



Autorità di Sistema Portuale
dei Mari Tirreno Meridionale
e Ionio

**REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO
DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL
RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE
CIG: 945919784C - CUP: F11J18000050005**

PROGETTO DEFINITIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE INDICATO

Mandataria:



Mandanti:



Ing. Arturo VELTRI

Progettazione:

HYSOMAR - Ing. Alberto BORSANI (Coordinatore e responsabile delle Integrazioni Specialistiche)
HYSOMAR - (Progettazione generale e marittima)
HYPRO - (Progettazione strutturale, impiantistica, paesaggistica ed ambientale)
Ing. Arturo VELTRI - (Modelli specialistici)

Geologia:

HYPRO - Dott. Giuseppe CERCHIARO

Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione:

HYSOMAR - Ing. Antonella PASTORE (Coordinamento sicurezza in fase di progettazione)

Gruppo di lavoro:

Ing. Gianluigi FILIPPO (HYSOMAR)
Geom. Alfredo VOMMARO (HYSOMAR)
Ing. Maurizio CARUSO (HYPRO)
Ing. Raffaele CIARDULLO (HYPRO)
Ing. Vincenzo SECRETI (HYPRO)



Appaltatore:

FRANCO GIUSEPPE s.r.l



Elaborato:

RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

CODIFICA

Al 12 - 2022

CODICE DOCUMENTO

1 0,4 OM R,H 0,1

REV.

0

SCALA

ELABORATO

04.OM.R01

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Giugno 2023	1° EMISSIONE	G. FILIPPO	A. PASTORE	A. BORSANI

Visto:

Il Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Maria Carmela DE MARIA

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

SOMMARIO

PREMESSA	1
1. INQUADRAMENTO GENERALE E STATO DEI LUOGHI.....	2
1.1. Ubicazione territoriale del Porto Vecchio di Crotona	2
1.2. Inquadramento del paraggio di Crotona	2
1.3. Caratteristiche morfologiche del tratto di costa	6
2. ATTIVITÀ CONOSCITIVE DI RILIEVO, INDAGINE E STUDI SPECIALISTICI	8
2.1. Rilievo topo-batimetrico e morfologia costiera e dei fondali	8
2.2. Inquadramento geologico	9
2.3. Definizione del clima meteomarinico a largo e sottocosta	11
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO	15
3.1. L'iter progettuale.....	15
3.2. Descrizione generale del Porto Vecchio di Crotona	15
3.3. Descrizione tecnica della Diga Foranea di progetto	16
3.3.1. Descrizione delle opere a gettata in massi e/o scogli naturali (sezione di progetto in testata)	19
3.3.2. Descrizione delle opere a gettata in massi e/o scogli naturali (sezione di progetto in mezzateria)	20
3.3.3. Descrizione delle modalità costruttive della Diga Foranea di progetto.....	22
3.4. Descrizione tecnica del rimodellamento dei fondali del canale d'ingresso al Porto	
26	
3.4.1. Rimodellamento subacqueo con mezzi marittimi.....	27
4. VERIFICHE SPECIALISTICHE EFFETTUATE A SUPPORTO DELLA	
PROGETTAZIONE DELLE OPERE MARITTIME	29

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

4.1.	Studio di agibilità dell'imboccatura e dell'analisi interna portuale	29
4.2.	Verifica di stabilità idraulica delle opere a gettata.....	31
4.3.	Verifica alla tracimazione dei moli di sopraflutto e di sottoflutto	34

PREMESSA

Il presente elaborato fornisce le informazioni circa le metodologie e i criteri costruttivi utilizzati per la progettazione del prolungamento del molo foraneo esistente del Porto Vecchio di Crotona.

L'opera foranea contemplata dal presente progetto esecutivo è stata progettata nel rispetto del progetto definitivo approvato e degli elementi geometrici e costruttivi migliorativi offerti in sede di gara, oltre che sulla base dei rilievi topo-batimetrici aggiornati.

La presente relazione tecnica descrive l'insieme degli interventi delle opere marittime.

1. INQUADRAMENTO GENERALE E STATO DEI LUOGHI

1.1. Ubicazione territoriale del Porto Vecchio di Crotona

L'area portuale ricade nel territorio costiero di Crotona, comune calabrese che si affaccia sul mar Ionio.



Figura 1.1 – Inquadramento territoriale Porto Vecchio di Crotona

Il territorio di Crotona è caratterizzato da un paesaggio costiero, interessato da coste rocciose e da insenature di sabbia tra le quali quella occupata dall'area interessata al progetto di prolungamento della diga foranea di sopraflutto.

1.2. Inquadramento del paraggio di Crotona

L'inquadramento di un paraggio permette di conoscere il clima ondoso che caratterizza la costa, attraverso la ripartizione in frequenza, su classi di direzioni ed altezza d'onda, dei singoli stati di mare, caratterizzati dall'altezza H_s e dal periodo T_p dell'onda significativa e dalla direzione θ_m di provenienza, rilevati in un periodo pluriennale. Scopo

fondamentale di tali elaborazioni è quello di rappresentare il corpo della distribuzione di frequenza di accadimento delle onde a diverse scale temporali (stagionale, annuale etc).

Negli ultimi anni la tecnologia ha messo a disposizione nuove soluzioni basate su modelli numerici su scala regionale in grado di assimilare i processi fisici che descrivono i fenomeni meteomarinari per ottenere delle elaborazioni puntuali che si estendono su un arco temporale ben più ampio dell'estensione attuale della maggior parte degli strumenti di misura diretta. Con la tecnica dell'hindcasting, infatti, servizi come ERA5 di ECMWF o NOAA sono in grado di ricostruire le serie temporali per estensioni che possono superare i cinquant'anni.

La caratterizzazione del moto ondoso al largo di Crotona è stata effettuata a partire dall'analisi delle serie storiche registrate dagli ondometri del Tirreno Centro Meridionale della Rete Ondometrica Nazionale (RON) del Sistema Idrografico e Mareografico Nazionale, aventi una sufficiente serie storica di dati e un'esposizione del paraggio simile a quella di Crotona, oggetto del presente studio. In particolare, è stato preso in esame l'ondometro ormeggiato al largo di Crotona.

Lo scopo dell'analisi delle serie storiche dell'ondometro è rivolta a effettuare una modellazione del clima ondoso con una serie di dati più ampia possibile. La boa di Crotona è del tipo Datawell Directional Waverider MKII e registra i dati di moto ondoso a partire dal febbraio del 1999 (*Figura 1*). Essa è posizionata nel punto di coordinate geografiche pari a: Latitudine 39° 29' 28" e Longitudine 15° 52' 16". Allo stato attuale, le registrazioni a disposizione della boa di Crotona coprono il periodo luglio 1989 – dicembre 2014, che risulta la serie storica attualmente disponibile e, allo stesso tempo, sufficiente per la definizione di un clima meteomarinario e per un successivo studio di dinamica costiera di un paraggio. L'unica limitazione nel considerare gli eventi ondosi provenienti da Crotona è legata alla discontinuità temporale degli anni di misurazione, infatti, vi sono diversi buchi nella serie temporale. Pertanto, nell'analisi degli eventi estremi a prefissato periodo di ritorno, occorre essere cauti nella valutazione delle altezze d'onda significative, H_s , con elevati tempi di ritorno, T .

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME



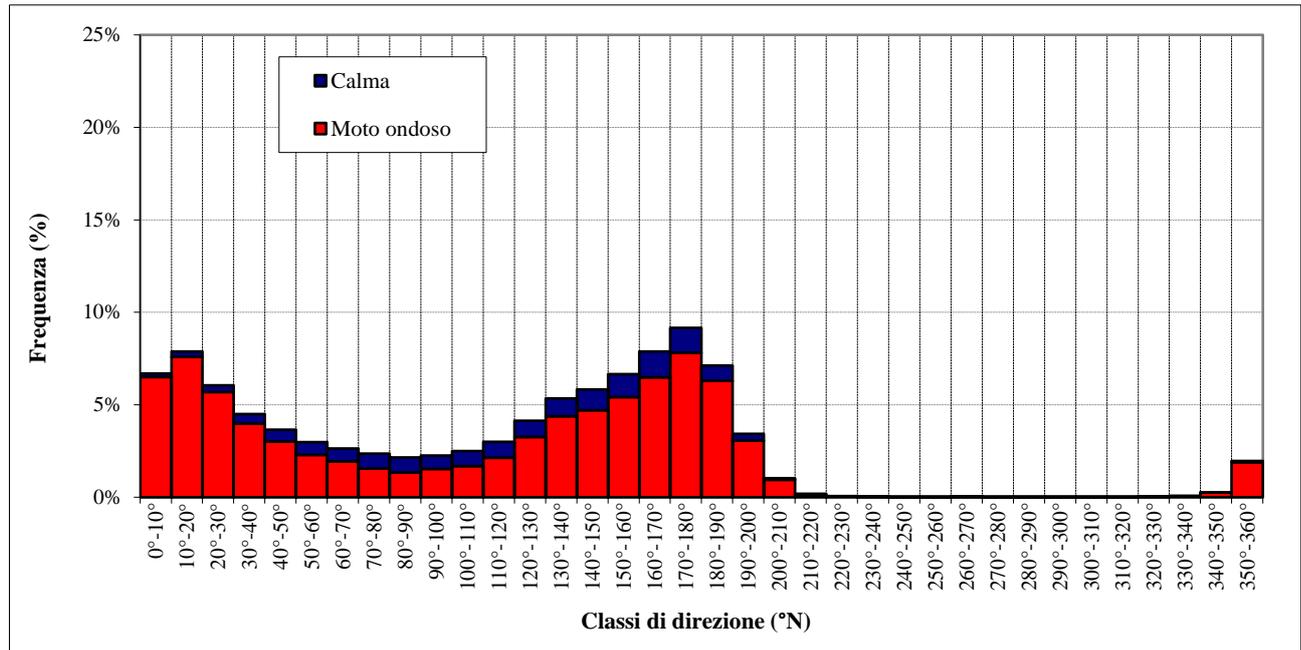
Figura 1.2 - Boa Datawell Directional Waverider (ondametro di Crotone)

Per la definizione del clima ondoso al largo di Crotone, sono state effettuate le elaborazioni dei dati a partire dalle serie storiche degli ondometri RON che riportano, con cadenza temporale trioraria, altezza d'onda significativa, periodo di picco dello spettro, periodo medio, direzione media di propagazione, temperatura dell'acqua, densità spettrale, direzione media spettrale di propagazione, curtosi, skewness e spread. I dati meteomarini della boa in esame sono stati acquisiti presso il sito www.idromare.it, previa opportuna registrazione.

