



REGIONE SICILIA



COMUNE DI LAMPEDUSA E LINOSA PORTO DI LAMPEDUSA



**PROGETTO DEI LAVORI CALA SALINA-CALA PALME,
MOLO FAVALORO E CALA SALINA**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA RIGUARDANTE I
LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLE OPERE MARITTIME
ESISTENTI AI SENSI DELL'ART.5 DELLA L.R. 21/98 VOLTI A
GARANTIRE L'OPERATIVITÀ DELLE BANCINE PORTUALI**

All.1.2 - Relazione geologica
(Redatta dal Dott. Geol. G. Graziano)

PALERMO: 28.03.2019

IL R.U.P.:

Geom. Salvatore Gambino

IL SUPPORTO TECNICO AL R.U.P.:

Ing. Girolamo Busetta

IL SINDACO:

Dott. Salvatore Martello

REDATTO DA:

Ing. Alfonso Aversa (*Progettista*)

CON LA COLLABORAZIONE DI:

Ing. Francesco Giordano


Sigma Ingegneria S.r.l.

REGIONE SICILIANA
COMUNE DI LAMPEDUSA E LINOSA
(Provincia di Agrigento)

PROGETTO DEI LAVORI CALA SALINA – CALA PALME, MOLO FAVALORO E CALA SALINA

Progetto di fattibilità tecnica ed economica riguardante i lavori di messa in sicurezza delle opere marittime esistenti ai sensi dell'art. 5 della L.R. 21/98 volti a garantire l'operatività delle banchine portuali

STUDIO GEOLOGICO

Tavola	Relazione geologica	Data: 27 dicembre 2018
Il consulente geologo Dott. Gian Vito Graziano 	I progettisti: Ing. Alfonso Averna Ing. Francesco Giordano	II R.U.P.
Studio di Geologia G. Graziano e M. Masi – Via Aquileia n. 34/a 90144 Palermo - grazianoemasi@gmail.com		

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. BREVE DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	5
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO.....	7
4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI	
4.1 L'entroterra e la linea di costa.....	12
4.2 Il porto e i fondali marini antistanti.....	15
5. GEOLOGIA.....	18
6. CARATTERI IDROGEOLOGICI.....	21
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	23
8. STUDIO DELLE POSSIBILI CAVE DI PRESTITO	
8.1 Tipologia dei materiali.....	25
8.2 Cave di prestito.....	26
9. INDICAZIONI PROGETTUALI.....	28
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	31

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto generale dei lavori presso Cala Salina - Cala Palme, Molo Favalaro e Cala Salina, presso il porto dell'isola di Lampedusa, l'Amministrazione Comunale intende procedere alla realizzazione di alcuni interventi necessari da un lato ad attenuare lo stato di agitazione degli specchi acquei del suddetto porto, dall'altro a consentire l'ormeggio in sicurezza delle navi commerciali che attualmente, attraccando alla banchina di *Cavallo Bianco*, interferiscono con il traffico aereo.

E' stato pertanto redatto un progetto di fattibilità tecnica ed economica riguardante i lavori di messa in sicurezza delle opere marittime esistenti, ai sensi dell'art. 5 della L.R. 21/98, volti a garantire l'operatività delle banchine portuali del porto: Nello specifico si prevede di realizzare: una nuova diga foranea, radicata a Punta Guitgia, che possa consentire di proteggere gli specchi acquei del porto in occasione delle mareggiate provenienti dal III e dal IV settore; il banchinamento del molo Favalaro, che, più distante dalla pista aeroportuale, permetterà un attracco sicuro alle navi commerciali; l'adeguamento strutturale della banchina tra il molo Madonna e il molo Sanità, che interessa un tratto della banchina esistente dello sviluppo di circa 106 metri.



Fig. 1: ortofoto del porto di Lampedusa (tratta da Google)

E' stato chiesto pertanto allo scrivente di provvedere alla stesura di uno studio geologico a supporto di questa fase della progettazione degli interventi, attraverso cui definire l'assetto geologico dell'area interessata, inquadrandone gli aspetti geomorfologici, idrogeologici e geotecnici.

Lo studio è stato condotto in questa fase soltanto mediante ricognizioni di superficie, ampiamente supportato dalle conoscenze dell'isola e della stessa area portuale acquisite dallo scrivente attraverso la stesura della consulenza specialistica prodotta nel novembre 2017 nell'ambito dell'Aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) delle Isole Pelagie. Questi dati, resi preventivamente omogenei e confrontati con la bibliografia disponibile, non ultima la *Carta Geologica dell'Isola di Lampedusa* redatta da Grasso e Pedley ed edita dall'Istituto di Scienze della Terra dell'Università di Catania, hanno consentito di delineare un quadro geologico abbastanza definito per questa fase preliminare della progettazione, ottenendo informazioni sulle principali caratteristiche geologiche dei terreni interessati dagli interventi progettuali.

Lo studio svolto offre dunque quelle notizie di carattere geologico-tecnico utili per una opportuna scelta delle soluzioni progettuali da adottare e per trarre le necessarie indicazioni circa le modalità di esecuzione delle opere.

Nel presente elaborato, sulla base degli accertamenti svolti, si descrivono infatti l'area ed i terreni interessati dall'opera, si fornisce la caratterizzazione geotecnica degli stessi e si inquadrano, per gli aspetti di competenza, le problematiche connesse con la realizzazione degli interventi progettuali.

Occorre però precisare che i dati elaborati e le ipotesi avanzate nella presente fase di progettazione si basano principalmente, come si è detto, su osservazioni di superficie, integrate con gli elementi di conoscenza acquisiti in precedenza: questi dati e queste ipotesi dovranno quindi essere accuratamente verificati prima di procedere alla progettazione definitiva delle opere, attraverso una specifica campagna d'indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche in sito e in laboratorio.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

L'area portuale interessata dagli interventi di messa in sicurezza ricade lungo il tratto di costa rocciosa compreso tra Punta Guitgia e Punta Maccaferri, alle propaggini sud-orientali dell'Isola di Lampedusa.

Per i riferimenti topografici essa ricade nella tavoletta in scala 1:25.000 *F. 265 II S.O.* "Lampedusa" della Carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (IGM), mentre per quanto riguarda la cartografia in scala 1:10.000, di riferimento anche per i successivi approfondimenti sul Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), ricade nel Foglio n. 635920 della Cartografia Tecnica Regionale (CTR) della Sicilia, dal quale è stata stralciata la corografia di seguito allegata.

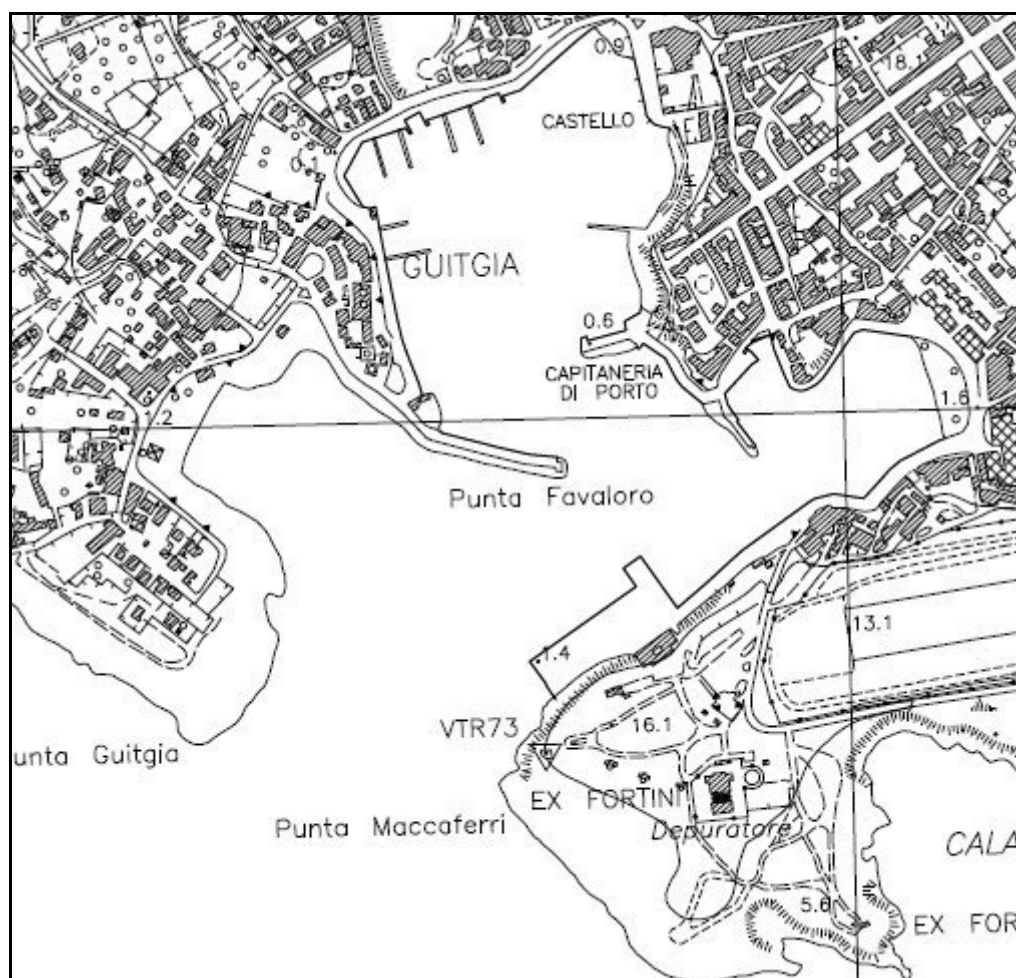


Fig. 2: stralcio della Cartografia Tecnica Regionale – Sez. n. 635920 - in scala 1:10.000

La stessa area portuale ricade del Foglio 6359217 “Lampedusa” della Carta Numerica Regionale (CNR) della Sicilia in scala 1:2.000, dal quale è stata stralciata (fuori scala) la corografia di seguito allegata.



Fig. 3: stralcio della Cartografia Numerica Regionale – Foglio 6359217 (fuori scala)

3. BREVE DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Come si è detto in premessa, il progetto prevede la realizzazione di alcuni interventi volti a garantire l'operatività delle banchine portuali del porto dell'isola di Lampedusa, ossia:

- la realizzazione della diga foranea all'imboccatura del porto, con radice a Punta Guitgia, a protezione delle mareggiate provenienti da Sud-Ovest;
- la realizzazione della banchina del molo Favaloro, per consentire l'attracco delle navi traghetto;
- l'adeguamento strutturale di un tratto della banchina tra il molo Madonna e il molo Sanità (lungomare Luigi Rizzo).

