

AUTORITA' PORTUALE DI GIOIA TAURO

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

PROVVEDITORATO INTERREGIONALE OO. PP. SICILIA-CALABRIA

Ufficio Opere Marittime per la Calabria

REGGIO CALABRIA



PORTO DI CROTONE

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

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

A1

**RELAZIONE GENERALE
(aggiornamento)**

SCALA

Reggio Calabria

17 NOV. 2011

prot. n.

30143

Redatto da:

Dott. Ing. Franca Vampo

Dott. Ing. Giovanni Barone

Dott. Ing. Ermenegilda Tripodi

Dott. Arch. Carmelo Gramuglia

Geom. Giovanni Fiorenza

con la collaborazione:

Geom. Carmelo Polimeno

Geom. Girolamo Curciarello

Geom. Rosario Manno

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
(per conto dell'Autorità Portuale)

Dott. Ing. Giovanni Ricca

RELAZIONE

1. PREMESSE

La presente relazione integrativa accompagna l'aggiornamento del progetto definitivo per *“la realizzazione delle opere in prosecuzione del molo foraneo del porto vecchio di Crotona per migliorare il ridosso in presenza di condizioni meteo avverse”* redatto nel novembre 2008, resosi necessario sia per l'adeguamento dei prezzi unitari all'anno 2011 e sia in conseguenza delle risultanze delle analisi chimiche, fisiche e batteriologiche di caratterizzazione ambientale dei sedimenti marini del bacino portuale.

In particolare a seguito dei documenti A.R.P.A.Cal relativi allo studio *“di caratterizzazione dei sedimenti da movimentare nei lavori di escavo all'imboccatura del Porto turistico di Crotona”* con i quali oltre alle tradizionali analisi chimiche e microbiologiche sono stati illustrati anche i risultati delle indagini ecotossicologiche, si è reso necessario, in conformità alla zonizzazione in aree “A” “B”, “C”, “D” , “E”, “F” “O” e “P”, effettuata dalla stessa A.R.P.A.Cal in relazione alla pericolosità ambientale dei sedimenti da movimentare, modificare le modalità e le tecniche di scavo differenziandole per zone. Pertanto in conseguenza delle differenti tecniche modalità con le quali si devono eseguire gli scavi ed i dragaggi e per la sopraggiunta necessità di depositare la maggior parte dei relativi materiali di risulta in vasche di colmata preventivamente impermeabilizzate, si è reso necessario modificare i relativi prezzi unitari.

In tal senso stante che le aree di “escavo” interessate dal presente progetto ricadono in quelle specificate come “B”, “C”, “D” , “O” e “P” dall'anzidetta caratterizzazione A.R.P.A.Cal si è previsto che tutto il materiale proveniente dalle escavazioni, ad eccezione di quello dell'area “P”, quest'ultimo affetto da un certo grado di pericolosità ambientale, fosse conferito in una delle celle della vicina cassa di colmata ubicata nel porto nuovo di Crotona, a suo tempo realizzata per contenere i materiali di colmata dei piazzali retrostanti la banchina sud della darsena di sottoflutto. Tali celle, impermeabilizzate lateralmente e sul fondo con teli in HDPE, e tra di loro separate con argini impermeabili in materiale argilloso, rispondono alle caratteristiche di sicurezza richieste dal citato documento A.R.P.A.Cal nella classificazione “C2” (*sedimenti da sottoporre a procedure di particolare cautela ambientale: rimozione in sicurezza e deposizione in bacini di contenimento con impermeabilizzazione laterale e del fondo*).

I quantitativi delle materie da movimentare, risultanti dagli scavi e dai dragaggi, ammontano complessivamente a 21.744 mc circa, di cui:

a) mc 11.643 circa, provengono dagli scavi necessari per realizzare le opere foranee di sopraflutto e di sottoflutto secondo le sezioni di cui ai relativi elaborati progettuali.

Tali materie ricadono nelle aree "C", "O" e "D" e pertanto, oltre all'onere del conferimento in cassa di colmata, la relativa voce di prezzo include anche gli oneri da sostenere per il controllo ambientale dei sedimenti marini del fondo scavo (determinazioni chimiche, ecotossicologiche e microbiologiche) ed in cassa in cassa di colmata.

b) mc 10100 circa per il dragaggio dei fondali alla quota di - 4,00 m dal medio mare, di cui circa 9817 mc ricadenti anch'esse nelle aree "C", "O" e "D" e circa 681 mc ricadenti nell'area "P".

Pertanto per tali materie è risultato necessario formulare tre differenti voci di prezzo:

- 1) quella relativa allo scavo e conferimento in cassa di colmata degli 11.643 mc di materiale movimentato, quella relativa alla movimentazione dei 9817 mc, contenente anch'essa gli oneri per il controllo del fondo scavo ed in cassa di colmata, che è stata formulata analogamente alla voce di prezzo di cui al punto a). Il differente prezzo unitario attiene all'onere derivante dalle maggiori difficoltà operative e dall'impiego della draga;
- 2) quella relativa ai 681 mc, escavazione ricadente nell'area "P", la quale, oltre ad essere comprensiva dei predetti oneri di controllo del fondo scavo, comprende i maggiori oneri per l'escavo selettivo su piccole aree e per l'impiego di panne galleggianti munite di gonne nonché l'onere per il trasporto e conferimento in discarica autorizzata, appositamente individuata tramite la determinazione del codice CER e l'esecuzione dei test di cessione sui sedimenti.

