

COMUNE DI PORTOPALO

DI CAPO PASSERO

Provincia di Siracusa

**PORT-ONE**

Porto turistico in Portopalo di Capopassero

Progetto definitivo

Relazione geologica

---

Studio di geologia  
**Gaetano Bordone**  
Viale S. Panagia, 18  
Tel. (0931) 412222  
96100 Siracusa  
elab. n. g080627

# PORT-ONE

## Porto turistico in Portopalo di Capopassero

### Progetto definitivo

#### Introduzione

Portopalo di Capo Passero, in provincia di Siracusa, è il comune più a Sud della Sicilia (al di sotto del parallelo di Tunisi), raggiungibile da Siracusa (da cui dista circa 50 Km) percorrendo un tratto dell'Autostrada Siracusa - Gela fino a Noto, per poi seguire la strada provinciale fino a Pachino e, infine, la provinciale per Portopalo.

Il suo territorio comunale confina con il Comune di Pachino.

Il clima caldo, asciutto, mitigato dall'azione del mare, tipico della costa mediterranea, unitamente alla morfologia variegata della costa (lunghe spiagge con dune sabbiose alternate a litorali rocciosi) ed alla particolare vegetazione richiama alla mente paesaggi esotici.

Portopalo, il cui antico nome era Terra Nobile (il nome di Portopalo fu dato dai Romani per i pali che venivano innalzati per segnalare dal porto alle colline il frequente arrivo di pirati ed invasori), fu fondata nel 1778 dal barone Don Gaetano Deodato - Moncada che, nel 1792, fece costruire a proprie spese le prime cento case nei pressi della Tonnara. Fino alla soppressione della feudalità, nel 1812, Portopalo rimase villaggio suburbio di Noto, per poi passare sotto il decurionato di Pachino, dal quale si svincolò nel 1974 divenendo così Comune autonomo.

Da Portopalo sono passate le più grandi civiltà, come testimoniano i reperti ritrovati nella zona archeologica di Scalo Mandrie. Nel tratto di mare che separa l'Isola di Capo Passero dal paese sono passati Fenici, Greci, Romani, Arabi, Normanni.

Tra le principali attrattive che caratterizzano Portopalo non possiamo non citare l'antica Tonnara, splendido monumento di archeologia industriale, con le loggia e lo stabilimento per la lavorazione del tonno, la grande fornace, i magazzini delle botti o del sale, la chiesa del XVII secolo: qui giungevano i tonni che, prima macellati e poi lavorati, hanno costituito nel corso dei secoli una importantissima risorsa economica per tutta la popolazione del luogo.

#### Premessa

Questa nota geologica viene elaborata a corredo della progettazione definitiva relativa alla realizzazione di un approdo turistico denominato "Port-ONE" da sorgere all'interno della rada di Portopalo di Capopassero nel Comune di Portopalo.

Questa analisi geologica è stata sviluppata dopo avere preso visione di tutto il progetto redatto dalla *FN Progettazioni*, con particolare riferimento ad alcune tavole indispensabili per la comprensione e una più facile lettura del progetto (Tavole 4.3, 4.4, 5.3, 6.2, 6.4).

L'area di intervento è esattamente posizionata nel settore di levante del bacino ed ingloba le modeste strutture portuali esistenti comprendenti anche un molo, definito di sopraflutto, che nelle intenzioni progettuali si prevede di allungare mediante la realizzazione di un pennello lungo circa 100 m a protezione del bacino e senza operazioni di dragaggio. Per il molo di sopraflutto esistente è previsto il consolidamento.

Il progetto prevede anche la realizzazione di un molo di sottoflutto attrezzato per l'ormeggio con sviluppo lineare di circa 290 m in direzione ovest che insieme al molo esistente allungato racchiuderà uno specchio acqueo di poco meno di 150.000 mq.

In particolare la creazione della diga di sottoflutto contribuirà in maniera sostanziale ad intercettare il flusso delle acque prima dell'esistente molo di sopraflutto, producendo così un insabbiamento naturale esterno al golfo e risolvendo l'attuale problema visibile all'interno della rada, ovvero l'accumulo di sabbia e detriti trasportati dalle acque provenienti dai venti di libeccio che produce costante insabbiamento dentro al porto.

La costruzione della diga di sottoflutto inoltre consentirà l'agevole dragaggio del fondale, senza rischiare un nuovo insabbiamento.

All'interno dello specchio acqueo infatti è previsto il dragaggio dei fondali esistenti che a partire dalla linea di costa presentano una batimetria attuale di circa  $-0,5 \text{ m} \div -1 \text{ m}$  (come è stato verificato attraverso il rilievo batimetrico); il dragaggio avverrà fino al raggiungimento della profondità minima di  $-5 \text{ m}$ . A tergo della diga foranea di sottoflutto, fino al raggiungimento della quota del fondale minima prevista con le operazioni di dragaggio ovvero  $-5 \text{ m}$ , si avrà ripascimento.

Sulla terraferma, infine, occupata dalla spiaggia e pertanto ricadente all'interno dell'area demaniale, è previsto lo spianamento per la costruzione di una banchina di ripa dove saranno alloggiate le strutture di supporto logisticamente divise tra l'area strettamente legata alla nautica da diporto e sinteticamente chiamata «Club House» e l'area cantieristica.

L'obiettivo del progetto è la messa in sicurezza del bacino interno di Portopalo raggiunto attraverso la realizzazione delle opere di difesa precedentemente nominate e verificabili in tutte le tavole di progetto con conseguente riqualificazione dell'intera zona portuale; la sua sistemazione prevede un imponente lavoro di recupero che comporta grandi movimenti di terra conseguenti agli interventi di dragaggio dei fondali più bassi con riutilizzo dei sedimenti al di sotto del progettato molo di sottoflutto e ripascimento della spiaggia da sorgere a tergo del molo.

Tutte le opere previste ricadono in area demaniale e non prevedono interventi in terraferma su proprietà private.