Gli stessi risultati ottenuti dai dati di boa di Crotone sono riportati attraverso un istogramma (Fig. 1.3), in cui le calme ($H_s < 0.25$ m) sono state separate dagli eventi di moto ondoso ($H_s > 0.25$ m).

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

**Figura 1.3 - Percentuali di apparizione del moto ondoso al largo di Crotona**

In Fig. 1.4 sono state riportate, sotto forma di diagramma polare, le frequenze di apparizione delle classi di altezza d'onda significativa suddivise in questo caso, per maggiore accuratezza, in settori direzionali di 10°. Gli eventi ondosi aventi $H_s > 4$ m sono stati raggruppati in una stessa classe in modo da avere una visualizzazione grafica più chiara.

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

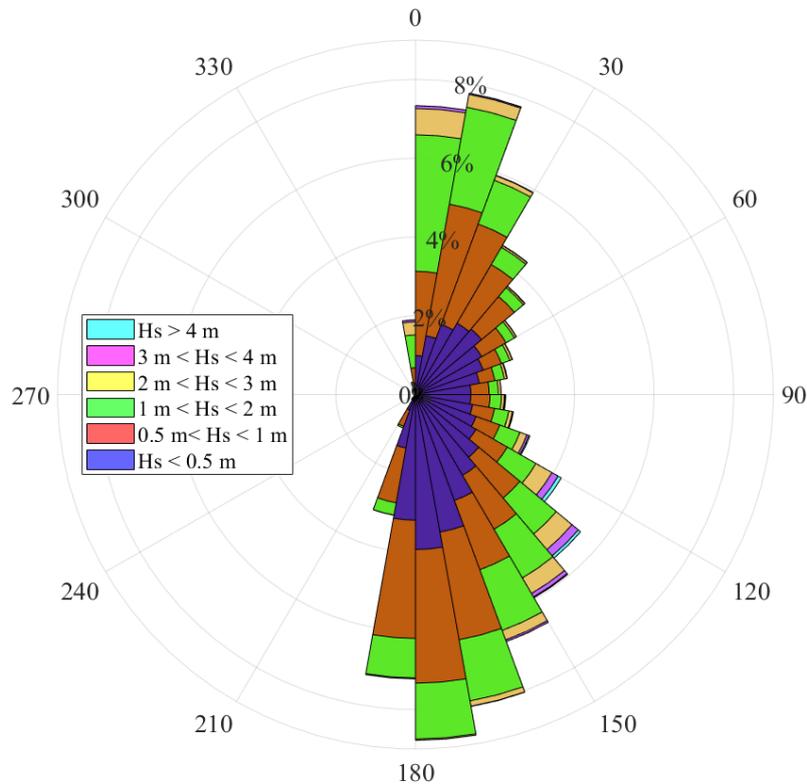


Figura 1.4 - Diagramma polare delle frequenze di apparizione degli eventi di moto ondoso al largo di Crotone

1.3. Caratteristiche morfologiche del tratto di costa

Il sito oggetto del presente progetto è caratterizzato da una morfologia di tipo costiera e la quota altimetrica media è compresa tra il livello del mare e la quota di 5.0 m s.l.m.. Le caratteristiche morfologiche dell'area sono derivanti dalla natura dei terreni che vi affiorano e dal loro assetto stratigrafico in relazione alle forti e persistenti attività morfodinamiche evolutive esercitate dal mare.

I gradienti clivometrici sono caratterizzati da valori generalmente bassi e da morfologie blande e piuttosto regolari in continuo stato di riequilibrio e rimodellamento. Localmente, l'area oggetto di studio comprende zone prospicienti alla linea di costa o nei pressi di essa, anche se attualmente risulta difficile definire l'esatta morfogenesi delle suddette aree ed il loro stato evolutivo, a seguito dell'intensa attività antropica presente nei luoghi,

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

le quali ne hanno completamente mascherato l'aspetto originario e alterato gli effetti degli agenti morfodinamici.

Per quanto riguarda la linea di costa si può affermare che, nell'area oggetto di studio, si riscontra un litorale ad andamento tendenzialmente lineare, con una leggera curvatura arcuata nella zona posta a Nord di Crotona, ed una interruzione di tale andamento, in corrispondenza della città.

Tale interruzione si esplica attraverso un prospiciente promontorio che si protrae verso il mare per alcune decine di metri. A Sud l'andamento del litorale riprende in modo regolare, poco o tendenzialmente arcuato. Quindi in definitiva si ha un litorale nel complesso ben livellato, stretto e quasi del tutto privo di irregolarità morfologiche.

2. ATTIVITÀ CONOSCITIVE DI RILIEVO, INDAGINE E STUDI SPECIALISTICI

Nel capitolo che segue verrà riportata una sintesi delle indagini e degli studi specialistici effettuati. Per una più approfondita lettura si rimanda agli elaborati specifici.

2.1. Rilievo topo-batimetrico e morfologia costiera e dei fondali

Le attività di rilievo, svolte in data 20 marzo 2023, hanno previsto le seguenti fasi:

- Predisposizione del piano di navigazione;
- Installazione di una rete di capisaldi;
- Rilievo topografico della struttura portuale esistente, della spiaggia emersa (ove necessario);
- Rilievo batimetrico dei fondali dalla profondità di -0.5 m s.l.m. fino alla profondità di -8.5 m s.l.m..

La restituzione del lavoro ha previsto la redazione dei seguenti elaborati:

- Relazione di rilievo topo-batimetrico, corredata da documentazione fotografica, in cui vengono descritte la strumentazione utilizzata, le modalità di rilievo e di elaborazione dei dati;
- Tavole plano-batimetriche che riportano la linea di riva aggiornata alla data del rilievo, i transetti topo-batimetrici, il quadro delle rotte di navigazione (strisciate punti battuti) e il modello del terreno (DTM), la rappresentazione batimetrica in scala cromatica con indagine dei fondali;
- Allegati alle tavole plano-batimetriche: profili trasversali delle sezioni.

Il rilievo batimetrico è stato esteso per un'area di circa 270.000 m², per un fronte mare di circa 400 m, fino alla profondità di -8,50 m s.l.m..

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

La tabella a seguire è indicativa dei vertici di poligonale che racchiudono l'area da investigare.

COORDINATE VERTICI SUPERFICIE RILIEVO BATIMETRICO		
Num. Vertice	Piane UTM – WGS84	
	EST (m)	NORD (m)
1	4227361.4432	684508.5336
2	4327640.6849	684772.2746
3	4327809.7448	684866.0227
4	4327696.9075	684935.8510
5	4327596.1134	684845.7597
6	4327573.1599	684913.3973

I punti di rilievo batimetrici sono stati allineati lungo n.20 transetti sub-ortogonale e n.1 transetto sub parallelo all'allineamento medio della linea di riva, paralleli fra loro ad un interasse di 20 metri per le aree esterne e di 10 metri per le aree centrali, che hanno determinato le rotte di rilievo.

Il rilievo è stato effettuato con mare calmo e sono stati acquisiti n.1017 punti tra batimetria e topografia. I rilievi sono stati corredati di cronogramma orario delle attività, in modo che i punti batimetrici battuti e riferiti ai su citati capisaldi vengano essere successivamente riferiti al livello medio mare.

Al solo fine illustrativo il rilievo topo-batimetrico è stato integrato da un rilievo fotogrammetrico eseguito con dispositivo drone, utile alla individuazione di alcuni particolari tecnici relativi alle opere foranee esistenti, difficilmente riscontrabili in modo diverso.

2.2. Inquadramento geologico

Il riconoscimento delle caratteristiche geologiche permette di definire l'assetto stratigrafico dei terreni presenti nell'area investigata in termini di individuazione delle singole unità litologiche, modalità ed età della loro messa in posto, caratteri evolutivi reciproci rapporti geometrici, definizione e caratteri delle acque di scorrimento superficiali e profonde.

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

Nel sito oggetto di studio e per un'area sufficientemente ampia affiorano terreni di origine sedimentaria che si sono depositati in un intervallo di tempo compreso tra 3,4 milioni di anni fa e l'attuale. In particolare si tratta di una potente formazione argilloso marnosa di colore grigio azzurro ricoperta, attraverso uno spessore variabile, ma in genere ridotto, di sabbia mi e medio fini a tratti limose e talora localmente di a ghiaiose. Le argille si presentano, generalmente laminate e con una consistenza variabile da media ad alta.

Verso la linea di costa, in corrispondenza della zona tidale ed interdida, la formazione argillosa viene ricoperta da sedimenti granulari di età olocenica. Si tratta di sabbie medio-fini generalmente a granulometria uniforme, prive di matrice fine o localmente, nella zona posta a Nord ossia nel “Porto Nuovo” poco limose.

Tale deposito presenta uno spessore piuttosto ridotto nella zona a Sud del promontorio di Crotona, mentre si approfondisce fino a 25-30 m nella zona posta nei pressi del “Molo Giunti” situato nel Porto Nuovo, per poi assottigliarsi nuovamente nella restante porzione dello stesso porto.

Per maggiori dettagli, circa il modello geologico dell'area, si rimanda, comunque, alle apposite sezioni geologiche, alla carta geologica ed alle stratigrafie di riferimento dei sondaggi geognostici realizzati nel luogo.

Diversi fronti di scavo presenti nelle aree vicinali permettono una conoscenza diretta della litologia affiorante mentre, per i depositi più profondi si fa riferimento alla bibliografia geologica disponibile e ai sondaggi meccanici effettuati.

Dai rilievi di campagna, dalla consultazione della Carta Geologica della Calabria, dall'esame aerofotogrammetrico e dallo studio di campagna non sono stati riscontrati elementi strutturali tali da creare problemi all'intervento previsto in progetto.

Inoltre, dal punto di vista strutturale l'area si presenta stabile; il rilievo geologico non ha, infatti, evidenziato faglie o movimenti tettonici attivi o quiescenti e stratigraficamente l'area in esame presenta uno schema abbastanza semplice.

2.3. Definizione del clima meteomarinario a largo e sottocosta

Di seguito sintesi dell'analisi condotta per la determinazione delle condizioni meteomarine a cui è esposto il paraggio di Crotona. Il report completo è disponibile all'interno della relazione “02.SP.R03 – Studio Meteomarinario al Largo e Sottocosta”.

La caratterizzazione del moto ondoso al largo di Crotona è stata effettuata a partire dall'analisi delle serie storiche registrate dagli ondometri del Tirreno Centro Meridionale della Rete Ondometrica Nazionale (RON) del Sistema Idrografico e Mareografico Nazionale, aventi una sufficiente serie storica di dati e un'esposizione del paraggio simile a quella di Crotona, oggetto del presente studio. In particolare, è stato preso in esame l'ondometro ormeggiato al largo di Crotona.