Il presente aggiornamento provvede altresì alla realizzazione delle opere di chiusura della cella di colmata del porto nuovo impiegata per il confinamento dei materiali movimentati. Tali opere consistono nel soprastante riempimento con materiale arido e pietrame di cava per uno spessore di 1,90 m, in un ulteriore strato dello spessore di 30 cm in misto granulare stabilizzato, compattato alla densità del 95% dell'AASHO modificata, nel superiore strato di materiale anticapillare di idonea granulometria e relativo compattamento meccanico, ed infine del pacchetto di pavimentazione in conglomerato bituminoso dello spessore di 20 cm (10 cm per lo strato di base, 7 cm per quello di collegamento e 3 cm per lo strato di usura) in modo da raggiungere la quota della pavimentazione del piazzale, posta a quota di 2,50 m l.m.m.

2. GENERALITA'

Il porto di Crotona è iscritto nella 1° classe della 2° categoria dei porti marittimi nazionali, giusto D.M. 04.12.1976 n° 4115.

Esso si compone di due bacini distinti, non comunicanti tra loro: il più piccolo e più antico, porto vecchio, è situato nella zona E-SE della città; il principale, porto nuovo, situato a nord della città, è costituito da due bacini autonomi.

Il porto nuovo racchiude uno specchio d'acqua di circa 1.105.000 mq con fondali variabili dai 6 ai 12 m.

Le opere di protezione consistono:

- a levante: in un molo sopraflutto della lunghezza di 1725 m, orientato verso N-NW;
- a ponente: in un molo di sottoflutto, orientato verso NE, della lunghezza di 920 metri.

Le attività cui è preposto il porto nuovo di Crotona sono volte ad assicurare il servizio agli insediamenti industriali localizzati nell'area Crotonese (in particolare: Pertusola, Enichem e Cellulosa Calabria), nonché la movimentazione di merci varie a servizio di attività terziarie e della piccola industria dell'Interland.

Il porto vecchio, oggetto del presente intervento, presenta uno specchio acqueo di circa 66.000 mq che è racchiuso da circa 1200 metri di banchina, ricavata lungo le calate interne e la scogliera.

Esso presenta fondali variabili da tre a quattro 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.

L'intervento previsto nel progetto di che trattasi è finalizzato alla riduzione dell'agitazione ondosa nel bacino portuale del cosiddetto "Porto Vecchio" di Crotona mediante l'adeguamento dei moli esistenti. Esso è caratterizzato da un prolungamento del Molo di Sopraflutto di 120 m, dal prolungamento del Molo Sanità di 119 metri, di cui un tratto di 94 m in asse al molo esistente ed un tratto di 25 m ruotato rispetto a quest'ultimo di un angolo pari a 40°.

La bocca del porto ha così un'ampiezza di 81 m e si trova su fondali superiori a -4.0 m.

Con questa soluzione di adeguamento del porto (**Soluzione 19**) risultano ottimizzate anche le condizioni di navigabilità nell'accesso al porto.

3. INTERVENTI DI PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO DEL BACINO PORTUALE ED INTERVENTI FUTURI PER L'AMPLIAMENTO DEL PORTO

La disposizione planimetrica delle nuove opere è stata ottimizzata in base ai moti ondosi incidenti, alle simulazioni su modelli matematici dell'agitazione ondosa e del ricircolo delle acque nel bacino portuale, alle analisi relative all'interferenza con le spiagge adiacenti e alla verifica di navigabilità della bocca del porto.

Sono state formulate due soluzioni planimetriche: **la prima di adeguamento del porto, denominata Soluzione 19, che costituisce l'oggetto del presente progetto definitivo**, e la seconda di ampliamento del porto, denominata soluzione 12 che prevede una nuova darsena a Sud dell'esistente da realizzarsi in un secondo tempo sulla base di eventuali esigenze di sviluppo del porto.

Il progetto è stato redatto in base agli studi condotti nell'ambito della "Consulenza in materia di idraulica marittima finalizzata alla progettazione esecutiva di alcuni interventi nel Porto di Crotona", svolta dall'Ing. Franco Guiducci, nonché sulla base dei rilievi batimetrici eseguiti dalla Nautilus società cooperativa a.r.l. nel maggio 2005 che sono riportati nelle tavole e figure allegate, dei sondaggi eseguiti dalla ditta "Aquila Sondaggi srl" di Spezzano Sila e delle indagini geotecniche di laboratorio, sia di tipo fisico che di tipo meccanico, eseguite presso il laboratorio prove materiali "GEOCAL" di Cosenza.

Il progetto è corredato altresì delle relazioni geologica e geologico tecnica redatte nell'ambito della consulenza in materia di geologia tecnica svolta dal Dott. Carlo Lappano.

Sia gli studi di carattere idraulico marittimo, sia la consulenza geologica, sia le indagini geognostiche e geotecniche, in sito e di laboratorio, sia le rilevazioni topografiche e batimetriche sono stati eseguiti, per conto di quest'Ufficio progettista, con fondi di bilancio del Ministero delle Infrastrutture. A tale riguardo è stata redatta un apposita perizia-studi mediante la quale sono stati affidati gli studi, i rilievi e le indagini anzidetti.