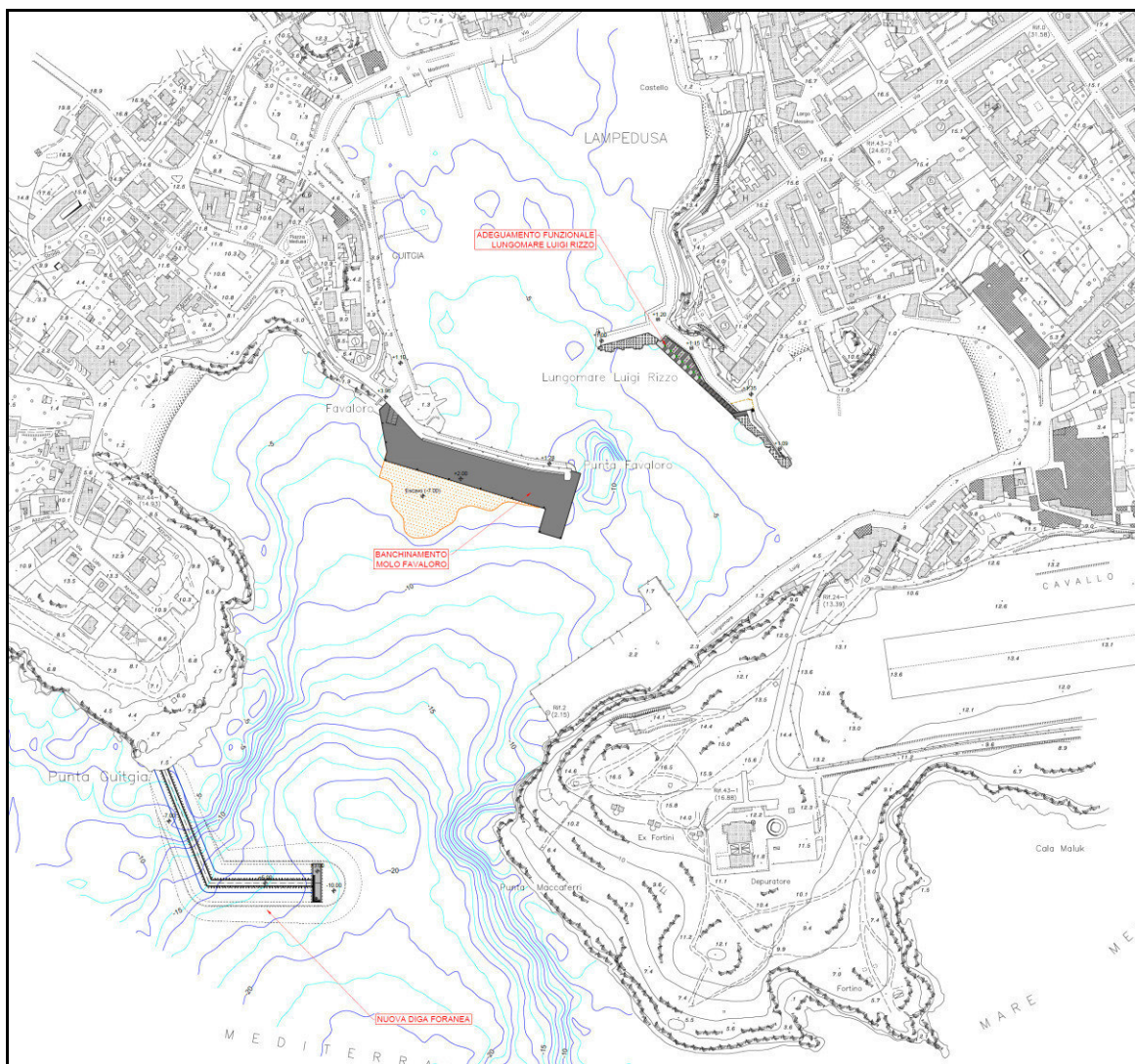


Fig. 4: planimetria generale delle opere di progetto (fuori scala)

Come si legge nella Relazione generale di progetto (All. 1), a salvaguardia dell'approdo sarà realizzata una diga foranea a gettata, radicata in corrispondenza di punta Guitgia e divisa in due tratti; il primo di m 125 in direzione NO-SE, il secondo di m 106 in direzione O-E.

In testata alla diga sono posti dei cassoni cellulari prefabbricati in calcestruzzo larghi m 39,30, che si estendono per 9 metri. Il riempimento dei cassoni sarà effettuato con calcestruzzo ciclopico.

Il piano di imbasamento dei cassoni è fissato a quota -10.00 m s.l.m.m. Sui di essi sarà realizzata una sovrastruttura in c.a. fino a quota m 3,00, sulla quale, sul lato a ridosso della diga foranea a gettata, sarà realizzato un muro paraonde di m 2,00 di larghezza di base, a quota m 3,00 m, e da una larghezza al coronamento di m 1,20, a quota m 5,00.

Sul cassone di testata verrà posto il faro luminoso per segnalare l'ingresso al porto.

La sezione tipo della diga foranea presenta una mantellata formata da due strati susseguenti. Il tratto di mantellata emergente con quota di coronamento a m 5,00 m s.l.m.m., largo m 6,50, sarà costituito da blocchi in calcestruzzo pigmentato del tipo Ecopode, che richiamano il colore degli scogli naturali, minimizzando l'impatto visivo dell'opera.

Sul lato immerso la mantellata proseguirà con blocchi in calcestruzzo del tipo Accropodi II, con uno spessore di circa m 2,90 m, che avrà una scarpa lato foraneo e lato terra pari a 4/3.

Ai piedi della mantellata, sia sul lato foraneo sia sul lato interno, sarà realizzata un'opera di sostegno costituita da scogli selezionati da 2 a 5 t, posti in opera con scarpa 3/2 e coronamento dello sviluppo di m 4,50 a quota -7.00 m s.l.m.m.

Sul lato foraneo saranno realizzati due strati di rivestimento. Immediatamente sotto la mantellata sarà posto uno strato dello spessore di m 2,40 circa in scogli da 2 a 4 t, con scarpa 4/3 e coronamento dello sviluppo di m 4,20 a quota m 2,07 s.l.m.m.

Il secondo strato di rivestimento dello spessore di m 2,30 circa sarà realizzato con scogli da 1,7 a 3,4 t, con coronamento a quota -0.35 m e uno sviluppo di m 6,60 circa.

Sul lato interno sarà presente un solo strato di rivestimento dello spessore di circa m 2,30, costituito da scogli da 1,7 a 3,4 t.

Infine il nucleo sarà realizzato in scogli da 1,7 a 5 t, per uno sviluppo di m 4,75 alla quota di coronamento fissata a -2.50 m.

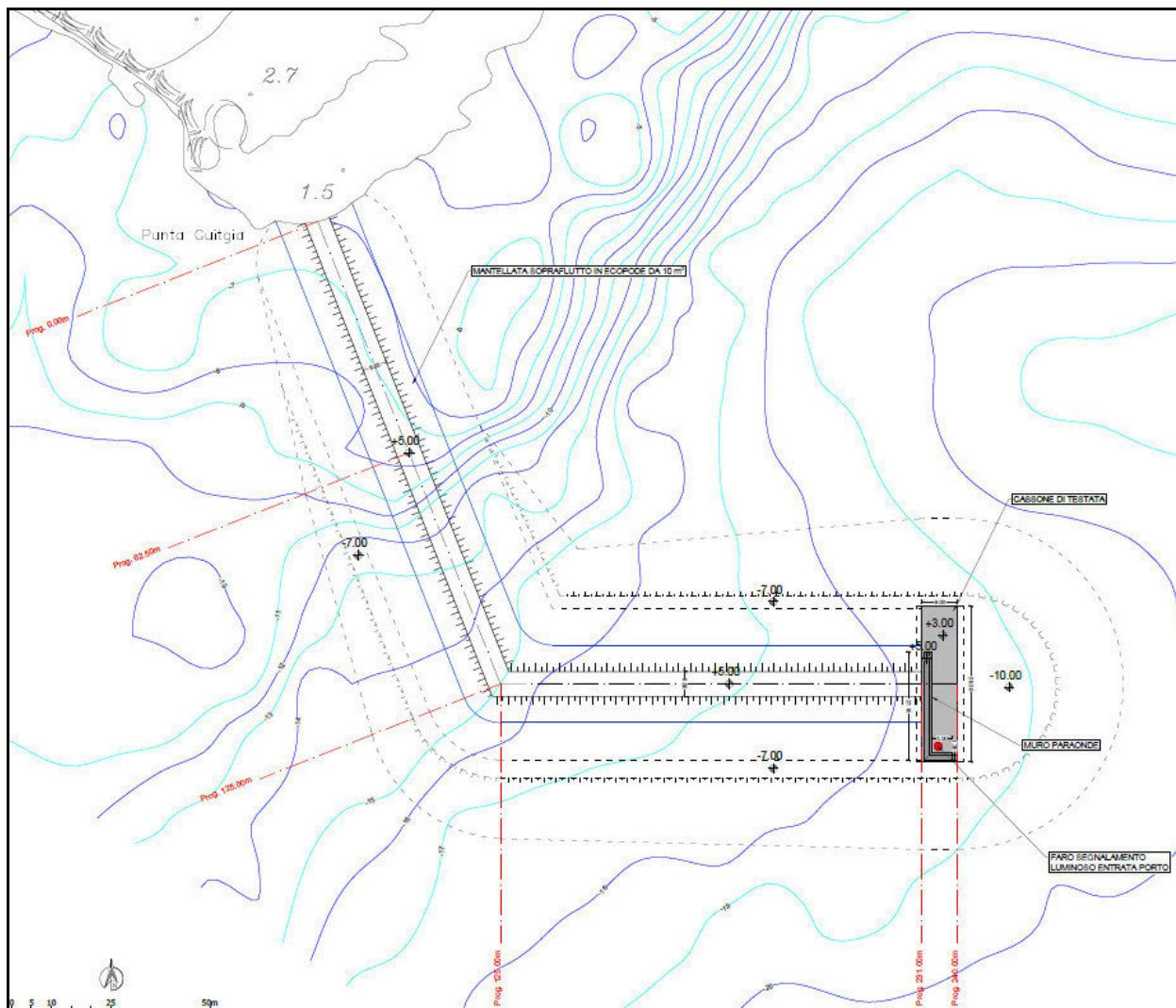


Fig. 5: planimetria di progetto della diga foranea (fuori scala)

La realizzazione di una banchina per tutto lo sviluppo del lato foraneo dell'attuale molo Favaloro consentirà inoltre un nuovo attracco, di larghezza media di m 31,50 con piano di calpestio a m 2,00 s.l.m.m. Per renderla carrabile sarà costruita una rampa di accesso dal piano stradale attuale. La nuova banchina sarà realizzata colmando con pietrame e materiale proveniente dal salpamento di parte dell'attuale scogliera a protezione del molo fino alla quota di m 1,60

s.l.m.m., sopra cui sarà realizzata la pavimentazione (misto granulometrico + magrone + pavimentazione in c.a.).

In testa alla banchina saranno posti in opera dei cassoni cellulari prefabbricati in calcestruzzo larghi m 8,70, imbasati a quota -7.00 m. Lo scanno di imbasamento sarà costituito da un doppio strato di bonifica, costituito da pietrame da 50 a 200 mm, per uno spessore di 50 cm, fino a quota -7.50 m, seguito da uno strato di pietrame da 50 a 100 mm, per altri 50 cm, fino a quota -8,00 m. Gli strati di bonifica saranno posti in opera con scarpa 1/1.