Successivamente si è condotto lo studio di propagazione del clima ondoso da largo verso riva in corrispondenza del paraggio di Crotona che è stata effettuata con il modello numerico SWAN, acronimo di Simulating WAVes Nearshore, la cui implementazione è stata sviluppata dal Dipartimento di Meccanica dei Fluidi del Politecnico di Delft (Olanda). Lo SWAN permette di ottenere stime reali dei parametri d'onda in aree costiere, laghi ed estuari una volta note le condizioni del fondo, del vento e delle correnti. In particolare, il modello simula lo sviluppo degli spettri d'onda che viaggiano da acque profonde verso acque poco profonde, come nel caso del moto ondoso che si propaga verso riva.

Il primo passo nello studio di propagazione del clima ondoso da largo verso riva con il modello SWAN ha riguardato la preparazione di una griglia di calcolo innestata sulla batimetria in corrispondenza del paraggio di Crotona. La modellazione del fondale marino è stata realizzata sulla base dei rilievi batimetrici della cartografia GEBCO e da rilievi di dettaglio fatti recentemente sotto costa nella zona della spiaggia attiva (emersa e sommersa) del tratto di costa del comune di Crotona interessato dall'intervento, effettuando in seguito un'interpolazione per triangolazione sulle batimetriche rilevate per avere tutti i valori di tutte le profondità nella griglia di calcolo considerata. Al fine di coprire in maniera significativa tutta l'area interessata allo studio meteomarinario, è stata utilizzata una prima serie di simulazioni utilizzando una griglia di calcolo rettangolare avente

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

dimensioni 6500 m in lunghezza e di 6900 m in larghezza, avente un numero pari rispettivamente a 260 maglie e 276 maglie, aventi ciascuna dimensioni 25 m x 25 m, che si estendono a partire da profondità di circa 200 m, nella condizione di acque profonde ($d/L > 0.5$) per tutti gli attacchi ondososi, fino a terra.

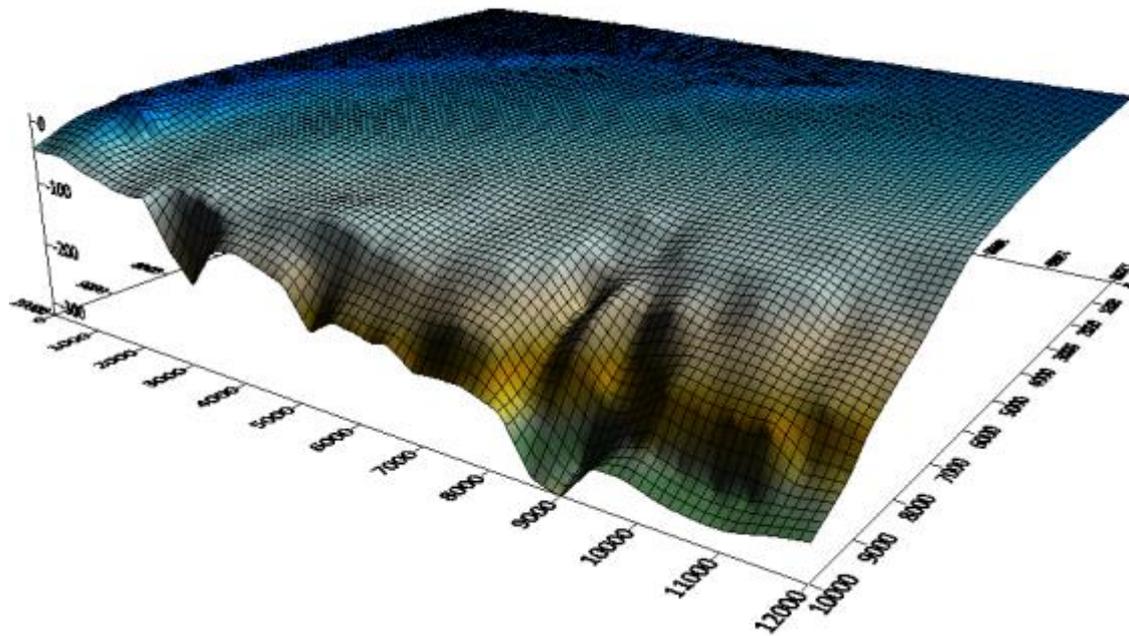


Figura 2.1 - Visualizzazione 3D della batimetria all'interno della griglia generale, con evidenziazione delle mesh adottate (vista da Nord)

È stato selezionato l'evento ondoso estremo del settore direzionale più significativo, con T (tempo di ritorno) = 50 anni, che risulta un tipico periodo per la progettazione di difese costiere quali barriere frangiflutto e pennelli. Esso è caratterizzato al largo, nella condizione indisturbata di acque profonde ($d/L > 0.5$), dai seguenti valori (vedi paragrafo relativo alla determinazione degli eventi estremi):

- $H_s = 5.61$ m, $T_p = 11.28$ s e $Dir = 125^\circ N$.

Per i periodi di ritorno più significativi, relativi a $T = 1, 5, 10, 20, 50$ e 100 anni e per i settori direzionali afferenti al settore di traversia di Crotona, in tabella sono mostrati,

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

rispettivamente, i valori di H_s a prefissato tempo di ritorno e i rispettivi valori di periodo medio, T_m e di periodo di picco, T_p , ottenuti sulla base delle correlazioni altezze - periodi precedentemente determinati. I valori maggiori delle onde estreme sono relativi al settore angolare omnidirezionale.

T (anni)	Settore 110°-140°			Settore 140°-170°			Omnidirezionale		
	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)
1	2.03	5.99	7.66	2.46	6.41	8.24	4.58	8.00	10.44
5	3.94	7.58	9.86	3.62	7.36	9.55	5.61	8.59	11.28
10	4.56	7.98	10.42	4.00	7.62	9.91	6.01	8.81	11.58
25	5.20	8.36	10.96	4.38	7.88	10.27	6.51	9.06	11.94
50	5.61	8.59	11.28	4.63	8.03	10.49	6.87	9.24	12.19
100	5.97	8.79	11.55	4.86	8.17	10.68	7.22	9.40	12.42

Tabella 1: Eventi estremi direzionali a prefissato tempo di ritorno al largo del paraggio di Crotone

Oltre alla propagazione del clima ondoso da largo verso riva, comprendente le diverse classi di altezza d'onda significativa suddivise per differenti settori direzionali, è stata effettuata attraverso il modello SWAN la propagazione da largo a sottocosta, fino al punto sottocosta rappresentativo posto alla batimetrica -10 m s.l.m., degli eventi estremi di moto ondoso associati ai periodi di ritorno più significativi ($T = 25$ e 50 anni). Ciò risulta indispensabile per il dimensionamento e nella verifica delle strutture di difesa costiera dall'erosione, in cui sono necessari i valori delle onde di progetto che possono direttamente incidere su di esse.

La tabella illustra i risultati della propagazione effettuata con il modello numerico SWAN per gli eventi estremi direzionali di moto ondoso associati ai periodi di ritorno più

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

significativi a livello di progettazione delle opere di difesa costiera dall'erosione (T = 25 e 50 anni).

T (anni)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	DIR (°N)	$\Delta\alpha$ (°)	DIR (°N)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)	ΔH_s (%)
25	5.20	8.36	10.96	125	-27.96	97.04	3.68	8.04	10.96	29.31
50	5.61	8.59	11.28	125	-28.73	96.27	3.93	8.32	11.28	29.98
25	4.38	7.88	10.27	155	-52.72	102.28	1.39	9.05	10.27	68.34
50	4.63	8.03	10.49	155	-53.37	101.63	1.50	9.31	10.49	67.56
25	6.51	9.06	11.94	110	-21.09	88.91	4.95	9.49	11.94	23.97
50	6.87	9.24	12.19	110	-21.68	88.32	5.11	9.90	12.19	25.58

Tabella 2: Eventi estremi direzionali di moto ondoso sottocosta con T = 25 e 50 anni (-10 m)

Dall'analisi dei risultati di tale tabella, si osserva un progressivo abbattimento del gradiente delle altezze d'onda significative estreme da largo verso riva all'aumentare del tempo di ritorno. Le rotazioni delle direzioni di propagazione tendono a essere più accentuate per il settore direzionale 140°-170°N con valori inferiori di H_s per i tempi di ritorno di riferimento.

L'onda di progetto utilizzata per le verifiche idraulico marittime ha le seguenti caratteristiche:

Tr (anni)	DIR (°N)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)
50	88.32	5.11	9.90	12.19

Tabella16: Caratteristiche dell'onda di progetto considerata

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

3.1. L'iter progettuale

La soluzione progettuale a cui si è pervenuti è frutto di un rigoroso percorso tecnico-scientifico che si può così sintetizzare:

- I) I risultati complessivi dei rilievi, delle indagini e degli studi hanno confermato il quadro conoscitivo generale rilevato nel progetto definitivo ed hanno permesso di avere un quadro aggiornato dello stato dei luoghi ed in particolare, delle dinamiche idraulico-marittime del litorale;
- II) È stato quindi verificato il funzionamento della soluzione del progetto definitivo individuando anche le debolezze/criticità e le possibilità/risorse a disposizione. La verifica ha portato alla decisione di confermare la soluzione progettuale del progetto definitivo integrandolo delle proposte migliorative offerte in sede di gara;
- III) Si è proceduto quindi ad ottimizzare la soluzione progettuale proposta a partire dalle indagini ed analisi di dettaglio realizzate nella presente fase;
- IV) È stato a questo punto verificato il funzionamento generale della soluzione del progetto definitivo ricercando ulteriori miglioramenti dei risultati;
- V) È stato, infine, dedicato l'ultimo sforzo agli aspetti di carattere funzionale interno che hanno permesso di progettare il prolungamento della diga foranea, il muro paraonde e gli spazi di manovra;
- VI) La redazione finale del progetto esecutivo ha permesso poi di completare la progettazione delle opere impiantistiche.

3.2. Descrizione generale del Porto Vecchio di Crotona

Il Porto Vecchio di Crotona è una delle principali infrastrutture portuali presenti sulla costa Ionica della Regione Calabria. Esso è classificato nella tipologia turistica/peschereccia.

Il porto di Crotona, da Masterplan Regione Calabria, è costituito da due bacini distinti, non comunicanti tra di loro. Il minore, situato nella zona est/sud-est della città, è più antico ed è denominato Porto Vecchio.

Il Porto Vecchio, per i suoi bassi fondali (circa cinque metri) e l'entrata difficoltosa, accoglie prevalentemente unità da diporto e pescherecci della locale marineria da pesca. Nell'ambito del porto è inoltre in esercizio un cantiere navale attrezzato per la costruzione di piccole unità di legno e per la riparazione e manutenzione di imbarcazioni da diporto.

