

SEZIONE DEL GENIO MILITARE PER LA MARINA DI CAGLIARI

Stazione VLF - Isola di Tavolara (OT)

RESTAURATION OF HEALTH AND SAFETY CONDITIONS TO OPERATE THE STATION - STAZIONE VLF - ISOLA DI TAVOLARA (OT)

001

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

21

018

DR

001

1

GEN

Committente

SEZIONE DEL GENIO MILITARE
PER LA MARINA DI CAGLIARI

P.zza Marinai d'Italia snc

Progettazione opere marittime:



MODIMAR s.r.l. Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA
06.3269461 - www.modimar.it

Progettazione:

Ing. Mauro MARINI

Ing. Davide SALTARI

Ing. Leonardo FARINA

Dott. Arch. Alessandro BARTOLESCHI

Studi ambientali

Dott.ssa Scrimieri Sara

Dott. De Pirro Maurizio

Febbraio 2022

0

0

L.F.

D.S.

M.M.

Data

Rev.

DESCRIZIONE

Disegnato:

Verificato:

Approvato:

Dimensioni foglio: A1

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo documento con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI	4
3	DANNI SUBITI DALLA MANTELLATA DURANTE IL PERIODO DI ESERCIZIO	11
4	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO	15
	4.1 Alternative alla realizzazione della mantellata in massi naturali	23
5	COSTO DELLE OPERE	26
6	TEMPO DI ESECUZIONE DELL OPERE	28

1 PREMESSA

L'approdo di servizio della Stazione VLF della Marina Militare di Cala di Ponente, situato sull'isola di Tavolara, è protetto dal moto ondoso da due opere foranee a gettata che nel recente passato hanno subito ingenti danneggiamenti. In particolare il coronamento dell'opera a gettata posto sul molo di sopraflutto è stato parzialmente distrutto nel 2015 da una mareggiata estrema che ha sensibilmente danneggiato anche la mantellata esterna costituita, in alcuni tratti, da massi artificiali (tetrapodi, cubi e antifer).

Per contrastare i rilevanti danni subiti e cercare di consolidare i tratti di opera foranea particolarmente danneggiati la Sezione del Genio Militare per la Marina di Cagliari ha fatto redigere un progetto nel Giugno 2016 finalizzato a realizzare gli interventi di ripristino dell'opera di difesa dal moto ondoso denominati "IMMEDIATE WORKS Phase-1".

I suddetti interventi, realizzati solo parzialmente, sono stati poi ulteriormente sviluppati nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica, elaborato nel 2017, in cui è stata prevista sia la riqualificazione dell'intera opera di sopraflutto sia il rifacimento delle pavimentazioni, fortemente degradate, dei due piazzali retrostanti il primo tratto di radicamento a terra della scogliera stessa.

Il progetto di fattibilità è stato poi posto a base di gara per l'implementazione, a livello definitivo, della configurazione preliminare prevista. La Soc. Modimar S.r.l., aggiudicataria della gara dei suddetti servizi di ingegneria, ha previsto lo svolgimento di numerose attività e la elaborazione di studi specialistici di approfondimento volti ad individuare proposte integrative e migliorative finalizzate all'ottimizzazione della soluzione progettuale. Gli approfondimenti eseguiti hanno riguardato la specifica definizione ed aggiornamento dei principali parametri meteo marini, utili alla definizione dei livelli di agitazione interna residua e al dimensionamento delle opere di difesa a gettata, sono stati anche utilizzati per ottimizzare le sezioni tipo delle opere in progetto sottoponendole alla verifica su modello fisico, che ha rappresentato una delle migliori più importanti offerte per l'aggiudicazione del servizio. Tale modellazione ha permesso di ottimizzare la geometria della sezione tipologica dell'opera foranea, verificando la stabilità della mantellata in massi naturali e determinando la portata di tracimazione ondosa, oltre che a verificare la correttezza della quota di sommità della berma sommitale e del muro paraonde, effettuando così una valutazione critica sulla presenza della prevista vasca di dissipazione.

Nei paragrafi che seguono sono stati preliminarmente sintetizzati lo stato dei luoghi attuale e le varie configurazioni assunti dall'opera di difesa oggetto di intervento in corso di esercizio, descrivendo con maggior dettaglio la situazione ed i danni conseguenti all'evento distruttivo del 2015. Nel paragrafo successivo sono state illustrate le caratteristiche delle opere di progetto definitivo, evidenziando le modifiche introdotte alla soluzione progettuale di fattibilità e specificando, con maggior dettaglio, le principali caratteristiche e tipologie costruttive degli interventi proposti, volti all'adeguamento tecnico e funzionale dell'esistente struttura.

Infine sono state individuate le fasi attuative degli interventi (crono programma dei lavori) associandole ai costi ed alle tempistiche necessarie al completamento dei lavori.

2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI

L'infrastruttura di servizio alla Stazione VLF della Marina Militare si trova nella zona nord-est dell'isola di Tavolara (punta Timone), in prossimità di uno promontorio roccioso stretto e lungo rivolto verso il mare aperto (chiamato Spalmatore di Fuori) che divide due piccole baie (rispettivamente esposte a NW e SE) denominate rispettivamente Cala di Ponente e Cala di Levante. La zona di servitù militare è vietata a turisti e bagnanti ed è severamente vietato avvicinarsi con qualsiasi mezzo.

L'esistente configurazione di Cala di Ponente può essere descritta come una piccola baia di forma pseudo circolare caratterizzata nella parte più interna da una stretta spiaggia racchiusa da falesie rocciose alte e frastagliate a cui sono radicate due opere di difesa a gettata che delimitano lo specchio acqueo portuale interno, come dimostra la seguente Figura 2.1. Le profondità raggiungono rapidamente tiranti idrici di 4-5 m per aumentare rapidamente e notevolmente (raggiungendo i 15÷20 m) a poca distanza dalle esistenti dighe foranee.



Figura 2.1 – Fotografia aerea dell'infrastruttura portuale di servizio alla Stazione VLF

Le opere di difesa dal moto ondoso (molo di sopraflutto e di sottoflutto) sono costituite da scogliere formate da un insieme eterogeneo di massi naturali ed artificiali, di varia forma, peso e tipologia, con un soprastante elemento di coronamento dotato di muro paraonde posto sulla sommità emersa del corpo diga.

Nell'immagine riportata a pagina seguente (Figura 2.2) è possibile osservare come l'opera a gettata pre-esistente (foto aerea risalente al 2013) era costituita da materiale lapideo di varia pezzatura e da massi artificiali di differente forma e peso (cubi di 5.80 m³, antifer da 8.00 m³ e tetrapodi da 4.00 m³) che fanno presumere come tale opera di difesa sia stata sottoposta, in corso di esercizio, a successivi interventi manutentivi e di ripristino conseguenti ai danneggiamenti subiti a seguito di mareggiate di rilevante intensità.



Figura 2.2 - Diga foranea di protezione del moto ondoso (anno 2013)

Attualmente il coronamento è costituito da elementi lapidei di varia grandezza e categoria compresa tra la I (peso compreso tra 50 ÷ 1250 kg) e la III, di peso più elevato (peso tra 3 e 7 t); tale configurazione è conseguente agli urgenti interventi previsti ed attuati dal progetto esecutivo di ripristino delle opere inerenti la “IMMEDIATE WORKS Phase-1” redatto da Ufficiali del Genio interni all’Amministrazione (Figura 2.3) nel Giugno 2016.



Figura 2.3 - Diga foranea di protezione del moto ondoso (settembre 2020)

L'intervento urgente sopra indicato si è reso necessario in quanto la diga foranea di sopraflutto, che protegge l'ingresso dell'approdo e lo specchio acqueo interno, a causa della violenta mareggiata del 5 marzo 2015 (vedi Figura 2.4), ha subito rilevanti danni sia al coronamento (parziale distruzione) sia all'opera a gettata esistente rendendo quasi nulla la sua funzione protettiva dal moto ondoso incidente e limitando fortemente la protezione offerta alla retrostante darsena interna, solitamente utilizzata per l'ormeggio e lo stazionamento delle imbarcazioni di servizio.

Gli interventi previsti e realizzati (almeno parzialmente con la Phase 1) sono stati:

- demolizione parziale del calcestruzzo del vecchio coronamento;
- spianamento con formazione di una berma di sommità della nuova scogliera eseguito sopra il l.m.m.;
- salpamento e riposizionamento di scogli sia naturali che artificiali;
- rifacimento della mantellata della diga foranea con scogli di quarta categoria (ancora da realizzare).