A protezione del piede dei cassoni lungo il secondo e terzo tratto della banchina sarà posta, alla stessa quota di imbasamento dei cassoni, una fila di massi guardiani in c.a.

Pertanto, sarà necessario uno scavo che approfondisca la quota del fondale fino alla batimetrica -7.00 m, per consentire l'ormeggio delle unità navali militari.

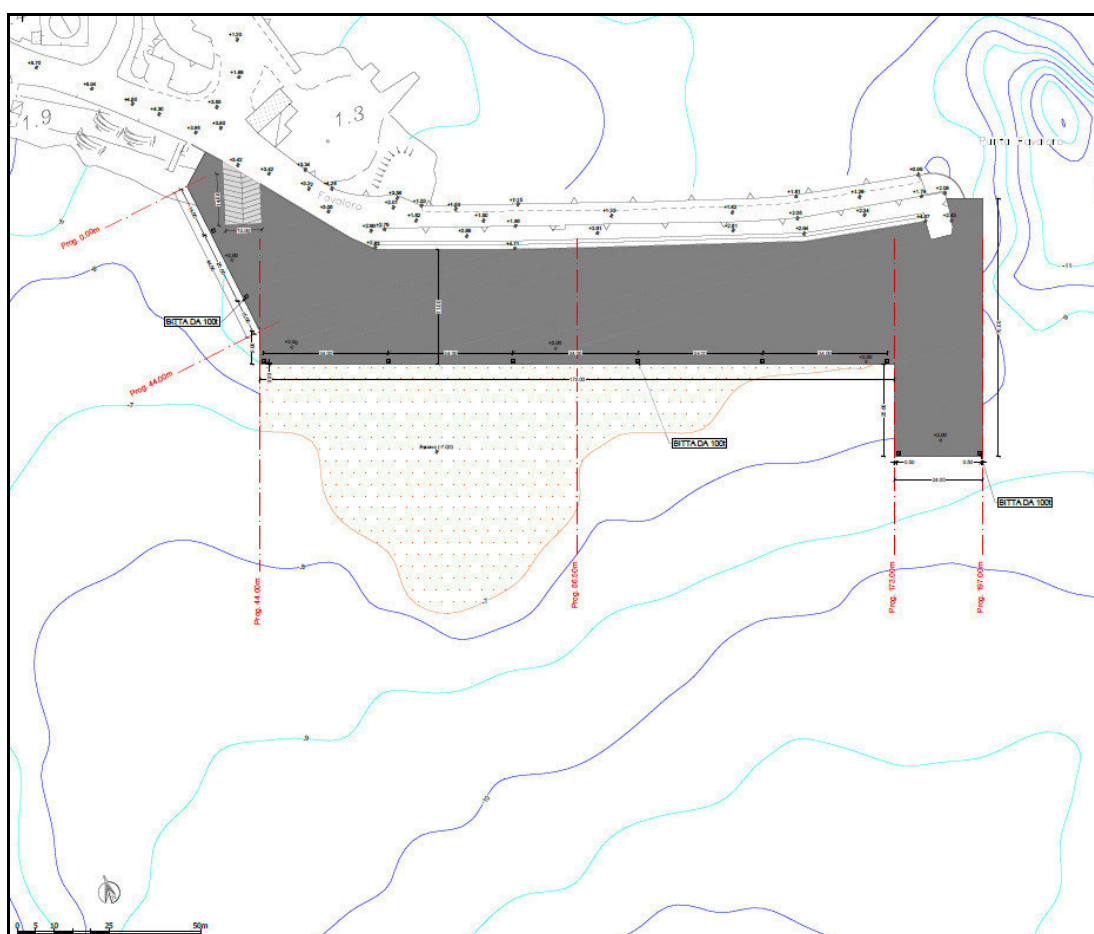


Fig. 6: planimetria di progetto della banchina del molo Favaloro (fuori scala)

Un terzo intervento è volto a rendere antiriflettente la banchina tra il molo Madonna e il molo Sanità, nel tratto di lungomare denominato Luigi Rizzo, poiché allo stato attuale le agitazioni provenienti da S-O, impattando sul muro di sponda della banchina, si riflettono e investono in modo gravoso la banchina del molo Favaloro, impedendo l'ormeggio in sicurezza delle unità navali.

La banchina sarà pertanto realizzata con una struttura costituita da un impalcato in c.a. su pali, formando una scogliera anti-risacca al ridosso del muro di sponda esistente.

La larghezza dell'ampliamento verso mare della nuova banchina varia da un minimo di m 4,50 a un massimo di m 15,00, realizzando una superficie di ampliamento di circa 960 mq.

La quota della sovrastruttura sarà pari a circa m 1,30 s.l.m.m. e sarà realizzata su una griglia di pali Φ 500 posti a interassi di m 6,00 in direzione longitudinale e di m 4,00 m in direzione trasversale, ammorsata nella banchina esistente con micropali di ancoraggio.

La struttura sarà costituita da un impalcato in c.a., mentre l'opera a gettata anti-risacca con scogli di I, II e III categoria, disposti con scarpa 3/2.

Il piano di calpestio della nuova banchina sarà attrezzato con aiuole a verde e panchine, costituendo di fatto un nuovo *waterfront*.

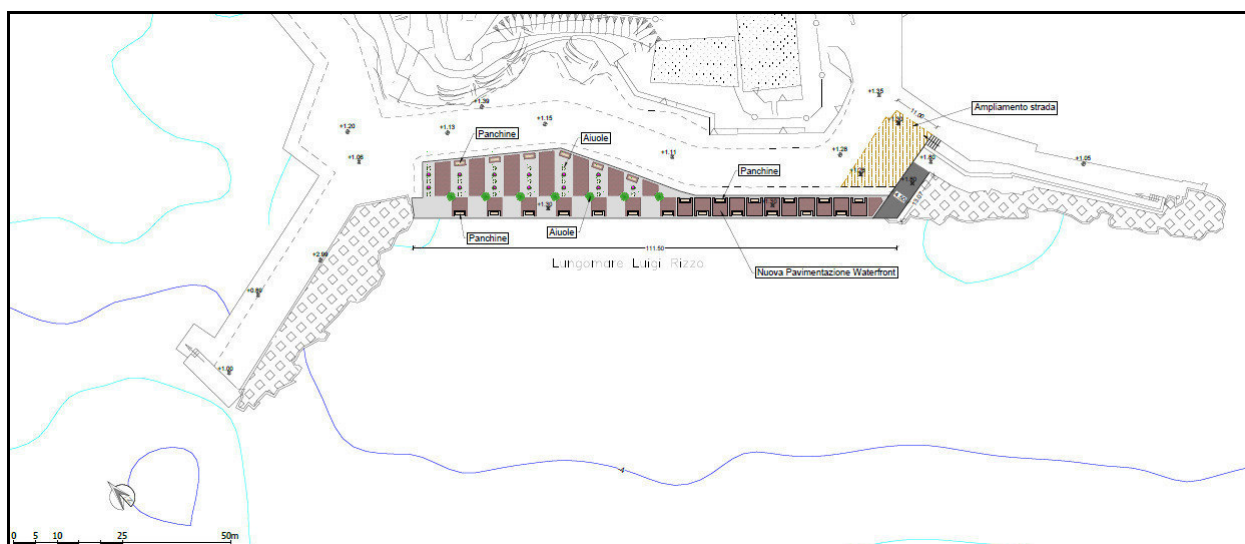


Fig. 7: planimetria di progetto dell'adeguamento della banchina tra i moli Madonna e Sanità (fuori scala)

4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

4.1 *L'entroterra e la linea di costa*

L'area portuale di Lampedusa si trova a circa 500 metri a Sud-Ovest del centro abitato, sulla costa meridionale dell'isola. E' costituita da un'ampia insenatura con imboccatura orientata per SW, larga 300 m circa e delimitata da Punta Guitgia a Ovest e Punta Maccaferri ad Est.

Il suo aspetto morfologico è stato, come è ovvio, largamente influenzato dall'intervento antropico, con opere di costruzione, sbancamento e rinterro che hanno progressivamente modificato l'originario stato dei luoghi.

Si tratta in buona sostanza di un'area caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante, in cui, per quanto la linea di costa appaia modificata, si presenta sempre bassa e coronata da scarpate di media pendenza, sopra le quali si sviluppano i settori più prossimi del centro abitato. Solo per brevi tratti di litorale si rileva ancora un certo grado di naturalità, sempre caratterizzati da rive sabbiose: *Cala Guitgia*, che si apre tra le rocce di Punta Guitgia e Punta Favalaro e *Cala Salina*, tra Punta Favalaro e Punta della Sanità, nel cosiddetto Porto Nuovo; *Cala Palma*, tra Punta Maccaferri e Punta della Sanità, nel Porto Vecchio.

L'idrografia superficiale è assente, soprattutto in relazione alla presenza della cortina urbana a contorno dell'area, ormai priva di soluzioni di continuità, che ha mascherato sia le più effimere linee di drenaggio superficiale, sia i relitti delle antiche incisioni torrentizie che in origine sboccavano nello specchio d'acqua antistante.

Estendendo il rilievo geomorfologico alla penisola della Giutgia, alla cui punta è prevista la radice della nuova diga foranea, la costa rocciosa conserva la sua originaria naturalità, caratterizzata da una lunga scogliera spesso verticale, talvolta terrazzata, di altezza media generalmente intorno ai 3 - 4 metri e comunque mai superiore ai 6 metri.

Laddove l'andamento morfologico è articolato su più livelli, ossia lungo la parte meridionale della penisola, la scogliera evidenzia fenomeni di dissesto di diversa entità, con blocchi collassati generalmente di poco superiori al metro cubo, ma con un massimo di circa 20 metri

cubi. La loro posizione, oltre che al fenomeno di caduta, è legata all'azione delle mareggiate, la cui forza è certamente in grado di dislocare elementi lapidei anche nell'ordine di frazioni di metro cubo (1/2, 1/3).

Proprio il fronte meridionale della penisola è particolarmente esposta ai venti dominanti dai settori meridionali e conseguentemente si riscontra una direzione preferenziale di correnti marine che influenzano fisiograficamente questo tratto della linea di costa.

Il pianoro retrostante, caratterizzato da un elevato carsismo superficiale, è pressoché pianeggiante e non vi sono tracce di dissesti che possano generare il distacco di porzioni di roccia nei pressi del ciglio della scogliera.

Procedendo verso il tratto orientale e settentrionale della penisola, a partire proprio dalla punta, non si riscontrano criticità geomorfologiche: non sono presenti infatti segni di fenomenologie franose, né elementi morfogenetici di rilievo.

La situazione descritta per la penisola della Guitgia trova riscontro nell'aggiornamento del piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sicilia per le Isole Pelagie proposto nel 2017 dall'Assessorato regionale all'Ambiente.