Il Porto Vecchio nella zona E-SE della città è protetto da una larga scogliera banchinata internamente. Tutte le banchine sono munite di bitte da ormeggio. È iscritto nella 1° classe della 2° categoria dei porti marittimi nazionali, come da D.M. 04.12.1976 n° 4115.

Il Porto Vecchio presenta uno specchio acqueo di circa 66.000 m² che è racchiuso da circa 1.200 metri di banchina, ricavata lungo le calate interne e la scogliera. Esso presenta fondali variabili da tre a cinque metri ed offre ormeggio ad unità di piccolo tonnellaggio.

Nel bacino, per effetto della rifrazione sui fondali, si riscontrano scarse condizioni di ormeggio in presenza dei moti ondosi provenienti da Sud – Est che sono caratterizzati da elevata occorrenza e da ridotta altezza.

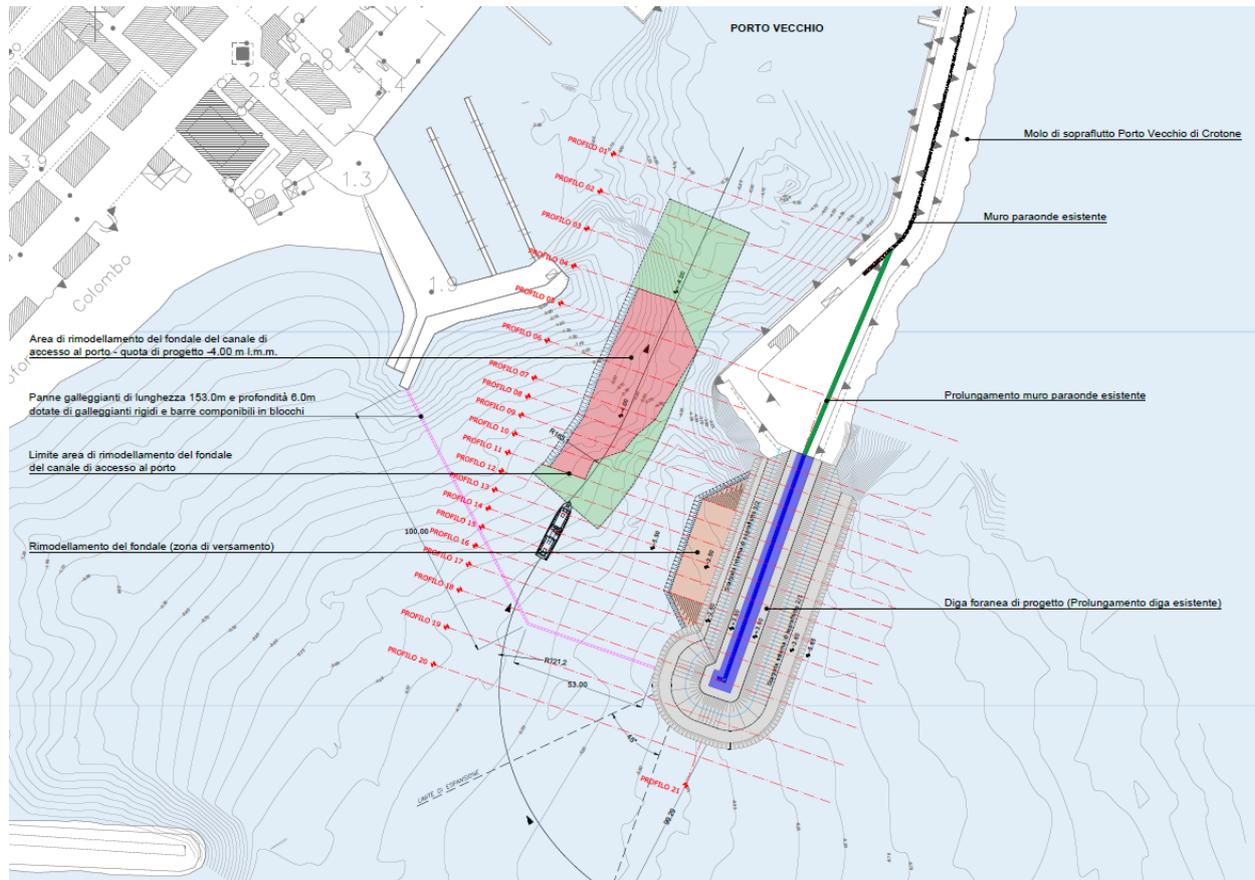
A causa di questi moti ondosi, sono frequenti i depositi nell'imboccatura dell'area portuale, provocando un innalzamento del fondale sabbioso mettendo a rischio le condizioni di navigabilità e l'accesso al porto.

3.3. Descrizione tecnica della Diga Foranea di progetto

La configurazione del prolungamento del molo foraneo di sopraflutto del Porto Vecchio di Crotona è caratterizzata da un naturale proseguimento del molo foraneo esistente. Il layout di progetto del prolungamento del molo foraneo di sopraflutto del Porto Vecchio di Crotona è mostrato in Figura.

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

**Figura 3.1 - Layout portuale di progetto**

L'opera di progetto consiste nei seguenti elementi principali:

- Il prolungamento della diga di sopraflutto a protezione del porto, di lunghezza complessiva di circa 130 m a partire dal tronco radicato al molo esistente, si sviluppa in direzione SW. Il molo è costituito da una scogliera esterna di protezione con mantellata in massi artificiali Antifer (elementi da 5.0 m³), postati in doppio strato in modalità “random” con pendenza 2:1. Lo stesso poggia su uno strato filtro costituito da scogli naturali in 1^a categoria (500-1000 kg) con pendenza 2:1 e su una berma al piede costituita da massi naturali di 3^a categoria (3-7 t) con pendenza 2:1. Il molo è dotato di muro paraonde che sovrasta la struttura fino ad una quota massima di + 5,60 m s.l.m.m. La parte interna è costituita da una scogliera con mantellata in scogli naturali di 3^a categoria (3-7 t) e con pendenza 3:2. Lo stesso

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

poggia su uno strato filtro costituito da scogli naturali in 1^a categoria (500-1000 kg) con pendenza 3:2 e su una berma al piede costituita da massi naturali di 2^a categoria (1-3 t) con pendenza 3:2. Le scogliere di protezione e lo strato filtro sono poggiati su un nucleo in Tout Venant. Il piano di posa dei piedi interni ed esterni è costituito da uno scanno di imbasamento in pietrame (100-500 kg) di spessore 70 cm, protetto al fondo da uno strato di geotessuto 400g/mq.

Si fornisce di seguito una descrizione dettagliata di tutte le componenti e le parti di opera di carattere strettamente marittimo, che rappresentano la parte predominante dei lavori. In particolare, sarà data una descrizione tecnica dettagliata del prolungamento del molo analizzate per singola sezione di opera, delle tecnologie costruttive e dei materiali impiegati.

Sarà inoltre fornita la descrizione tecnica del muro paraonde, delle caratteristiche della agibilità imboccatura portuale, del sistema di manovrabilità interno al bacino, del sistema di segnalazione d'ingresso dal porto.

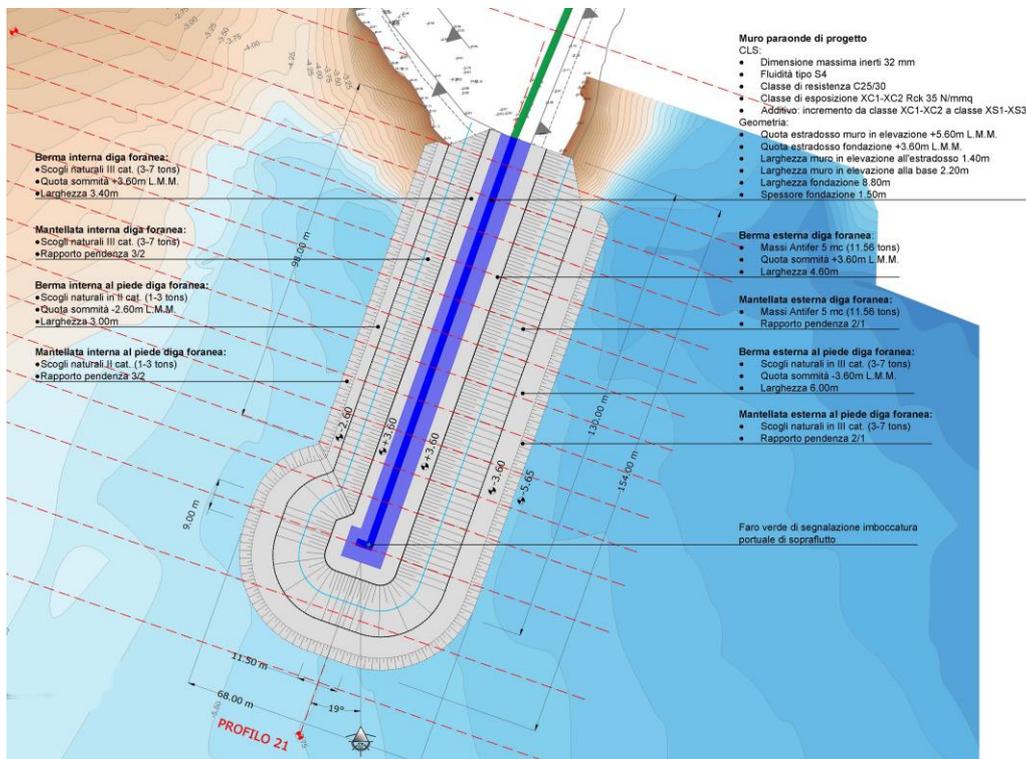


Figura 4.2 – Prolungamento della diga foranea di sopraflutto**3.3.1. Descrizione delle opere a gettata in massi e/o scogli naturali (sezione di progetto in testata)**

La testata di sopraflutto è la porzione finale della diga foranea. Questa presenta una conformazione a prisma a base cilindrica protetta dal muro paraonde sia sul fronte mare che sul fronte terra. Il muro paraonde si sviluppa lungo il naturale andamento della testata della diga.

La testata è costituita da un muro paraonde in cls avente le seguenti caratteristiche:

- quota all’estradosso pari a +5,60 m s.l.m.m.;
- larghezza all’estradosso pari a 1,40 m ed alla base pari a 2,20 m;
- spessore fondazione pari a 1,50 m;
- profondità complessiva della fondazione pari a 8,80 m.

Il muro paraonde si sviluppa, planimetricamente, con il proseguo naturale della testata della diga foranea. La forma ad “L” in prossimità della testata garantisce il paramento del moto ondoso proveniente da S-E e proveniente da S-W.