Figura 2.4 – Danneggiamento subito dalla diga foranea e dal coronamento a seguito della mareggiata del 5 Marzo 2015

Nella situazione attuale (vedi Figura 2.5 a pagina seguente) la diga foranea presenta una sagoma e consistenza tali che una mareggiata, anche di non eccessiva intensità, è in grado di sormontare l'opera e penetrare all'interno dell'approdo con possibili ed ulteriori danni sia alla stessa scogliera sia alle infrastrutture retrostanti già notevolmente compromesse nella loro funzionalità. Considerando lo stato attuale dei luoghi, gli interventi eseguiti con il progetto esecutivo di IMMEDIATE WORKS Phase-1 ed il forte degrado in cui si trovano ancora oggi le strutture di difesa dal moto ondoso, l'Amministrazione militare ad Agosto 2017 ha fatto redigere un Progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica in cui si è prevista l'esecuzione di una serie di interventi che vengono di seguito meglio specificati.



Figura 2.5 – Situazione attuale del coronamento a seguito interventi IMMEDIATE WORKS Phase-1

Barriera frangiflutti:

L'opera di difesa (scogliera) si sviluppa lungo tutto il perimetro lato mare del piazzale Ovest (superiore ed inferiore) proseguendo ancora per circa 100 m con il corpo diga così come mostrato nella precedente Figura 2.3. La lunghezza complessiva dell'opera a gettata posta a difesa dello specchio acqueo interno e dei piazzali retrostanti le banchine di accosto interne è di circa 200 m, di cui circa 100 m riguardano il rifacimento della diga foranea (tratto terminale) e circa 100 m (dalla radice fino a circa metà dello sviluppo complessivo) sono posti a protezione dei sopra citati piazzali.

Allo stato attuale (come mostrano la precedente figura e le fotografie seguenti) la scogliera di protezione dal moto ondoso risulta nel complesso fortemente danneggiata nelle sue componenti (mantellata esterna, strato filtro e corpo diga nella parte immersa in acqua). Inoltre occorre sottolineare che molti blocchi artificiali (cubi, antifer e tetrapodi), collocati in opera in seguito all'intervento di messa in sicurezza (Phase 1), sono stati in parte spostati ed in parte hanno subito uno scoscendimento verso il piede dell'opera a causa della forza del mare, oltre che aver distrutto quasi completamente il massiccio di coronamento in calcestruzzo (Figura 2.4).

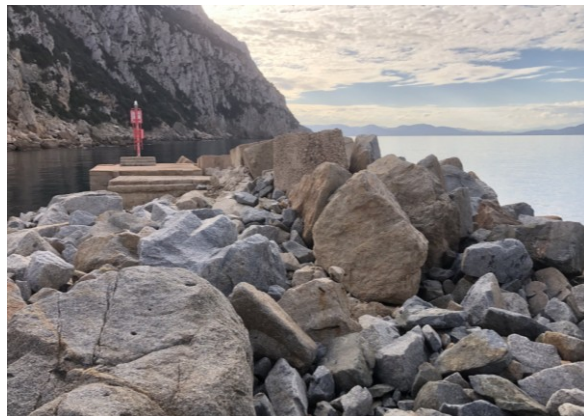


Situazione attuale della scogliera alla radice (tratto di protezione piazzale superiore)



Situazione attuale della scogliera alla radice (tratto intermedio e vista del prolungamento: diga foranea)

Si sottolinea che in testata l'elemento di coronamento si presenta fortemente danneggiato e senza muro paraonde (vedi fotografie seguenti). La sistemazione (provvisoria) data alla diga foranea alla sua estremità è perciò legata alla necessità di mantenere in funzione il fanale rosso di segnalazione dell'imboccatura portuale.



Situazione attuale della diga foranea in corrispondenza della testata

Piazzale Ovest Inferiore:

E' ubicato nella zona intermedia dell'opera di difesa dal moto ondoso ed ha una superficie di circa 3844 m². Il piazzale inferiore è separato da quello superiore da un muro in c.a. che a circa metà del suo sviluppo, in posizione arretrata e più protetta dalle onde, presenta una ripida e stretta scala di collegamento che consente la comunicazione tra i due livelli senza dover ricorrere alla rampa di collegamento, inclinata e carrabile, che si sviluppa all'estremità orientale degli stessi piazzali.



Situazione attuale del muro di delimitazione tra piazzale inferiore e superiore

Come si può osservare dalle immagini precedenti e da quelle successive riportate poco sotto, allo stato attuale, la pavimentazione originaria in calcestruzzo è presente solo in limitate porzioni e la sua superficie è cosparsa di materiale lapideo in parte trascinato via dal corpo diga antistante dalla forza delle onde ed in parte derivante dal danneggiamento della pavimentazione pre-esistente a causa dell'ingressione marina e del dilavamento del piazzale superiore. L'azione delle onde che riescono a raggiungere le superfici del piazzale inferiore, per gli elevati valori dell'overtopping che caratterizzano l'attuale geometria della diga foranea ha inoltre demolito e asportato la porzione di pavimentazione e del relativo sottofondo del piazzale soprattutto nella zona immediatamente retrostante l'ex coronamento del tratto terminale della diga foranea distrutto quasi completamente dalla mareggiata del Marzo 2015.



Stato attuale del piazzale inferiore in corrispondenza della radice della diga foranea



Consistenza dell'esistente pavimentazione del piazzale inferiore (zona retrostante ex coronamento)

Piazzale Ovest Superiore:

è delimitato (lato mare) dall'esistente e fortemente degradata scogliera a partire dalla radice fino a circa metà del suo sviluppo stimabile in circa 100 m. La superficie è di circa 4116 m² ed è posizionata ad una quota altimetrica di circa 4,0 m superiore a quella del piano di calpestio del piazzale inferiore.

Il consistente stato di degrado della scogliera antistante il lato occidentale del piazzale, che

presenta un'alternanza di tratti in cui l'opera a gettata (realizzata con massi artificiali tipo cubi e tetrapodi) è completamente assente o comunque fortemente danneggiata ha causato la rottura della superficie pavimentata soprattutto nella fascia immediatamente retrostante la stessa scogliera che non è più in grado di proteggerla efficacemente dall'incidenza diretta delle onde.

Allo stato attuale la pavimentazione originaria, costituita da un getto di calcestruzzo di circa 15 cm armato con rete elettrosaldata (vedi immagini riportate di seguito), presenta diffuse lesioni e fessurazioni, ma anche un'ampia area che ha subito la rottura completa (portando allo scoperto anche il sottofondo in misto granulare) per una superficie di circa 3884 m² che deve essere al più presto ripristinata per evitare che il danneggiamento aumenti progressivamente.



Da quanto finora indicato e descritto è facile comprendere come l'attuale stato di degrado è attribuibile all'azione del moto ondoso incidente che ha progressivamente danneggiato, fino a distruggere quasi completamente parte delle opere esistenti, sia quelle strutturali (mantellata della diga foranea e massiccio di coronamento) sia quelle non strutturali (piazzali).

La rappresentazione planimetrica ed in sezione della parte emersa della situazione attuale, riportata nelle Tavole 2, 3 e 4 di progetto definitivo, è stata desunta da uno specifico rilievo eseguito in data 22.12.2021 con apparecchiatura SAPR (drone). Per quanto attiene alle informazioni subacquee si è fatto riferimento al rilievo batimetrico e conseguente

restituzione cartografica della Tavola PFTE.T05 - Stato attuale - Rilievo batimetrico approdo Punta Timone del progetto di fattibilità posto a base di gara. Le informazioni ivi riportate sono state ritenute attendibili ed utilizzabili per gli sviluppi progettuali del presente progetto definitivo, in quanto dal rilievo eseguito con il drone (vedi Figura 2.6) è chiaro come gran parte degli elementi lapidei naturali ed artificiali che costituivano la scogliera di protezione dal moto ondoso sono scoscesi verso i fondali maggiori ed al piede dell'esistente opera a gettata. Ciò porta a desumere, anche in considerazione degli alti fondali che caratterizzano il paraggio costiero in esame, che la variabilità batimetrica nel tempo sia molto limitata e abbastanza stabile proprio per la presenza di un elevato numero di massi (naturali ed artificiali) oltre che di pietrame e altri elementi lapidei di varie dimensioni e pesi trasportati verso le maggiori profondità dalla forza delle onde.