Dalla consultazione delle carte tematiche di pericolosità e di rischio idrogeologico (rif. *Isola di Lampedusa – 107*), è stato possibile verificare che l'area portuale di Lampedusa non è gravata da situazioni di pericolosità e/o rischio geomorfologico.

Una situazione di dissesto, cui corrisponde una pericolosità elevata (107-1LA-059), si riscontra lungo la costa meridionale della penisola della Guitgia, ma non comprende l'area interessata dalla radice della diga foranea progettata.

I modesti dissesti rilevati nei pressi della Capitaneria di Porto (107-1LA-047 e 107-1LA-048) e quello più esteso rilevato nei pressi della banchina di *Cavallo Bianco* (107-1LA-049) fanno riferimento a situazioni molto localizzate, che non comportano alcuna interferenza con le opere progettate, che si sviluppano quasi esclusivamente nello specchio acqueo.

Si riportano nell'ordine gli stralci della Carta dei Dissesti e della Carta delle Pericolosità e del Rischio Geomorfologico, di cui alla proposta di aggiornamento del PAI sopra citato.

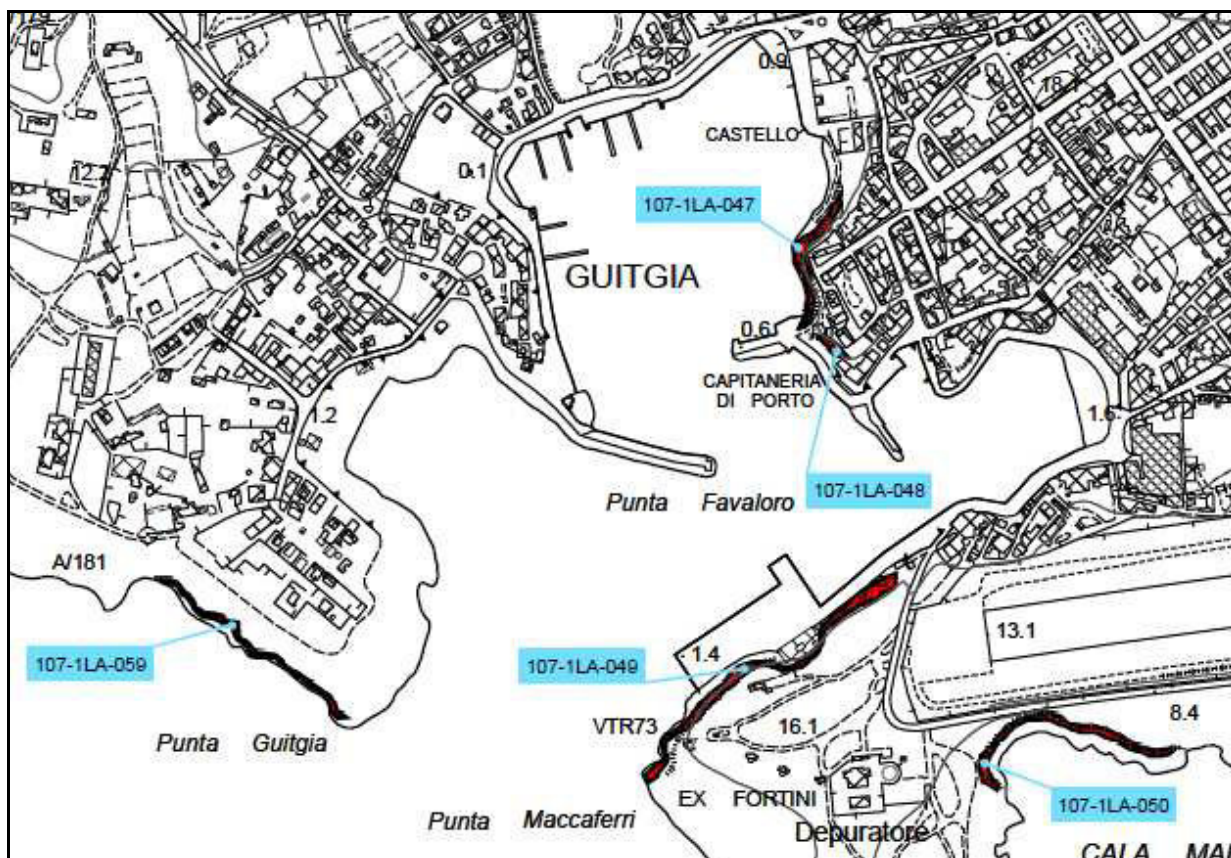


Fig. 8: stralcio della Carta dei Dissesti (rif. PAI – proposta aggiornamento 2017)

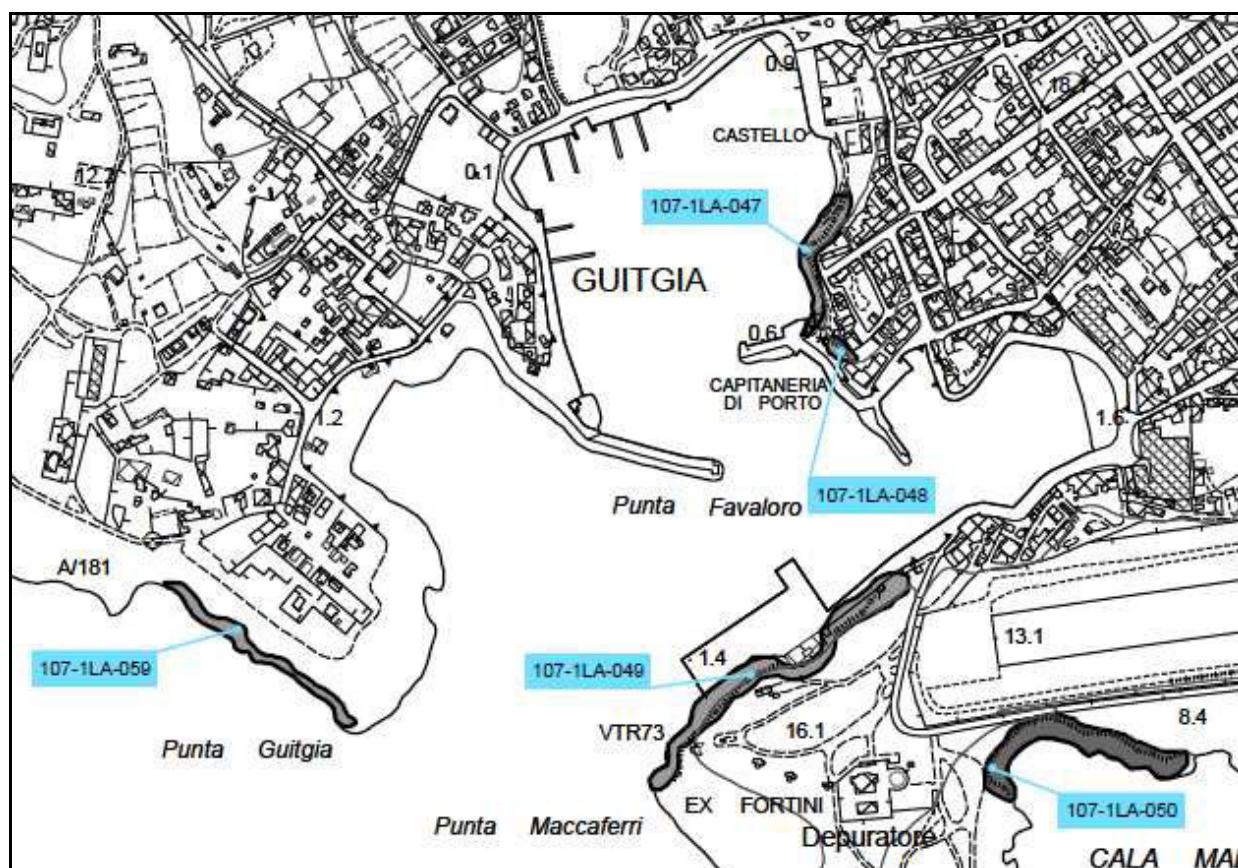


Fig. 9: stralcio della Carta delle Pericolosità e del Rischio Geomorfologico (rif. PAI – proposta aggior. 2017)

4.2 Il porto e i fondali marini antistanti

Si è detto che l'area portuale ha coste rocciose basse, cui si alternano tre cale con rive rocciose, due delle quali banchinate, che terminano tutte con rive sabbiose.

Cala Guitgia ha rive rocciose basse e scure e termina con una vasta spiaggia di sabbia bianca, con fondali di oltre 5 metri nella parte centrale. E' punto di attracco di navi commerciali che sbarcano prodotti petroliferi e acqua potabile, che attestano gli ormeggi a bitte che si trovano a metà lunghezza di entrambe le rive. In un breve tratto della riva Nord, in corrispondenza del deposito costiero di carburanti, è presente una riva banchinata.

Cala Salina, con rive rocciose che terminano con una breve spiaggia sabbiosa, è quasi completamente banchinata e vi sono allocati pontili galleggianti per piccole unità da diporto e da pesca locali. La darsena centrale è costellata da corpi morti, ai quali sono ormeggiati alla ruota i motopescherecci di maggiore tonnellaggio. Anche le banchine e i moli sono quasi completamente occupati da unità da pesca e da diporto locali.

Lungo la riva Nord vi sono due scali pubblici per l'alaggio di piccole unità, mentre altri pontili galleggianti si trovano lungo la riva Ovest in prossimità di due distributori di carburanti.

Cala Palma ha basse rive rocciose completamente banchinate, che terminano in una vasta spiaggia sabbiosa costellata da palme. Sulla riva Nord della caletta creata dal molo di Punta Sanità vi è uno scalo di alaggio pubblico per piccole unità. La parte più profonda della darsena di Cala Palma ha fondali bassi è costellata di corpi morti sui quali trovano ormeggio piccole e medie unità da pesca e da diporto locali. Le rive banchinate sono in buona parte occupate da unità da pesca locali di piccole dimensioni.

I fondali all'interno del porto sono parzialmente interrati, soprattutto all'interno di Cala Salina e di Cala Palme. Il loro assetto morfologico è abbastanza regolare, con pendenze basse. Le isobate vanno sino a -5 metri, giungendo a -10 alla punta esterna del Molo Favalaro. Nel dettaglio a Cala Salina i fondali variano da -0.50 m a -4.00 m, a Cala Palma da -0.50 m a -2.50 m, mentre nella zona di attracco delle navi commerciali da -8.00 m a -10.00 m.

Il fondale marino è sabbioso e ricopre la roccia in posto calcarea che è talvolta affiorante.

