterizzazione geotecnica dei terreni.....	24
9	CONCLUSIONI.....	29

**ALLEGATI**

Stratigrafie

Analisi granulometriche

Relazione sismica



## 1 PREMESSA

In relazione al progetto per la realizzazione nel Porto di Porto Torres dello “Scalo di alaggio e varo delle imbarcazioni con gru all’interno del Polo Nautico nel Nord-Ovest della Sardegna, ubicato nella Banchina di Riva, su commissione di INTERPROGETTI srl, lo scrivente, Dott. Geol. Mario Alberto Antonini, ha redatto la presente relazione geologica e geotecnica a completamento delle indagini effettuate in concomitanza dei sondaggi ambientali del 2017.

Tale studio, perfezionato con indagini sismiche eseguite sulla banchina a maggio 2019, ha determinato gli assetti geologico strutturali e morfologici generali e le caratteristiche fisico meccaniche sia dei depositi di riempimento della banchina stessa, che del substrato su verranno realizzati i pali trivellati per la messa in opera dello scalo, mediante scavo controllato.

Il presente lavoro è stato elaborato anche in applicazione a quanto richiesto dal **D.M. 11 Marzo 1988** - “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” e secondo quanto stabilito nelle “Norme tecniche per le costruzioni” del **D.M. del 17 gennaio 2018** e **Circolare esplicativa 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP** per la ricostruzione del modello sismostratigrafico del sottosuolo e la definizione del valore di  $V_{s,eq}$  per la determinazione della categoria di sottosuolo.

## 2 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

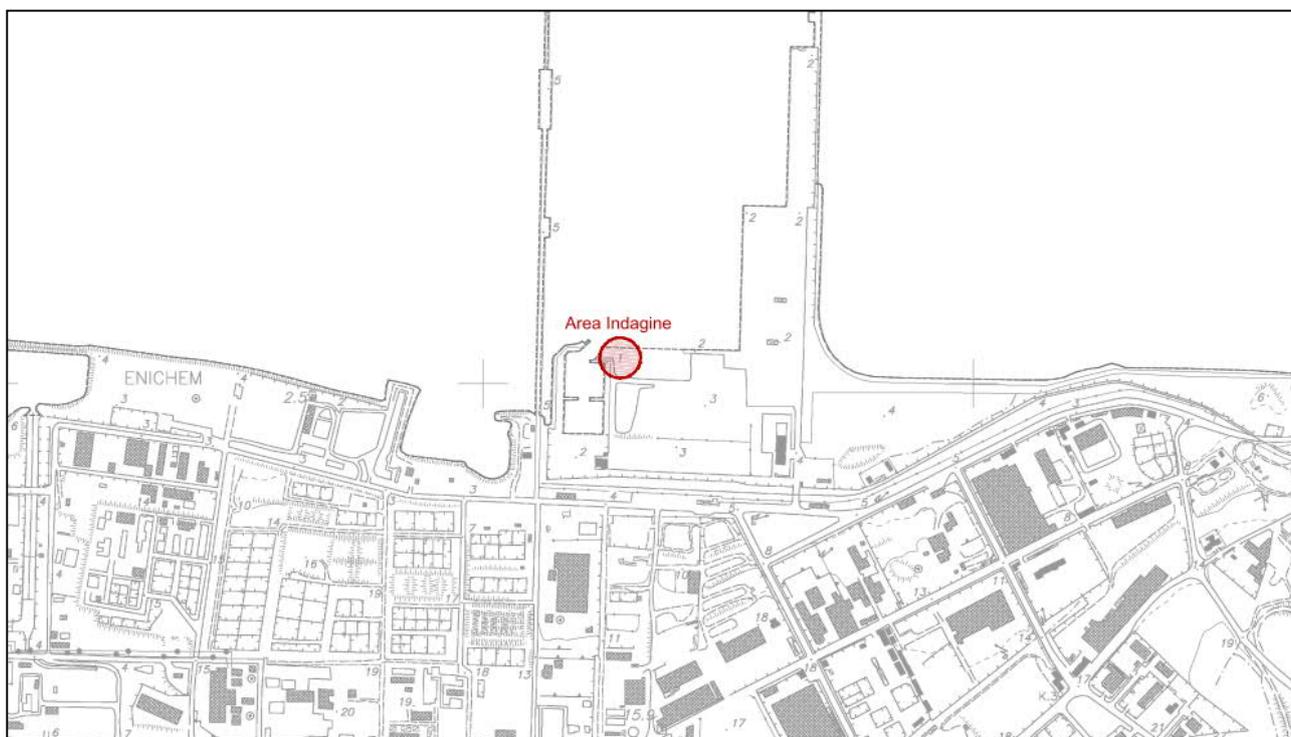
L’area interessata dal progetto per la realizzazione dello scalo di alaggio e varo delle imbarcazioni all’interno del molo di riva, oggetto della presente relazione geologica e geotecnica, ricade all’interno dei limiti amministrativi del Comune di Porto Torres (SS) ed è costituita da una zona del molo della lunghezza di circa 40 metri in direzione perpendicolare alla linea di costa per una larghezza di 14 metri. L’area complessiva della fascia così individuata è di 560 m<sup>2</sup>.



Dal punto di vista geografico, l'area in esame, che ricade nel Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Porto Torres, appartiene al limite amministrativo comunale della città di Porto Torres (SS) ed è inquadrata e distinta come di seguito riportato.

- 1:25.000 nella tavoletta 441 Sez III – “Porto Torres”,
- 1:25.000 Carta Geologica di Base – Regione Sardegna,
- 1:10.000, Carta Tecnica Regionale, foglio 441130 – “Porto Torres”.

Nella figura l'inquadramento topografico della dell'area oggetto dell'intervento inquadrato nello stralcio della Cartografia Tecnica Regionale.



**Figura 1** – Stralcio del Foglio n° 441130 - “Porto Torres” in scala 1:10.000 con inquadramento dell'area.

Le coordinate chilometriche di Gauss Boaga fuso ovest del baricentro dell'area in studio e la sua quota sul livello del mare, sono riportate qui di seguito:

- Coordinate chilometriche di Gauss-Boaga: 1447284 E - 4521058 N;
- Quota topografica: 3 m s.l.m..

### 3 ANALISI DISPOSIZIONI E VINCOLI (PAI, PSFF, PGRA)

Al fine di valutare eventuali limitazioni alla fattibilità degli interventi in progetto e all'uso del territorio, si è verificato il regime vincolistico proposto dalle principali norme vigenti a tutela del territorio.

### **3.1 PAI – Piano Stralcio d’Assetto Idrogeologico**

Per quanto attiene al Piano di Assetto Idrogeologico – Pericolosità da frana, con deliberazione n. 1 del 16.06.2015, il Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino ha approvato in via definitiva la variante al Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) relativa al sub-bacino Coghinas – Mannu - Temo (sub-bacino 3) in cui ricade interamente il Comune di Porto Torres. Le varianti proposte e adottate dallo “Studio di dettaglio e approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità e del rischio da frana nel Sub Bacino n°3 Coghinas – Mannu – Temo”, inquadrano la zona in cui è prevista la realizzazione dello scalo di varo e alaggio, all’interno di “Aree studiate non soggette a potenziali fenomeni franosi” e prive, quindi, di pericolosità geomorfologica.

### **3.2 PGRA – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni**

L’articolo 7 del D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 “Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”, che recepisce in Italia la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all’art. 64 del D.Lgs. 152/2006, sia predisposto il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. In tal senso il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Regione Sardegna è uno strumento trasversale di raccordo tra diversi piani e progetti, tra cui il **PAI** (per la Pericolosità idraulica) e il **PSFF** (Piano Stralcio Fasce Fluviali), di carattere pratico e operativo ma anche informativo, conoscitivo e divulgativo, per la gestione dei diversi aspetti organizzativi e pianificatori correlati con la gestione degli eventi alluvionali in senso lato. Si rileva che l’area in questione non risulta interessata dalle perimetrazioni all’interno della cartografia ufficiale del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni.