Il muro paraonde è protetto da una diga foranea di impronta trasversale complessiva circa pari a 68,8 metri, poggiata su un fondale sabbioso, avente le seguenti caratteristiche:

- nucleo, a sezione trapezoidale, costituito da Tout Venant con quota di sommità fissata a +0,50 m s.l.m.m.,
- piede interno, costituito in scogli naturali di 2^a categoria (1000-3000 kg), con pendenza 2:1 con quota alla sommità di -3,60 m s.l.m.m., poggiante su scanno di imbasamento in pietrame (100-500 kg) di spessore 70 cm e strato in geotessuto (400 g/m²);
- piede esterno, costituito in scogli naturali di 3^a categoria (3000-7000 kg), con pendenza 2:1 con quota alla sommità di -3,60 m s.l.m.m., poggiante su scanno di

imbasamento in pietrame (100-500 kg) di spessore 70 cm e strato in geotessuto (400 g/m²);

- strato filtro dello spessore di 2,00 m, costituito in scogli di 1^a categoria (500-1000 kg), con quota di sommità fissata a +2,10 m l.m.m., scarpa interna con pendenza 2:1 e scarpa esterna con pendenza 2:1;
- mantellata esterna dello spessore di 3,40 metri, costituita da massi artificiali di tipo Antifer da 5,00 mc (peso 11,56 t), disposti su due file in modalità “random”, con quota di sommità fissata a +3,60 m s.l.m.m. e larghezza pari a 4,60 metri, scarpa esterna con pendenza 2:1 con larghezza pari a 14,40 m;
- mantellata interna dello spessore di 3,13 metri, costituita da scogli naturali di 3^a categoria (3-7 t), con quota di sommità fissata a +3,60 m s.l.m.m. e larghezza pari a 3,40 metri, scarpa esterna con pendenza 3:2 con larghezza pari a 9,30 m.

Sul muro paraonde sarà riposizionato il faro di segnalazione a luce verde per l'accesso all'imboccatura portuale, che sarà dislocato dalla posizione originale.

3.3.2. Descrizione delle opere a gettata in massi e/o scogli naturali (sezione di progetto in mezzzeria)

La sezione in mezzzeria è descrittiva del tronco di diga foranea che precede la testata di sopraflutto.

La diga è costituita da un muro paraonde in cls avente le seguenti caratteristiche:

- quota all'estradosso pari a +5,60 m s.l.m.m.;
- larghezza all'estradosso pari a 1,40 m ed alla base pari a 2,20 m;
- spessore fondazione pari a 1,50 m;
- profondità complessiva della fondazione pari a 8,80 m.

Il muro paraonde è protetto da una diga foranea di impronta trasversale complessiva circa pari a 60 metri (la larghezza complessiva varia sezione per sezione) poggiata su un fondale sabbioso, avente le seguenti caratteristiche:

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

- nucleo, a sezione trapezoidale, costituito da Tout Venant con quota di sommità fissata a +0,50 m s.l.m.m.,
- piede interno, costituito in scogli naturali di 2^a categoria (1000-3000 kg), con pendenza 3:2 con quota alla sommità di -2,60 m s.l.m.m., poggiante su scanno di imbasamento in pietrame (100-500 kg) di spessore 70 cm e strato in geotessuto (400 g/m²);
- piede esterno, costituito in scogli naturali di 3^a categoria (3000-7000 kg), con pendenza 2:1 con quota alla sommità di -3,60 m s.l.m.m., poggiante su scanno di imbasamento in pietrame (100-500 kg) di spessore 70 cm e strato in geotessuto (400 g/m²);
- strato filtro dello spessore di 1,30 m dal lato interno e spessore 2,00 m dal lato esterno, costituito in scogli di 1^a categoria (500-1000 kg), con quota di sommità fissata a +2,10 m l.m.m., scarpa interna con pendenza 3:2 e scarpa esterna con pendenza 2:1;
- mantellata esterna dello spessore di 3,40 metri, costituita da massi artificiali di tipo Antifer da 5,00 mc (peso 11,56 t), disposti su due file in modalità “random”, con quota di sommità fissata a +3,60 m s.l.m.m. e larghezza pari a 4,60 metri, scarpa esterna con pendenza 2:1 con larghezza pari a 14,40 m;
- mantellata interna dello spessore di 3,13 metri, costituita da scogli naturali di 3^a categoria (3-7 t), con quota di sommità fissata a +3,60 m s.l.m.m. e larghezza pari a 3,40 metri, scarpa esterna con pendenza 3:2 con larghezza pari a 9,30 m.

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

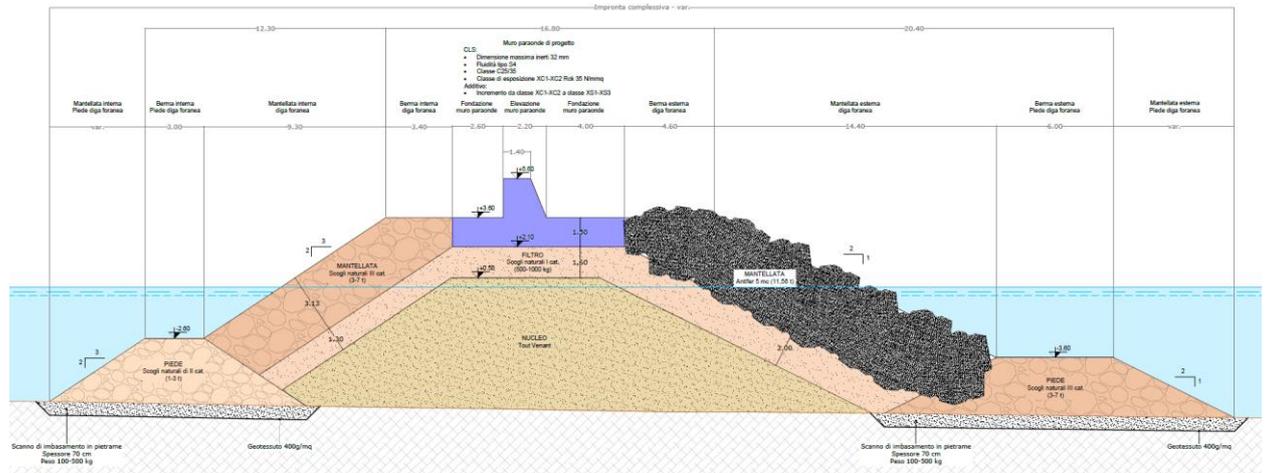


Figura 4.5 - Sezione tipo della diga foranea di Sopraflutto

3.3.3. Descrizione delle modalità costruttive della Diga Foranea di progetto

Nel presente paragrafo saranno descritte le modalità e le fasi costruttive da adottare per il prolungamento della diga foranea. L'inizio effettivo delle lavorazioni è preceduto dalle attività propedeutiche:

- Preparazione campo massi: è corrispondente alla zona in cui stazioneranno i mezzi, saranno predisposti gli uffici per la Direzione Lavori e box metallici al servizio del cantiere, per la produzione e la stagionatura dei massi Antifer da porre in opera. La superficie individuata verrà bonificata e pavimentata al fine di poterla rendere fruibile anche dopo il termine dei lavori.
- Inquadramento topografico area di lavoro: sarà necessaria una livellazione geometrica partendo dalle quote di riferimento del medio mare per l'altimetria e capisaldi materializzati all'interno dell'area per l'inquadramento planimetrico. I rilievi di inquadramento e posizionamento della struttura saranno eseguiti con sistemi satellitari GNSS integrate con misurazioni a mezzo di Stazioni Totali di precisione angolare (maggiore o uguale 3").

Le fasi costruttive sono in totale n.7 e sono:

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

- 1) **Formazione nucleo:** La lavorazione prevede la posa e formazione del nucleo in Tout Venant. Contestualmente, nel campo massi, si prosegue con la produzione dei massi Antifer.

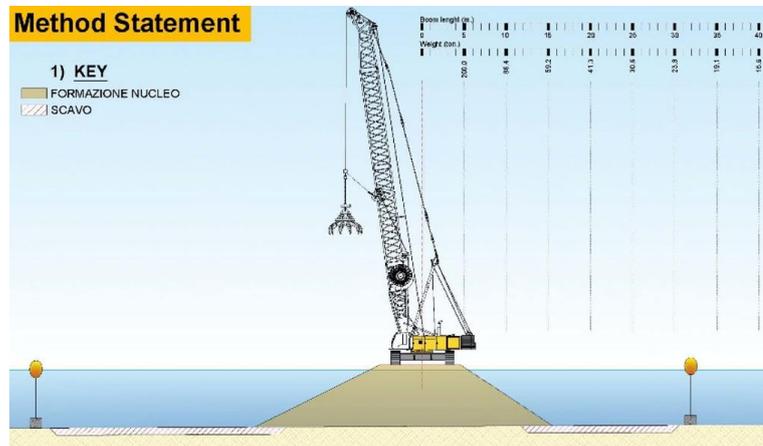


Figura 2 - Fase 1: formazione nucleo e inizio scanno di imbasamento

- 2) **Scanni di imbasamento e strato filtro:** La seconda fase di lavoro prevede la formazione degli scanni d'imbasamento e con inizio posa di parte dello strato filtro a protezione del materiale fine che lo costituisce. Lo scanno di imbasamento dei piedi esterno ed interno è realizzato previo stendimento del geotessile di sottofondazione. Durante le operazioni di formazione dello scanno d'imbasamento gli scavi subacquei necessari prevedranno lo spostamento del materiale escavato in area limitrofa, senza l'estrazione dello stesso dal pelo libero.

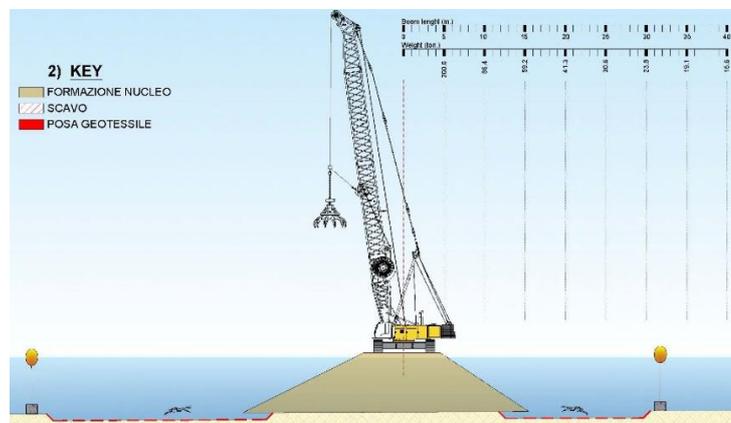


Figura 3 - Fase 2: formazione nucleo e posa geotessile

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

- 3) **Ultimazione nucleo e riempimento scanno di imbasamento:** La fase successiva consiste nell'ultimazione delle parti centrali del molo, ovvero il nucleo che verrà costipato e rullato secondo le misure progettuali ed il riempimento dello scanno di imbasamento. In questa fase si prevede, inoltre, la posa dello strato filtro (realizzato con massi di I categoria 100-500 kg) a protezione del nucleo da possibili mareggiate.