In particolare, la superficie totale che ricade interamente nella porzione di Demanio marittimo al quale si richiede la concessione, è così suddivisa:

- terra: 49.713,31 mq;
- mare: 85.366,89 mq;
- totale: 135.080,20 mq;

Si specifica infine che il progetto è conforme alle norme tecniche generali ed ai vincoli urbanistici, paesaggistici e demaniali e che l'area portuale non fa parte delle aree naturali protette, per cui non è sottoposta a vincolo (confronta carta dei vincoli).

## **Inquadramento geografico**

L'area studiata ricade all'interno del porto di Portopalo di Capo Passero ubicato a sud del settore sudorientale siculo. Allo stato attuale il porto è costituito da un bacino artificiale difeso da due moli, di ponente della lunghezza di circa 400 m e levante della lunghezza di 470 m e inclinato di 77° rispetto al nord geografico, oltre ad un piccolo molo per lo sbarco della lunghezza di 85 m .

Il porto è stato classificato, con decreto n. 106/13 del 7 marzo 2001, di 2ª categoria, 3ª classe e costituisce rifugio per la flotta peschereccia, turistica e per imbarcazioni da diporto.

L'ambito preso in considerazione è relativo ai terreni che si stendono a sud-ovest dell'abitato di Portopalo, attraversati già adesso da un asse stradale (Via V. Emanuele) che congiunge la città con il porto e il borgo degradato che si affaccia sull'area portuale.

Topograficamente l'area è cartografabile nella tavoletta "Pachino", F.277, quadrante III, orientamento SE, redatta in scala 1.25000 dall'I.G.M.I..

Dal punto di vista altimetrico l'area di terraferma destinata alla banchina di ripa presenta quote variabili da circa 0.8 m a 2.70 m verso l'entroterra.

La ricostruzione geologica esatta riferita sia alla terraferma sia allo specchio acqueo è stata resa possibile attraverso una serie di indagini geologico - tecniche finalizzate alla progettazione degli edifici da sorgere sulla terraferma sia alla classificazione dei fondali ai fini degli imbasamenti delle opere a mare.

Tutta questa progettazione definitiva è basata su rilievi topografici eseguiti con strumentazione GPS nonché rilievi batimetrici con l'ausilio di GPS e di ecoscandaglio.

## **Rilievo geologico di superficie:**

Il rilievo geologico eseguito sulla terraferma ha permesso di identificare le litologie affioranti qui di seguito descritte, dal basso verso l'alto, ed estese anche al di sotto dello specchio acqueo. Le indagini geognostiche eseguite, descritte successivamente, hanno confermato i risultati di superficie:

- *complesso vulcanico cretaceo*
- *calcarei organogeni*
- *depositi di spiaggia/ sedimenti marini*
- *materiale di riporto (blocchi ciclopici calcarei)*

### *complesso vulcanico cretaceo*

Questi terreni affiorano in superficie lungo un tratto della fascia costiera del territorio di Portopalo e costituiscono il substrato dell'intera tonnara.

Non interessano l'area di stretta pertinenza.

Si tratta di vulcaniti, vulcanoclastiti e breccie vulcaniche a pillows parzialmente argillificate di colore bruno giallastro a grana fine, derivanti da un'attività vulcanica di tipo sub-marino geologicamente attribuibile ai tempi cretacei. Le vulcaniti costituiscono un "seamount" di lave basiche alterate, ricoperto lungo i fianchi dai depositi carbonatici coevi (calcarei a "rudiste").

#### calcarei organogeni

Questo complesso carbonatico, coevo a quello vulcanico sottostante, affiora sulla terraferma e fino a mare ed è costituito da calcari massivi biancastri a "rudiste" (organismi fossili di scogliera appartenenti alla famiglia dei bivalvi).

Litotecnica i calcari si presentano compatti ed a elevata resistenza meccanica.

A nord della esistente tonnara essi sono parzialmente dislocati da faglie dirette che li mettono a contatto con le vulcaniti cretacee. In affioramento sono visibili gli specchi di faglia ovvero le superfici di rottura e di scorrimento della roccia.

#### depositi di spiaggia/sedimenti marini

Questo deposito superficiale deriva dall'accumulo lungo la fascia costiera ed al di sotto del pelo d'acqua di prodotti di varia natura misti (sulla terraferma) a materiali antropici ripresi continuamente dal mare, nel suo costante andirivieni. Complessivamente questi terreni affiorano con spessori modesti lungo il tratto costiero.

#### materiale di riporto

Si tratta di uno strato antropico, costituito da blocchi ciclopici di natura calcarea, riferito esclusivamente al molo esistente e alla zona portuale sulla terraferma; Questi terreni sono stati messi in posto a seguito delle opere di sistemazione, bonifica e livellamento eseguite nel corso del tempo per l'urbanizzazione anche portuale dell'area.

### **Inquadramento morfologico**

Nel complesso, il sito ricade lungo la fascia costiera soggetta alla costante azione erosiva e deposizionale delle correnti marine. La morfologia dell'area è infatti caratterizzata da una fascia costiera con andamento pianeggiante formata da insenature di natura carbonatica con cambi bruschi di pendenze verso l'entroterra associati a variazioni litologiche del paesaggio.

L'immediato entroterra è costituito anch'esso da terreni di natura calcarea ad elevato contenuto fossilifero misti a depositi fluvio-deltizi di natura ghiaiosa indicanti la transizione da condizioni di deposizione marina a condizioni di deposizione fluviale.

In generale, il territorio studiato non presenta vaste estensioni caratterizzate da significativi elementi di pericolosità morfologica, ad eccezione delle scarpate marine la cui evoluzione è legata all'alternarsi delle trasgressioni e regressioni del mare.

Per quanto attiene la stabilità del versante costiero, si può affermare che non esistono allo stato attuale fenomeni di instabilità di qualsiasi tipo nell'area di stretto interesse; inoltre, sono da

considerare nulle le probabilità che si formino fenomeni franosi sia per la natura dei terreni, sia per le pendenze di gran lunga superiori a quelle critiche, sia per gli elevati valori dell'angolo di attrito delle terre di substrato.