Figura 2.6 – Immagine desunta dal rilievo fotogrammetrico eseguito con drone il 22.12.2021

3 DANNI SUBITI DALLA MANTELLATA DURANTE IL PERIODO DI ESERCIZIO

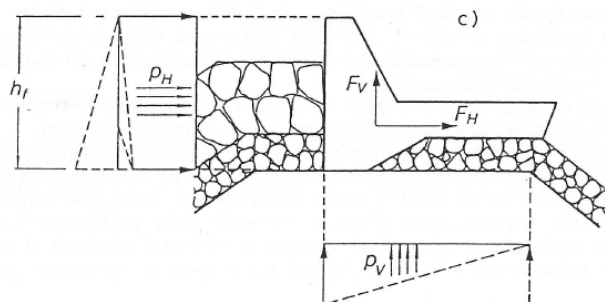
Da quanto riportato nel paragrafo precedente è evidente che l'opera a gettata del molo di sopraflutto dell'approdo militare di Cala di Ponente, posta a protezione dei retrostanti piazzali e specchio acqueo interno, ha subito nel corso degli anni danneggiamenti di varia entità che hanno reso indispensabile la redazione di successivi progetti di ripristino (in particolare della mantellata esterna della scogliera) per evitare il verificarsi di ulteriori e

maggiori danni che potessero rendere particolarmente insicuri gli ormeggi interni e pericoloso il transito sui piazzali retrostanti la suddetta scogliera di delimitazione e protezione dell'area militare. Seppure i precedenti interventi abbiano consentito di ripristinare delle sagome della scogliera di protezione dal moto ondoso, da quanto riportato nel paragrafo precedente è facile evincere che la tipologia di ripristino non è stata omogenea, ma si è fatto ricorso a differenti approcci per cercare di ottenere una maggiore stabilità degli elementi collocati sulla mantellata esterna. Infatti come si vede anche dall'immagine seguente è possibile osservare come la consistenza attuale della scogliera presenta un'alternanza di elementi artificiali eterogenea (tetrapodi nella parte iniziale di radicamento a terra e da elementi tipo Antifer nel successivo tratto intermedio) secondo sagome pseudo trapezoidali o più assimilabili a quasi triangolari.



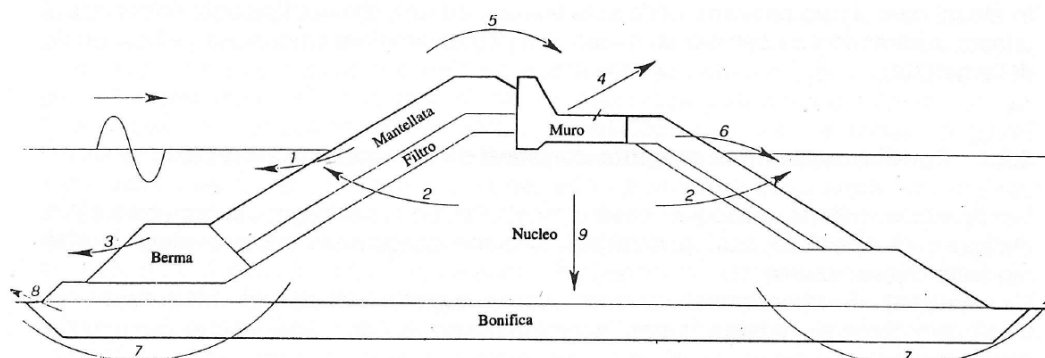
In altre parole la mantellata esterna è stata rifiorita e riprofilata adottando una scarpata inclinata, avente una pendenza abbastanza ripida e stimabile in $2/3$, che in sommità non presenta una berma orizzontale ben strutturata come indicato e richiesto dalle “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime” – Consiglio Superiore dei LL.PP. (Pubbl. GNCDI n. 1450, 1996). Infatti la larghezza minima delle berme, solitamente realizzata con gli stessi elementi della mantellata, è stabilita in $3 \div 4$ volte la dimensione tipica degli elementi (in generale massi naturali) che le costituiscono. Tale berma risulta di fondamentale importanza per la stabilità della diga, ma anche per limitare:

- le pressioni derivanti dall'impatto delle onde sulle strutture retrostanti (ovvero sul muro paraonde dell'elemento di coronamento in calcestruzzo che solitamente viene costruito a tergo della mantellata della scogliera);



- il sormonto delle masse d'acqua che possono raggiungere le superfici ad essa

retrostanti compromettendo la stabilità e sicurezza della diga stessa (massiccio di coronamento e paramento interno), nonché delle vie di transito utilizzate da persone e mezzi solitamente realizzate sul massiccio di coronamento.



- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Rimozione degli elementi della mantellata | 6 Danneggiamento paramento interno |
| 2 Rimozione dei finì | 7 Collasso della fondazione |
| 3 Erosione della berma al piede | 8 Erosione del fondale al piede |
| 4 Spostamento del muro paraonde | 9 Assestamento del frangiflutti |
| 5 Sormonto e tracimazione | |

Inoltre lo stato di progressivo degrado dovuto all'azione di scalzamento operata dalle onde nel corso degli anni è ben documentato dalle due figure seguenti in cui è visibile la situazione della scogliera nell'anno 2004 e poi successivamente nell'anno 2019. Dal confronto delle due fotografie aeree si può facilmente constatare l'ammaloramento della mantellata della scogliera del molo di sopraflutto, soprattutto dopo l'evento del 2015, con il suo parziale ripristino.



a) b)
Immagini satellitari della scogliera del molo di sopraflutto: a) anno 2004; b) anno 2019

Le immagini precedenti mostrano però che la scogliera presenti pendenze della scarpata (lato mare) decisamente acclivi con una esigua larghezza della berma di sommità, per cui le onde (peraltro non frangenti per la presenza degli elevati fondali nella zona immediatamente

antistante l'opera di difesa) vanno ad "impattare" sulle strutture retrostanti causando notevoli danneggiamenti e rilevanti effetti di sormonto collegati all'impatto diretto delle onde che non vengono attenuati per l'assenza di una berma di adeguata larghezza.

Le stesse immagini dimostrano anche che l'adozione di massi artificiali di peso elevato, tipo tetrapodi e/o cubi modificati (detti Antifer) aventi coefficienti di stabilità K_D caratteristici più elevati rispetto ai massi naturali, non sono risultati sufficienti a garantire un'adeguata protezione alle strutture retrostanti.

Nel caso specifico, essendo le pendenze della mantellata ricostruita approssimativamente pari a 2/3, i corrispondenti valori del coefficiente di stabilità variano da un minimo di $K_D = 5$ per un masso tipo Antifer (in doppio strato) in corrispondenza della testata ad un valore di $K_D = 8$ per un tetrapodo (sempre in doppio strato) per la sezione corrente (vedi tabella seguente).

Criterio di "non danneggiamento" con limitata tracimazione							
Elemento	n (3)	Posa in opera	Sezione corrente		Testata		
			K _D (2)		K _D		Scarpa
			Onda frangente	Onda non frangente	Onda frangente	Onda non frangente	Cot α
Masso naturale							
arrotondato	2	alla rinfusa	1.2	2.4	1.1	1.9	da 1.5 a 3.0 (5)
arrotondato	>3	alla rinfusa (4)	1.6 (4)	3.2	1.4 (4)	2.3	
a spigoli vivi	2	alla rinfusa	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
a spigoli vivi	>3	alla rinfusa	2.2	4.5	2.1	4.2	(5)
a spigoli vivi	2	speciale (6)	5.8	7.0	5.3	6.4	(5)
Parallelepipedo (7)	2	speciale (1)	7.0-20.0	8.5-24.0	--	--	
Tetrapodo e Quadripodo	2	alla rinfusa	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	alla rinfusa	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	alla rinfusa	15.8 (8)	31.8 (8)	8.0	16.0	2.0 (9)
					7.0	14.0	3.0
Cubo modificato	2	alla rinfusa	6.5	7.5	--	5.0	(5)
Hexapod	2	alla rinfusa	8.0	9.5	5.0	7.0	(5)
Toskane	2	alla rinfusa	11.0	22.0	--	--	(5)
Masso naturale (K _{RR})							
assortiti	-	alla rinfusa	2.2	2.5	--	--	

Nel caso dei massi naturali tali valori diminuiscono a $K_D = 4$ per la sezione corrente e $K_D = 3,2$ per la sezione di testata, sempre adottando una pendenza 2/3 (corrispondente a $\cot\alpha=1,5$) ed adottando sempre il doppio strato. Tale considerazione fa comprendere come gli ultimi interventi di ripristino e risagomatura effettuati solo con materiale lapideo (di modesta pezzatura – Fig. 2.5) hanno avuto una durata decisamente limitata e comportato consistenti deformazioni delle sagome trapezie realizzate portando la stessa diga foranea e le retrostanti aree (piazzali) a subire notevoli deformazioni, asportazioni di materiale ed ai danneggiamenti attualmente riscontrati.