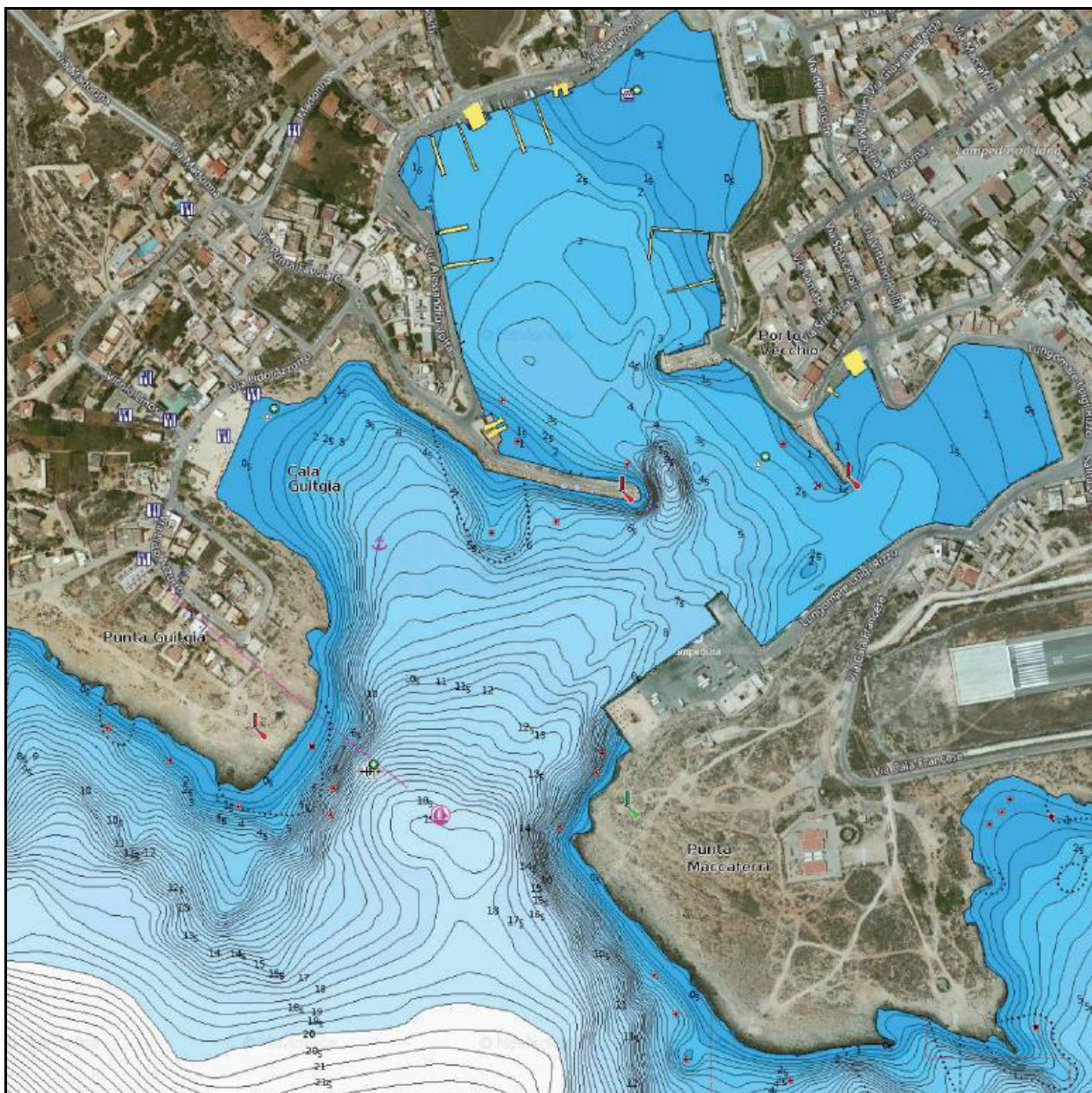


Fig. 10: stralcio della Carta Nautica del porto di Lampedusa

Procedendo verso l'esterno, ossia verso i fondali antistanti la penisola della Guitgia, la morfologia assume caratteristiche di maggiore acclività e di minore regolarità, con una vera e propria scarpata sottomarina a ridosso della costa rocciosa, dove le isobate variano bruscamente da -5 metri a circa -15 metri.

La scarpata sottomarina interessa anche lo sviluppo in pianta dalla nuova diga foranea.

All'imboccatura del porto tra Punta Guitgia e Punta Maccaferri i fondali hanno una profondità variabile da 0,00 m a -19.00 m, mentre l'imboccatura navigabile ha un'estensione di circa 240 m con batimetrie superiori a -9,00 m e fino a -19.00 m.

Pertanto, in massima parte, lo specchio acqueo del porto non consente l'operatività a navi di elevata stazza, così come ulteriori problemi di ormeggio interessano le navi militari a servizio del pattugliamento marittimo dislocate a Lampedusa.

Le profondità aumentano ancora allontanandosi dalla linea di costa, dove però la morfologia torna ad essere più regolare e meno acclive. Anche il fondale marino torna ad essere sabbioso.

Gli specchi acquei non sono adeguatamente protetti, essendo soggetti a stati di agitazione per tutte le mareggiate provenienti dal II e III quadrante. In particolare, in presenza di mareggiate provenienti da Sud-Ovest lo stato di agitazione all'interno del porto rende impraticabile sia l'ormeggio delle navi commerciali alla banchina Cavallo Bianco, sia l'ormeggio in sicurezza alla banchina del molo Favalaro destinata alle unità navali militari.

5. GEOLOGIA

Il rilevamento geologico di superficie, insieme alla bibliografia tematica disponibile, consentono di delineare la costituzione geologica dell'area portuale e dei fondali antistanti direttamente interessati dalle opere di progetto, definendone le caratteristiche litologiche.

L'Isola di Lampedusa rappresenta, sotto il profilo geologico, la parte più orientale del Blocco Pelagiano; essa è caratterizzata da una sequenza di oltre 100 metri di depositi prevalentemente carbonatici di età compresa tra il *Miocene* e il *Quaternario attuale*.

Le unità stratigrafiche affioranti nell'Isola sono rappresentate sostanzialmente dalla successione carbonatica afferente alla "*Formazione Lampedusa*" (*Tortoniano – Messiniano inferiore*) e dalla modesta copertura quaternaria costituita dalle calcareniti di età *Pleistocene inferiore*.

Più nel dettaglio la suddetta formazione si compone di tre diverse unità denominate *Membro di Cala Pisana*, *Membro di Capo Grecale* e *Membro del Vallone della Forbice*: i depositi litorali sia emersi che sommersi presenti nell'area portuale, variamente rielaborati dalle correnti marine, sono costituiti dai depositi afferenti al *Membro di Cala Pisana* che rappresenta l'unità stratigraficamente più bassa.

Si tratta di calcari biohermali a *Porites*, alghe, spugne e molluschi, il cui ambiente di deposizione è quello di scogliera, che costituiscono depositi in parte erosi per sollevamento tettonico sinsedimentario.

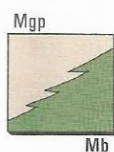
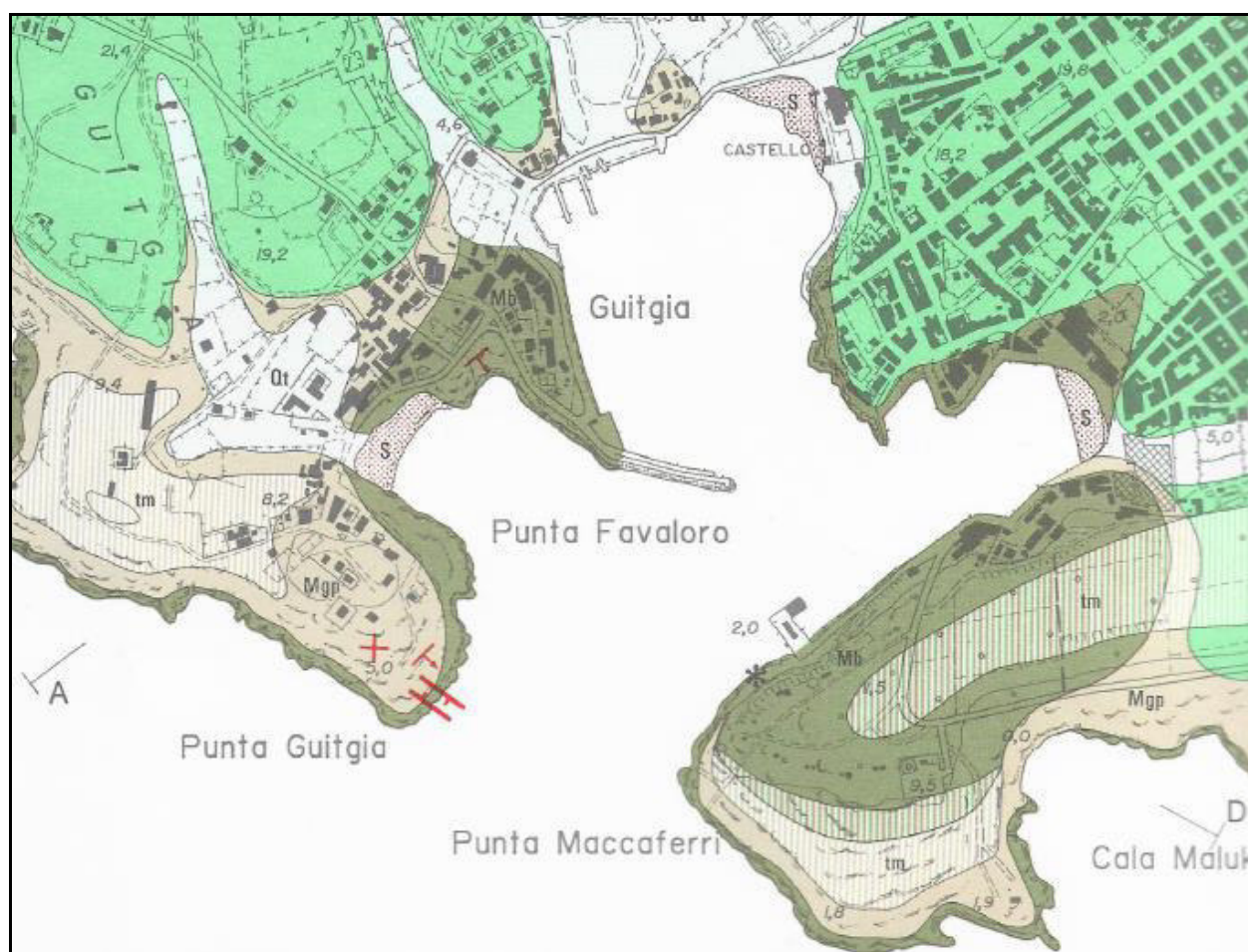
Privi di stratificazione e molto resistenti, essi presentano una intensa frattura scheggiata; non di rado la roccia calcarea, a struttura massiva, si rinviene sotto forma di una vera e propria breccia calcarea. L'ammasso roccioso è caratterizzato da un discreto grado di fratturazione, dovuto agli sforzi tettonici che hanno agito su di esso, creando una rete di fratture diffusa.

E' affiorante, dunque ben visibile, lungo tutta la costa della penisola della Guitgia, mentre nell'area portuale la roccia è osservabile localmente, tra cui alla radice del Molo Favalaro.

La roccia è ben visibile anche in diversi tratti sommersi sia sul settore della Guitgia, sia in quello di Punta Maccaferri.