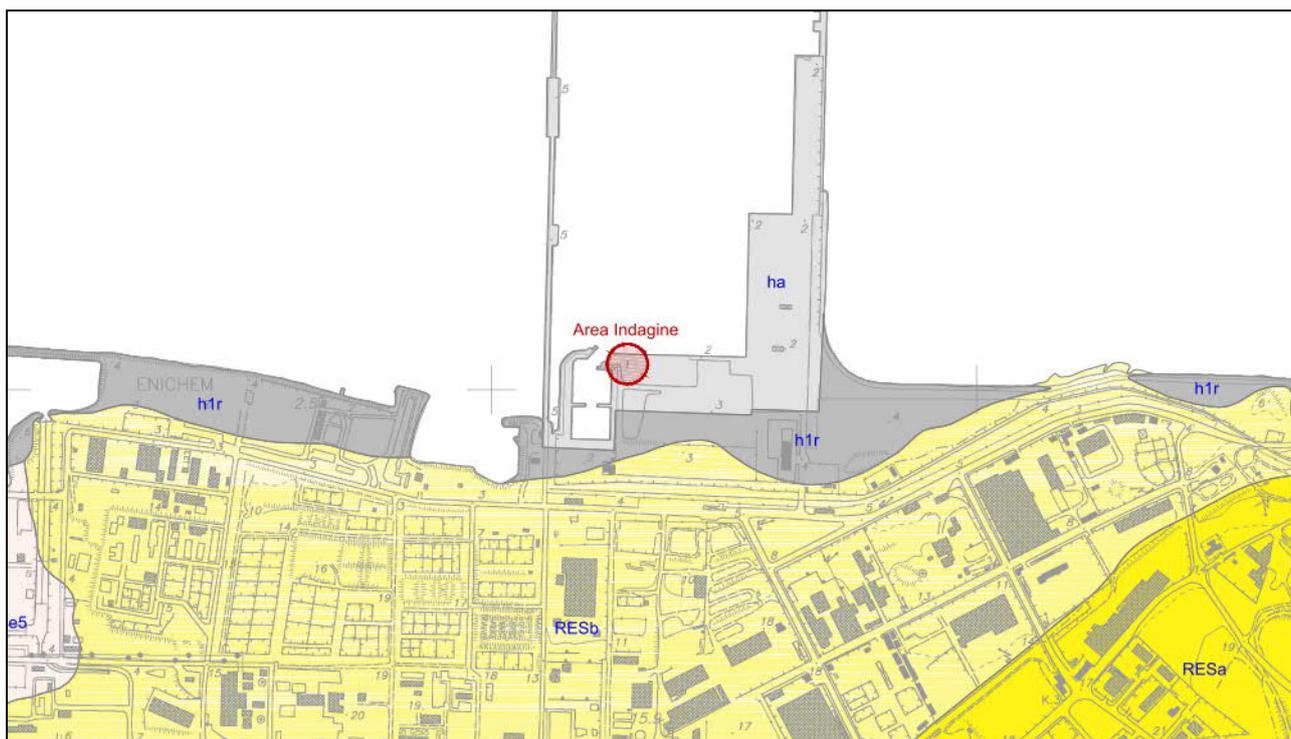
## 4 RELAZIONE GEOLOGICA

### 4.1 Finalità e metodologia di studio

L'inquadramento del contesto geologico, nel quale si inserisce la banchina di Riva all'interno del Porto Industriale di Porto Torres è finalizzato alla caratterizzazione degli eventuali suoli di copertura e dei litotipi geologici presenti ed è funzionale alla successiva definizione delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessati dalla struttura e dalla realizzazione degli scavi per lo scalo di alaggio e varo.

### 4.2 Inquadramento Geologico

Al fine di definire un inquadramento che risultasse adeguato alla scala di dettaglio del presente lavoro, è stata impiegata la Carta Geologica di Base della Sardegna in scala 1:25.000 che definisce, in maniera particolareggiata, i litotipi presenti nell'area di interesse. Tali dati bibliografici sono stati ridefiniti, raffinati e parzialmente modificati in funzione del rilevamento di campagna di dettaglio delle aree inquadrate, confortato dai dati delle prove dirette provenienti dai sondaggi effettuati proprio sulla banchina e dalle indicazioni indirette derivate dalle prove geofisiche effettuate.



**Figura 2** – Inquadramento Geologico – Carta Geologica di Base – Regione Sardegna.

Le litologie riportate e di seguito descritte attraverso le loro caratteristiche sia petrografiche che stratigrafiche, dai litotipi più antichi, hanno ricostruito il dettaglio litostratigrafico che ha costituito la base del modello geologico proposto.

La struttura geologica generale del territorio inquadrato è rappresentata sostanzialmente da rocce sedimentarie ascrivibili al Cenozoico, così come buona parte delle zone limitrofe. Le litofacies presenti nella zona industriale di Porto Torres e più in particolare al di sotto delle aree antropizzate di costa sono principalmente costituite da depositi sedimentari, in generale calcarei, con alternanze più o meno cementate e riferite ad ambiente litorale e rappresentate da arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. All'interno sono presenti intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro. I termini vulcanici miocenici, presenti nell'area vasta, sono affioranti al di fuori dell'inquadramento e si rinvencono come termini più antichi della successione vulcano-sedimentaria oligo-miocenica.

Il basamento, in un inquadramento generale culmina con il rilievo di Monte Alvaro, ed è caratterizzato dal complesso mesozoico su cui poggiano direttamente i più recenti depositi della serie vulcanica dell'oligocene e quella marina del Serravalliano. Al top della serie, localmente, si rinvencono i depositi quaternari attuali, di genesi alluvionale, e quelli colluviali, oltre al complesso argilloso-conglomeratico plio-pleistocenico di Fiume Santo. Di seguito si riportano le formazioni presenti e gerarchizzate a partire dai depositi più antichi presenti nell'area inquadrata.

## **SUCCESSIONE VULCANO-SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA**

### **Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica della Sardegna Centro-Settentrionale**

#### *Successione Sedimentaria Oligo-Miocenica del Logudoro-Sassarese*

**RESa** – *Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turritellidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.*

**RESb** – *Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Ambiente litorale. BURDIGALIANO SUP.*

## **DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE**

### **Depositi Olocenici dell'area Continentale**

#### *Ambiente Continentale – Depositi Antropici*

**h1r** – *Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE*

**ha** – *Depositi antropici. Manufatti antropici. OLOCENE*

#### *Ambiente Continentale – Sedimenti Lacustri*



**e5 – Depositi palustri. Limi e argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE**

Le coperture quaternarie, in generale, sono rappresentate da alluvioni recenti, presenti lungo l'alveo e nelle piane del Riu Mannu, mentre nelle aree più prossime alla linea di costa i sedimenti miocenici sono ricoperti, quando non affioranti, da spessori variabili di depositi eolici post tirreniani costituiti da sabbioni a granuli silicei, spesso ben cementati, a stratificazione incrociata. Infine, lungo il litorale, sono presenti spiagge sabbiose attuali con cordoni di dune mentre all'interno delle aree portuali tendono a depositarsi sabbie fini e limi e depositi palustri limo argillosi.