4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

I rilievi e gli accertamenti effettuati sulle condizioni della scogliera esistente hanno confermato la necessità di eseguire, con una certa urgenza, interventi utili a ripristinare e rendere maggiormente stabile la scogliera utilizzando massi naturali per il rifacimento della mantellata e degli strati filtro sottostanti, come indicato nel PFTE, che individua come intervento della “Phase 2”, successiva alla “Phase 1”, la messa in sicurezza dell’opera a gettata mediante la posa in opera di elementi lapidei del peso di 7-12 tonnellate.

Tale necessità scaturisce dall’esigenza di dare maggiori garanzie di sicurezza (rispetto alla situazione di evidente ed attuale degrado) alla scogliera ed ai retrostanti piazzali (superiore e inferiore), nonché migliori condizioni di ormeggio e stazionamento alle imbarcazioni che trovano ospitalità all’interno dello specchio acqueo portuale.

La ricostruzione della scogliera si dovrà eseguire mediante rifioritura e risagomatura della scogliera che nella nuova e ripristinata conformazione geometrica della sezione trasversale consentirà di assolvere di nuovo alla primaria funzione protettiva della stessa, rendendo al tempo stesso più sicuro il transito nei piazzali immediatamente retrostanti la scogliera oggi degradata, riportando la scogliera ad un’accettabile grado di affidabilità nei confronti del moto ondoso incidente.

I lavori di “rifioritura e risagomatura” della scogliera, relativi all’intero sviluppo di 220 m, dovranno quindi essere preceduti dal preliminare salpamento sia dei massi artificiali che si trovano fuori acqua (parte emersa ed iniziale della diga foranea) sia degli elementi lapidei situati sulla sommità del tratto terminale della scogliera. I salpamenti dovranno riguardare anche alcune porzioni subacquee della diga foranea esistente, limitando tale intervento a quegli elementi eccedenti le sagome di progetto necessari per un’efficace rimodellazione degli strati filtro e della mantellata in massi naturali soprastante.

Le rimozioni riguarderanno gli elementi (artificiali e naturali) spostati dalle onde o scoscesi al piede della stessa scogliera (lato mare e lato terra nel solo tronco terminale prossimo alla testata) riposizionando il materiale recuperato all’interno della sagoma tronco piramidale di progetto nei tratti in cui è necessario effettuare il riempimento e la riprofilatura della scarpata inclinata del corpo diga (nucleo) con una pendenza più dolce di quella attuale (da 2/3 a 1/2).

Particolare attenzione andrà posta nel salpamento e ricollocazione dei massi artificiali presenti al di fuori dell’acqua e situati di poco al di sotto del l.m.m.; infatti essi dovranno essere impiegati, eseguendo un opportuno intasamento con il materiale lapideo di pezzatura minore, per il riempimento delle sezioni trasversali prossime alla testata al fine di poter predisporre una scarpata inclinata (con pendenza 1/2) del nuovo “nucleo” su cui realizzare lo strato filtro e la sovrastante mantellata in massi naturali di grandi dimensioni.

Nella progettazione della “rifioritura” della scogliera secondo le sagome trapezoidali di progetto si è posta grande attenzione nella scelta delle dimensioni e pesi dei massi, cercando di intervenire in modo da adottare gli elementi lapidei più stabili per le peculiari condizioni di moto ondoso del paraggio. Questo obiettivo è stato raggiunto eseguendo sia specifiche verifiche analitiche di dimensionamento e verifica dei massi del doppio strato costituente la mantellata esterna utilizzando una pezzatura di grande dimensione e peso rispetto a quelli esistenti (vedi anche Relazione 21 018 DR 007 – Verifiche di stabilità) sia facendo eseguire alcune simulazioni su modello fisico, al fine di individuare il comportamento delle sezioni

correnti di progetto tenendo conto degli effetti tridimensionali che i calcoli analitici trascurano.

I dimensionamenti sono stati eseguiti utilizzando le geometrie desunte dalla precedente impostazione progettuale di fattibilità mantenendo (ove possibile) le quote altimetriche e le pendenze di progetto.

Più in dettaglio, la Soluzione A individuata ed adottata dal PFTE prevedeva la realizzazione di una nuova barriera frangiflutti, dimensionata per una vita nominale della struttura di 100 anni, nella porzione compresa tra la testata del massiccio di coronamento ed il muro di delimitazione fra i due piazzali e rifacimento della pavimentazione con relativo sottofondo. Tale soluzione ha individuato le seguenti lavorazioni:

- demolizione elemento di coronamento e salpamento della scogliera esistente con reimpiego nei rinfianchi o riempimenti della nuova opera a gettata previa verifica di conformità e rispetto dei vigenti disposti normativi in merito all'immersione di materiale in ambiente marino.
- costruzione di una nuova scogliera con posa in opera di pietrame scapolo di cava di pezzatura 50-500 kg per la costituzione dello scanco di imbasamento;
- posa in opera di massi naturali di pezzatura 1000-3000 kg per la formazione dello strato filtro a protezione del nucleo;
- completamento della scogliera con la posa in opera lato mare di una mantellata di protezione, avente inclinazione variabile, composta da massi naturali di pezzatura compresa tra 7000 e 12000 kg;
- completamento nel tratto terminale della diga foranea, a tergo della mantellata esterna, con un massiccio di coronamento dotato di muro paraonde fino ad una quota di +5.00 m sul l.m.m.;
- realizzazione della nuova pavimentazione dei piazzali (superiore ed inferiore) in calcestruzzo armato previa demolizione della pavimentazione esistente e del relativo sottofondo.

Le seguenti Figure 4.1, 4.2 e 4.3 sono state estratte dagli elaborati grafici del PFTE e rappresentano le sezioni tipo previste per il rifacimento dell'opera a gettata di protezione dal moto ondosso incidente. Si evidenzia a tal proposito che le sezioni tipo del progetto di fattibilità hanno previsto di intervenire fino a profondità di $-5,0 \div -7,0$ m sfruttando la presenza dei numerosi elementi (sia artificiali che naturali) spostati dalle onde durante le mareggiate e rotolati verso le maggiori profondità nel corso degli anni, anche dopo le mareggiate del 2015 e successivamente alla stesura del progetto di fattibilità. **Inoltre la proposta del PFTE individuava anche un cambiamento della pendenza della scarpata (Fig. 4.1) in corrispondenza della testata per limitare l'ingombro e le volumetrie di materiale lapideo da porre in opera.** Come si vedrà nel seguito nella configurazione di progetto definitivo **non è stato possibile mantenere tale impostazione poiché l'eterogeneità degli elementi che formano l'attuale strato esterno della diga foranea (lato mare) non forniscono sufficienti garanzie di stabilità nei confronti di future mareggiate estreme con una elevata probabilità di un ulteriore spostamento e scivolamento verso profondità ancora maggiori dei massi con conseguente instabilità e**

Come anticipato in precedenza, nello sviluppo ed approfondimento del progetto definitivo si è posta particolare attenzione sia alla definizione dei principali meteo-marini (al largo e sotto costa), sia alla definizione delle nuove geometrie da assegnare all'opera a gettata. Infatti, oltre all'approfondimento delle conoscenze sul moto ondoso incidente, si è deciso di rielaborare i calcoli di stabilità dei massi di mantellata e di far eseguire (proposta migliorativa offerta in fase di gara) prove su modello fisico finalizzati all'individuazione delle migliori condizioni di stabilità degli elementi lapidei nei confronti degli stati di mare caratteristici del paraggio costiero in esame.

Tali verifiche sono state ritenute indispensabili in quanto i ricorrenti danneggiamenti all'esistente opera a gettata imponevano un approfondimento delle forzanti necessarie alla definizione delle condizioni di stabilità della nuova opera a gettata (in massi naturali di grandi dimensioni), ma anche di individuare con una certa affidabilità il possibile livello di danneggiamento nei confronti di eventi di moto ondoso estremi e quindi la frequenza di possibili e futuri interventi di manutenzione.

Le verifiche sono state quindi condotte utilizzando la stessa tipologia di massi naturali indicati dal progetto di fattibilità tecnico economica (ovvero materiale lapideo di peso superiore alla IV categoria), applicando una successiva fase di ottimizzazione delle sagome sulla base dei risultati ottenuti dal modello fisico.

La procedura di ottimizzazione si è articolata eseguendo preliminarmente le verifiche della mantellata esterna, sia per la sezione di testata (**che rappresenta le zona più sollecitata e delicata delle scogliere in massi naturali, a causa della loro peculiare forma circolare**), sia per le sezioni correnti (dove l'effetto della continuità tra sezione e sezione e quindi della stabilità è maggiore) individuando il peso medio dei massi naturali e le corrispondenti pendenze da assegnare alle scarpate inclinate della nuova diga foranea. Per quanto riguarda le dimensioni geometriche delle nuove sezioni si è fatto riferimento alle indicazioni del progetto di fattibilità che sono state integrate e revisionate adeguandole alle indicazioni riportate nelle già citate "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime".