Il fondale marino relativo allo specchio acqueo interessato dagli interventi di progetto è rappresentato da un deposito sabbioso variamente limoso, di spessore generalmente esiguo.

Nella figura che segue è riportato uno stralcio della Carta Geologica dell'Isola di Lampedusa, di Grasso e Pedley, edita dall'Istituto di Scienze della Terra dell'Università di Catania.



MEMBRO DI CALA PISANA. Biolititi a *Porites*, molluschi e alghe calcaree (*Halimeda*). Rappresentano depositi di scogliera, in parte erosi per sollevamenti tettonici sin sedimentari, come si può osservare tra Cala Creta e Cala Pisana. Questo intervallo, indicato come "Strati di Punta Maccaferri", (Mb) passa lateralmente agli "Strati del Vallone Imbriacoli" (Mwp) presso Punta Sottile e agli "Strati di Punta Guitja" (Mgp) presso Punta Maccaferri. Lo spessore massimo in affioramento è di circa 20 m.

Gli "Strati di Punta Guitja" (Mgp) rappresentano il sedimento di avanscogliera e affiorano nella costa sudorientale dell'isola da Cala Pisana fino ad est dell'Isola dei Conigli. Si tratta di calcari oolitici, alternati con strati ricchi di rodoliti e con lumachelle calcaree. Il contenuto fossilifero è dato da bivalvi e foraminiferi bentonici. Verso ovest questi strati mostrano passaggi laterali con gli "Strati del Vallone Imbriacoli". Lo spessore massimo di questo intervallo è di 25 m. L'età complessiva di tutta la sequenza è TORTONIANO.

CALA PISANA MEMBER. This member consists of two discrete intervals. The lower one, here referred as "Punta Maccaferri Beds" (Mb) consists of pale grey biomicrite and *Porites* corals forming bioherms and biostromes associated with molluscs and algal fragments. Inter-reef beds of massive *Halimeda* packstones. Reef fractured and eroded in the Cala Creta and Cala Pisana areas prior to deposition of the "Vallone Imbriacoli Beds". The "Punta Maccaferri Beds", now dolomitized, interdigitate with the "Vallone Imbriacoli Beds" (Mwp) at Punta Sottile and with the "Punta Guitja Beds" (Mgp) at Punta Maccaferri. Thickness at outcrop 20 m.

The upper interval, the "Punta Guitja Beds" (Mgp) consists of bioturbated, grey bivalve packstones and wackestones, oolitic grainstones, rhodolitic algal pavement and whole shell bivalve coquinas. Abundant benthonic foraminifers, echinoid and bivalve debris in all levels. The beds pass westwards into and beneath the "Vallone Imbriacoli Beds". All are dolomitized. Max thickness 25 m.

TORTONIAN

Fig. 11: stralcio della Carta Geologica dell'Isola di Lampedusa

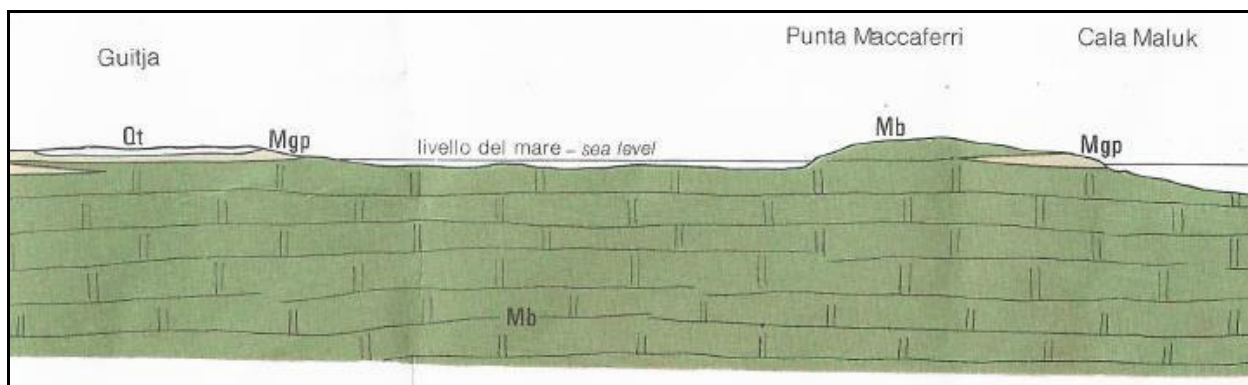


Fig. 12: segmento di profilo geologico tratto dalla Carta Geologica dell'Isola di Lampedusa

6. CARATTERI IDROGEOLOGICI

I termini calcarei affioranti in maniera diffusa nell'isola, compresa l'area portuale interessata dagli interventi in progetto, presentano le caratteristiche strutturali dei terreni permeabili per fratturazione e carsismo.

Le linee di frattura, originatesi per opera degli sforzi tettonici in seno alle rocce carbonatiche, rendono estremamente permeabile la compagine rocciosa, rappresentando le stesse delle vie preferenziali di infiltrazione e scorrimento delle acque; si riscontra, inoltre, un discreto carsismo, con la presenza di numerose cavità sia emerse che sommerse diffuse in tutta l'isola.

Si tratta dunque di terreni nei quali, nelle condizioni naturali di pressione, le acque sotterranee possono spostarsi verticalmente attraverso la fitta rete di fratture presenti nella roccia.

I termini calcarei potrebbero quindi essere considerati un serbatoio naturale d'acqua, ma nell'area di progetto, trovandosi essi in parte emersi ed in parte sommersi, al loro interno è possibile differenziare una zona inferiore di saturazione marina, da una zona superiore di aerazione, generalmente priva di circolazione idrica (salvo temporaneamente nei casi di piogge intense).

Ne consegue che la roccia calcarea nell'area portuale è ampiamente influenzata dalla presenza delle acque di intrusione marina, favorita dalla sua elevata conducibilità idraulica (permeabilità).

Il dominio idrogeologico, assimilabile ad un acquifero costiero, costituisce un sistema globale con il mare, in cui le modeste aliquote di acqua sotterranea fluiscono verso la costa, ma la loro progressione è limitata, se non persino impedita, dall'invasione marina, che rappresenta una corrente inversa di acqua salata.

Con riferimento ai terreni presenti sul fondale marino a copertura del substrato calcareo, essi afferiscono a granulometria fini sabbiose e limose e sono caratterizzati da una permeabilità primaria, ovvero per porosità, ma con valori di conducibilità idraulica variabili in funzione del diverso contenuto delle altre frazioni granulometriche, prima tra le quali quella limosa.

In linea generale questi depositi non possiedono una capacità di drenaggio particolarmente elevata, come si osserva nella tabella di *Casagrande e Fadum* di figura 11, che, per varie granulometrie, riporta in termini puramente qualitativi i corrispondenti valori di permeabilità *K*: le sabbie fini e le miscele di sabbia e limo si caratterizzano per un drenaggio povero, con una conducibilità idraulica intorno a $1,00 \cdot 10^{-5}$ cm/s.

k cm/sec	10 ²	10 ¹	1	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
drenaggio	buono						povero		praticamente impermeabile				
	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fina, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati		terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici					
						terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo							

Fig. 13: tabella di Casagrande e Fadum

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il comportamento geomeccanico dei calcari di scogliera, che costituiscono il substrato geologico dell'area marina interessata dagli interventi progettuali, dipende dalle specifiche caratteristiche dei terreni, oltre che dal tipo di opera da realizzare e dunque dalle sue interazioni con le fondazioni dei manufatti.

Viene quindi fornita al progettista delle strutture una preliminare caratterizzazione geotecnica dello stesso substrato roccioso, che in sede di calcoli strutturali e di progettazione definitiva, dovrà essere sperimentalmente determinata.

In questa fase di fattibilità tecnica ed economica della progettazione, il comportamento geomeccanico è stato definito dai dati di letteratura geologica e sulla base delle prove effettuate in occasione di precedenti lavori per terreni analoghi.

Si ribadisce che in sede di progettazione definitiva dovrà essere eseguita in tutti i casi una specifica campagna di indagini in sito e di prove di laboratorio, da cui poter assumere una corretta parametrizzazione da utilizzare in sede di calcoli strutturali.

I termini calcarei, pur presentando un discreto grado di fratturazione, dovuto, come si è detto, agli *stress* tettonici che essi hanno subito nel tempo, possiedono tuttavia delle caratteristiche geomeccaniche piuttosto elevate.

La composizione calcarea conferisce alla roccia delle buone caratteristiche di resistenza e stabilità e fa sì che essa offra una buona risposta alle sollecitazioni meccaniche.

I termini calcarei sono in grado di sopportare anche carichi piuttosto elevati e soprattutto possono essere assimilati a terreni poco o nulla spingenti.

I volumi rocciosi unitari, come testimoniato da prove di laboratorio eseguite su provini dello stesso litotipo, presentano elevate caratteristiche di resistenza alla compressione: in particolare i risultati di prove di compressione hanno dato valori di resistenza a rottura quasi sempre superiori a 400 – 500 kg/cmq.

A conferma di questi dati, si citano i risultati delle prove sclerometriche eseguite dallo scrivente a Punta Guitgia nell'ambito della consulenza del novembre 2017 per l'Aggiornamento del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.): il valore medio di resistenza misurato è risultato pari a 420 kg/cmq, con un Rock Massing Rating (RQD) pari a 78.

Il peso dell'unità di volume della roccia calcarea è in genere anch'esso elevato, mediamente compreso tra 2,20 e 2,40 t/mc.

Per una parametrizzazione volta alle verifiche di ordine geotecnico e strutturale, volendo in questo contesto assimilare, molto prudentemente, l'ammasso roccioso ad una roccia granulare incoerente, si possono assegnare in termini i seguenti valori:

coesione $C' = 0,00$; angolo d'attrito interno $\varphi' = 45^\circ$.

In questa fase della progettazione non si è ritenuto di dover caratterizzare i depositi sabbiosi del fondale marino, in quanto essi, sulla base del modello geologico attualmente a disposizione, dovranno essere asportati in sede di esecuzione delle opere, in relazione proprio al loro esiguo spessore.

Si tratta ovviamente di uno scenario ancora da definire nel dettaglio, per il quale si rimanda all'approfondimento geognostico e geotecnico della fase di studio successiva.

8. STUDIO DELLE POSSIBILI CAVE DI PRESTITO

8.1 Tipologia dei materiali

Sulla scorta delle opere previste in progetto, nell'ottica di dover eseguire interventi infrastrutturali di servizio alla stazione portuale che comprendono opere in calcestruzzo e interventi di protezione che presuppongono l'approvvigionamento di materiale roccioso di elevate caratteristiche geomeccaniche, è stato svolto uno studio preliminare sulla potenzialità disponibilità dei materiali non tanto nell'isola di Lampedusa, nella quale non esistono cave autorizzate, quanto nella provincia agrigentina, da dove lo stesso materiale può essere trasportato via mare.