Il sistema idrografico dell'area in studio è scarsamente sviluppato; infatti i corsi fluviali esistenti di particolare rilevanza hanno carattere esclusivamente torrentizio con portate spesso intermittenti e comunque dipendenti dagli eventi piovosi.

Lo scarso sviluppo idrografico è da attribuire esclusivamente ai fenomeni di infiltrazione prevalenti su quelli ruscellamento a causa della natura dei litotipi calcarei o vulcanici caratterizzati da discreta permeabilità, tranne nelle aree in cui affiorano le vulcanoclastiti argillificate caratterizzate da permeabilità molto bassa.

Nella zona di stretto interesse la falda libera è coincidente con il livello del mare.

### **Indagini eseguite**

Nell'area di progetto è stata eseguita dalla ditta **I.B.S. Geos s.n.c. di Siracusa** una campagna di indagini geognostiche, di tipo diretto ed indiretto, e prove geotecniche di laboratorio così articolate:

- n° 4 sondaggi meccanici verticali a rotazione e carotaggio continuo, denominati P1-P2-P3 e P4, spinti fino ad una profondità compresa tra 7,00 e 22,00 metri dal p.c.;
- n° 1 prelievo di campione rimaneggiato;
- n° 2 prospezioni sismiche a rifrazione, denominate TS1 e TS2.

#### *Perforazioni di sondaggio*

Al fine di ricostruire la stratigrafia puntuale del sito di progetto sono stati effettuati n° 4 sondaggi meccanici verticali a rotazione e carotaggio continuo. Nel dettaglio:

- la perforazione di sondaggio P1 (quota 0,80 metri s.l.m.) è stata eseguita lungo l'arenile e spinta fino alla profondità di 8,00 metri al di sotto del p.c.;
- la perforazione di sondaggio P2 (quota 2,00 metri s.l.m.) è stata eseguita lungo l'arenile e spinta fino alla profondità di 7,00 metri al di sotto del p.c.;
- la perforazione di sondaggio P3 (quota 0,80 metri s.l.m.) è stata ubicata lungo l'arenile e spinta fino alla profondità di 9,50 metri al di sotto del p.c.;
- il sondaggio meccanico P4 (quota 2,80 metri s.l.m.), è stato ubicato nella parte terminale del molo e spinto fino alla profondità di metri 22,00 dal piano di calpestio.

#### *Metodologia di indagine*

I sondaggi effettuati mediante attrezzatura oleodinamica CMV 420, sono stati eseguiti a rotazione a "testa idraulica" adottando la tecnica della conservazione del nucleo per tutto lo spessore indagato, con l'ausilio del carotiere semplice, con circolazione di fluido o, a tratti, a secco.

Il diametro delle perforazioni è stato pari a 101 mm, mentre la stabilità delle pareti del foro è stata garantita anche mediante l'infissione di un tubo di rivestimento continuo di diametro maggiore.

Nel corso della perforazione di sondaggio denominata P3 si è proceduto al prelievo di n° 1 campione rimaneggiato rappresentativo dei litotipi di substrato.

Il campione è stato inviato ad un laboratorio geotecnico autorizzato per l'accertamento delle sue principali caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni carotati.

Il materiale estratto, sistemato in apposite cassette in legno, catalogato e fotografato, è stato conservato in magazzino.

#### *Risultati stratigrafici*

Nel corso dei sondaggi meccanici P1-P2 ed P3, eseguiti lungo l'arenile, è stata riscontrata la presenza di **sabbie di colore grigio, da limose a debolmente limose**, dotate di uno spessore variabile tra 4,00 metri (in P2) e 6,00 metri (in P3). Al di sotto, e fino a fondo foro, sono presenti **calcarei organogeni di colore biancastro, ben cementati ed intensamente fratturati**.

Nel sondaggio meccanico denominato P4, eseguito lungo il molo esistente è stata riscontrata la presenza di calcestrutto ciclopico con potenza di 2,80 metri, poggiante al di sopra di blocchi calcarei ciclopici costituenti il nucleo del molo di spessore pari a 13,20 metri.

Alla profondità di - 16,00 metri è stato rinvenuto il substrato roccioso, costituito dai calcarei organogeni di colore biancastro, ben cementati ed intensamente fratturati.

Si rimanda all'elaborato a firma della ditta I.B.S. Geos s.n.c. la verifica di tutti i rapporti stratigrafici ed i reportage fotografici.

#### *Sismica a rifrazione*

Sono state eseguite n°2 traverse sismiche per una lunghezza complessiva di 156 metri allo scopo di fornire un inquadramento dell'assetto stratigrafico e giaciturale dei terreni investigati, nonché per una valutazione della struttura e delle caratteristiche dei litotipi presenti, a partire dalle seguenti indicazioni qualitative e quantitative:

- determinazione delle velocità sismiche longitudinali;
- individuazione di un eventuale bedrock con determinazione della sua profondità;
- calcolo dei parametri elastici del rifratore individuato.

Le sezioni investigate, denominate TS1 e TS2, presentano rispettivamente una lunghezza di 60 e 96 metri. La sezione TS2 è stata suddivisa in due tratti denominati TS2a e TS2b di lunghezza rispettivamente pari a 60 e 36 metri.

Le sezioni TS1 e TS2a sono state eseguite con distanza intergeofonica di 5 metri, mentre la sezione TS2b è stata eseguita con una distanza intergeofonica di 3 metri.

Le indagini sismiche si occupano della esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche generate sul terreno, che si rifrangono su superfici di discontinuità.

Tramite la misura dei tempi di percorso impiegati dalle onde sismiche per giungere dalla stazione energizzante ad una successione di geofoni riceventi, è possibile dedurre la velocità e gli spessori degli orizzonti in cui si propagano le onde elastiche e quindi ottenere informazioni sulla natura, sulla struttura e sui parametri elastici del mezzo investigato.