#### **4.1 Cenni strutturali**

Da un punto di vista strutturale l'area in studio è attribuibile al cosiddetto *Rift Sardo*, ampia fossa tettonica che avrebbe interessato l'intera Sardegna da nord a sud, la cui apertura sarebbe associata agli eventi vulcanici più antichi manifestatisi, verosimilmente, tra l'Oligocene superiore e l'Aquitano. I sistemi di faglie associate al rift non sono facilmente rilevabili a causa della sovrapposizione di strutture tardive. Successivamente si passa a fasi evolutive tettonico-sedimentarie. La prima, attuata in condizioni continentali, è testimoniata dalla presenza di depositi fluviali in parte sottostanti e in parte intercalati a depositi piroclastici, decentrati rispetto all'area di studio, testimonianza di una coesistenza, per un certo periodo, di attività vulcanica e sedimentaria. La seconda fase, maggiormente rappresentata, attua il dislocamento delle predette piroclastiti, iniziando in condizioni continentali ed evolvendosi, in continuità di sedimentazione, verso un ambiente marino epicontinentale. Queste fasi comprendono un periodo compreso tra il Miocene inferiore e quello medio.



#### **4.2 Inquadramento geomorfologico, idrologico e idrogeologico**

L'area inquadrata, inserita in un contesto industriale, come quello di Porto Torres, è contraddistinta da dominanti forme di tipo antropico legate all'attività industriale, all'attività estrattiva e di lavorazione e a discariche e, parzialmente anche da attività agricole. Uniche eccezioni nelle porzioni sud occidentali, sono rappresentate dalle forme arrotondate di carattere montuoso, attinenti ai rilievi mesozoici

Esaminando, in maggior dettaglio l'area interessata dal progetto, appare evidente che l'originaria morfologia costiera risulta sostanzialmente modificata dagli interventi antropici compiuti durante la realizzazione del porto industriale in generale e della banchina di riva in particolare e, attualmente, le superfici sono state rese più o meno piane da importanti interventi di scavo e di riporto che hanno interessato anche grandi aree.

L'assetto idrogeologico nell'area industriale di Porto Torres è caratterizzato dalla presenza di un acquifero principale che ha sede nei terreni di copertura e, soprattutto, nelle facies calcarenitiche del Miocene. Tale acquifero appare marginalmente ricollegato a quelli che, verso nord e verso est hanno sede nelle coperture alluvionali recenti alimentati direttamente sia dagli sversamenti del sistema idrografico (con perdite di subalveo), sia dalle infiltrazioni superficiali. Quest'ultimo acquifero presenta una certa potenzialità solo nei settori dove le coperture raggiungono notevoli spessori e dove, appunto, è presumibilmente presente un'alimentazione di subalveo laterale da parte dei corsi d'acqua come il Rio Mannu o i suoi affluenti.

L'acquifero di maggiore interesse per l'area in esame è comunque quello trattenuto alla base dai livelli più impermeabili delle formazioni più antiche, come le vulcaniti che rappresentano il substrato su cui scorrono i filetti liquidi delle falde che, diretti verso nord o nord est, localmente si incontrano e si uniscono alla falda marina, incuneandosi sopra. La roccia serbatoio, la calcarenite, è a permeabilità primaria per porosità. La variabilità della composizione granulometrica dei vari strati nei quali essa si definisce, implica un'analogia variabilità del coefficiente di permeabilità. Tuttavia la mancanza di continuità laterale e verticale dei livelli a granulometria fine permette comunicazione tra i corpi idrici dei livelli più permeabili. Si può quindi dire che l'area in esame è sede di una falda freatica sostanzialmente unitaria, di scarsa potenza ma abbastanza diffusa arealmente.

Il secondo acquifero è invece quello profondo, di notevole potenzialità, ed ha sede nelle sequenze calcaree mesozoiche. Rappresenta il grande serbatoio della Nurra che, in passato, ha consentito emungimenti dell'ordine di decine di metri cubi al secondo e che, ancora oggi, rappresenta una vera e propria risorsa. Tale falda, solitamente profonda, talvolta però sub affiora in corrispondenza di particolari situazioni geomorfologiche: gli antichi "bullones", presenti ad esempio nella piana verso Olmedo, erano delle pozze d'acqua di decine di l/sec originati dall'affioramento dei tale falda nelle aree di fossa.



Nello specifico, l'area in oggetto è totalmente costituita da strati di terreno di riporto e il substrato calcarenitico sopra descritto è presente in affioramento solo a ridosso della scogliera retrostante l'area di indagine.

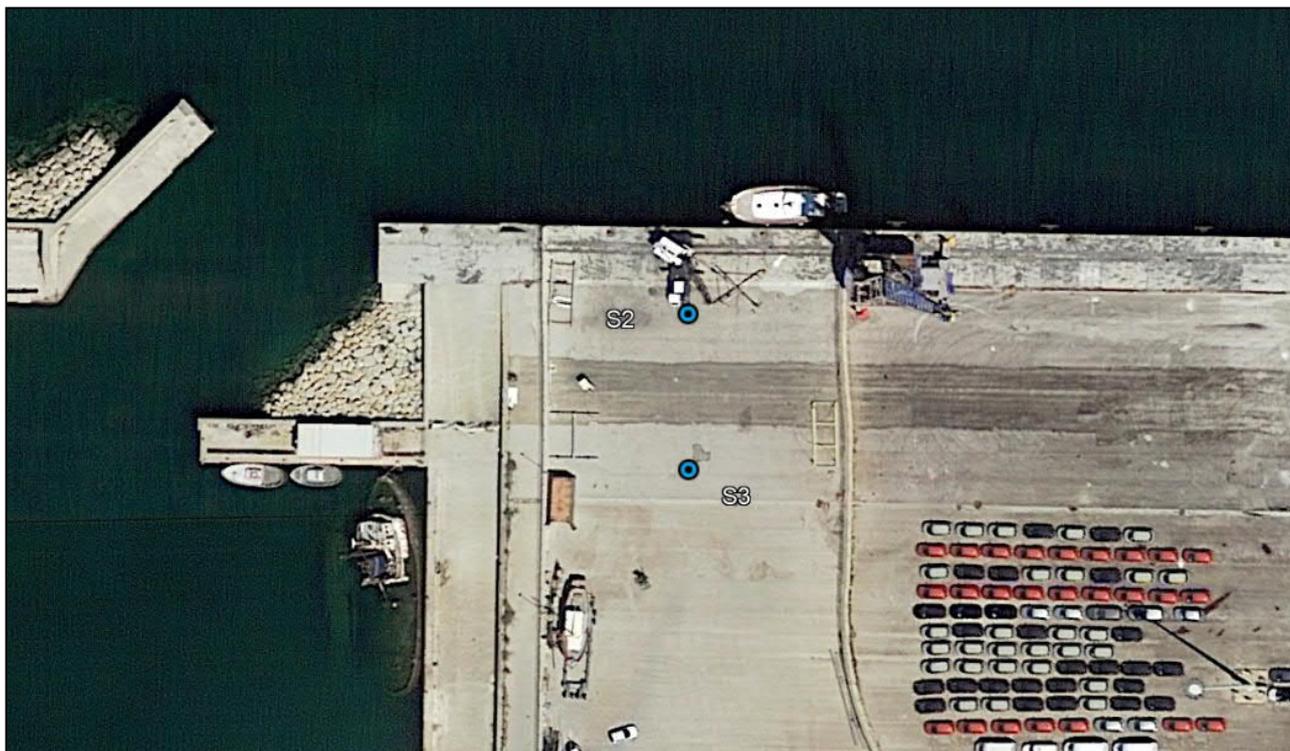
In corrispondenza del molo, i sedimenti e il substrato sono stati dragati durante i primi anni 2000, sino alla quota di 12 m dal l.m.m., come accertato dal confronto con le carte nautiche che riportavano, per tale punto, una batimetrica di circa 5 m dal l.m.m.. Il dato è stato poi confermato dai sondaggi realizzati.

Dal punto di vista idrogeologico, nell'area interessata dalla realizzazione dell'invaso per l'alaggio e il varo delle imbarcazioni, è certa la presenza di una falda salina. All'interno dell'antico vaso di riempimento, sono stati rinvenuti gli strati di materiale di riporto, saturi, la cui "falda" è, sostanzialmente, in equilibrio con il livello del mare.