Innanzitutto è importante caratterizzare la tipologia di materiale da dover prendere in considerazione:

- per le opere in calcestruzzo devono essere ricercati materiali inerti costituiti da elementi approssimativamente poliedrici, con spigoli vivi, ottenuti per frantumazione di pietrame o di ciottoli e, a seconda della pezzatura, divisibili in: pietrisco, pietrischetto, graniglia, sabbia e additivo (filler). Nell'impiego di questi materiali deve essere data particolare importanza alla natura litologica dei frammenti; in questo senso rocce poco compatte e poco resistenti all'urto, oppure quelle eccessivamente dure e fragili, o quelle particolarmente soggette a fenomeni d'alterazione, debbono considerarsi inadatte per lo scopo. Occorre inoltre che il materiale utilizzato sia dotato di potere legante, perché durante il costipamento deve formare una piattaforma unita e resistente. Per quanto sopra sono da considerarsi buoni materiali rocciosi che danno luogo a detrito incoerente e privo di potere legante. I calcari marnosi producono troppa polvere e troppo fango, mentre le arenarie sono da considerarsi mediocri in quanto, a seconda del tipo di cemento, tendono a ridursi in sabbia. Le ghiaie, se non alterate, sono generalmente buoni materiali: le migliori possono considerarsi quelle degli alvei fluviali attivi, sia perché

quasi sempre sono poligeniche, sia perché i tipi di roccia più teneri e friabili sono stati eliminati naturalmente dall'usura per il rotolamento. Sono stati esclusi i “rosticci”, generalmente contenenti zolfo. E' sottinteso che per mezzo di opportune mescolanze e correzioni, possono anche essere utilizzate rocce diverse, inadatte se prese singolarmente, ma dotate ciascuna di una delle caratteristiche fisiche richieste per gli impieghi specifici;

- relativamente alle scogliere di protezione, scanni di basamento, ecc., quando non viene fatto uso di materiali artificiali in diversa forma, è necessario riferirsi ad elementi di grosse dimensioni, che devono possedere essenzialmente requisiti di alto peso specifico, elevata resistenza meccanica, resistenza all'erosione, alla gelività ed alla salsedine; con riferimento alle cave della provincia di Agrigento possono considerarsi buoni materiali soltanto i calcari compatti, escludendo i calcari di base della Serie Gessoso-Solfifera.

7.2 Cave di prestito

Relativamente alle cave con disponibilità dei materiali di cui sopra, è stata effettuata una ricerca piuttosto ampia rispetto alla zona d'intervento, valutando come potenzialmente utilizzabili le risorse provenienti dalla provincia agrigentina.

In particolare sono state controllate le cave presenti nel Piano Cave della Regione Sicilia, per le quali è stata svolta un'approfondita analisi e una selezione sulla base dei dati effettivamente disponibili, sulla base della tipologia dei materiali necessari e, non ultime, sulla base della capacità volumetriche di ciascuna cava o di ciascuna zona sottoposta ad attività estrattiva. A partire dai dati forniti dallo stesso piano regionale, infatti, e compatibilmente con le problematiche di “collegamento” per ciascuna cava, che spesso hanno reso più difficile e complicata l'informazione da acquisire, si riporta di seguito un primo elenco indicativo con i principali riferimenti d'interesse; a parere dello scrivente sono preferibili i calcari mesozoici

dell'area montuosa a Nord di Sciacca, appartenenti alle Unità geologiche di Pizzo Telegrafo e Monte Magaggiaro, in genere dotate di elevate caratteristiche meccaniche e spesso massivi, dunque capaci di fornire massi di più grosse dimensioni.

Sabbie				
PROVINCIA	COMUNE	CODICE Piano	DENOMINAZIONE	MATERIALE
Agrigento	Grotte	AG 26	Botagro Mandra Rossella	Sabbia
Agrigento	Montallegro	AG 15.I	---	Sabbia calcarea
Agrigento	Ribera	AG 01.II	---	Sabbia calcarea
Agrigento	Cattolica Eraclea	AG 02.II	---	Sabbia
Inerti per calcestruzzi e materiali per scogliere				
PROVINCIA	COMUNE	CODICE Piano	DENOMINAZIONE	MATERIALE
Agrigento	Menfi	AG 034	Feudotto	Calcare
Agrigento	Menfi	AG 330	Magaggiaro 2	Calcare
Agrigento	Montevago	AG 331	Piano Barone	Calcare
Agrigento	Montevago	AG 332	Carbonaro Cicchitello	Calcare
Agrigento	S. Stefano Quisquina	AG 087	Scala di Grocco	Calcare
Agrigento	Sciacca	AG 066	Gaddimi	Calcare
Agrigento	Sciacca	AG 069	Ciurami Spagnolo	Calcare
Agrigento	Sciacca	AG 077	Piano dei Santio	Calcare
Agrigento	Caltabellotta	AG 007	Taia Soprana	Calcare
Agrigento	Caltabellotta	AG 079	Campanone	Calcare
Agrigento	Bivona	AG 006	Acque Bianche	Calcare
Agrigento	Licata	AG 029	Sottofari	Calcare
Agrigento	Licata	AG 075	Sanguisuga	Calcare
Agrigento	Naro	AG 025	Malvizzo	Calcare
Agrigento	Naro	AG 048	Grotticelle	Calcare
Agrigento	Naro	AG 084	Iazzo Vecchio	Calcare

L'elenco costituisce in tutti i casi una prima "scansione" delle potenzialità e dei materiali raggiungibili sulla costa meridionale della Sicilia, ma gli approfondimenti da effettuare, una volta valutati e circostanziati gli interventi da realizzare, consentiranno di avere un quadro più preciso delle varie attività estrattive e un'informazione più dettagliata delle varie tipologie e quantità disponibili.

9. INDICAZIONI PROGETTUALI

La modellazione geologica eseguita, seppure con i limiti legati all'assenza in questa fase di una campagna di indagini, ha permesso in primo luogo di escludere la presenza nell'area portuale di fenomeni di instabilità geomorfologica e consente altresì di indicare alcuni interventi volti alla stabilità dei manufatti previsti in progetto e alla sicurezza delle relative lavorazioni.

Per quanto riguarda la diga foranea all'imboccatura del porto, considerato che le caratteristiche geotecniche delle sabbie variamente limose del fondale sono tali da non essere certi di poter arrestare il flusso degli stessi materiali durante l'esecuzione di un eventuale scavo per la collocazione dello scanno di imbasamento in scogli, quest'ultimo sarà poggiato direttamente sul fondale marino, regolarizzato e spianato con un primo strato di pietrame e pietrisco e con uno strato superiore di geotessuto di tipo pesante, sopra cui saranno collocati i massi di base e i sovrastanti massi di appoggio.

Sarebbe opportuno, prima di formare la sovrastruttura, precaricare lo scanno e il sottostante terreno del fondale, anticipando se possibile i successivi cedimenti legati al completamento dell'opera.

E' necessario che lo scanno di imbasamento subisca assestamenti non particolarmente rilevanti e soprattutto compatibili con la funzionalità della diga: in quest'ottica sarebbe utile realizzare un sopralzo dello stesso scanno, a correzione anticipata del cedimento futuro.

Si deve tener conto allora dell'eventualità che un progressivo lento cedimento dell'intera sovrastruttura poggiata sul fondale marino potrebbe rendere necessario uno o più cicli di ricarica.

Si consiglia infine di collocare in basso gli scogli di maggior volume e peso, considerato che l'accurata formazione dello scanno e il suo spianamento sono indispensabili per evitare movimenti pericolosi dei blocchi sovrastanti costituenti la banchina vera e propria.

Indicazioni per certi versi analoghe si forniscono per il banchinamento del Molo Favalaro, i cui cassoni dovranno essere poggiati, laddove possibile, sulla roccia in posto presente sotto alle

sabbie di fondale, e per l'adeguamento strutturale del tratto della banchina tra il molo Madonna e il molo Sanità, in cui i pali di fondazione dovranno essere ben ammorsati alla stessa roccia calcarea in posto.

In questa sede, in funzione dell'attuale livello di progettazione, si può esprimere la compatibilità delle opere previste con il modello geologico delineato, anche se essa potrà essere definitivamente accertata all'esito della campagna di indagini geognostiche e geotecniche programmata per la successiva fase di progettazione.

SEZIONE TIPO SCOGLIERA SOPRAFLUTTO

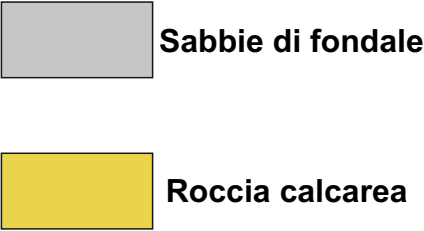
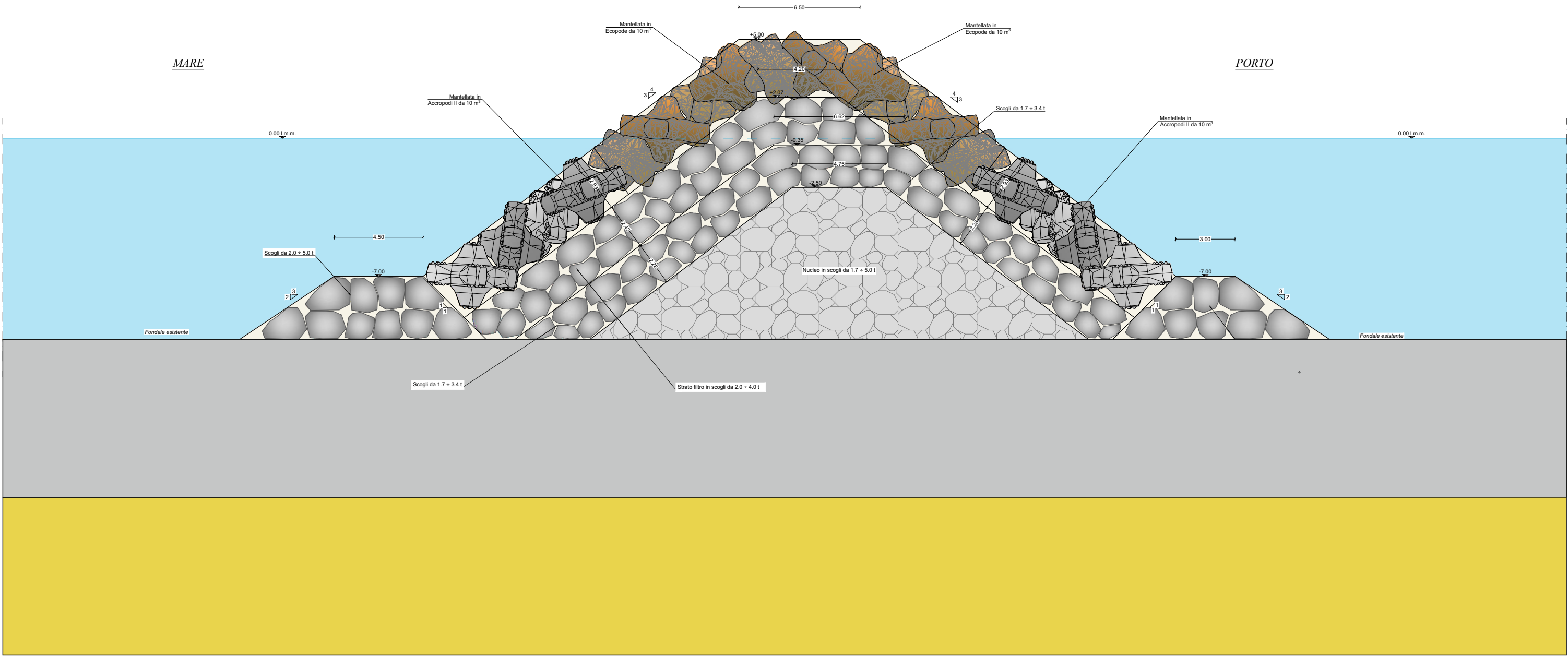