#### *Strumentazione impiegata*

Per i rilievi è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- \* sismografo PASI. mod.16S12: esso ospita il circuito amplificatore dei segnali elettrici provenienti dai geofoni, i filtri per la soppressione delle frequenze indesiderate, i circuiti per la digitalizzazione e per la memorizzazione del segnale acustico; tramite un computer interno lo strumento visualizza su uno schermo integrato i segnali ricevuti dai geofoni e li memorizza in files che saranno successivamente elaborati tramite software Winsism 10.
- \* 12 geofoni MarK 14 Hz: del tipo elettromagnetico a bobina mobile verticale che convertono in impulsi elettrici gli spostamenti del terreno;
- \* mazza battente di 8 Kg: per energizzare il terreno, corredata da un marcatempo che consente di registrare l'istante in cui avviene la generazione delle onde elastiche.

#### *Risultati sismica*

Dalla disamina dei risultati ottenuti è stato possibile evincere la presenza di due sismostrati sovrapposti, con velocità delle onde sismiche  $V_p$  crescenti con la profondità.

Il I° strato presenta in TS1 uno spessore compreso tra 4,89 metri e 5,78 metri, con valori medi di  $V_p$  variabili tra 833 e 1356 m/sec. In TS2 lo spessore dello strato superficiale, allontanandosi dall'attuale linea di costa, decresce progressivamente da circa 6,0 metri a 2,0 metri circa. In TS2 i valori medi di  $V_p$  risultano variabili tra 566 e 1389 m/sec.

Il II° strato, dotato di migliori caratteristiche meccaniche, ha fatto riscontrare valori medi di  $V_p$  compresi tra 2260 e 5390 m/sec.

Da questa modellazione, correlando le velocità delle onde sismiche con le stratigrafie meccaniche, si denota una buona compatibilità tra i dati diretti ed indiretti, che insieme evidenziano terreni a bassa velocità per profondità comprese tra i 2 ed i 6 metri entro materiali sabbiosi, con un incremento che corrisponde a un substrato calcareo nettamente più rigido.

La sismica inoltre ha permesso di ottenere un parametro estremamente significativo per la definizione delle caratteristiche dei terreni ai fini del rischio sismico; si tratta della *rigidità*  $R$  definita come prodotto della velocità delle onde di massa  $V_s$  (Km/s) in un litotipo per la sua densità  $\rho$  (t/mc). La rigidità sismica  $R$  può essere correlata al *coefficiente di fondazione*  $\epsilon$  attraverso relazioni empiriche: si fa riferimento in questa sede alle indicazioni riportate in un articolo di Antonio Rapolla pubblicato su "Geologia tecnica & ambientale" n. 4/96.

I valori di rigidità, verificabili sull'elaborato a firma della ditta I.B.S. Geos s.n.c. ottenuti per il I° strato ed il II° strato, consentono di attribuire ai terreni in studio i seguenti valori del coefficiente di fondazione:

Strato	Rigidità sismica R	Coefficiente di fondazione $\epsilon$
I° strato (spessore compreso tra 2 e 6 m – sabbie)	1.5 – 0.5	1.1
II° strato (substrato calcareo)	> 1.5	1

Si rimanda all'elaborato della ditta I.B.S. Geos s.n.c. la verifica, per ogni traversa sismica, delle dromocrone e rispettive sismosezioni e restanti parametri sismici.

#### *Prove geotecniche di laboratorio*

Nel corso delle perforazioni è stato prelevato n°1 campione rimaneggiato rappresentativo dei terreni di substrato. Il campione, conservato ed etichettato, è stato conferito al laboratorio geotecnico della Betontest di Ispica (RG), provvisto di autorizzazione ministeriale per prove sui terreni e sulle rocce ai sensi del DPR n. 380/01 art. 59.

Sul campione denominato S3C1, prelevato alla profondità di 6,00 metri dal p.c., è stata effettuata una prova di compressione monoassiale (UNI EN 1926).

Il valore della Pressione di rottura ottenuto per i calcari è pari a 47.10 Mpa.

#### **Caratterizzazione chimica e fitobentonica**

Per la progettazione in esame sono state eseguite indagini preliminari mirate allo studio delle biocenosi di sedimenti marini e all'esecuzione di analisi chimiche per evidenziare la presenza di eventuali inquinanti organici ed inorganici nella zona individuata per i lavori.

Di seguito vengono riportate alcune considerazioni su queste analisi, meglio specificate nella relazione descrittiva del progettista.

#### *Campionamento*

I punti di prelievo dei campioni sono stati individuati sia lungo la battigia per una lunghezza di circa 500 metri sia lungo la direttrice ove sarà costruito il molo fino ad una batimetria di circa 8 metri; l'immagine allegata mostra i punti di campionamento individuati con la sigla K per le analisi chimiche e con la sigla B per lo studio di biocenosi.

I campioni per le analisi chimiche sono stati conservati in contenitori di vetro, trasportati in laboratorio in condizioni refrigerate, ed analizzati con metodi ufficiali e riconosciuti dalle Autorità di controllo.

#### Individuazione dei punti di campionamento



1	K <sub>1</sub>	36°40'24.75"	15°07'16.06"
2	K <sub>2</sub>	36°40'22.99"	15°07'22.40"
3	K <sub>3</sub>	36°40'20.77"	15°07'27.75"
4	K <sub>4</sub>	36°40'17.85"	15°07'32.12"
5	B <sub>1</sub> -K <sub>5</sub>	36°40'19.96"	15°07'20.26"
6	K <sub>6</sub>	36°40'17.72"	15°07'25.58"
7	B <sub>3</sub> -K <sub>7</sub>	30°40'12.14"	15°07'15.31"
8	B <sub>2</sub>	36°40'15.83"	15°07'16.85"

#### *Analisi chimica*

##### *Composti chimici inorganici (metalli)*

Tutti i campioni hanno messo in evidenza la presenza, a varie concentrazioni, sia di metalli definiti “pesanti” ed oggetto di particolare attenzione nelle varie normative ambientali, sia di altri metalli, non normati, ma indicativi di un inquinamento antropico tipico delle attività svolte nel luogo. Infatti oltre all’Alluminio, tipico componente della frazione argillosa del sedimento si sono trovate anche presenze di Ferro, Nichel, Piombo riconducibili a rilascio da processi corrosivi di strutture metalliche presenti, attualmente o in passato, ed appartenute a natanti abbandonati nella battigia. Anche la presenza di altri metalli, anche se in minor concentrazioni, danno evidenza di un inquinamento ambientale anch’esso legato probabilmente alle attività svolte in loco; infatti Cadmio, Mercurio, Rame, Zinco sono tutti elementi costituenti pitture antivegetative e colori, pur di vecchia produzione, utilizzate per le imbarcazioni. L’alto numero di scafi, in esercizio o abbandonati, presenti in zona giustificano la presenza di tali composti inorganici.