### **4.3 Campagna Indagini**

#### **4.3.1 Sondaggi 2017**

Nell'ambito della caratterizzazione ambientale dei sedimenti della banchina, a luglio del 2017, sono stati eseguiti due sondaggi sul molo della banchina di Riva (più uno a mare per i sedimenti del fondo). Per il campionamento delle matrici di suolo all'interno della banchina, si è proceduto con l'esecuzione dei due sondaggi denominati S2 e S3 che sono stati collocati rispettivamente a circa 10 metri dal limite dei cassoni fronte mare e dalla parte terminale della rampa, come previsto dal preliminare Piano di Indagini Operativo.



**Figura 3** – Banchina di Riva – Ubicazione sondaggi

I sondaggi sono stati eseguiti con una perforazione a secco e diametro 101 mm, sino a una al raggiungimento del substrato lapideo rinvenuto a una profondità di circa 9 metri (substrato alterato) dal piano della banchina esistente.

Sondaggio	Data inizio/fine perforazione	Profondità perforazione	Campione prove di laboratorio
S2	07.07.17/07.07.17	12,50 m	S2-C1, S2-C2, S2-C3
S3	06.07.17/06.07.17	12,50 m	S3-C1, S3-C2, S3-C3

Tabella riepilogativa sondaggi geognostici

Le carote sono state estratte dal carotiere mediante estrusore per spinta meccanica dall'interno del carotiere e poggiate progressivamente in canalette in PVC decontaminate. Le carote sono state poi riposte in cassette monostampo in PVC dotate di coperchio, siglate e fotografate.

#### 4.4 Campionamento e Prove di laboratorio

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi S2 ed S3, eseguiti in linea all'interno della banchina,, sono stati prelevati 6 campioni di materiale per la caratterizzazione chimica dei terreni (tre per ogni sondaggio). I campioni sono stati analizzati anche dal punto di vista granulometrico.

Di Seguito si riporta una tabella riepilogativa con i campioni prelevati e le prove eseguite.

Sondaggio S2			
Campione	S2-C1	S2-C2	S2-C3
Profondità	1,50 – 2,50	4,30 – 5,30	8,00 – 9,00
Sondaggio S3			
Campioni	S3-C1	S3-C2	S3-C3
Profondità	0,70 – 1,70	7,50 – 9,00	9,00 – 10,00

Tabella riepilogativa dei campionamenti nei Sondaggi S2 e S3

Tabella riepilogativa dei campionamenti e delle prove di laboratorio

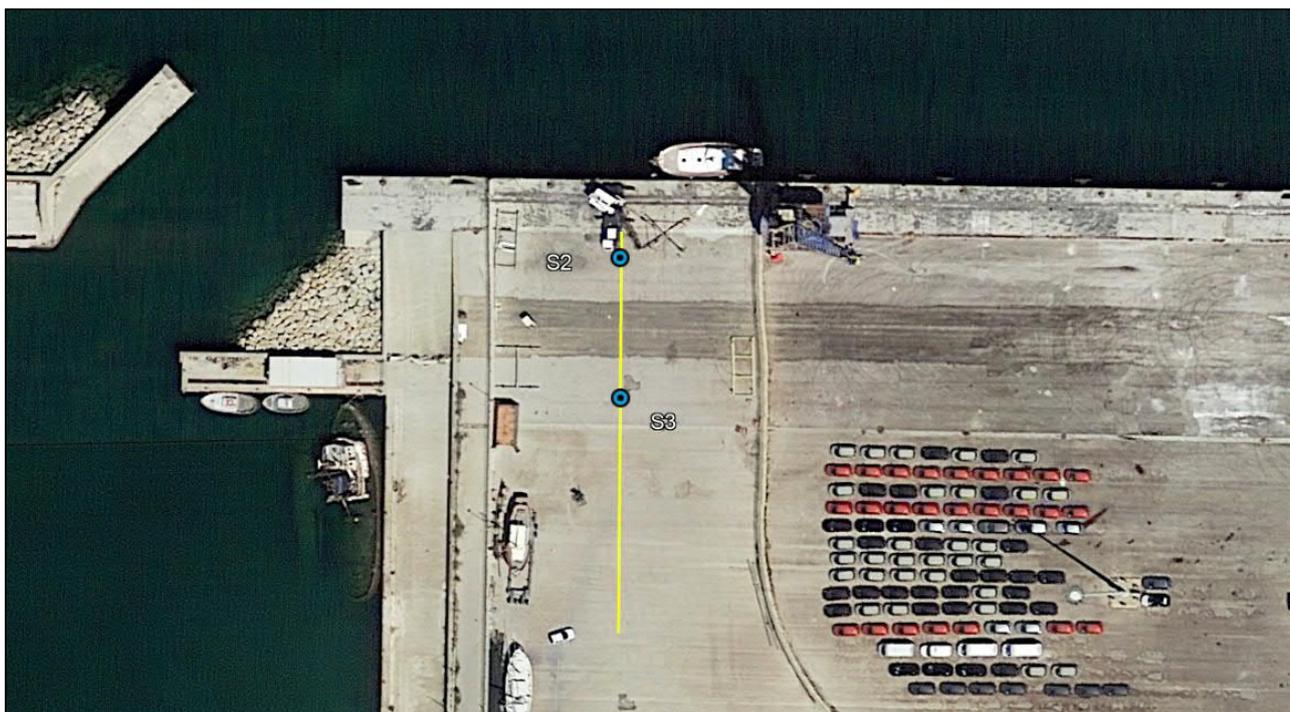
Sondaggio	Campione	Grado di Qualità (AGI 77)	Quota di prelievo m dal p.c.	Prova di laboratorio	Descrizione materiale (AGI 77)
Sondaggio S2	S2-C1	A disturbo limitato	1,50 – 2,50	Analisi Granulometrica per setacciatura via umida	Sabbia con ghiaia debolmente limo argillosa
	S2-C2		4,30 – 5,30		
	S2-C3		8,00 – 9,00		
Sondaggio S3	S3-C1	A disturbo limitato	0,70 – 1,70		Sabbia con ghiaia debolmente limo argillosa
	S3-C2		7,50 – 9,00		
	S3-C3		9,00 – 10,00		



Successivamente è stata effettuata la ricostruzione stratigrafica che descrive la tipologia di terreno o litologia campionata, il grado di addensamento o consistenza, il grado di umidità, il colore, eventuale presenza di odori o sostanze oleose e le stratigrafie corredate dalla descrizione degli orizzonti attraversati e la restituzione fotografica delle cassette catalogatrici è in allegato al presente elaborato.

#### 4.4.1 Indagine geofisica

Su commissione della Interprogetti, nell'ambito del progetto per la realizzazione nel porto di Porto Torres dello scalo di alaggio e varo delle imbarcazioni con gru, all'interno del polo nautico del nord-ovest della Sardegna, nel Comune di Porto Torres (SS), è stata condotta una campagna di indagini sperimentali di sismica a rifrazione in onde P e in tecnica Masw, allo scopo di ricostruire il modello sismostratigrafico del sottosuolo e di definire il valore di  $V_{s,eq}$  per la determinazione della categoria di sottosuolo, secondo quanto stabilito nelle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. del 17 gennaio 2018.