Per il dimensionamento della sezione tipo del prolungamento del molo sopraflutto (sezione corrente) sono state condotte le verifiche di :

- stabilità idraulica della mantellata;
- risalita dell'onda sul paramento e tracimazione;
- stabilità del massiccio di coronamento e del muro paraonde;
- stabilità della fondazione;

- stabilità geotecnica globale in condizioni di esercizio e in caso di azioni sismiche.

Le verifiche di stabilità idraulica, risalita dell'onda, tracimazione e stabilità del massiccio di coronamento sono state condotte anche per la sezione di radice del prolungamento del molo sopraflutto e, per la testata del prolungamento, sono state condotte le verifiche di stabilità idraulica; per la sezione corrente del molo sopraflutto sono state condotte le verifiche di stabilità idraulica, risalita dell'onda, tracimazione e stabilità del muro paraonde.

La testata del molo sottoflutto è stata dimensionata come la sezione corrente essendo la parte terminale del molo non esposta all'azione diretta dei moti ondosi per la presenza del prolungamento del molo sopraflutto.

In particolare sono stati utilizzati i seguenti risultati di studi e modelli condotti per il bacino portuale nell'ambito della predetta consulenza:

- Studio del moto ondoso al largo e sua propagazione a riva ;
- Studio sull'interferenza tra l'opera di progetto e la linea di costa;
- Studio con modello matematico dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale;
- Verifica del corretto posizionamento dell'imboccatura portuale ai fini della navigabilità del canale di accesso al porto;
- Valutazione con modello matematico del grado di vivificazione delle acque interne al bacino portuale.

Il presente progetto prevede inoltre:

1) la ricarica di un tratto di 500 metri del molo foraneo esistente con scogli di categoria 3-7 Tonnellate (3^a categoria) in ragione di 65 t di scogli a metro.

Tale intervento di ricarica, del costo complessivo di € 1.100.000,00, potrà costituire uno stralcio funzionale del presente progetto, in quanto funzionalmente a se stante della soluzione progettuale sopra descritta.

In particolare il tratto di molo, oggetto della ricarica, ha subito nel corso degli anni danni diffusi entro il corpo della scogliera, a suo tempo realizzata in massi artificiali di calcestruzzo pozzolanico, a causa delle mareggiate che si sono abbattute lungo il litorale jonico calabrese. A tal proposito si ricordano le mareggiate, particolarmente violente, del 1990. I danni subiti sono facilmente riparabili con la prevista ricarica in scogli di 3^a categoria, che evidentemente svolge la funzione di restituire al molo

esistente la resistenza idraulica necessaria a fronteggiare le azioni ondose con le quali sono state progettate le opere di cui all'intervento principale.

2) il dragaggio dei fondali in prossimità della nuova imboccatura del porto fino alla quota di -4,0 metri dal medio mare, in conformità alla planimetria dei dragaggi che costituisce un elaborato del persente progetto definitivo

Complessivamente I quantitativi delle materie da movimentare, risultanti dalle escavazioni e dai dragaggi, ammontano a 21.744 mc circa, di cui:

a) mc 11.643 circa, provengono dagli scavi necessari per realizzare le opere foranee di sopraflutto e di sottoflutto secondo le sezioni di cui ai relativi elaborati progettuali.

b) mc 10.100 circa per il dragaggio dei fondali alla quota di - 4,00 m dal medio mare, di cui circa 8.500 mc ricadenti nelle aree "C", "O" e "D" e circa 1600 mc ricadenti nell'area "P". del documento A.R.P.A.Cal.

Per tali materie, tutte conferite in cassa di colmata, come descritto in premessa, sono state formulate tre differenti voci di prezzo in relazione alla classificazione della zona dalle quali provengono ed in funzione delle misure di mitigazione ambientali prospettate dall'A.R.P.A.Cal. Durante le fasi delle relative lavorazioni sono stati previsti i controlli ambientali dei sedimenti del fondo scavo ed in cassa di colmata.

3) la realizzazione delle opere di chiusura della cella di colmata del porto nuovo impiegata per il confinamento dei materiali movimentati. Tali opere consistono nel soprastante riempimento con materiale arido e pietrame di cava per uno spessore di 1,70 m, in un ulteriore strato dello spessore di 30 cm di materiale anticapillare di idonea granulometria e relativo compattamento meccanico, nel superiore strato di 30 cm in misto granulare stabilizzato, compattato alla densità del 95% dell'AASHO modificata, ed infine del pacchetto di pavimentazione in conglomerato bituminoso dello spessore di 20 cm (10 cm per lo strato di base, 7 cm per quello di collegamento e 3 cm per lo strato di usura) in modo da raggiungere la quota della pavimentazione del piazzale, posta pari a 2,50 m l.m.m.

4. DISPOSIZIONE PLANIMETRICA DELLE NUOVE OPERE E CONSIDERAZIONI SULLA SCELTA PROGETTUALE

Per determinare una disposizione planimetrica che assicuri condizioni di ormeggio nel porto accettabili, sono state eseguite simulazioni su modello matematico con moti ondosi provenienti da 50°N, 90°N e 130°N.