##### *Composti organici*

Le analisi di questa classe di composti hanno mostrato la presenza di alcuni Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA). I composti riscontrati, pur se in concentrazioni limitate, sono componenti tipici di carburanti e la loro presenza nei sedimenti può essere ricondotta a sversamenti

a mare di gasolio che per successiva aggregazione con particelle in sospensione in mare aggregandosi si sono depositate sul fondo.

### Analisi fitobentonica

Il sito di indagine possiede una scarsa diversità biologica con una tendenza alla dominanza di una specie (facies).

La mancanza di specie protette o di particolar pregio, consentono la realizzazione dei lavori previsti per l'attuazione dell'opera in esame.

### **Analisi del progetto**

Con l'ausilio delle tavole e sezioni progettuali 4.3, 4.4, 5.3, 6.2, 6.4 vengono di seguito fatte alcune considerazioni sul progetto, specificando che i dettagli dell'intero intervento progettuale sono descritti nella relazione descrittiva a firma del progettista.

Il nuovo bacino portuale presenta uno specchio acqueo a forma di goccia delimitato dal molo di sottoflutto e dalla banchina di ripa. La configurazione delle opere foranee è tale da rendere minimo l'impatto sull'ambiente circostante.

Tutte le opere foranee saranno realizzate con massi naturali di varia pezzatura come si evince dalle sezioni progettuali tipo.

Nessuna opera portuale supererà l'altezza massima prevista dallo strumento urbanistico vigente.

Nel complesso l'intervento progettuale consente di raggiungere i seguenti obiettivi :

- la riqualificazione dell'area portuale;
- la potenziale nascita di un'area baricentrica, tra il porto e il centro urbano, nella quale possano sorgere nuove attività che diano vita ad uno scambio di relazioni tra la città stessa e il mare;
- il rinnovamento sociale attraverso la rivalutazione delle risorse ambientali e culturali esistenti e la loro integrazione con il progetto;
- il rinnovamento economico mediante, la riorganizzazione dei settori dell'economia locale (agricoltura e pesca), e lo sviluppo del turismo integrato.

Ma entriamo nel dettaglio dell'intervento progettuale.

Sono previste:

- Opere marittime foranee comprendenti la realizzazione delle opere in terra, preventive per la protezione del bacino di levante, ovvero di un **molo di sottoflutto** e, tramite un pennello, il **prolungamento del molo di sopraflutto**;
- Opere marittime interne comprendenti la realizzazione delle **banchine di ripa**, la creazione dei piazzali a tergo delle banchine, il **dragaggio**;

- Impianti a servizio delle banchine (acqua, energia elettrica) e un impianto di buncheraggio;
- Edifici portuali consistenti nella realizzazione della “**Club House**” (vedi descrizione successiva)
- **Cantiere nautico** comprendente la realizzazione dei piazzali, del capannone e le rastrelliere per il rimessaggio di piccole imbarcazioni;
- Parcheggi ;
- Sistemazioni esterne comprendenti il completamento degli impianti a servizio dei piazzali retrostanti le banchine, la viabilità, le pavimentazioni stradali e le sistemazioni a verde.

Analizziamo separatamente le opere a mare e quelle a terra.

### **Opere a mare**

L'area marittima di intervento ingloba le modeste strutture portuali esistenti comprendenti anche un *molo*, definito di *sopraflutto*, che nelle intenzioni progettuali si prevede di allungare mediante la realizzazione di un pennello lungo circa 100 m a protezione del bacino. (confronta sezioni progettuali 22-22, 23-23, 24-24 della tavola progettuale 4.3); per questo intervento progettuale non occorre eseguire dragaggio. Il molo di sopraflutto esistente, esaminato nella tavola progettuale 4.4 dalla sez. 16-16 alla sez. 21-21, sarà oggetto di consolidamento.

Il progetto prevede anche la realizzazione di un *molo di sottoflutto* attrezzato per l'ormeggio con sviluppo lineare di circa 290 m in direzione ovest che insieme al molo esistente allungato racchiuderà uno specchio acqueo di poco meno di 150.000 mq.

La costruzione della diga di sottoflutto inoltre consentirà l'agevole dragaggio del fondale, senza rischiare un nuovo insabbiamento.

All'interno dello specchio acqueo infatti è previsto il dragaggio dei fondali esistenti che a partire dalla linea di costa presentano una batimetria attuale di circa  $-0,5 \text{ m} \pm -1 \text{ m}$  (come è stato verificato attraverso il rilievo batimetrico); il dragaggio avverrà fino al raggiungimento della profondità minima di  $-5 \text{ m}$ : ciò accade, per la costruzione del molo di sottoflutto, come è possibile verificare nella tavola progettuale 5.3 dalla sez. 6-6 alla sez. 9-9; a tergo della diga foranea, nelle sezioni esaminate, si avrà ripascimento fino alla nuova quota del fondale ( $-5 \text{ m}$ ) raggiunta con le operazioni di dragaggio.