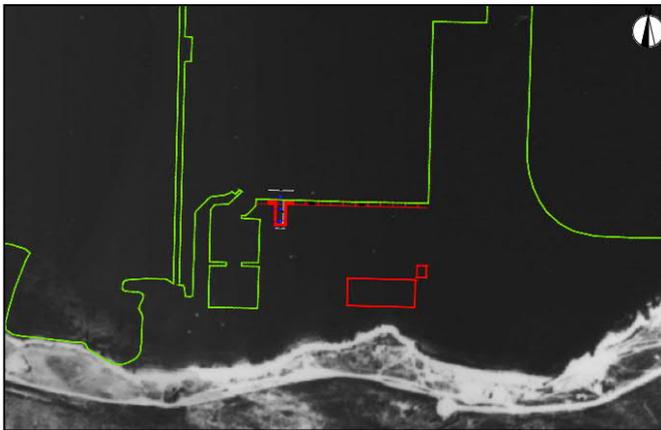
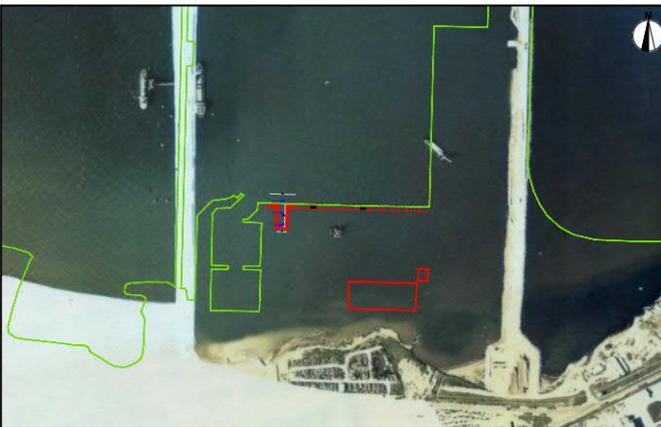


**Figura 4** – Banchina di Riva – Ubicazione indagini

#### 4.5 Contesto geologico e morfologico con preciso riferimento al progetto

Lo studio del contesto geologico, come già precedentemente riportato, è stato raffinato e maggiormente particolareggiato in occasione dell'esecuzione dei sondaggi in banchina che ha evidenziato gli spessori del riempimento antropico, i sedimenti marini e il substrato sedimentario miocenico, il cui andamento risulta compatibile con dell'evoluzione storica del tratto di costa in cui insiste la banchina tutt'oggi.

Il sito oggetto delle indagini, infatti, ha visto una trasformazione nel tempo della morfologia della linea di costa con dragaggi dell'area antistante la Banchina di Riva e riempimenti successivi fino alla realizzazione del molo come lo conosciamo oggi. Di seguito viene riportata la ricostruzione dell'evoluzione storica del tratto di costa tramite la visualizzazione delle foto aeree a disposizione e relative ai vari anni, sino alla completa inclusione del tratto in oggetto all'interno della zona portuale industriale di Porto Torres. Per meglio comprendere il giusto collocamento della banchina e della ristretta area del molo, oggetto della caratterizzazione, è stata messa in evidenza la traccia dell'attuale posizionamento delle aree antropizzate.

*Ortofoto RAS 1954-1955**Ortofoto RAS 1977-1978**Ortofoto RAS 1997 AIMA*



Ortofoto RAS 1998-1999



Ortofoto RAS 2003



Ortofoto RAS 2005 SAT



Ortofoto RAS 2006





**Figura 5** – Banchina di Riva – Inquadramento su foto aerea Google 2016

L'ultima testimonianza del 2003 rappresenta il completamento sostanziale delle aree retrostanti la banchina in oggetto e il completo colmamento con i sedimenti di dragaggio provenienti dai fondali antistanti, fino alla situazione odierna con l'attuale pavimentazione in calcestruzzo che costituisce il fronte del molo e che rappresenta la copertura antropica del terreno di riporto a valle di quella che prima era la linea di costa e che distava circa 180 metri.

#### 4.6 Modellazione Geologica

Dalle evidenze dirette in fase di sondaggio è stato possibile ricostruire il modello geologico del sottosuolo in riferimento all'opera in progetto. Le indicazioni delle profondità riferite al modello geologico sotto riportato fanno riferimento alle quote dalle banchina attribuite alle zone in cui sono state eseguite le prove geognostiche del 2017, poi confermate dalle indagini geofisiche dello scorso 22 maggio.

- 1) **0 ÷ 6,00 – 8,00 metri:** Depositi di riporto antropico costituiti da sabbie con ghiaie debolmente limo-argillose, composte da materiale eterogeneo con presenza di residui lapidei derivanti da scarti di lavorazione del granito in compresenza di inclusi calcarei con scarsa matrice fine.
- 2) **6,00 – 8,00 ÷ 9,00 metri:** Sedimenti marini costituiti da depositi prevalentemente sabbiosi con presenza di ghiaia ghiaie e materiale fine con residui algali.
- 3) **9,00 ÷ 10,00 – 11,00 metri:** Depositi di alterazione del substrato lapideo calcareo
- 4) **Oltre 10,00 – 11,00 metri:** Calcarei marnosi in facies lapidea con livelli arenacei

### 5 MODELLAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

#### 5.1 Sismicità storica

La sismicità della Regione Sardegna è assai bassa. Tali evidenze sono messe in rilievo da molti indicatori, quali l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale, che secondo qualsiasi ricostruzione, ci dice che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni.

Il catalogo storico dei terremoti riporta, infatti, solo due eventi nel Nord della Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (nel 1924 e nel 1948); il catalogo strumentale (sismicità degli ultimi 25 anni registrata dalla rete nazionale) riporta solo alcuni eventi nel Tirreno e pochissimi eventi a Sud della Sardegna (come gli ultimi eventi del marzo 2006), tutti eventi di magnitudo inferiore a 5. L'evento sismico più forte in Sardegna, infatti, è stato registrato nel 1948 nella zona tra Castelsardo



e Tempio Pausania; fu un terremoto che provocò solo qualche lieve danno. Nel 2006 alcune scosse avvennero nel Golfo di Cagliari, spaventando la popolazione senza danni.

Nella zona presa in esame la situazione è analoga: non è impossibile che si verifichi qualche scossa leggera ma la probabilità è molto bassa. Si tratta, insomma, di eventi di bassa energia, e infrequenti.

## **6 AZIONE SISMICA**

### **6.1 Sismicità storica**

La sismicità della Regione Sardegna è assai bassa. Tali evidenze sono messe in rilievo da molti indicatori, quali l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale, che secondo qualsiasi ricostruzione, ci dice che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni.

Il catalogo storico dei terremoti riporta, infatti, solo due eventi nel Nord della Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (nel 1924 e nel 1948); il catalogo strumentale (sismicità degli ultimi 25 anni registrata dalla rete nazionale) riporta solo alcuni eventi nel Tirreno e pochissimi eventi a Sud della Sardegna (come gli ultimi eventi del marzo 2006), tutti eventi di magnitudo inferiore a 5. L'evento sismico più forte in Sardegna, infatti, è stato registrato nel 1948 nella zona tra Castelsardo e Tempio Pausania; fu un terremoto che provocò solo qualche lieve danno. Nel 2006 alcune scosse avvennero nel Golfo di Cagliari, spaventando la popolazione senza danni.

Nella zona presa in esame la situazione è analoga: non è impossibile che si verifichi qualche scossa leggera ma la probabilità è molto bassa. Si tratta, insomma, di eventi di bassa energia, e infrequenti.

### **6.2 Pericolosità sismica di base**

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14.01.2008 così come gli aggiornamenti relativi di cui al D.M. 17.01.2018, introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", di seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Le NTC introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_r$  considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:



- $a_g$  =accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in 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.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito non è sintetizzata più dall'unico parametro ( $a_g$ ), ma dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera. I punti del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità Sismica del Territorio Nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato.

Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola e per tali valori, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Per la Regione Sardegna, e quindi per il Comune di Porto Torres, l'assegnazione dei parametri per i vari tempi di ritorno è semplificata dalle tabelle sottostanti che assegna i singoli valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ .

TR=30			TR=50			TR=72			TR=101			TR=140		
$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,7	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313C

TR=201			TR=475			TR=975			TR=2475		
$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
0,393	2,82	0,322	0,5	2,88	0,34	0,603	3	0,372	0,747	3,09	0,401

Tabella valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per la Regione Sardegna



### 6.3 Azione Sismica di progetto

Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

### 6.4 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto delle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 17 gennaio 2018, che aggiornano e sostituiscono il precedente D.M. del 14 gennaio 2008, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{S,eq}$ ) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di  $V_{S,eq}$  (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{S,i}$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti al disopra del substrato sismico (con  $V_S > 800$  m/s), fino a un  $H$  massimo di 30 m ( $V_{S,30}$ ).

L'indagine sismica ha permesso quindi di ricostruire il seguente profilo sismostratigrafico necessario per il calcolo delle  $V_{S,eq}$ :

STRATO	SPESSORE medio ( $h_i$ )	VELOCITÀ media ( $V_s$ )
1	0,5 m	316 m/s
2	5,4 m	290 m/s
3	2,0 m	261 m/s
4	2,3 m	685 m/s
5	19,8 m	747 m/s

Tabella profilo sismostratigrafico

Utilizzando i dati sopra sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità:



**$V_{s,eq} (V_{s30}) = 520 \text{ m/s}$** 

Il modello mostra quindi la presenza di un deposito di materiale a grana grossa abbastanza addensato per passare poi al miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, come peraltro evidenziato dalle indagini dirette. Secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione secondo la seguente tabella:

		Descrizione
Categoria di Sottosuolo	A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
	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.
	C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.
	D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina 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.

*Tabella 3.2. II delle NTC*

La categoria di sottosuolo qui riportata fa riferimento a “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”.

**Categoria di Sottosuolo “B”**

### 6.5 Condizioni topografiche

Il sito in esame è ubicato in corrispondenza di una zona di banchina quindi pianeggiante, in un contesto antropizzato, con inclinazione media inferiore di 15° e pertanto, in base a quanto previsto dal DM del 17 gennaio 2018, Tabella 3.2.III, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

#### Categoria Topografica "T1"

		Descrizione
Categorie Topografiche	<b>T1</b>	<b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione <math>i \leq 15</math>;</b>
	T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ;
	T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ ;
	T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ .

Tabella 3.2.III delle NTC2018

### 6.6 Liquefazione

Per liquefazione si intende generalmente una somma di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. 7.11.3.4.1 NTC 2018).

La perdita di resistenza dei terreni con determinate caratteristiche, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, e il conseguente raggiungimento di una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso, avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta fino ad arrivare al valore della pressione totale di confinamento, fino ad annullare gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio. Tali fenomeni di liquefazione dei terreni si verificano soprattutto in presenza di sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

Nel caso specifico, in relazione al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa poiché le accelerazioni massime attese al piano di campagna, circa **0,05g**, inferiori perciò, a 0,1g.



## 6.7 Parametri e coefficienti sismici di progetto

### Parametri $V_N$ e $C_U$ del Nodo di riferimento

Le azioni sismiche sulle opere vengono valutate in relazione a un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava puntualmente moltiplicando la Vita nominale  $V_N$  per il Coefficiente d'Uso  $C_U$ .

La Vita Nominale di una costruzione ( $V_N$ ), (§ 2.4.1 NTC 2018), è la durata alla quale si deve far riferimento in sede progettuale, in relazione alla durabilità delle costruzioni, nel dimensionamento delle strutture e dei particolari costruttivi, nella scelta dei materiali e delle misure protettive al fine di garantire il mantenimento della resistenza e della funzionalità delle opere stesse.

Tabella 2.4.I delle NTC – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di $V_N$ (in anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	<b>Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari</b>	<b>50</b>
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Le opere in progetto appartengono alle opere ordinarie e quindi con  $V_N$  pari a 50 anni.

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0,7	<b>1,0</b>	1,5	2,0

Tab. 2.4.II delle NTC – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$



I manufatti in oggetto, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite; appartengono alla **Classe d'uso II**, conseguentemente alla suddivisione in classi così definite dal paragrafo 2.4.2 delle NTC 2018 e di seguito riportate:

CLASSE D'USO	Descrizione
Classe I	Costruzione con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
<b>Classe II</b>	<b>Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.</b>
Classe III	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.
Classe IV	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 DM 5/11/2001, 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.