Le simulazioni con lo stato attuale ed i moti ondosi provenienti da Sud Est hanno riguardato il comportamento dell'attuale bacino nei riguardi dell'agitazione ondosa interna, riscontrando, per queste condizioni, una scarsa qualità dell'ormeggio.

Nelle successive simulazioni si è riprodotto un prolungamento del molo sopraflutto di 120 m.

Sono quindi state esaminate tre configurazioni che si differenziano per la posizione e l'ampiezza della bocca del porto ed una quarta che prevede anche un ampliamento del bacino portuale con la realizzazione di un molo di sottoflutto che parte dall'esistente pennello-passeggiata a mare ubicato a Sud del Molo Sanità.

Tutte le simulazioni hanno fornito condizioni di agitazione ondosa nettamente migliori di quelle calcolate con lo stato attuale.

In particolare, con la soluzione di adeguamento 6 caratterizzata da un prolungamento del Molo di Sopraflutto di 120 m, un pennello lungo 35 m posto a 35 m dalla testata del prolungamento del molo sopraflutto ortogonalmente a questo, un prolungamento del Molo Sanità di 99 m di cui 94 m in asse al molo esistente e 5 m ruotati ortogonalmente al prolungamento del Molo Sopraflutto ed un'ampiezza della imboccatura di 70 m, e con la soluzione di ampliamento 12 che prevede, oltre al prolungamento del molo di sopraflutto di 120 m, la realizzazione di un darsena aggiuntiva a Sud protetta da un molo sottoflutto lungo circa 255 m e radicato all'esistente pennello ubicato a Sud del Molo Sanità, il prolungamento del Molo Sanità di 48 m ed un'ampiezza della bocca del porto di 78 m, si sono ottenute condizioni di agitazione ondosa ottimali in tutte le aree di ormeggio dello specchio acqueo portuale.

Successive considerazioni sulla soluzione di adeguamento 6 del porto hanno portato ad eliminare il pennello radicato al prolungamento del Molo Sopraflutto ed ad allungare di 20 m il tratto ruotato del prolungamento del Molo Sanità. Pertanto nella soluzione di progetto la bocca del porto ha un'ampiezza di 81 m e si trova su fondali superiori a -4.0 m.

Le due Soluzioni 19 e 12 sono state scelte come nuove disposizioni planimetriche rispettivamente per l'adeguamento e l'ampliamento del Porto Vecchio di Crotona.

Nella Fig. 5 sono indicate le dimensioni e gli assi di tracciamento delle opere previste per le due soluzioni ottimizzate.

5. IL PIANO REGOLATORE VIGENTE

Con Decreto Ministeriale n. 3198/2383 del 16.09.1975 è stato approvato il piano regolatore portuale attualmente vigente, la cui attuazione ha riguardato solamente la realizzazione, in più fasi, di moli e darsene interne al cosiddetto porto nuovo.

Il porto vecchio, destinato all'ormeggio di pescherecci e di piccole imbarcazioni da diporto, non è stato oggetto di previsioni progettuali future, e nell'ambito del piano regolatore portuale è previsto nella sua “configurazione attuale”.

Pertanto, allo stato, sono consentiti solo interventi mirati all'adeguamento tecnico funzionale dei moli di sopraflutto e di sottoflutto quale quelli previsti nel presente progetto.

La soluzione di ampliamento del porto, soluzione 12, che prevede una nuova darsena a Sud dell'esistente, potrà realizzarsi in un secondo tempo sulla base di eventuali esigenze di sviluppo del porto, ed a seguito della modifica del piano regolatore portuale e della sua approvazione.

6. INSERIMENTO DEL PORTO DI CROTONE TRA I SITI DI BONIFICA DI INTERESSE NAZIONALE - AI SENSI DEL D.M. 468/2001

Ai sensi del D.M. 468/2001 il porto di Crotona è stato inserito tra i siti di bonifica di interesse nazionale. In particolare, a seguito di studi ed indagini eseguite dall'ICRAM, è stata effettuata la perimetrazione del sito di bonifica che comprende il solo porto nuovo.

Tale perimetrazione ICRAM è consistita nella redazione dei piani di caratterizzazione ambientale dell'area marino costiera prospiciente il Sito di Interesse Nazionale di Crotona” denominati ICRAM # CII-Pr-CAL-Cr-03.09 ed ICRAM # CII-Pr-CAL-Cr-03.09. Quest'ultimo è relativo al piano “stralcio sull'area costiera ed integrazione sull'area fronte Pertusola” (rif. _Area costiera ed Area fronte Pertusola).

Pertanto restano escluse dalla bonifica ambientale tutte le aree comprese nell'ambito del “**porto vecchio**”.

7. UBICAZIONE DEL PARAGGIO, SETTORE DI TRAVERSIA DEL PARAGGIO, MOTO ONDOSO DI PROGETTO.

Caratteristiche al largo

Il moto ondoso di progetto è stato ricavato dallo “Studio del moto ondoso al largo e sua propagazione a riva. Nella Fig. 6 della relazione di calcolo è rappresentato il settore efficace del paraggio, i fetches efficaci nonché la deviazione angolare del moto ondoso rispetto alla direzione del fetch.