Ovviamente confermando l'adozione di massi naturali per il ripristino dell'opera a gettata, essendo il sito di interesse vincolato a livello ambientale e paesaggistico, si è dovuto tener presente il limite di peso (legato alla complessità del reperimento e trasporto) degli elementi lapidei. Il pre-dimensionamento è stato eseguito facendo riferimento a massi naturali di peso compreso tra 7÷12 tonnellate, associando tali elementi a pendenze delle scarpate di 2/3 ed 1/2. I calcoli di verifica hanno dimostrato che la stabilità alla scogliera sia in sezione corrente sia in testata è garantita, con bassi livelli di danneggiamento, adottando un peso medio di 9,5 t (ovvero massi di peso compreso tra 7 – 12 t) **ed un'unica pendenza delle scarpate pari a 1/2**. I risultati delle prove su modello fisico hanno confermato i risultati ottenuti dalle verifiche analitiche eseguite sulle sezioni tipologiche citate in precedenza, ottenendo danneggiamenti contenuti (incipienti o lievi), con necessità di interventi manutentivi futuri minori e limitati sia in frequenza che in estensione spaziale.

Le prove su modello fisico (si rimanda per tutti gli ulteriori approfondimenti al Report finale allegato al presente progetto definitivo) hanno anche dimostrato come **l'adozione della "vasca di dissipazione" individuata nella configurazione del progetto di fattibilità** (vedi figure 4.1 ÷ 4.3) pur limitando il fenomeno di over-topping legato agli eventi di moto ondoso più intensi, **comporta però notevoli sollecitazioni sul retrostante massiccio di**

coronamento dotato di muro paraonde.

Prove aggiuntive sullo stesso modello fisico in canaletta hanno dimostrato che l'eliminazione della suddetta vasca da effettuare con gli stessi massi naturali da 7÷12 t utilizzati per la scarpata della mantellata esterna riduce le sollecitazioni derivanti dall'impatto diretto delle onde sul muro paraonde unitamente alle masse di acqua associate al sormonto.

Le sezioni tipo della scogliera (vedi Tavole 6 e 7 – Sezioni tipo stato di progetto) in seguito agli interventi di rifioritura e risagomatura sarà del tutto simile a quella del PFTE come dimostrano le seguenti Figure 4.4, 4.5 e 4.6 con la differenza che nel progetto definitivo si sono raggiunte (soprattutto in corrispondenza della testata) profondità reali decisamente maggiori che raggiungono i -15,0 m sul l.m.m.:

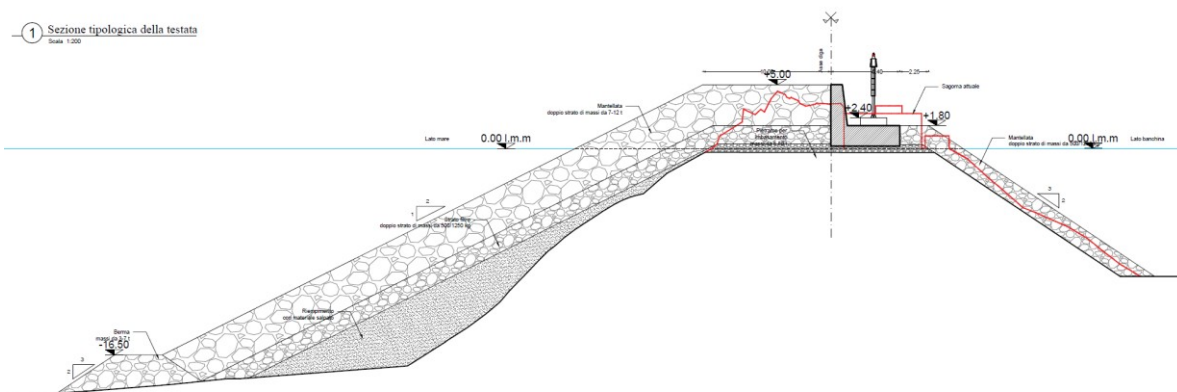


Figura 4.4 – Sezione tipo della nuova testata della diga foranea

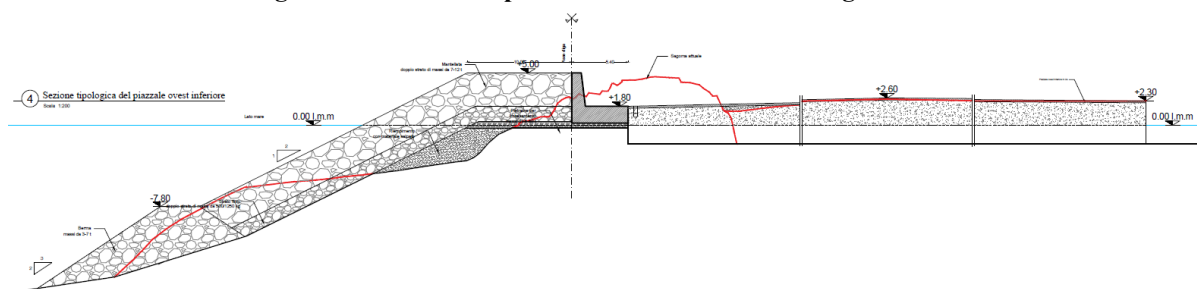


Figura 4.5 – Sezione tipo della nuova diga foranea alla radice (area antistante il piazzale inferiore)

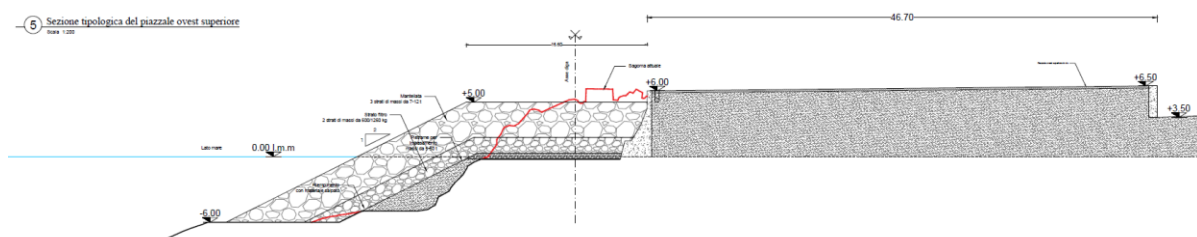


Figura 4.6 – Sezione tipo della nuova scogliera antistante il piazzale superiore

La nuova scogliera presenterà quindi un tracciato rettilineo, con orientamento SW-NE e una nuova testata che internamente presenta una pendenza della scarpata maggiore di quella lato mare, assunta pari a 2/3. Lo sviluppo della nuova opera foranea è incrementato di circa 20 metri rispetto alla situazione attuale raggiungendo complessivamente circa 220 m (di cui 120 m rettilinei sono relativi alla nuova diga foranea che protegge anche il piazzale inferiore in corrispondenza della sua radice e circa 100 m relativi alla scogliera posta a protezione del retrostante piazzale superiore) con una larghezza della berma di sommità di 10,0 m posta ad

una quota altimetrica di +5,0 m sul l.m.m. La nuova opera foranea poggerà su fondali variabili tra le profondità - 4,0 (all'interno dello specchio acqueo ridossato) e - 20,0 m sul l.m.m. individuate sulla base dei rilievi batimetrici resi disponibili con il progetto di fattibilità tecnico economico. Considerando l'entità delle profondità di imbasamento dell'opera e la presenza del corpo diga dell'opera pre-esistente si è reso necessario adottare una preliminare rimodellazione della sagoma trapezoidale della diga foranea prima della posa in opera del materiale lapideo dello strato filtro e della soprastante mantellata, mantenendo invariate le rimanenti dimensioni.

L'opera a gettata sarà pertanto costituita da un nucleo costituito dalla precedente opera a gettata in cui i volumi vuoti saranno riempiti con i materiali salpati (massi artificiali e materiale lapideo di minore dimensione e peso) che saranno disposti a formare delle scarpate con pendenza 1/2 su cui verrà posizionato lo strato di massi naturali di I categoria (aventi peso compreso tra 500- 1250 kg) in doppio strato per uno spessore di 1,50 m. Al di sopra saranno posizionati i massi di peso compreso tra 7-12 t, sempre disposti in doppio strato, per la formazione della mantellata esterna che al piede (lato mare) sarà trattenuta da una berma, formata da un doppio strato di massi di peso compreso tra 3 - 7 t, la cui quota di sommità varia con la profondità lungo lo sviluppo longitudinale della scogliera, passando da profondità di - 16,50 m (in testata) a -7,80 m sul l.m.m. (alla radice).