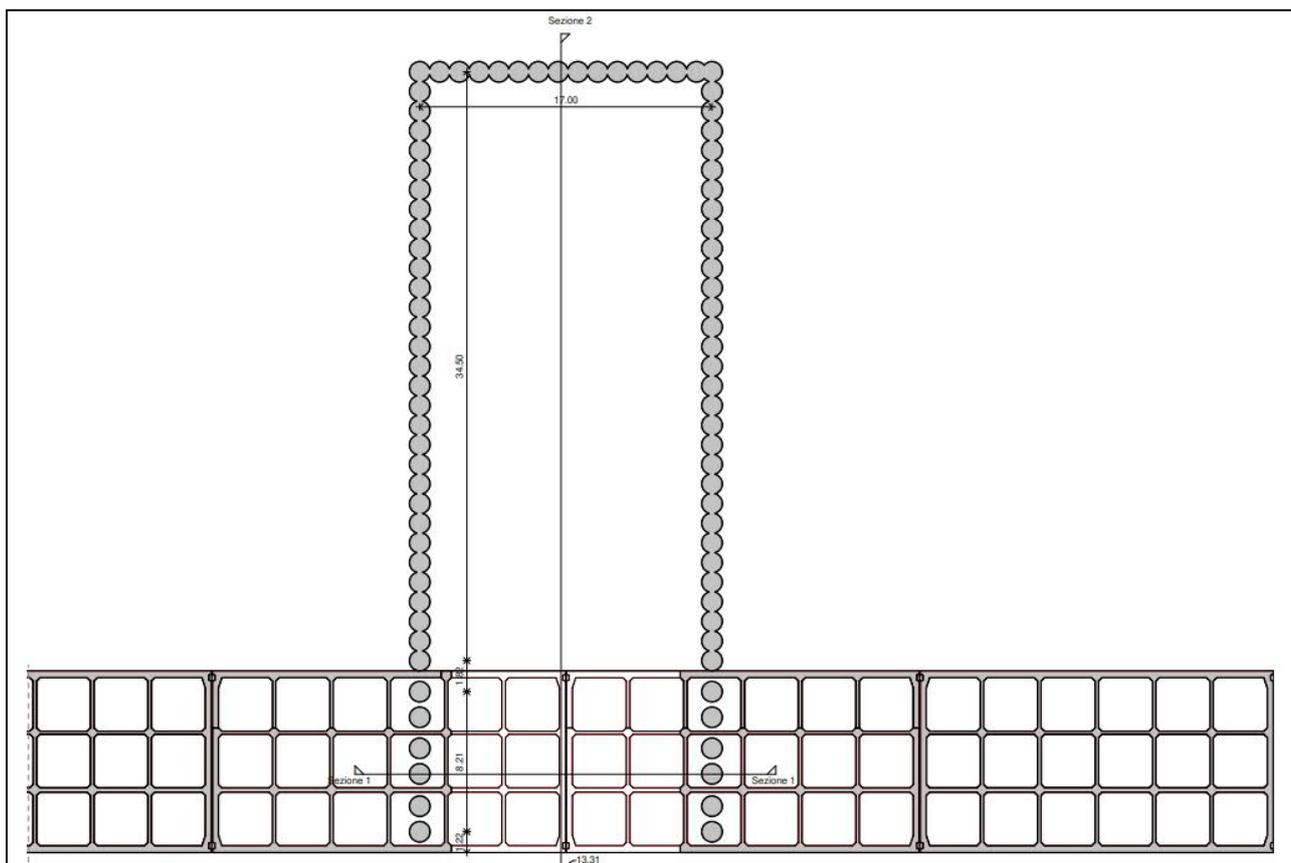
*Paragrafo 2.4.2 delle NTC 2018*



## 7 DETTAGLI PROGETTUALI

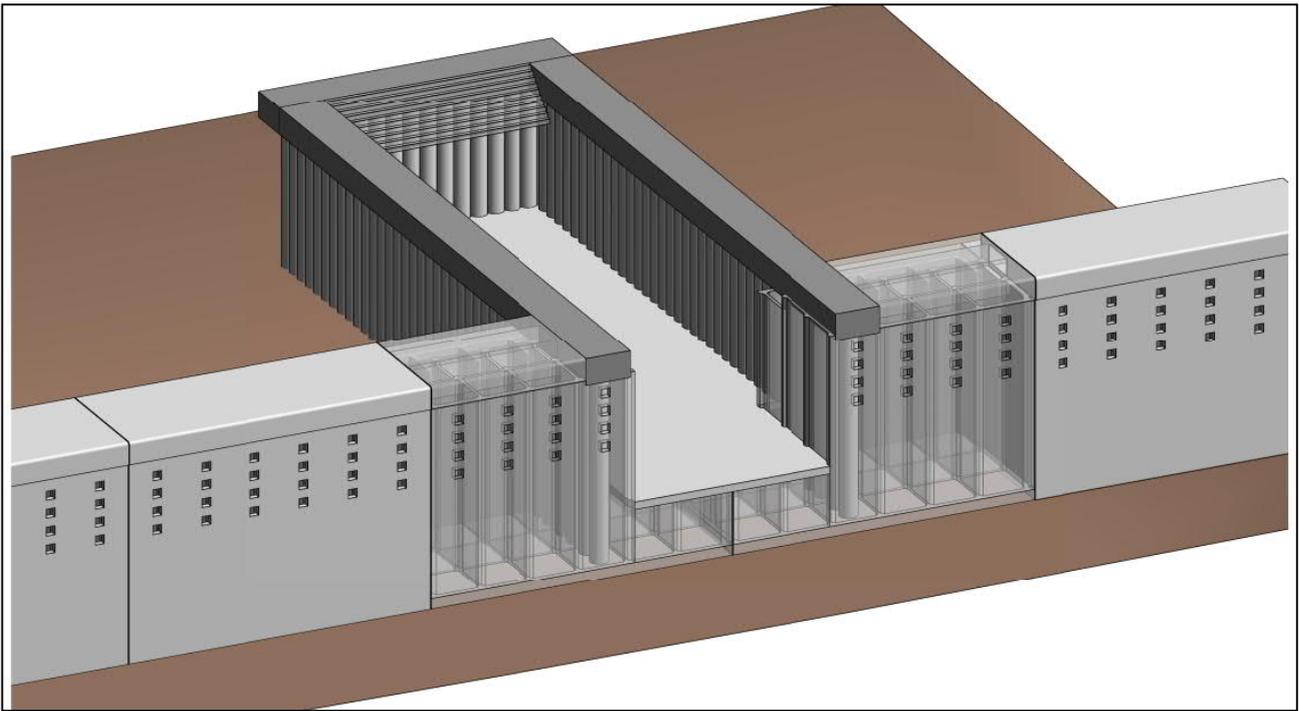
Il progetto definitivo prevede la realizzazione di uno scalo di alaggio caratterizzato da una larghezza di 14,0 metri e una profondità di 40,0 metri e un pescaggio utile di 7,25 metri.

La realizzazione dello scalo munito di gru per l'alaggio e varo delle imbarcazioni, sarà realizzato all'interno della banchina di Riva mediante la demolizione controllata di un tratto della banchina esistente, costituita da una struttura in cassoni cellulari di cemento armato, e la costruzione di un nuovo fronte banchina con massi in calcestruzzo.



**Figura 6** – Banchina di Riva – Planimetria scalo di varo e alaggio in progetto.

Sarà preventivamente realizzata una palificata perimetrale con pali trivellati  $\varnothing$  1200 mm per il contenimento dei sedimenti di sottobanchina al fine di poter realizzare lo scavo. Di seguito si riporta una ricostruzione progettuale 3D dello scalo di varo e alaggio delle imbarcazioni.



**Figura 7** – Banchina di Riva – Planimetria scalo di varo e alaggio in progetto.

## 8 PARAMETRIZZAZIONE MECCANICA E VALUTAZIONI GEOTECNICHE

### 8.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Sono state fatte considerazioni sugli attributi fisico-meccanici dei terreni di riempimento della banchina e sul substrato lapideo sottostante, sulla base delle risultanze emerse in occasione dell'esecuzione dei sondaggi realizzati nel 2017 per la caratterizzazione ambientale dei sedimenti e a seguito dell'esecuzione di uno stendimento sismico realizzato a maggio 2019. In occasione dei sondaggi sono state realizzate anche delle analisi granulometriche sui sedimenti di riempimento. I certificati e la relazione sulle prove geofisiche sono allegati alla presente relazione tecnica.

Le correlazioni espresse hanno permesso un'attribuzione dei valori significativamente rappresentativi ai fini di una distribuzione areale degli attributi geotecnici dei volumi interessati.

Le seguenti caratteristiche geotecniche, ritenute proprie degli orizzonti investigati sono da considerarsi cautelative dal punto di vista numerico.

- 1) **0 ÷ 6,00 – 8,00 metri:** Sabbie con ghiaie debolmente limo-argillose. (Analisi granulometriche S2-C1, S2-C2 e S3-C1)

$\gamma$	=	1,90 g/cm <sup>3</sup> (18,6 kN/m <sup>3</sup> )
$\varphi$	=	27°
$C'$	=	0,01 Kg/cm <sup>2</sup> (1 kPa)

Il materiale appare mediamente compatto:  $DR_{(T\&P)} = \text{Media}$ ,  $DR_{(G\&H)} = 35\%-65\%$ .

- 2) **6,00 – 8,00 ÷ 9,00 metri:** Sabbie con ghiaie limo argillose e debolmente limo-argillose (Analisi granulometriche S2-C3 e S3-C2)

$\gamma$	=	1,85 g/cm <sup>3</sup> (18,1 kN/m <sup>3</sup> )
$\varphi'$	=	25°
$C'$	=	0,01 Kg/cm <sup>2</sup> (1 kPa)

Il materiale appare sciolto:  $DR_{(T\&P)} = \text{Media}$ ,  $DR_{(G\&H)} = 15\%-35\%$ .

- 3) **9,00 ÷ 10,00 – 11,00 metri:** Alterazione del substrato lapideo calcareo (Analisi granulometrica S3-C3)

$\gamma$	=	1,90 g/cm <sup>3</sup> (18,6 kN/m <sup>3</sup> )
$\varphi'$	=	27°
$C'$	=	0,05 Kg/cm <sup>2</sup> (5 kPa)

Il materiale appare denso:  $DR_{(T\&P)} = \text{Media}$ ,  $DR_{(G\&H)} = 65\%-85\%$ .

- 4) **Oltre 10,00 – 11,00 metri:** Calcarei marnosi in facies lapidea con livelli arenacei



**Figura 8** – Sondaggio S2 – Spezzone di calcare integro.

Nel campo della progettazione d'infrastrutture d'ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un'opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato dagli interventi progettuali. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, attraverso un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area.

La classificazione di Benjowsky consente di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano.

La classificazione di Beniauskis si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri, A1 resistenza a compressione uniassiale, A2 indice RQD (Rock Quality Designation Index), A3 spaziatura delle discontinuità, A4 condizioni delle discontinuità, A5 condizioni idrauliche e A6 orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Beniauskis) che nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMR}_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = \text{RMR}_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

### **A1 resistenza a compressione uniassiale:**

In una fase preliminare delle indagini, mancando prove di campagna o di laboratorio, il valore di  $S_u$  può essere stimata osservando la risposta della roccia alla sua percussione - Standard ISRM.