Lo studio è stato condotto utilizzando le misurazioni dirette di moto ondoso, dal luglio 1989 al 2005, registrate dalla boa ondometrica di Crotona della rete ondometrica nazionale (RON) appartenente all'APAT (Agenzia Nazionale per la protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici. Dalla elaborazione dei dati sono state ricavate la distribuzione dei moti ondosi al largo (Figg. 7a - 7b della relazione di calcolo), la relazione tra HMO e $T_{p(fr)}$ per le altezze d'onda più frequenti (coefficiente di correlazione 0.53):

$$T_{p(fr)} = 56 HMO^{0.5}$$

quella per le massime altezze d'onda (coefficiente di correlazione 0.96):

$$T_p = 32 HMO^{0.7}$$

e l'altezza del moto ondoso al largo superata per 12 ore in un anno statistico medio (frequenza di occorrenza 0.00137) e che è legata alla profondità di chiusura della spiaggia sommersa

$$H_{0.00137} = 46 B$$

Attraverso un'analisi statistica dei dati sono stati determinati i valori di altezza d'onda associati a diversi tempi di ritorno di 1, 2, 5, 10, 25, 50, e 100 anni per sei settori di provenienza di 30° compresi tra 355° N e 175° N (Tab. 1- relazione di calcolo).

Caratteristiche a riva

Gli eventi al largo sono stati trasferiti a riva attraverso un modello di propagazione ondosa di tipo inverso spettrale.

Le caratteristiche a riva sono state calcolate in due punti sulla isobata -6,0 m s. l. m. m. il primo è ubicato dove è previsto il prolungamento del molo sopraflutto ed il secondo davanti alla spiaggia protetta dalle scogliere foranee parallele alla riva (Fig. 8 della relazione di calcolo).

Per il punto di calcolo 1, il numero di eventi a riva per ciascuna direzione di provenienza e classe di altezza d'onda è riportato nella Tabella 2; nella Figura 9 è riportato il grafico polare della frequenza degli eventi di moto ondoso ricadenti in classi di altezza d'onda di 0.50 m. Nella propagazione a riva si è tenuto conto del limite indotto dal frangimento sulla altezza d'onda significativa in corrispondenza della isobata -6.0 m s.l.m.m. attraverso la formula ricavata da Kamphuis per onde irregolari:

$$H_{sb} = 0.56 e^{3.5m} d_b$$

dove b indica la condizione di frangimento, d la profondità e m la pendenza della spiaggia. L'altezza d'onda significativa limite frangente nel punto di calcolo 1, alla

profondità di -6.0 m s.l.m.m., tenendo conto di un sovralzco complessivo del livello del mare dovuto ad effetti barici, mareali ed eolici di 0,5 m, essendo la pendenza del fondale antistante $m=0.009$, risulta pari a 3.73 m.

Il settore da cui provengono, a riva, le onde più alte è quello compreso tra le direzioni 85°N e 115°N .

Nel punto di calcolo 1 la maggiore onda con tempo di ritorno di 25 anni corrisponde a quella limitata per frangimento dal fondale. Nella tabella 3 della relazione di calcolo sono riportate le altezze d'onda in corrispondenza del punto 1 per i tempi di ritorno di 1, 2, 5, 10, 25, 50, e 100 anni. Nelle tabelle 4 e 5 sono riportate, per i moti ondosi con tempo di ritorno di 1 e 25 anni, le direzioni assunte in corrispondenza del punto di calcolo 1 dalle bisettrici dei settori al largo considerati; le stesse direzioni sono rappresentate nelle Figure 10 e 11.

Per i moti ondosi con tempo di ritorno di 1 anno, le direzioni di provenienza a riva sono comprese in un settore di circa 40° intorno alla direzione 78° Nord per il punto 1.

Con i moti ondosi aventi tempo di ritorno di 25 anni, il settore di provenienza si riduce a 26° intorno alla direzione 86°N .

Moto ondoso di dimensionamento

Sulla base delle risultanze dello studio del moto ondoso a riva, l'altezza d'onda di dimensionamento per le sezioni tipo, riferita al tempo di ritorno di 25 anni, è stata assunta pari all'onda limitata dal frangimento sul fondale e con periodo $T_p=9,5$ s.

8. GEOLOGIA DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SEDIME DI FONDAZIONE DELLE STRUTTURE

Per la caratterizzazione geologica del sito si rimanda all'apposita relazione specialistica che costituisce allegato del presente progetto, dalla quale si evince che l'area oggetto di intervento si presenta geologicamente stabile. Le formazioni che interessano l'area in oggetto hanno origine sedimentaria per depositi ascrivibili ad un intervallo di tempo compreso tra il Pliocene medio-superiore e l'Olocene. Si tratta di una potente formazione argilloso - marnosa di colore grigio-azzurra ricoperta, attraverso uno spessore variabile, ma in genere ridotto, di sabbie medio-fini a tratti limose e talora localmente ghiaiose.