A partire dalla sez. 9-9 tav.5.3 non occorre dragare in quanto la profondità batimetrica è sufficiente per gli scopi; in corrispondenza della terminazione della progettata diga foranea infatti il fondale esistente presenta una profondità batimetrica di  $-7.50 \text{ m}$  (dalle sez. 12-12 alla sez. 15-15 della tav.5.3).

Nel progetto della diga foranea è previsto l'utilizzo di massi naturali di buona compattezza, esenti da fratture e piani di sfaldamento o incrinature, resistenti all'azione dell'acqua e del gelo e aventi forma irregolare con angoli vivi, mentre le scogliere e le banchine saranno realizzati con massi artificiali resistenti ai fenomeni di corrosione e sfaldamento causati dall'ambiente marino.

Le strutture di ormeggio previste sono di due tipi: a banchina e a pontile. Nello specifico, tutto il fronte della banchina di ripa è adibito ad ormeggio per le classi di imbarcazioni maggiori, mentre, lungo tutto il molo di sottoflutto, sono presenti pontili galleggianti.

I pontili galleggianti consentono un'agevole variazione della disposizione planimetrica dei pontili all'interno del bacino in quanto sono strutture totalmente rimovibili, il loro ancoraggio sarà realizzato con sistemi di catenaria e corpi morti.

Come è possibile verificare dalle sezioni progettuali e quelle geologiche, la costruzione del molo di sottoflutto ed il completamento del molo di sopraflutto prevede, per l'alloggio delle nuove strutture, uno scavo nei terreni di substrato, rappresentate dalle sabbie di colore grigio, per uno spessore di circa 1 m. Lo scavo sarà riempito con uno strato di bonifico che pertanto costituisce il nuovo piano di appoggio del nucleo del molo s.s. .

### ***Opere a terra***

Sulla terraferma occupata dalla spiaggia e pertanto ricadente all'interno dell'area demaniale, è previsto lo spianamento per la costruzione di una banchina di ripa dove saranno alloggiate le strutture di supporto logisticamente divise tra l'area strettamente legata alla nautica da diporto e sinteticamente chiamata «Club House» e l'area cantieristica.

Le opere facenti parte della “Club House” , verificabili attraverso l'apposita legenda a corredo delle tavola progettuale 7.2, sono rappresentate da:

- **Corpo A:** ospita, a piano terra, il «Nautagrill», 1 pizzeria e lo yacht club e, al piano primo, 10 alloggi equipaggi;
- **Corpo B:** ospita, a piano terra, il pronto soccorso e 12 spazi commerciali da destinarsi e, al piano primo, 15 alloggi equipaggi;
- **Corpo C:** ospita 1 ristorante, la direzione approdo e la sala controllo;
- **Corpo D:** ospita l'ufficio informazioni;
- **Corpo G:** ospita la postazione guardinaggio;
- **Corpo H:** ospita la cabina Enel;
- **Corpo I:** ospita 6 fabbricati costituiti da box e 1 servizio igienico.

Le opere che rientrano nell'area cantieristica, anch'esse verificabili attraverso l'apposita legenda a corredo delle tavola progettuale 7.2, sono rappresentate da:

- **Corpo L:** ospita l'edificio per le officine e per il rimessaggio con annessi uffici;
- **Corpo E:** ospita la direzione del rimessaggio e 2 mini alloggi per tecnici;
- **Corpo F:** ospita i magazzini e la cabina elettrica utente;

Nell'area della «Club House» le tipologie costruttive si possono così descrivere:

per i corpi di fabbrica A, B, C, D le strutture saranno del tipo intelaiato in calcestruzzo di cemento armato; il Corpo G è interamente in struttura metallica, il Corpo H è in pannelli di cls prefabbricato mentre, i fabbricati del Corpo I, sono in muratura portante.

Le pavimentazioni esterne dei piazzali saranno realizzate con monostrato vulcanico di vari tipi e pezzature mentre per le aree restanti a servizio della «Club House» verrà utilizzato battuto cementizio e/o asfalto;

Nell'area cantieristica le tipologie costruttive ed i relativi materiali si possono così descrivere:

per il Corpo L: la struttura sarà in carpenteria metallica con giunzioni saldate o bullonate, i tamponamenti saranno in pannelli prefabbricati. Il Corpo E ed il Corpo F sono in muratura portante.

La pavimentazione, in funzione dell'impiego e, quindi, del tipo di carico che insiste rispettivamente costituita da massetto armato di adeguata dimensione per tutte le parti carrabili, e battuto stabilizzato drenante per le parti di deposito.

La costruzione della banchina di ripa, secondo le indicazioni progettuali, è destinata sulla terraferma dove sono presenti le sabbie con spessori compresi tra 4 e 6 m; sul lato del mare è prevista la messa in opera di cassoncini antiriflettenti, il cui piano di appoggio, posto alla profondità di circa 4.70 m dal pelo della acqua, è costituito da uno strato di bonifica che ha funzione di livellamento del fondale roccioso esistente.

Sulla banchina sono previsti fabbricati appartenenti all'area strettamente legata alla nautica da diporto («Club House») e l'area cantieristica.

In relazione alla morfologia dei terreni che presentano verso l'entroterra una altezza massima sul livello del mare di circa 2.70 m, il raggiungimento della quota finita di progetto, fissata a +1.30 m slm, sarà ottenuto in prossimità della battigia, con la posa in opera di un rilevato, e spostandoci verso l'interno, la quota finita, più bassa rispetto ai terreni esistenti, potrà essere raggiunta mediante sbancamento.

Pertanto ai fini fondazionali, i terreni di substrato saranno rappresentati o dai materiali di bonifica messi in opera per il raggiungimento della quota finale di progetto, o dai terreni in posto di natura sabbiosa, ritenuti geotecnicamente idonei per sopportare i carichi degli edifici in progetto; in alternativa, in accordo con il progettista, si può optare per il parziale sbancamento degli strati sabbiosi ed il riempimento della porzione svuotata con materiale di bonifica.

In fase esecutiva si decideranno le modalità operative da adottare in relazione al disegno delle fondazioni ed ai carichi trasmessi dalle opere previste sui terreni.