Dalla risposta della roccia ottenuta attraverso tale prova speditiva, stimata per difetto in 10 MPa, attraverso la tabella sotto riportata,

$S_u$ (MPa)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente A1	15	12	7	4	2	1	0

si ottiene il valore corrisponde al coefficiente A1 della classificazione;

Coefficiente **A1 = 2**

### **A2 indice RQD (Rock Quality Designation Index):**

Proprio i dati relativi alle carote estruse in fase di sondaggio e ricavate col doppio carotiere, hanno restituito valori di RQD%, per quanto riguarda i tratti relativi al materiale in facies lapidea, che possono essere utilizzati per ricavare il coefficiente A2 secondo la seguente relazione:

$$\text{RQD} = \frac{\sum L_c}{L_t} \times 100$$

$L_c$  = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm (2 0+20+10+15=65 cm)

$L_t$  = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata  $L_c$  (100 cm).

Con un RQD di quasi 65%, usando la seguente relazione,

$39 \div 76,6$	$A2 = \frac{7}{37,6} \text{RQD} + 0,739$
----------------	--

Si ottiene un Coefficiente **A2 =12**



**A3 condizioni di spaziatura:**

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante la seguente relazione:

0,2 ÷ 0,4	A3 = 10 s + 6
-----------	---------------

Coefficiente **A3 = 8**

**A4 condizioni delle discontinuità:**

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniauskis il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo.

Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:  $A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$

V1 – Persistenza del giunto

< 1	6
-----	---

V2 – Apertura del giunto

< 0,1	5
-------	---

V3 – Rugosità del giunto

Rugosa	5
--------	---

V4 – Alterazione delle pareti

Leggermente alterate	5
----------------------	---

V5 – Riempimento delle discontinuità

< 5	Compatto	4
-----	----------	---

Coefficiente **A4 = 25**

**A5 condizioni idrauliche:**

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite a un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Beniauskis si ottiene, a favore di sicurezza:

Venute d'acqua su 10 m di lunghezza	> 125 l/min
Condizione	Forti venute
Coefficiente A5	0

Coefficiente **A5 = 0**

Sommando i coefficienti si ha:

$$\mathbf{RMR_b = 45}$$



**A6 orientamento delle discontinuità:**

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni:

Fondazioni = Favorevole

Coefficiente **A6=-2**

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMR<sub>c</sub> calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMR <sub>c</sub>	100 - 81	80 - 61	<b>60 - 41</b>	40 - 21	<= 20
Classe	I	II	<b>III</b>	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	<b>Mediocre</b>	Scadente	Molto scadente

Il valore totale **RMR<sub>c</sub> = 43** che definisce, dalla classificazione tecnica, un ammasso Mediocre.

Sulla base dell'RMR<sub>b</sub> si possono ricavare i parametri di resistenza dell'ammasso:

**Coesione picco c (kPa) = 5 x RMR<sub>b</sub> = 225 kPa**

**Angolo di attrito picco Φ = 5 + RMR<sub>b</sub>/2 = 40,5°**

**Peso di volume naturale γ<sub>nat</sub> = 2,00 kg/cm<sup>3</sup>**

γ	=	2,00 g/cm <sup>3</sup> (19,6 kN/m <sup>3</sup> )
φ	=	27,5°
C'	=	2,3 Kg/cm <sup>2</sup> (180 kPa)

L'esame dei terreni di sedime ha evidenziato spessori abbastanza costanti di materiale eterogeneo costituito da riporto antropico mediamente addensato, granulometricamente individuato all'interno delle sabbie con ghiaie con debole matrice fine. Successivamente, al di sotto dei 6-8 metri dal piano della banchina, è presente il fondo naturale costituito da sedimenti marini grigio scuri granulometricamente contraddistinto da sabbie abbondanti con maggiori percentuali di dimensioni fini e scarsamente addensate. Al di sotto di tale spessore, fino alla quota di circa 9 metri dal piano banchina, si rinviene il substrato calcareo marnoso talvolta in facies lapidea, sovrastato da 1-2 metri di alterazione. Proprio l'analisi di tomografia sismica e ancor più quella in tecnica MASW hanno individuato gli orizzonti maggiormente competenti rispetto a quelli meno addensati, rivelando, per i sedimenti marini, un'inversione di velocità (MASW), e confermando gli spessori relativi ai passaggi litostratigrafici evidenziati dagli estrusi dei sondaggi eseguiti. Proprio in merito a ciò si ritiene rilevante



evidenziare che, considerando cautelativamente una roccia dalle caratteristiche mediocri (RMR, Beniawsky), è consigliato intestare i pali trivellati, proprio all'interno di tale substrato, sicuramente con caratteristiche di meccaniche migliori oltre i 10 metri, cautelativamente almeno a 13-15 metri dal piano banchina.

## 9 CONCLUSIONI

Attraverso le indagini geologiche effettuate nel settembre 2017 e le considerazioni emerse dai dati relativi alla campagna indagini geofisiche svolta nel maggio del 2019, è stato possibile determinare le caratteristiche stratigrafiche, strutturali e meccaniche dei terreni interessati dagli interventi sulla Banchina di Riva, in cui è prevista la realizzazione dello scalo di alaggio e varo delle imbarcazioni con gru all'interno del polo nautico del nord-ovest.

L'area oggetto della caratterizzazione ricade totalmente all'interno dell'area SIN della zona industriale di Porto Torres e dal punto di vista geostratigrafico le indagini all'interno della banchina hanno evidenziato la presenza ubiquitaria di materiali di riporto messi in posto durante le fasi di realizzazione della banchina stessa con spessori variabili dai 6 agli 8 metri dal piano banchina.

Il materiale rinvenuto, sottoposto ad analisi granulometrica, è rappresentato essenzialmente da sabbie con ghiaie debolmente limo-argillose e composte da materiale eterogeneo. Alcuni riempimenti rinvenuti in corrispondenza del sondaggio S3 sono rappresentati da materiale di riporto antropico costituito da residui lapidei derivanti da scarti di lavorazione del granito in compresenza di inclusi calcarei.

Il sedimento marino preesistente rispetto alla messa in posto dei cassoni e al riempimento dell'area retrostante per la realizzazione della banchina risulta di spessore variabile fino a una quota di circa -9 metri dal piano banchina.

Al di sotto di tale quota, i sondaggi effettuati, confermati dall'indagine sismica, hanno rivelato la presenza del substrato calcareo in facies lapidea con presenza di passaggi più teneri in cui prevale la componente marnosa e/o arenacea. La litofacies della successione sedimentaria miocenica rinvenuta, presenta, in maniera non omogenea, depositi di alterazione costituiti da materiale contraddistinto da sabbie con ghiaie limose e argillose.

Come già espresso all'interno del presente elaborato, l'analisi di tomografia sismica e ancor più quella in tecnica MASW hanno individuato gli orizzonti maggiormente competenti rispetto a quelli meno addensati, rivelando, per i sedimenti marini, un'inversione di velocità (MASW) e per il substrato lapideo un incremento graduale delle velocità, in funzione dell'aumento dell'addensamento. Proprio in relazione a quest'ultimo dato, sarebbe opportuno intestare i pali trivellati oltre i 10 metri, cautelativamente almeno a 13-15 metri dal piano banchina.



Si tenga presente che la tipologia, l'ampiezza dell'indagine e le relative considerazioni sono strettamente subordinate al tipo e alle dimensioni delle opere in progetto e pertanto non devono essere generalizzate per interventi di altra natura.

Dott. Geol. Mario Alberto Antonini



A handwritten signature in black ink, written in a cursive style. The signature reads 'Mario Alberto Antonini'.