Dal punto di vista geotecnico la stratigrafia dei terreni costituenti il sedime di fondazione dell'opera in progetto è schematizzabile nel seguente modo:

- mediamente tra i 5 ed i 10 metri di profondità dal livello medio mare è presente uno strato di sabbia sciolta, siltosa, di colore grigio da poco a moderatamente addensata. Essa si presenta ben selezionata e con sporadiche bande di silts di colore crema. L'angolo d'attrito Φ' è stato stimato in 31° ;

- tra i 10 ed i 16 m di profondità è presente uno strato di argilla siltosa grigio-azzurra. L'argilla si presenta finemente laminata con il verso delle laminazioni in senso sub-orizzontale. Essa presenta un aspetto moderatamente consistente ed una lieve tendenza al rigonfiamento. Per essa sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici:

$$\gamma = 20 \text{ kN/mc}; W (\text{contenuto d'acqua}) = 20\%;$$

in termini di pressioni totali:

$$c_u = 250 \text{ kPa};$$

in termini di pressioni efficaci:

$$c' = 24 \text{ kPa}, \Phi' = 21^\circ;$$

Essi sono stati determinati mediante prove in sito e di laboratorio, quali prove di taglio diretto e prove di compressione triassiale di tipo UU.

- tra i 16 ed i 30 m. di profondità è presente uno strato di argilla siltosa grigio azzurra molto consistente, avente i seguenti parametri di resistenza a taglio:

$$\gamma = 20 \text{ kN/mc}; W (\text{contenuto d'acqua}) = 20\%;$$

in termini di pressioni totali:

$$c_u = 450 \text{ kPa};$$

in termini di pressioni efficaci:

$$c' = 20 \text{ kPa}, \Phi' = 23^\circ;$$

Essi sono stati determinati mediante prove in sito e di laboratorio, quali prove di taglio diretto e prove di compressione triassiale di tipo UU.

9. STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI DELLE OPERE

Per le opere previste nel presente progetto, al fine di valutarne gli impatti potenziali sull'ambiente circostante, è stato redatto un'apposito studio di tipo tecnico ambientale mediante il quale sono stati stimati i principali impatti sul territorio circostante, sia nella fase della realizzazione dei lavori (opere a gettata, prefabbricazione e posa in opera dei massi di calcestruzzo, opere di dragaggio dei fondali), sia per ciò che attiene agli effetti indotti sul paesaggio e sulla fauna marina nella configurazione realizzata.

Le indicazioni ed i risultati conseguiti sono illustrati nella relativa relazione di progetto.

10. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE SEZIONI DEI FRANGIFLUTTI

Nel presente paragrafo sono riportati i criteri di dimensionamento delle opere a getata ed in calcestruzzo, nonché sintetizzati i risultati più salienti per le sezioni correnti dei moli di sopraflutto e di sottoflutto.

Le calcolazioni, i simboli ed i valori numerici dei parametri introdotti nelle formule utilizzate sono riportati nell'ampia relazione di calcolo a corredo del presente progetto.

Nella stessa relazione di calcolo sono altresì riportati le verifiche e la composizione delle parti delle sezioni alla radice ed alla testata dei due moli.

Le sezioni tipo dei frangiflutti sono rappresentate nei relativi elaborati grafici.

I frangiflutti sono stati dimensionati in ottemperanza ai criteri contenuti nelle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti del Ministero dei Lavori Pubblici.

Il primo parametro di dimensionamento da determinare è il tempo di ritorno di progetto.

Il tempo di ritorno di progetto T_{RP} è definito, in accordo con le "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici dalla relazione:

$$T_{RP} = T_v \cdot \left(\frac{1}{P_f} \right)^{1/n}$$

dove T_v rappresenta la durata minima dell'opera determinata in relazione alle sue caratteristiche funzionali ed al livello di sicurezza richiesto e P_f rappresenta la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita dell'opera.

Con riferimento alle Istruzioni sopra citate, considerato che la struttura prevista è ad uso specifico e che l'interesse dell'opera è locale ed in caso di collasso vi è un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali, il tempo di vita di progetto assunto è pari a 15 anni.

Per la valutazione del danneggiamento ammissibile è stata considerata la probabilità relativa alle condizioni di danneggiamento incipiente, essendo la sezione tipo prevista costituita da una struttura flessibile e riparabile.

Dato che il rischio per la vita umana nel caso di danneggiamento dell'opera è minimo e che la ripercussione economica costituita dall'onere dell'intervento di manutenzione è tra bassa e media, si è assunta una probabilità $P_f = 0.45$.

Sulla base dei parametri selezionati, il tempo di ritorno di progetto dell'opera risulta pari a 25 anni.

caratteristiche del fondale

Il prolungamento del molo sopraflutto è basato a profondità variabili da -6.0 a -5.5 m s. l. m. m. ; la profondità al piede del molo sottoflutto è di 4.5 m s. l. m. m.

Il fondale antistante, procedendo dall'isobata -6.0 m verso il largo, ha una pendenza media pari a circa 0.0089.

sopralzo di progetto

Per tenere conto degli effetti combinati di marea e sopralzo di tempesta, è stato considerato un sopralzo di progetto di +0.50 m.

moto ondoso di progetto

Il moto ondoso di progetto è stato ricavato dallo "Studio del moto ondoso al largo e sua propagazione a riva.