Da quanto appena sopra riportato le dimensioni e gli ingombri della nuova opera a gettata di difesa dal moto ondoso (Figura 4.7) sono quelle riportate di seguito:

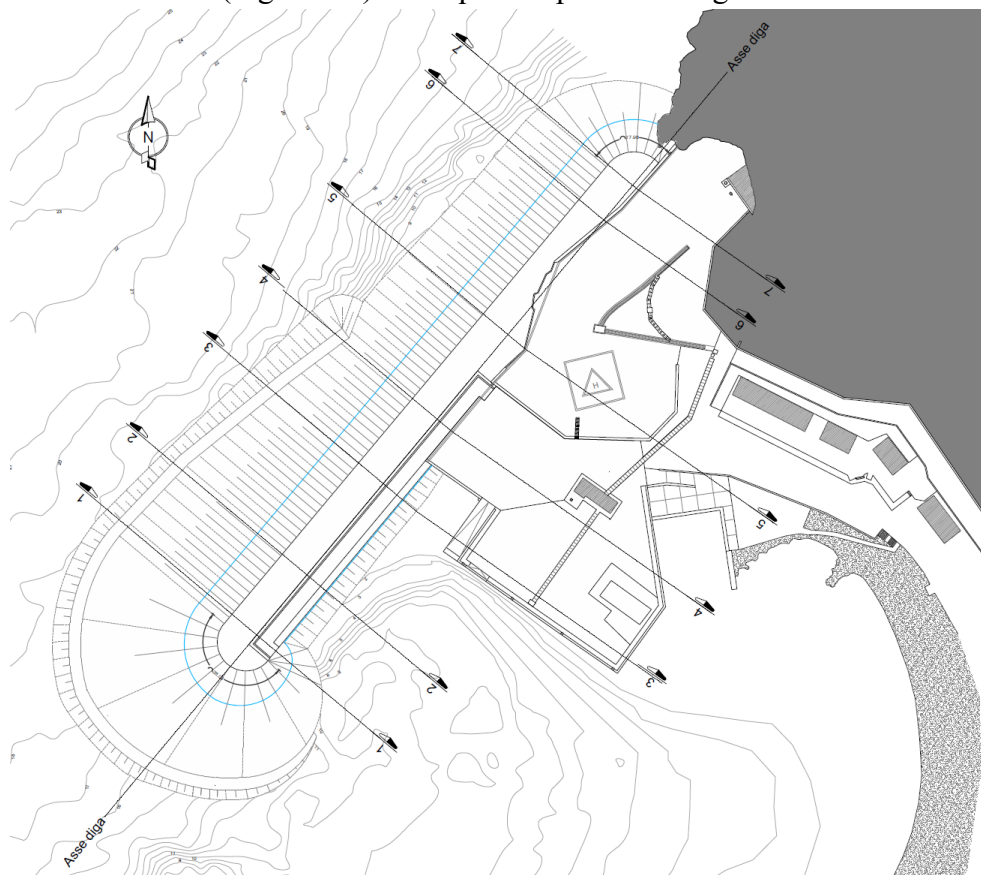


Figura 4.7 – Planimetria di progetto con indicazione dell'ubicazione delle sezioni tipo

Da quanto appena sopra riportato è facile comprendere che il ripristino e miglioramento della nuova opera di difesa a gettata prevede una preliminare operazione di salpamento fuori e

dentro acqua del materiale lapideo naturale e dei massi artificiali, presenti sopra e sotto il l.m.m, operazioni che richiedono inoltre un'attenta Direzione Lavori.

Come accennato in precedenza l'opera a gettata, oltre a proteggere lo specchio acqueo dell'approdo di servizio della Stazione VLF, nel tratto iniziale di radicamento a terra ha la funzione di riparare dall'azione diretta del moto ondoso i due piazzali facenti parte dell'area militare ubicati nella zona nord-occidentale. L'azione delle onde ha creato sensibili danni anche alle pavimentazioni di tali aree scoperte, utilizzate come superfici di deposito temporaneo di materiali e attrezzature varie.

La proposta di progetto prevede (vedi Figura 4.8) quindi il ripristino della funzionalità delle pavimentazioni mediante preventiva demolizione delle parti residuali degradate della pavimentazione esistente ed il loro successivo rifacimento.



Figura 4.8 – Planimetria con indicazione della sistemazione dei piazzali superiore e inferiore)

In particolare la rimozione dell'esistente strato di calcestruzzo da 15 cm, armato con rete elettrosaldata, riguarderà prevalentemente la superficie del Piazzale Ovest Superiore (avente una estensione complessiva di 4116 m²), in quanto Piazzale Ovest Inferiore (di 3844 m²) presenta già ampie superfici in cui tale strato superficiale è assente. Una volta rimosso tutto lo strato superficiale in calcestruzzo, la sistemazione di progetto prevede l'esecuzione della scarifica del materiale granulare sottostante, misto a ciottoli e pietrame di varie dimensioni, con conseguente livellamento del nuovo piano di appoggio. Sulle superfici così trattate è stato previsto il collocamento in opera di uno strato di granulare misto cementato (di spessore minimo di 30 cm) che garantisce maggiore resistenza rispetto al misto stabilizzato utilizzato nell'attuale situazione, su cui verrà direttamente gettato in opera un nuovo strato calcestruzzo, dello spessore di 20 cm, con interposizione di una nuova rete elettrosaldata ($\phi 8$ mm a maglia quadrata 20/20 cm) zincata a caldo.

Alle nuove pavimentazioni sono state assegnate idonee pendenze (di valore pari a 1%) che consentiranno all'acqua piovana ed a quella di tracimazione di poter scorrere verso il limite occidentale dei piazzali ove è stata posizionata una tubazione (collettore di scarico) dotato di pozzetti grigliati aventi la funzione di raccogliere e scaricare in mare (in zona ridossata) i volumi idrici pervenuti sulle pavimentazioni. Come si può facilmente osservare dalla precedente Figura 4.9 al piazzale superiore sono state assegnate quote altimetriche più alte nella zona più interna ed inferiori nella fascia immediatamente retrostante la nuova scogliera in modo da consentire all'acqua di scorrere verso la condotta di raccolta e scarico. Tale tubazione, in corrispondenza del cambiamento di quota presenta un salto (realizzato con un pozzetto inglobato nella nuova struttura paraonde che risulta collegata alla radice all'esistente muro di divisione tra i due piazzali) che consente di raggiungere il piano del piazzale inferiore, più basso di circa 4 m rispetto a quello superiore, e di scaricare le portate raccolte alla radice della nuova opera foranea.

Gli esistenti piazzali sono percorsi da numerose e specifiche reti di sotto servizi che dovranno essere preventivamente mappate e sottoposte all'attenzione dell'Autorità militare. Pertanto le lavorazioni di demolizione delle esistenti pavimentazioni e la successiva scarifica del materiale granulare sottostante dovranno essere eseguite salvaguardando tutte le reti di sotto-servizi presenti al di sotto della citata pavimentazione.

Per quanto riguarda il drenaggio delle acque meteoriche è stato previsto un collettore di raccolta e scarico sia delle portate meteoriche sia di quelle di tracimazione del moto ondoso incidente che potranno interessare le superfici dei piazzali in occasione delle mareggiate più severe. Il drenaggio delle acque che raggiungeranno i piazzali verrà eseguito mediante l'impiego di pezzetti (60 x 60 cm) dotati di griglie incernierate al telaio sottostante (per evitarne lo spostamento e perdita) che convoglieranno i volumi raccolti nella sottostante tubazione che riverserà i volumi idrici raccolti in corrispondenza dell'angolo che si verrà a formare tra la radice della nuova diga foranea ed il limite del piazzale inferiore.

4.1 ALTERNATIVE ALLA REALIZZAZIONE DELLA MANTELLATA IN MASSI NATURALI

Oltre alla previsione progettuale che prevede il rifacimento dell'opera a gettata solo con fornitura di nuovi materiali lapidei naturali (pietrame e massi di differente pezzatura e peso), nel presente sviluppo progettuale definitivo sono state esaminate anche soluzioni alternative che vengono di seguito meglio descritte.

L'osservazione del profilo trasversale assunto dall'esistente diga foranea denota la presenza di sezioni correnti (vedi ad es. la seguente Figura 4.9) assimilabili a opere a gettata tipo "berm breakwater".