Fanno parte della progettazione ovviamente anche gli impianti creati lungo le banchine e sui pontili rappresentati da:

- la rete d'erogazione idrica con l'impianto antincendio;
- l'impianto di vivificazione delle acque;
- l'impianto d'irrigazione delle aree verdi;
- la rete di distribuzione dell'energia elettrica e l'illuminazione;
- la rete di fognatura e gli impianti di raccolta dei rifiuti solidi e degli oli esausti;
- gli impianti di comunicazione, segnalazione e impianti di sicurezza.

### **Caratterizzazione geomeccanica dei terreni di sedime**

Vengono in questa sede riportati i principali parametri meccanici delle litologie costituenti il substrato di sedime delle opere in progetto, a mare e sulla terraferma.

I terreni di substrato sono costituiti, per tutte le opere marittime, dai materiali di bonifica, in quanto, secondo le indicazioni progettuali, sono previsti scavi nei terreni di substrato e riempimenti con tout-venant.

Riguardo la banchina di ripa, come descritto nelle considerazioni progettuali, i cassoncini antiriflettenti sul lato mare sono attestati sul bonifico mentre tutti gli edifici della "Club House" e dell'area cantieristica potranno essere attestati o sui terreni in posto, di natura sabbiosa, o su rilevato.

Perciò i parametri geotecnici che di seguito stiliamo sono riferiti al bonifico, alle sabbie, e per completezza di esposizione al substrato roccioso calcareo. Si specifica inoltre che è stato eseguito anche lo studio qualitativo e quantitativo dell'ammasso roccioso calcareo.

#### ***Parametri geotecnici - Bonifico***

Il materiale da utilizzare per i bonifici deve avere le seguenti caratteristiche:

- tout venant di cava e materiale calcarenitico o vulcanico appartenente alle classi A1-A2 (ghiaie o breccie, ghiaie e sabbie limose), con scapoli di diametro equivalente non superiore a 15 cm, a spigoli vivi, scabri e non pulverulenti, a distribuzione granulometrica uniforme e passante al setaccio n.200 (mm 0,075) inferiore al 10% (ASTM D422);
- la stesa va effettuata in strati di altezza non superiore a 30 cm, rullati e vibrati mediante macchina vibrante- rullante singolarmente, in un campo di umidità prossimo a quello ottimo ottenuta in laboratorio con prova AASHTO "modificato" (ASTM D1557);
- la compattazione minima relativa deve essere non inferiore al 90% per ogni singolo strato del bonifico e non inferiore al 95% per l'ultimo strato rispetto alla densità massima misurata con prova AASHTO "modificato" (ASTM D1557);

- la verifica della compattazione va effettuata con il metodo della *densità in situ* con il cono di sabbia (ASTM D-1556), per ogni strato posto in opera, nel numero e nelle disposizioni fissate dalla D.L.;
- lo strato bonificato possederà le seguenti caratteristiche geotecniche (le quali risultano nel complesso migliorate rispetto alle terre naturali):

Peso di volume	$\gamma$	2,00	kg/cmc
Coesione	c	0,0	kg/cm <sup>2</sup>
Angolo di attrito interno	$\phi$	32	gradi
Coefficiente di Winkler	Ks	20	kg/cmc
Umidità ottima	U	9-10	%
Densità relativa	Dr	>90	%

***Parametri geotecnici - Sabbie***

Peso di volume	$\gamma$	1,70	t/mc
Coesione	c	0	Kg/cm <sup>2</sup>
Angolo d'attrito interno	$\phi$	25	gradi
Coefficiente di Winkler	W	7-15	Kg/cmc
Coefficiente di fondazione	$\epsilon$	1,1	

***Complesso calcareo organogeno "a rudiste"***

**Studio qualitativo e quantitativo del complesso calcareo organogeno "a rudiste"**

E' stato effettuato lo studio qualitativo e quantitativo dell'ammasso roccioso calcareo che ha previsto la determinazione dei seguenti parametri:

**Numero di famiglie e orientamento delle discontinuità**

Studiando l'ammasso roccioso affiorante nell'area di stretto interesse si sono individuate due famiglie di discontinuità:

**1<sup>a</sup> Famiglia di discontinuità**

A questa famiglia appartengono le discontinuità o dislocazioni che presentano un orientamento NW-SE.

**2<sup>a</sup> Famiglia di discontinuità**

A questa famiglia di discontinuità appartengono i giunti di stratificazione i quali presentano un orientamento NE-SW.

### Spaziatura delle discontinuità

La spaziatura delle discontinuità è stata determinata attraverso la seguente formula:

$$S_1 = L/n_1 \times \text{sen } \delta = 6/12 \times \text{sen } 90^\circ = 0,5 \text{ m}$$

$$S_2 = L/n_2 \times \text{sen } \delta = 6/3 \times \text{sen } 90^\circ = 2 \text{ m}$$

dove:

$S_1$  è la spaziatura tra le discontinuità appartenenti alla 1ª Famiglia;

$S_2$  è la spaziatura tra le discontinuità appartenenti alla 2ª Famiglia;

$L = 6$  è la lunghezza dello stendimento orizzontale misurato in corrispondenza dell'affioramento;

$\delta$  = rappresenta l'angolo tra la direzione media delle discontinuità e la direzione dello stendimento;

$n_1 = 12$  rappresenta il numero di discontinuità presenti nell'affioramento ed appartenenti alla 1ª Famiglia di discontinuità, orientate con angolo ( $\delta$ ) di  $90^\circ$  rispetto alla direzione dello stendimento ( $L_1$ );

$n_2 = 3$  rappresenta il numero di discontinuità presenti nell'affioramento ed appartenenti alla 2ª Famiglia di discontinuità, orientate con angolo ( $\delta$ ) di  $90^\circ$  rispetto alla direzione dello stendimento ( $L_2$ ).

### Condizioni delle discontinuità

Questo parametro viene stimato in modo qualitativo in campagna, valutando l'alterazione delle pareti, la scabrezza o ruvidità, l'apertura e il materiale di riempimento delle discontinuità.