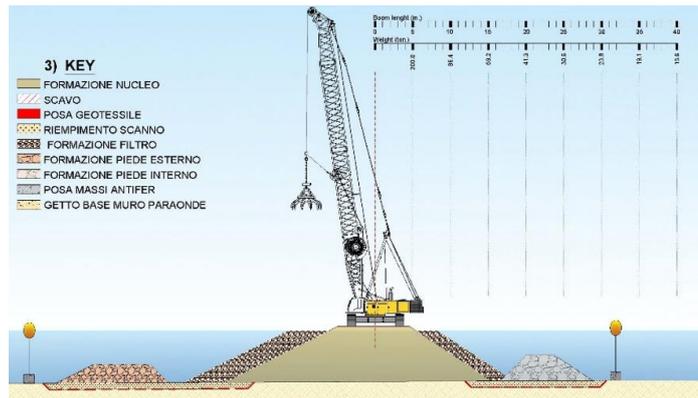


Figura 4 - Fase 3: ultimazione nucleo e riempimento scanno di imbasamento

- 4) **Completamento dello strato filtro e inizio posa mantellata interna:** Una volta ultimate le parti iniziali si passa alla posa definitiva dello strato filtro e la formazione sia del piede interno che del piede esterno del molo in progetto. In questa fase si prevede l'inizio della mantellata interna al molo (realizzata con massi di III categoria 1-3 ton.).

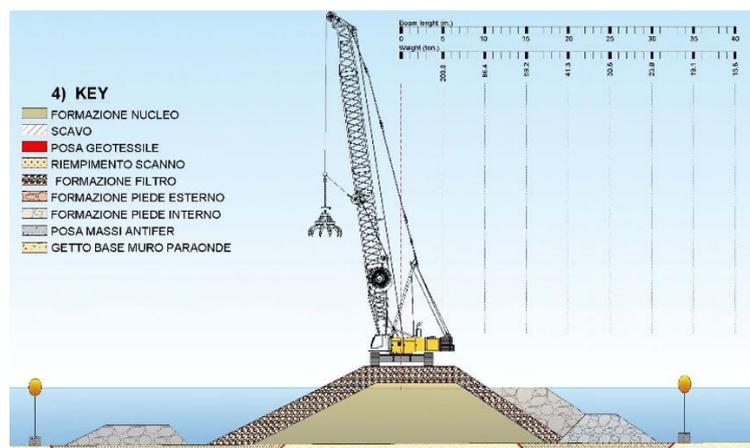


Figura 5 - Fase 4: completamento dello strato filtro e inizio posa mantellata interna

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

- 5) **Posa massi Antifer e completamento mantellata interna:** Ultimato lo strato filtro a protezione del nucleo in Tout Venant, nel rispetto delle pendenze previste, si inizia con la posa dei massi Antifer a protezione del paramento esterno del molo. Contestualmente si procede con l'ultimazione della mantellata interna al con massi di III categoria.

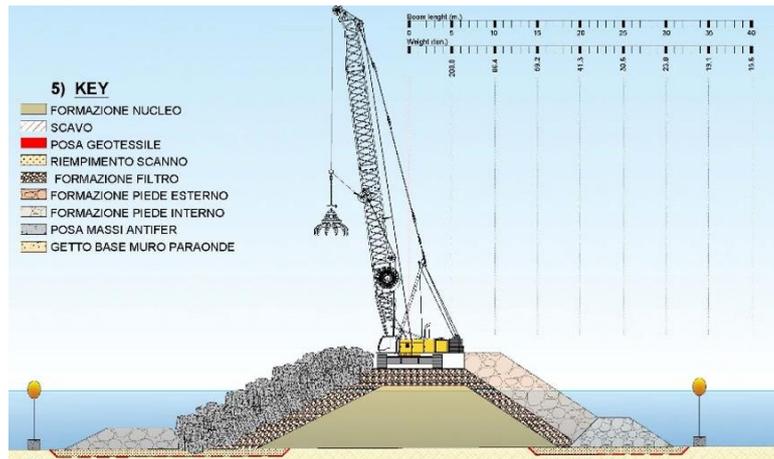


Figura 6 - Fase 5: posa massi Antifer e completamento mantellata interna

- 6) **Realizzazione fondazione muro paraonde:** La sesta fase di lavoro prevede la realizzazione della fondazione del muro paraonde e la predisposizione dei richiami di armatura per il muro stesso. In questa fase verrà ultimata la posa dei massi Antifer.

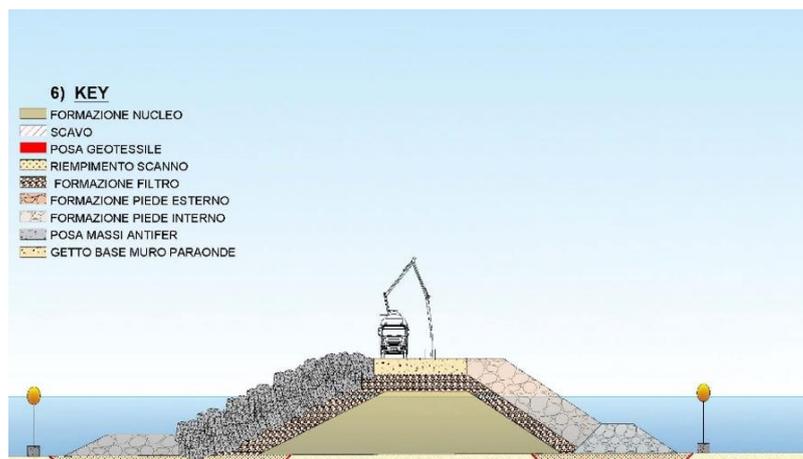


Figura 7 - Fase 6: realizzazione fondazione muro paraonde

- 7) **Realizzazione elemento in elevazione del muro paraonde:** L'ultima fase lavorativa consiste nella realizzazione del muro paraonde.

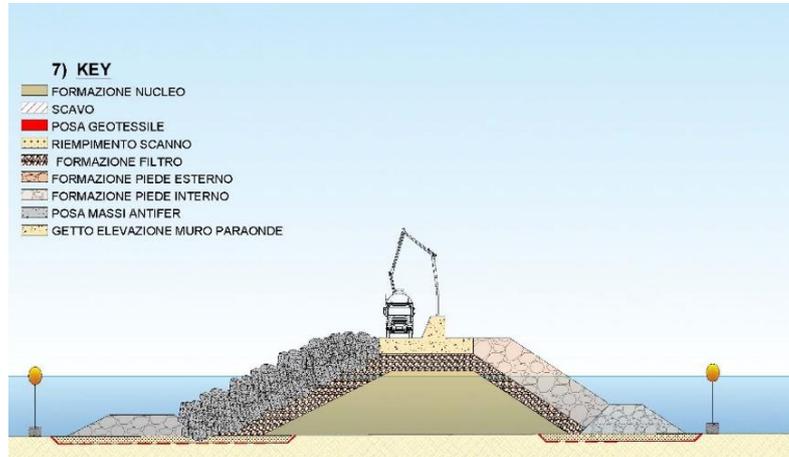


Figura 8 - Fase 6: realizzazione fondazione muro paraonde

3.4. Descrizione tecnica del rimodellamento dei fondali del canale d'ingresso al Porto

Il progetto prevede il rimodellamento dei fondali della fascia di ingresso al Porto Vecchio, di larghezza pari a 40.0 m e con profondità di progetto fissata a -4.0 m l.m.m..

Il rilievo batimetrico, realizzato nella fase d'indagine conoscitiva per presente progetto esecutivo, ha permesso di localizzare con precisione le aree nell'intorno dell'imboccatura caratterizzate da fondali con scarsa profondità. E' stato rilevato, infatti, che per alcune zone il fondale attuale raggiunge profondità pari a -2.85 m l.m.m.. Fortunatamente, dal rilievo batimetrico, si è riscontrato che tale criticità è localizzata esclusivamente tra la testata dell'attuale diga di sopraflutto e quella di sottoflutto (molo Sanità).

Diversamente a quanto previsto dal progetto definitivo, che prevedeva il dragaggio dei fondali, si è optato di intervenire con un semplice rimodellamento degli stessi in attuazione dell'art. 109 del D.lgs 152/2006 è stato emanato il Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 173 del 15 luglio 2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini".

L'art. 2 comma 1, lettera f) del D.M. 173/2016 definisce lo "spostamento in ambito portuale" come la "movimentazione dei sedimenti all'interno di strutture portuali per le attività di rimodellamento dei fondali al fine di garantire l'agibilità degli ormeggi, la sicurezza delle operazioni di accosto ovvero per il ripristino della navigabilità, con modalità che evitino una dispersione dei sedimenti al di fuori del sito di intervento".

Il D.M. 173/2016 all'art. 1 comma 2, lettera a) specifica, altresì, che tale Regolamento non si applica agli "spostamenti in ambito portuale" così come definito all'art. 2 comma 1, lettera f).

Tale procedura è decisamente più snella dal punto di vista burocratico in quanto non prevede, quindi, l'ottenimento dell'autorizzazione di cui all'art. 109 del D.Lgs. 152/2006, pur essendo ugualmente efficace in termini tecnici e di obiettivo.

Tale decisione è stata assunta in condivisione con la stazione appaltante e con il RUP durante la riunione del 22/3/2023 presso la sede dell'autorità di sistema.

Si procede con la descrizione tecnica dell'intervento.