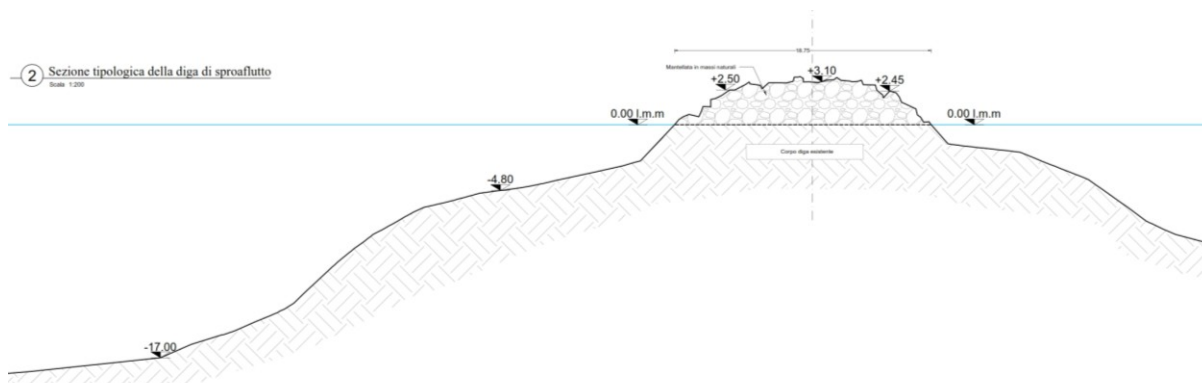


Figura 4.9 – Sezione tipo opera foranea attuale con andamento ad S della scarpata lato mare

Il concetto di base di questo tipo di scogliere è quello di rappresentare ampie e voluminose opere a gettata, costituite da una o due classi di massi di dimensioni e pesi ridotti. Lo stato attuale della scogliera, derivante dalla naturale rimodellazione delle sagome esistenti dell'opere a gettata, con numerosi massi spostati su e giù per la scarpata e formazione di un profilo a forma di S, presenta un profilo abbastanza stabile e per tale motivo nel presente progetto si è deciso di eseguire salpamenti superficiali (fuori acqua) e solo parziali nella parte subacquea lasciando il più possibile inalterato lo stato di equilibrio raggiunto dall'esistente opera a gettata che tende ad uno stato cosiddetto "dinamicamente stabile" proprio per la similitudine con le berm breakwater (vedi seguente Figura 4.10).

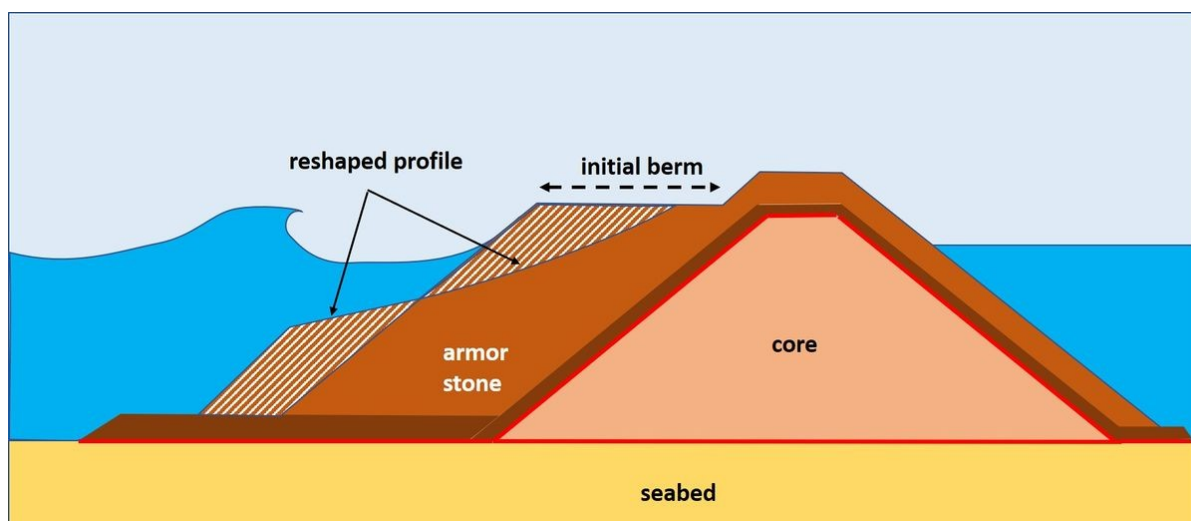


Figura 4.10 – Spostamento dei massi della mantellata dovuto a forti mareggiate, durante le quali la forma iniziale si modifica secondo un andamento ad S di maggiore stabilità.

La realizzazione di una siffatta tipologia di opera, nel presente caso, è stata esclusa per la presenza di alti fondali che caratterizzano l'area di intervento in quanto l'adeguamento delle scarpate attuali ad una sagoma di progetto secondo lo schema delle "berm breakwater" avrebbe comportato costi decisamente elevati, confrontabili o addirittura superiori a quelli ottenuti dal computo metrico estimativo del presente progetto, per i considerevoli volumi di materiale lapideo naturale da fornire e porre in opera.

Proprio partendo dalla considerazione degli elevati costi di realizzazione ottenuti dal computo metrico estimativo del presente progetto definitivo, si è voluto fare un'ulteriore valutazione alternativa ipotizzando una soluzione progettuale che propone di realizzare la mantellata esterna con massi artificiali di nuova generazione tipo "Accropodi" caratterizzati da elevati coefficienti di stabilità.



Figura 4.11 - Realizzazione di una mantellata con elementi artificiali tipo Accropode (Immagine estratta da CLI: Concrete Layer Innovation -Francia).

La sezione tipo di progetto (vedi anche la seguente Figura 4.12) presenta sempre un nucleo semimpermeabile di tout-venant, con uno strato filtro ed una mantellata esterna che sostituisce i massi naturali da 7-12 t disposti in doppio strato, aventi una pendenza pari a $1/2$, con massi artificiali (Accropodi, si mette in evidenza che tale tipo di massi non è più soggetta ad oneri suppletivi per il brevetto, in quanto scaduto), aventi nel caso specifico in esame un peso di circa 9,20 t, disposti in unico strato con forte riduzione della pendenza delle scarpate solitamente assunte pari a $3/4$. In testata per i minori coefficienti di stabilità che caratterizzano le sezioni è necessario incrementare leggermente le dimensioni del singolo masso passando dalle 9,20 t alle 10,80 t, in modo da garantire le medesime condizioni di stabilità globale.

L'adozione di una simile soluzione progettuale offre il vantaggio di una notevole riduzione degli ingombri e delle volumetrie complessive, ma la sua realizzazione deve essere attentamente valutata per motivi ambientali e paesaggistici legati ai maggiori impatti visivi degli elementi artificiali rispetto a quelli naturali.

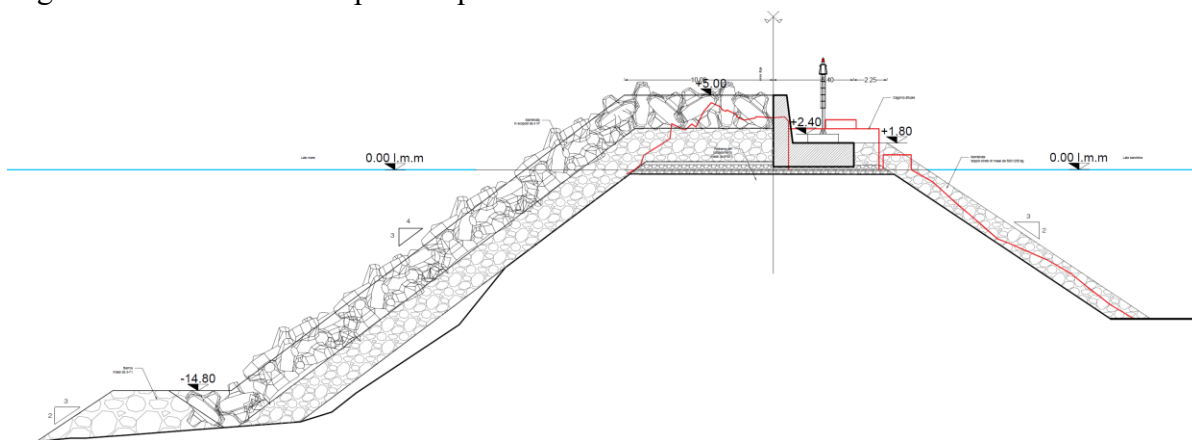


Figura 4.12 – Sezione corrente alternativa con mantellata in massi artificiali tipo “Accropodi” o variante “ecopodi” che differisce dal precedente per il suo aspetto roccioso e il suo colore modulare permettendo una migliore integrazione paesaggistica

La Società francese CLI (Concrete Layer Innovation) primo costruttore di tali massi artificiali ha brevettato anche un altro tipo di elemento simile all'Accropodo denominato “Ecopodo” che si fonde più armoniosamente con l'ambiente circostante e può essere utilizzato per costruire una struttura di più facile inserimento paesaggistico (vedi Figura 4.13). Questo tipo di masso ha la stessa robustezza ed elevata stabilità idraulica dell'Accropodo migliorando l'aspetto estetico e l'inserimento in contesti ambientali di elevato pregio. **L'adozione di tale masso non comporta d'altra parte un risparmio significativo** in quanto lo stesso risulta ancora soggetto agli oneri di brevetto ventennale.