Lo studio è stato condotto utilizzando le misurazioni dirette di moto ondoso, dal luglio 1989 al 2005, registrate dalla boa ondometrica di Crotone della rete ondometrica nazionale (RON) appartenente all'APAT (Agenzia Nazionale per la protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici.

Dalla elaborazione dei dati sono state ricavate la distribuzione dei moti ondosi al largo (Figg. 7a - 7b), la relazione tra H_{M0} e $T_{p(fr)}$ per le altezze d'onda più frequenti (coefficiente di correlazione 0.53):

$$T_{p(fr)} = 56 H_{M0}^{0.5}$$

quella per le massime altezze d'onda (coefficiente di correlazione 0.96):

$$T_p = 32 H_{M0}^{0.5}$$

e l'altezza del moto ondoso al largo superata per 12 ore in un anno statistico medio (frequenza di occorrenza 0.00137) e che è legata alla profondità di chiusura della spiaggia sommersa

$$H_{0.00137} = 46 B$$

Attraverso un'analisi statistica dei dati sono stati determinati i valori di altezza d'onda associati a diversi tempi di ritorno di 1, 2, 5, 10, 25, 50, e 100 anni per sei settori di provenienza di 30° compresi tra 355° N e 175° N.

Caratteristiche a riva

Gli eventi al largo sono stati trasferiti a riva attraverso un modello di propagazione ondosa di tipo inverso spettrale.

Le caratteristiche a riva sono state calcolate in due punti sulla isobata -6,0 m s. l. m. m.: il primo è ubicato dove è previsto il prolungamento del molo sopraflutto ed il secondo davanti alla spiaggia protetta dalle scogliere foranee parallele alla riva.

Per il punto di calcolo 1, il numero di eventi a riva per ciascuna direzione di provenienza e classe di altezza d'onda è riportato nella Tabella 2; nella Figura 9 della relazione di calcolo è riportato il grafico polare della frequenza degli eventi di moto ondoso ricadenti in classi di altezza d'onda di 0.50 m.

Nella propagazione a riva si è tenuto conto del limite indotto dal frangimento sulla altezza d'onda significativa in corrispondenza della isobata -6.0 m s.l.m.m. attraverso la formula ricavata da Kamphuis per onde irregolari:

$$H_{sb} = 0.56 e^{3.5m} d_b$$

dove b indica la condizione di frangimento, d la profondità e m la pendenza della spiaggia.

L'altezza d'onda significativa limite frangente nel punto di calcolo 1, alla profondità di -6.0 m s.l.m.m., tenendo conto di un sovrizzo complessivo del livello del mare dovuto ad effetti barici, mareali ed eolici di 0,5 m, essendo la pendenza del fondale antistante $m=0.009$, risulta pari a 3.73 m.

Il settore da cui provengono, a riva, le onde più alte è quello compreso tra le direzioni 85°N e 115°N.

Nel punto di calcolo 1 la maggiore onda con tempo di ritorno di 25 anni corrisponde a quella limitata per frangimento dal fondale.

Nella relazione di calcolo sono riportate le altezze d'onda in corrispondenza del punto 1 per i tempi di ritorno di 1, 2, 5, 10, 25, 50, e 100 anni, nonché per i moti ondosi con tempo di ritorno di 1 e 25 anni, le direzioni assunte in corrispondenza del punto di calcolo 1 dalle bisettrici dei settori al largo considerati;

Per i moti ondosi con tempo di ritorno di 1 anno, le direzioni di provenienza a riva sono comprese in un settore di circa 40° intorno alla direzione 78°n per il punto 1.

Con i moti ondosi aventi tempo di ritorno di 25 anni, il settore di provenienza si riduce a 26° intorno alla direzione 86°N.

Moto ondoso di dimensionamento

Sulla base delle risultanze dello studio del moto ondoso a riva, l'altezza d'onda di dimensionamento per le sezioni tipo, riferita al tempo di ritorno di 25 anni, è stata assunta pari all'onda limitata dal frangimento sul fondale e con periodo $T_p=9,5$ s.

SEZIONE CORRENTE DEL PROLUNGAMENTO DEL SOPRAFLUTTO

Il prolungamento del molo sopraflutto ha la funzione di contenere l'agitazione ondosa nel bacino portuale e non sono previsti banchinamenti ed attracchi lungo il lato interno.

La sezione del prolungamento è stata pertanto dimensionata come tracimabile.

La cresta della sezione del prolungamento del molo sopraflutto è stata posta alla stessa quota del piazzale terminale del molo sopraflutto, +4.30 m s. l. m. m., in modo da ridurre l'impatto visivo dell'opera.

Si è calcolata la portata tracimante sulla sezione e verificato che, anche in occasione di una mareggiata pari a quella di progetto, la tracimazione non sia tale da compromettere la stabilità della mantellata interna ovvero, secondo quanto riportato da J.W.Van Der Meer , non superiore a 57 l/s m.