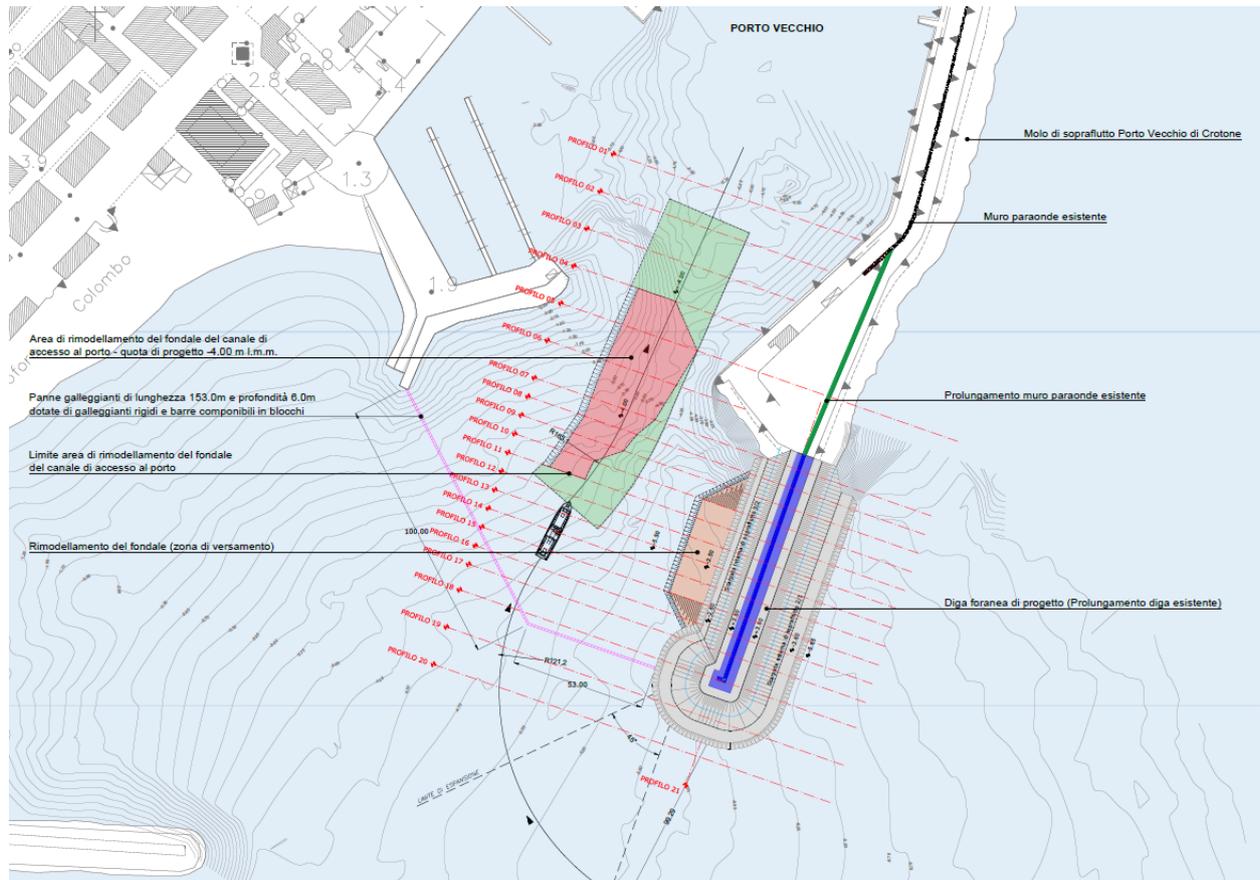
3.4.1. Rimodellamento subacqueo con mezzi marittimi

La sezione di rimodellamento subacqueo consiste nel prelievo del materiale sabbioso al di sotto del livello medio mare e lo sversamento in apposita area di destinazione nell'ambito del cantiere.

Il volume di escavo si calcola, mediante utilizzo di software grafico, sulla base delle sezioni trasversali al canale d'ingresso e stimando, di volta in volta, l'area di escavo moltiplicata per la relativa lunghezza di influenza. L'intervento consiste dello spostamento di circa 2600 m3 di materiale sabbioso dal canale di accesso al porto ad area limitrofa al piede della realizzanda diga foranea.

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

**Figura 9 – Planimetria di progetto di rimodellamento dei fondali**

Le sezioni interessate dalla procedura di rimodellamento (escavo) sono dalla n.4 alla n.11. Le sezioni interessate dalla procedura di versamento sono dalla n.10 alla n.15.

Per la mitigazione degli effetti sull'ambiente costiero, al fine di ridurre al minimo l'alterazione delle acque dovuta alle sabbie riversate, le operazioni di rimodellamento, all'occorrenza, saranno eseguite con l'impiego di idonee panne (o barriere) galleggianti anti - torbidità. Le caratteristiche tecniche delle panne galleggianti sono idonee al tipo di progettazione proposta. In particolare, le panne hanno una lunghezza di circa 153 m e di profondità pari a 6 m. Sono munite di galleggianti rigidi e barre componibili in blocchi di varia lunghezza, con attacchi per collegare alla catena di collegamento. Le panne hanno le caratteristiche per sopportare una velocità di rimorchiamento pari a 1 Kn/h, velocità del

vento pari a 10 Kn/h e della corrente pari a 2 Kn/h. Le panne supportano un'altezza d'onda pari a 0.5 m.

4. VERIFICHE SPECIALISTICHE EFFETTUATE A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DELLE OPERE MARITTIME

Si procede ad una sintesi delle verifiche specialistiche effettuata a supporto della progettazione delle opere marittime. Per una più approfondita lettura si rimanda alle relazioni dedicate.

4.1. Studio di agibilità dell'imboccatura e dell'analisi interna portuale

Vengono riportate nel seguito le verifiche effettuate per valutare l'efficacia dell'imboccatura portuale in relazione alla frequenza del fenomeno di frangimento.

L'altezza d'onda frangente in prossimità dell'imboccatura portuale, posta a profondità pari a circa -5.00 m s.l.m., è stata determinata mediante l'applicazione della relazione di Weggel (Shore Protection Manual, 1984):

$$\frac{h_f}{H_{sf}} = \frac{1}{b - aH_{sf} / gT_s^2} \quad (1)$$

in cui:

H_{sf} = altezza d'onda significativa frangente al piede dell'opera;

T_s = periodo significativo dell'onda incidente in prossimità dell'opera;

h_f = profondità di frangimento (m);

$a = 43.75 (1 - e^{-19 m})$;

$b = 1.56 / (1 + e^{-19.5 m})$.

m = pendenza media del fondale antistante l'opera.

Si ha:

$$h_f = 5.00 \text{ m}$$

$T_s = T_p / 1.1 = 12.19/1.1 = 11.08 \text{ s}$ (si è considerato il periodo di picco corrispondente alla mareggiata cinquantennale avente direzione di incidenza più gravosa);

$$m = 0.005.$$

Dall'applicazione della (1) si ottiene:

$$H_{sf} \cong 3.65 \text{ m}$$

Le norme USA suggeriscono quale criterio operativo di progetto una durata massima di 50 ore anno di onde frangenti all'imboccatura con riferimento all'altezza d'onda $H_{1\%}$ (superata una volta in un treno di 100 onde e pari a circa $1.5 H_s$ – v. “Porti turistici” L. Franco, R. Marconi).

Le mareggiate caratterizzate dal valore limite di frangimento $H_{1\%} = 3.65 \text{ m}$ presentano una altezza d'onda significativa $H_s = H_{1\%}/1.50 = 2.43 \text{ m}$.

Dall'analisi dei risultati riportati nell'elaborato “Studio Meteomarino a largo e sotto costa” (cod. 02.SP.R03) in merito alle frequenze ed alle relative persistenze delle classi di altezza d'onda sottocosta (tabb. 12 e 14), si evince che valori di altezza d'onda $H_s \geq 2.50 \text{ m}$ (tale è la classe d'onda più prossima al valore suindicato) presentano le seguenti percentuali di apparizione medie annue:

- Percentuale di apparizione del moto ondoso calcolata a partire dai dati della boa di Crotona = 0.61%; considerato che la frequenza annua degli eventi meteo marini caratterizzati da onde di altezza $H_s > 0.50 \text{ m}$ è pari al 56.30% (corrispondenti a circa 4932 h/anno), si ha che il numero medio di ore/anno caratterizzato da mareggiate con altezza d'onda superiore a 2.50 m è pari a:

$$n_{\text{ore/anno ECMWF}} = 4932 * 0.60/100 \cong 30 \text{ ore/anno}$$

Risulta quindi un valore medio di circa 30 ore/anno.

Tale valore di frequenza, inferiore alle 50 ore/anno, può ritenersi quindi sicuramente accettabile al fine di garantire un'ottimale agibilità dell'imboccatura portuale.

Il tracciamento della rotta d'ingresso è stato individuato con riferimento alla barca di lunghezza maggiore ($L = 32 \text{ m}$) ed assumendo quali direzione di provenienza del moto

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

ondoso sottocosta la DD110° N (mare da Est - Levante), cui sono connesse mareggiate di elevata intensità ($H_s = 5.11$ m con $T_r = 50$ anni).

Nei pressi dell'imboccatura, si è assunto che il natante procederà con direzione inclinata di 11°15' rispetto alla direzione d'incidenza delle onde (navigazione con il mare a 1/4); il natante navigherà con tale direzione fino all'altezza del molo di sopraflutto, tenendosi ad un'adeguata distanza dalla testata; nel caso in esame si è ipotizzato, in via cautelativa, che la distanza della rotta di ingresso dalla testata del molo sia almeno pari a circa 3 volte la lunghezza dell'imbarcazione $d \cong 100$ m.

Si ammette, inoltre, che la rotta del natante risulti rettilinea fino al raggiungimento della retta che individua il limite di alimentazione dell'onda incidente; successivamente, la manovra di ingresso attraverso l'imboccatura portuale avviene con raggio di virata pari a 3.0 volte la lunghezza dell'imbarcazione ($R = 96$ m).

4.2. Verifica di stabilità idraulica delle opere a gettata

La verifica della stabilità delle varie parti strutturali di una diga a gettata ha inizio dalla mantellata, cioè dalla parte che interagisce direttamente con i carichi agenti, proteggendo a sua volta il nucleo sottostante. La verifica riguarda sia la stabilità idraulica, ossia la capacità del singolo elemento a restare nella propria sede, sia la stabilità strutturale, cioè la capacità di resistenza a rottura dell'elemento stesso. Alla luce di tale distinzione, si definiscono due tipi di danno: danno relativo alla stabilità idraulica e danno relativo alla stabilità strutturale.

Dimensionamento mantellata esterna

Per il dimensionamento della mantellata le caratteristiche dell'onda considerata sono le seguenti:

Tr (anni)	DIR (°N)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)
50	88.32	5.11	9.90	12.19

Tabella10: Caratteristiche dell'onda di progetto considerata

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

Si sottolinea che nel progetto definitivo posto a base di gare l'altezza d'onda considerata è pari a 3.97 m, inferiore rispetto a quella considerata nell'ambito del presente progetto. Tale assunzione va a vantaggio di sicurezza.

Visti i limiti della formula di Hudson si è deciso di dimensionare la struttura mediante la formula di Van der Meer. Ciò nonostante verrà effettuato anche il calcolo con la formula di Hudson.

Pertanto, volendo dimensionare la mantellata con **massi naturali**, si è posto:

γ_m , il peso specifico dei massi, pari a 26000 N/m³ (peso specifico del masso);

γ_a , il peso specifico dell'acqua salata, pari a 10100 N/m³;

cota pari a 2 (con α l'angolo che la scarpata (paramento) forma con l'orizzontale);

p , fattore di permeabilità, pari a 0.4;

S , grado di danneggiamento ammissibile, pari a 2;

N , numero di onde contenute in una mareggiata, pari a 5000.