In definitiva **l'unica soluzione possibile ed approfondita nel presente progetto** è stata quella che prevede l'uso di massi naturali provenienti da cave di granito, sia per il nucleo che per gli strati più esterni della diga.



Figura 4.13 – Mantellata in Ecopodi (Immagine estratta da CLI: Concrete Layer Innovation-Francia)

5 COSTO DELLE OPERE

Il costo delle opere è stato individuato attraverso il computo metrico estimativo, applicando i prezzi ufficiali della Regione Sardegna relativi all'anno 2022 aggiornato ad agosto 2022 e dove mancanti al Prezzario della vicina Regione Lazio. Con riferimento al computo metrico estimativo riportato nello specifico elaborato, il quadro economico ottenuto relativo alle lavorazioni elencate è il seguente:

STAZIONE VLF - ISOLA DI TAVOLARA (OT)			
"RESTAURATION OF HEALTH AND SAFETY CONDITIONS TO OPERATE THE STATION"			
PROGETTO DEFINITIVO			
	IMPORTO PER LA ESECUZIONE DELLE LAVORAZIONI	IMPONIBILE	IVA ed eventuali altre imposte
A1	a misura	€ 0,00	€ 0,00
A2	a Corpo (IVA non imponibile ai sensi dell'art.72 del d.p.r. 63/72)	€ 5 811 224,83	€ 0,00
A3	In Economia	€ 0,00	€ 0,00
A	TOTALI (A1+A2+A3)	€ 5 811 224,83	€ 0,00
	IMPORTO DEI COSTI DELLA SICUREZZA (non soggetti a ribasso)	IMPONIBILE	IVA ed eventuali altre imposte
B1	a misura	€ 58 584,87	€ 0,00
B2	a Corpo (IVA non imponibile ai sensi dell'art.72 del d.p.r. 63/72)	€ 0,00	€ 0,00
B3	In Economia	€ 0,00	€ 0,00
B	TOTALI oneri per la sicurezza (B1+B2+B3)	€ 58 584,87	€ 0,00
	IMPORTO DEI LAVORI DA APPALTARE (A+B)	€ 5 869 809,70	€ 0,00

Si evidenzia che i costi di realizzazione dell'opera foranea raggiunti con il presente progetto definitivo, sono maggiori di quelli individuati con il progetto preliminare a causa dell'aumento dei volumi necessari per la costruzione della mantellata esterna della nuova diga foranea. Per comprendere i motivi di tali rilevanti modifiche si deve ricordare che le mareggiate succedutesi dal 2015 sino ad oggi hanno determinato successivi scoscendimenti degli elementi costitutivi l'esistente mantellata (in parte naturali ed in parte artificiali) che hanno raggiunto il piede dell'esistente opera di difesa situata a profondità rilevanti (variabili da -10,0 m in sezione corrente a -19,0 m sul l.m.m. in testata) comportando un notevole degrado delle sezioni trasversali dell'attuale diga foranea.

I risultati ottenuti con il modello fisico bidimensionale in canaletta hanno, inoltre, avvalorato la validità dei calcoli matematici dei principali parametri di progetto (peso dei massi naturali e della pendenza della mantellata), confermando la stabilità e sicurezza dell'opera.

Le suddette prove hanno dimostrato che le nuove sezioni trasversali della mantellata di progetto, caratterizzata da una pendenza minore (assunta pari a 1/2 rispetto all'attuale 2/3), implica il raggiungimento di maggiori fondali di imbasamento sia per le sezioni correnti che per la testata.

Di conseguenza la nuova diga foranea ha richiesto l'impiego di un quantitativo di materiale decisamente superiore a quanto si era ipotizzato nel PFTE. Infatti nel progetto di fattibilità tecnico economico si era prevista la fornitura di circa 12.393 t di massi naturali di peso medio compreso tra 7 e 12 t, mentre nel presente progetto definitivo le quantità necessarie,

relative alla stessa tipologia di materiale, ammontano a circa 65.713 t.

Una verifica speditiva delle modifiche apportate può essere effettuata confrontando le precedenti figure 4.1 e 4.4 relative rispettivamente alla sezione tipo del progetto di fattibilità e del presente progetto definitivo.

Peraltro tutti i costi sono stati aggiornati con il nuovo prezziario Regionale della Regione Sardegna (pubblicati ad Agosto 2022) in cui si evidenzia come il prezzo dei massi naturali sia quasi raddoppiato (aumento maggiore del 56%), passando da 27,5 €/t a circa 43,0 €/t. Ciò implica che il solo aumento dei prezzi (inizialmente riferiti all'anno 2021 e successivamente al secondo semestre del 2022) determina un maggiore costo dell'opera di oltre un milione di Euro.

Nel presente progetto definitivo si è voluto anche valutare il costo di realizzazione utilizzando un'altra tipologia di opera a gettata ipotizzando di utilizzare per la mantellata esterna uno strato di massi artificiali tipo Accropodi. Il costo complessivo di tale soluzione comporta un risparmio rispetto a quello relativo all'utilizzo dei massi naturali, **ma occorre considerare che per motivi ambientali, il masso artificiale, considerando la notevole importanza e valenza del sito di esecuzione dell'opera dal punto di vista ambientale e naturalistico, risulta più impattante.** Per tali ragioni si ritiene il masso naturale, la migliore e unica possibilità per il sito in esame, tenuto conto dell'iter di approvazione ambientale a cui deve essere sottoposta l'opera di difesa portuale di progetto.

6 TEMPO DI ESECUZIONE DELL OPERE

Il tempo di esecuzione delle opere può essere ricavato in base al crono-programma allegato, basato su una logica successione dei lavori e su una produttività compatibile con le capacità di un'impresa di "medie" dimensioni e con le difficoltà connesse allo svolgimento dei lavori prevalentemente da mare e con mezzi marittimi, tenendo presente che l'approvvigionamento dei materiali e ogni trasporto di attrezzature e apprestamenti deve essere eseguito esclusivamente con mezzi marittimi e via mare.

CRONO - PROGRAMMA DEI LAVORI												
Tempi di esecuzione delle varie lavorazioni: Mesi	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Allestimento cantiere: recinzioni, piano di posa ed installazione baraccamenti nell'isola di Tavolara	■											
Installazione delle macchine di cantiere e trasporto mezzi di cantiere	■	■										
Salpamento materiale lapideo sui fondali a tergo radice del molo di sopraflutto		■										
Sistemazione fronte di accosto per l'ormeggio dei mezzi marittimi		■	■									
Salpamento e ricollocamento in opera o stoccaggio provvisorio massi artificiali e naturali diga esistente		■	■	■								
Demolizione calcestruzzi esistenti diga foranea (entro e fuori acqua) con ricollocamento in opera			■	■	■							
Realizzazione della pista di transito (da testata a radice della diga) e intasamento con pietrame			■	■	■	■						
Creazione sagome nucleo diga sommersa con massi artificiali e materiale lapideo salpati in precedenza			■	■	■	■	■					
Realizzazione berme al piede della mantellata			■	■	■	■	■	■				
Fornitura e posa in opera strati filtro				■	■	■	■	■	■			
Fornitura e posa in opera massi naturale mantellata				■	■	■	■	■	■	■		
Realizzazione del coronamento in calcestruzzo dotato di muro paraonde					■	■	■	■	■	■		
Demolizione pavimentazione esistente piazzale Ovest superiore							■	■	■	■		
Rifacimento pavimentazioni piazzale Ovest superiore								■	■	■	■	
Demolizione pavimentazione esistente piazzale Ovest inferiore										■	■	
Rifacimento pavimentazioni piazzale Ovest inferiore										■	■	■
Rifiniture, controllo mantellata ed eventuali riposizionamento massi												■
Smobilizzazione cantiere, pulizia finale aree di lavoro												■