Fig. 14 Sezione geologica in scala 1:200 della scogliera di sopraflutto (diga foranea)

SEZIONE NUOVO BANCHINAMENTO MOLO FAVALORO

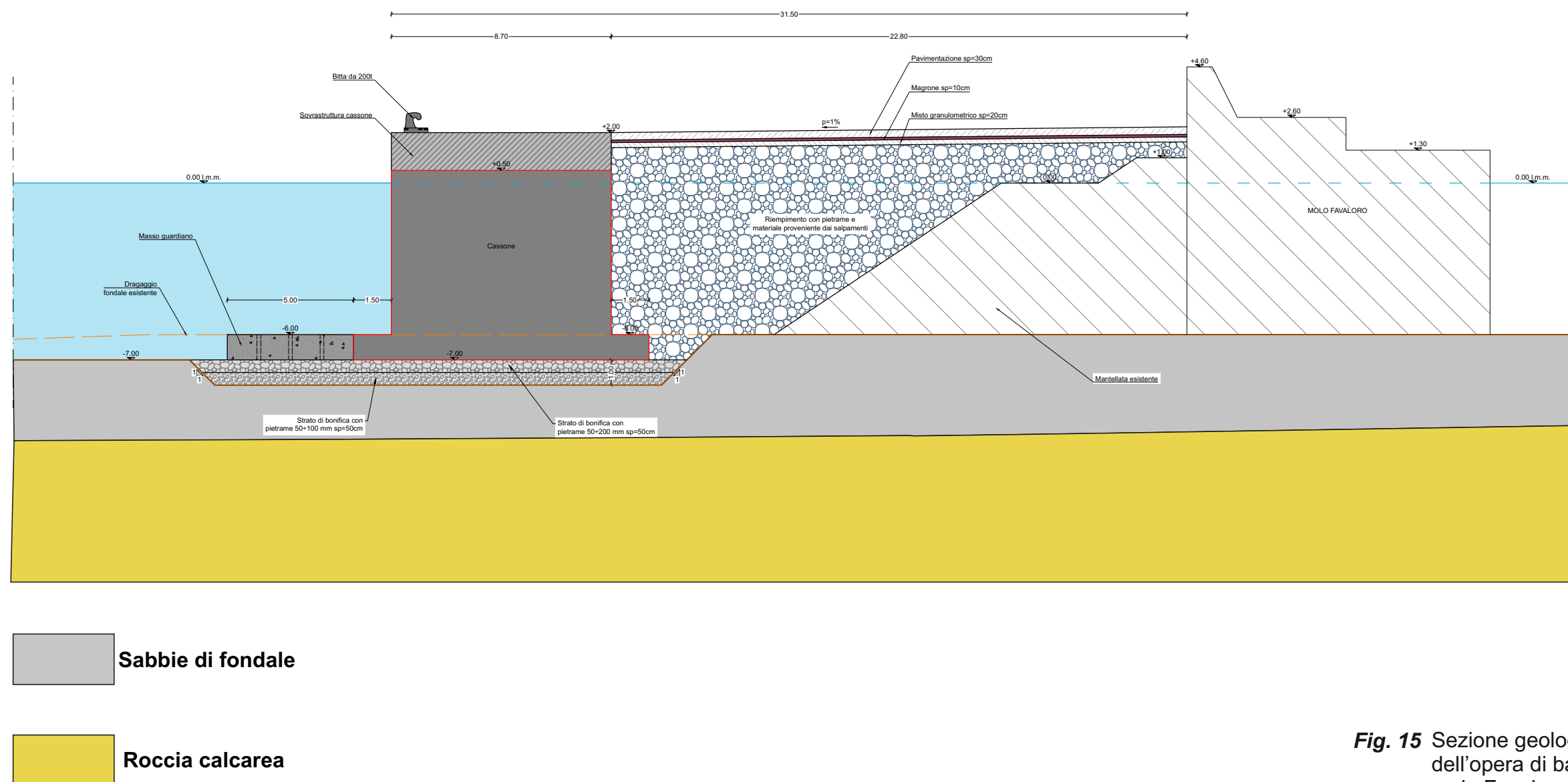


Fig. 15 Sezione geologica in scala 1:200 dell'opera di banchinamento del molo Favalaro

SEZIONE TIPO ADEGUAMENTO FUNZIONALE LUNGOMARE LUIGI RIZZO

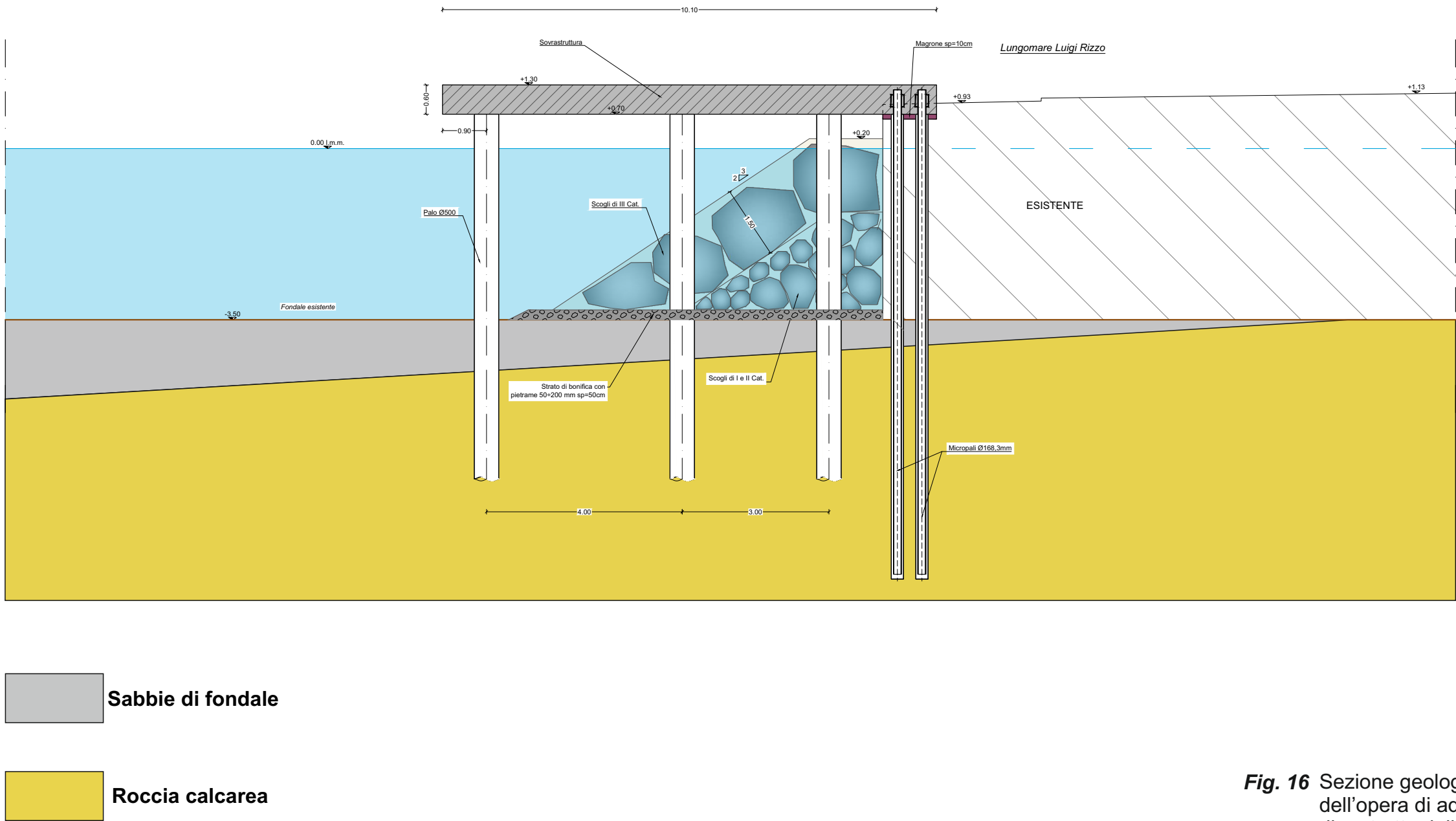


Fig. 16 Sezione geologica in scala 1:100 dell'opera di adeguamento funzionale di un tratto della banchina tra il molo Madonna e il molo Sanità

10. CONCLUSIONI

Lo studio svolto in questa fase ha portato ad una preliminare definizione delle caratteristiche di ordine geologico necessarie a verificare la fattibilità tecnica ed economica delle opere e ad orientare le scelte progettuali.

Tutti i fattori di conoscenza, provenienti sia dalle ricognizioni di superficie, sia dall'acquisizione di studi specialistici precedenti, sono stati analizzati e illustrati allo scopo di fornire un quadro geologico il più possibile definito rispetto a questa specifica fase della progettazione.

In questa sede la compatibilità geologica dell'opera è stata verificata in considerazione soprattutto delle caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche dell'area, nonché delle caratteristiche geomeccaniche della formazione rocciosa che costituisce il substrato geologico locale, tali da garantire la stabilità delle infrastrutture che si andranno a realizzare.

Al paragrafo precedente sono state inoltre indicate, per quanto di specifica competenza e sempre con riferimento all'attuale stato delle conoscenze, alcune necessarie prescrizioni tecniche circa le modalità di realizzazione degli interventi, cui sarà quindi necessario attenersi scrupolosamente.

Si osserva però che i dati elaborati e le ipotesi avanzate nella presente fase dello studio si basano principalmente, come si è detto, su osservazioni di superficie, integrate con gli elementi di conoscenza acquisiti in precedenza.

Questi dati e queste ipotesi dovranno quindi essere accuratamente verificati prima di procedere alla progettazione definitiva dell'opera, attraverso una specifica campagna d'indagini in sito ed in laboratorio.

Tra i principali temi d'approfondimento riservati alla fase di studio successiva vi sono pertanto l'esatta configurazione stratigrafica dei terreni, la loro caratterizzazione

geomeccanica e la definizione del modello sismico di supporto alla progettazione strutturale delle opere.

Palermo, 27 dicembre 2018

Gian Vito Graziano
geologo