Ottenendo:

$$\xi_m = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}} = 3.37 \text{ e } \xi_{mc} = \left[6.2 p^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{1/(p+0.5)} = 3.77$$

Essendo nella condizione di onde frangenti di tipo *plunging* ($\xi_m < \xi_{mc}$) si è ottenuto:

$$\frac{H_s}{\left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1 \right) D_{n50}} = 6.2 p^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{0.5} \rightarrow D_{n50} = 0.68 \text{ m e } P = 857.12 \text{ kg}$$

Se si considera la formula di Hudson si ottiene:

$$P = \frac{\gamma_m H_s^3}{K_D \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot(\alpha)} = 6474.58 \text{ kg} \rightarrow D_{50} = 1.35 \text{ m}$$

Pertanto, per garantire una maggiore sicurezza, per la mantellata si è scelto di posare in opera massi artificiali di tipo ANTIFER di diametro nominale pari a 1.70 m, di peso specifico pari all'incirca a 2400 kg/m³, di peso all'incirca pari a 11500 kg, posizionati in due strati in modalità “*random*”.

In questo caso il livello di danneggiamento massimo atteso risulta pari a circa $S = 1.4$.

Dimensionamento piede esterno

Il piede della mantellata ha la funzione di sostenere e di proteggere il filtro, la mantellata ed il terreno sottostante dall'azione diretta del moto ondoso. Il dimensionamento dei massi al piede è determinato principalmente dalla profondità dell'acqua sopra la cresta in rapporto all'altezza d'onda incidente. All'aumentare della profondità si riduce l'azione idrodinamica e di conseguenza il peso dei massi necessario.

Secondo quanto previsto dal criterio di dimensionamento generale il peso dei massi è dell'ordine di $P/10$ rispetto al peso P dei massi di mantellata e la profondità della sommità del doppio strato dovrebbe essere maggiore di $1 H_s$ sotto il livello marino per non subire gli effetti della ridiscesa dell'onda in corrispondenza del cavo ed evitare il frangimento diretto. La verifica di stabilità del piede può essere effettuata con la moderna formula di Gerding (1993):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = \left(0.24 \frac{h_t}{D_{50}} + 1.6 \right) N_{od}^{0.15}$$

dove:

h_t = profondità cresta;

N_{od} = è il numero di danneggiamento (≤ 0.5 nessun danno, $0.5 \leq N_{od} \leq 2$ leggero spianamento, ≥ 4 completo spianamento);

Δ è la densità relativa in galleggiamento = $(\rho_{massi} / \rho_{acqua} - 1) = 1.378$.

Dai calcoli effettuati, e considerando un valore di N_{od} pari a 0.5, per la sezione corrente risulta necessario l'impiego di massi con diametro pari a 1.264 m e peso pari a 5.25 t. Pertanto, per la stabilità del piede della mantellata saranno utilizzati massi naturali di terza categoria.

Strato filtro e nucleo

Affinché una mantellata sia stabile, tali devono risultare anche gli strati sottostanti e il nucleo.

Il nucleo, disposto nella parte centrale dell'opera a gettata, è formato generalmente da un ammasso lapideo ottenuto da materiale di cava.

La funzione dello strato filtro consiste nella protezione del nucleo dall'azione del moto ondoso, che potrebbe asportare il materiale fine che lo costituisce. A sua volta lo strato posto direttamente sotto la mantellata deve essere formato da pietrame di dimensioni tali da non poter essere asportato attraverso i vuoti esistenti tra gli elementi della mantellata. Lo strato filtro, inoltre, deve fornire alla mantellata un sufficiente contrasto allo scivolamento.

Per il dimensionamento dello strato filtro si può scegliere lo schema di una diga a gettata con permeabilità all'incirca pari a 0.4 ovvero con proporzioni e rapporti dati dalle seguenti relazioni:

$$D_{n50,mantellata} / D_{n50,filtra} = 2$$

$$Spessore_{mantellata} = 2D_{n50,mantellata}$$

$$Spessore_{filtra} = 1 \div 1.5D_{n50,mantellata}$$

Per il filtro in oggetto si sono scelti massi naturali di diametro nominale pari a 0,8 m, di peso specifico pari all'incirca a 2600 kg/m³, di peso all'incirca pari a 1000 kg (I categoria), posizionati su due strati. Per il nucleo si è scelto del materiale misto cava (Tout Venant).

Mantellata interna e piede interno

L'aumento dei diametri della mantellata interna e/o del piede della mantellata non incrementa di molto la stabilità dell'opera. La mantellata interna risulta vulnerabile alla tracimazione. La sezione tipo proposta per l'opera da realizzare produce un esiguo valore di portata tracimabile (v. relazione di verifica alla tracimazione). Pertanto, per la mantella e il piede interno sono stati utilizzati, rispettivamente, massi di terza e seconda categoria.

4.3. Verifica alla tracimazione dei moli di sopraflutto e di sottoflutto

Il fenomeno della tracimazione si caratterizza per la non uniformità della portata

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

tracimante, sia nello spazio che nel tempo.

Tale superamento inizia a verificarsi a partire da un certo valore dell'altezza delle onde incidenti e varia con la quota di sommità (crest freeboard) oltre che con lo stato di mare.

L'accettazione o meno della tracimazione dipende dalle funzioni svolte dalla struttura di difesa, in quanto quest'ultima può essere nella sua sommità sede di elementi di costruzione suscettibili di danno in presenza di tracimazione.

La verifica al riguardo dell'overtopping è stata condotta considerando un'onda di progetto, con tempo di ritorno pari a 50 anni, determinata al piede dell'opera a una profondità di circa 7 m.

Le caratteristiche dell'onda considerata sono le seguenti:

Tr (anni)	DIR (°N)	Hs (m)	Tm (s)	Tp (s)
50	88.32	5.11	9.90	12.19

Tabella 2: Caratteristiche dell'onda di progetto considerata

Per il calcolo della portata media di tracimazione q (l/s per m), a tergo della berma di sommità e del muro paraonde previsto è stata considerata la formula proposta nel manuale EurOtop (2018).

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = \frac{0.023}{\sqrt{\tan(\alpha)}} \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp \left[- \left(2.7 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_s \gamma_f \gamma_\beta \gamma^*} \right)^{1.3} \right]$$

con un massimo di:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_s \gamma_f \gamma_\beta \gamma^*} \right)^{1.3} \right]$$

In cui:

R_c è la quota di coronamento sul livello medio del mare, pari in questo caso a +5.60 m s.l.m.;

H_s è l'altezza d'onda significativa al piede della struttura = 5.11 m;

“REALIZZAZIONE DELLA PROSECUZIONE DEL MOLO FORANEO DEL PORTO VECCHIO DI CROTONE PER MIGLIORARE IL RIDOSSO IN PRESENZA DI CONDIZIONI METEO AVVERSE”

04.OM.R01 – RELAZIONE TECNICA OPERE MARITTIME

γ_f è il fattore di correzione dovuto alla scabrezza della parete, che per il caso di mantellata realizzata in massi Antifer è pari a 0.47, come illustrato nella seguente tabella.

Type of armor	Min(γ_f)–Max(γ_f)
Smooth	1.00, 1.00
Rock (2 L)	0.40, 0.60
Cube (2 L, random)	0.47, 0.50
Cube (2 L, flat)	0.47
Cube (1 L, flat)	0.49, 0.50
Antifer (2 L)	0.47, 0.65
Haro ^R (2 L)	0.47, 0.63
Tetrapod (2 L)	0.38, 0.40
Accropode (1 L)	0.44, 0.55
Core-Loc TM (1 L)	0.44, 0.47
Xbloc ^R (1 L)	0.44, 0.49
Dolos (2 L)	0.43, 0.45
Cubipod ^R (2 L)	0.44
Cubipod ^R (1 L)	0.46

Tabella 3: Fattori di correzione per diversi tipi di rivestimenti

γ_β è il fattore di correzione dovuto all'incidenza del moto ondoso, che per la valutazione della portata di sormonto può essere definito dalla relazione già ricordata (EurOtop Manual, 2018):

$$\gamma_\beta = \begin{cases} 1 - 0.0033|\beta| & \text{per } \beta \text{ compreso tra } 0^\circ \text{ e } 80^\circ \\ 0.736 & \text{per } \beta \text{ maggiore di } 80^\circ \end{cases}$$

In cui β è l'angolo formato tra la normale alla struttura e la direzione di propagazione del moto ondoso in prossimità della stessa.

Essendo β a 0° il fattore di correzione risulta pari a 1.

γ^* è il fattore di correzione che tiene conto della presenza della berma e del muro paraonde e viene determinato mediante la seguente formula:

$$\gamma^* = 0.87\gamma_{prom}\gamma_v$$

dove:

γ_{prom} è il fattore correttivo che tiene conto della berma.

$$\gamma_{prom} = 1 - 0.47 \frac{G_c}{L_{m-1,0}}$$

in cui G_c è la lunghezza della berma e $L_{m-1,0}$ la lunghezza d'onda in acque profonde.

γ_v è il fattore correttivo che tiene conto della presenza del muro paraonde e viene determinato come segue:

$$\gamma_v = \exp\left(-0.56 \frac{h_{wall}}{R_c}\right)$$

in cui h_{wall} è l'altezza del muro paraonde (2.00 m).

Pertanto, la portata di tracimazione in l/s per m risulta essere pari a:

$$q = 0.09 \exp\left[-\left(1.5 \frac{R_c}{H_s \gamma_f \gamma_\beta \gamma^*}\right)^{1.3}\right] \sqrt{g H_s^3} = 0.9 \frac{l}{s} m$$

Tale valore di tracimazione secondo gli standard americani e la letteratura tecnica più recente (v. tabelle EurOtop 2007) non danno luogo in nessuno dei casi esaminati a danneggiamenti di tipo strutturale delle dighe a scogliera, degli impianti o delle imbarcazioni ($q < 50$ l/s/m).

Inoltre, viene preso in esame l'effetto della tracimazione nei confronti dei pedoni che si trovassero a transitare immediatamente al di sotto del muro paraonde e sono considerati accettabili con un minimo di disturbo i valori compresi tra 1.00 e 10.00 l/s/m (range in cui rientrano i valori ottenuti per tutti i casi esaminati).

Analogamente viene considerato l'effetto della tracimazione nei confronti del traffico veicolare e, a tal proposito, viene indicato che i valori limite di portata entro i quali è accettabile il transito degli autoveicoli a bassa velocità sono compresi tra i 10 l/s/m ed i 50 l/s/m; anche in tal caso i valori ottenuti rientrano nel range precedentemente indicato.