Pertanto lo studio effettuato ha messo in evidenza che le discontinuità si presentano poco alterate, poco aperte e con superfici rugose.

### Condizioni di umidità delle discontinuità

Lo studio dell'affioramento non ha messo in evidenza la presenza di acqua all'interno delle discontinuità, pertanto esse si presentano asciutte.

### Orientamento delle discontinuità

In considerazione della stratimetria orizzontale dell'affioramento roccioso l'orientamento delle discontinuità rispetto all'ammasso roccioso risulta favorevole.

### Numero di giunti presenti nell'ammasso roccioso

Durante lo studio dell'affioramento si è delimitato un volume di roccia pari a 1 mc. Si è contato il numero di discontinuità presenti al suo interno, ottenendo così un numero di giunti per metro cubo pari a 8.

### Caratteristiche geomeccaniche del complesso calcareo organogeno “a rudiste”

La classificazione basata sull'indice di qualità della roccia R.M.R. System proposta da Bieniawski nel 1989, ha fornito i seguenti risultati:

#### Resistenza alla compressione della roccia (R1)

La resistenza alla compressione media ottenuta in laboratorio è risultata pari a 47.10 MPa (471 kg/cmq).

#### Indice R.Q.D.(Rock Quality Designation) (R2)

Questo parametro è definito come la percentuale di recupero di carotaggio in roccia di spezzoni con lunghezza superiore ai 10 cm rispetto alla lunghezza perforata.

L'indice R.Q.D. esprime la percentuale di recupero di modificata e, dalle perforazioni eseguite risulta uguale a 30%.

#### Spaziatura delle discontinuità (R3)

L'affioramento roccioso presente nell'area in studio è interessato da due famiglie di discontinuità (Famiglia 1 e Famiglia 2) che determinano l'intensa fratturazione dello stesso.

Tuttavia per la determinazione dei parametri geotecnici dell'ammasso roccioso, si considera a scopo cautelativo, la spaziatura misurata tra le discontinuità appartenenti alla Famiglia 1 che è pari a 0,5 m.

#### Condizioni delle discontinuità (R4)

Lo studio effettuato ha messo in evidenza che le discontinuità si presentano poco alterate, poco aperte e con superfici rugose.

#### Condizioni idrauliche (R5)

Lo studio dell'ammasso roccioso affiorante nell'area d'interesse non ha messo in evidenza presenza di acqua nelle discontinuità; pertanto le discontinuità si presentano asciutte.

#### Orientamento delle discontinuità (R6)

L'orientamento delle discontinuità rispetto alla giacitura degli ammassi rocciosi risulta favorevole, anche in relazione agli elevati valori di angolo di attrito interno degli ammassi.

A ciascuno dei parametri sopra descritti sono stati assegnati, attraverso la tabellazione proposta da Bieniawski, i valori degli indici di seguito riportati:

PARAMETRI	INDICI CALCARI A RUDISTE
Resistenza alla compressione	$R_1 = 4$
R.Q.D (Rock Quality Designation)	$R_2 = 8$
Spaziatura delle discontinuità	$R_3 = 10$
Condizioni delle discontinuità	$R_4 = 25$
Condizioni idrauliche	$R_5 = 15$
Orientamento delle discontinuità	$R_6 = -5$

Dai primi cinque valori riportati in tabella si ricava l'indice R.M.R. di base (R.M.R.b), mediante la seguente formula:

$$\mathbf{RMR_b = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 62}$$

Dall'indice R.M.R.b si ricava, attraverso le seguenti formule, rispettivamente l'angolo di attrito interno ( $\phi$ ) e la coesione ( $C_0$ ):

$$\mathbf{\phi = 5 + R.M.R.b / 2 = 35^\circ}$$

$$\mathbf{C_0 = 5 * R.M.R.b = 310 \text{ KPa} = 3,10 \text{ Kg/cmq} = 31 \text{ t/mq}}$$

L'indice R.M.R. corretto (R.M.R.c) viene ricavato attraverso la seguente espressione:

$$\mathbf{R.M.R.c = R.M.R.b + R_6 = 62}$$

Utilizzando l'indice R.M.R.c è stato possibile classificare l'ammasso roccioso delle marne e quello delle vulcaniti come appartenente alla Classe III a cui corrisponde una qualità della Roccia Discreta.

***Parametri geotecnici -Calcarei organogeni "a rudiste"***

<b>Peso di volume</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b>2,0</b>	<b>t/mc</b>
<b>Coesione ottenuta</b>	<b>c</b>	<b>3,10</b>	<b>Kg/cmq = 31,5 t/mq = 310 KPa</b>
<b>Coesione consigliata</b>	<b>c</b>	<b>0,0</b>	<b>Kg/cmq</b>
<b>Angolo d'attrito interno</b>	<b><math>\phi</math></b>	<b>35</b>	<b>gradi</b>
<b>Coefficiente di Winkler</b>	<b>W</b>	<b>25-30</b>	<b>Kg/cm</b>
<b>Coefficiente di fondazione</b>	<b><math>\epsilon</math></b>	<b>1</b>	

Per la suddivisione in base alla durezza tutti terreni interessati dalla realizzazione di eventuali scavi in progetto sono stati raggruppati in classi di resistenza alla compressione semplice utili per stabilire, in linea di massima, le somme occorrenti per gli sbancamenti e per gli scavi:

In base alla durezza, i terreni in esame appartengono alla seguente classe di resistenza alla compressione semplice (parametro indispensabile per stabilire, in linea di massima, le somme occorrenti per gli sbancamenti e per gli scavi):

LITOTIPO	QUANTITA' (%)	RESISTENZA A COMPRESSIONE	VOCE INDICATIVA PREZZARIO REGIONALE
Sabbie, terre di riporto	100	0-4	1.1.1.1
Complesso calcareo a "rudiste"	15	4-10	1.1.1.2
	15	10-20	1.1.1.3
	70	20-40	1.1.1.4