Per il calcolo della portata media tracimata si sono utilizzate le formule proposte da J. Van Deer Meer and J.P.F.M. Janssen per onde frangenti o non frangenti; le formule tengono conto delle caratteristiche del moto ondoso (H_s , e angolo di incidenza) e della geometria della sezione (altezza della cresta, dimensioni della berma al piede, profondità al piede della sezione, pendenza e tipo del paramento):

I due valori della tracimazione per metro di paramento :

$$q_{br} = 0.224 \text{ m}^3/\text{s m} \quad \text{per onde non frangenti (breaking)}$$

$$q_{nb} = 0.004 \text{ m}^3/\text{s m} \quad \text{per onde frangenti (no breaking)}$$

I due valori differiscono quasi di due ordini di grandezza ed è chiaro che all'interno della zona dei frangenti vi sia una transizione tra le due condizioni.

Il valore atteso di tracimazione si colloca più vicino all'uno o all'altro in funzione del rapporto tra l'onda all'esterno della zona dei frangenti e quella al piede della struttura: più quest'ultima si riduce più la percentuale di onde frangenti e frange aumenta e più la condizione di onda frangente diventa significativa.

Per calcolare il valore atteso della tracimazione si è fatto ricorso ad una relazione ricavata da misure condotte su numerosi modelli fisici che pesa attraverso un indice i due valori in funzione del rapporto tra l'onda fuori dalla zona dei frangenti e quella al piede dell'opera:

$$q = q_{br} \quad \text{per } H_s \leq 0.18 H_{br}$$

$$q = q_{nb} + \frac{q_{br} - q_{nb}}{I_{bro}} \quad \text{per } H_s > 0.18 H_{br}$$

dove:

I_{bro} indice di frangimento per il calcolo nelle formule per l'overtopping

$$= 1 - \left(\frac{H_s - H_{br}}{H_{br}} \right)^2$$

H_{obr} = altezza d'onda significativa fuori della zona dei frangenti.

Utilizzando la formula sopra indicata si ottiene:

$$q = 0.053 \text{ m}^3/\text{s m.}$$

Il valore ottenuto è stato confrontato con quelli calcolati con la rete neurale del progetto europeo CLASH che è stata sviluppata tramite circa 8000 set di dati di tracimazioni su modelli fisici ed opere a mare ed è disponibile sul Web.

I risultati della rete neurale indicano come valore più probabile della portata $q_{(clash)} = 4,37$ l/sm ed un valore al 97,5% della banda di previsione $q_{(clas97,5\%h)} = 31,1$ l/sm

Il fatto che il valore calcolato con le precedenti formule sia più elevato rispetto a quello ricavato con la rete neurale, è imputabile alla maggiore considerazione, nel primo, degli effetti del frangimento dei moti ondosi che raggiungono la struttura.

Il valore di tracimazione 53 l/s m risulta inferiore a quello di 57 l/s m indicato in letteratura come limite per assicurare la stabilità del lato interno della mantellata e quindi la verifica della struttura alla tracimazione risulta positiva.

Mantellata esterna

La mantellata esterna è costituita da massi Antifer di peso 7.8 t disposti su due strati con pendenza di 2/3.

La stabilità dei massi è stata verificata con la formula di Hudson $W = \frac{\gamma H^3}{K \tan^2 \alpha}$, che fornisce un peso dei massi $W = 6.1$ t.

Nel dimensionamento sono stati previsti massi da 7.8 t e quindi la verifica di stabilità della mantellata è risultata positiva.

I massi artificiali tipo Antifer sono caratterizzati dalle grandezze

$$a = \text{ grandezza caratteristica dell'elemento} = (V/0.8)^{1/3} = 1.61 \text{ m}$$

$$V = \text{ volume dell'elemento} = W/\rho c$$

Le caratteristiche della mantellata realizzata con i massi tipo Antifer sono le seguenti:

altezza della mantellata (2 strati) = $2 a$;

posa con rotazione casuale del masso e posizione assegnata con maglia orizzontale $1.48 a = 2.38$ m e verticale = $a = 1.61$ m;

sfasamento nel piano inclinato tra i baricentri dei massi Antifer dello strato inferiore e di quello superiore: orizzontale = $0.74 a = 1.19$ m; verticale = $0.5 a = 0.80$;

densità di pieno = 0.54.

Per la maglia di posa si è adottata la soluzione più dissimetrica tra quelle utilizzabili in quanto essa ha fornito ottimi risultati in prove su modelli fisici ed è stata impiegata, tra le altre, nella costruzione del porto di Ras Laffan (Qatar) dove sono stati realizzati 11 Km di breakwaters con mantellata in Antifer.

Mantellata interna

La mantellata interna è prevista in massi Antifer da 3.1 t.

La scelta di impiegare massi artificiali piuttosto che massi naturali è dovuta alla difficoltà di reperire massi di qualità adeguata nell'area di Crotone; il peso dei massi è stato posto uguale a quello risultato per il dimensionamento della sezione sottoflutto: si ottiene così una economia nelle fasi realizzative e si riducono i massi da stoccare per le manutenzioni delle mantellate nel tempo.

La mantellata ha pendenza 2/3 e raggiunge la profondità di -2.85 m.

Per garantire la stabilità della mantellata interna è stata contenuta al disotto del valore 57 l/m s l'entità della tracimazione media con i moti ondosi di progetto.

Masso di coronamento

In cresta è previsto un masso di coronamento per contenere gli Antifer, limitare la tracimazione e consentire una via di accesso sul molo per le attività di monitoraggio e manutenzione della mantellata e del faro che sarà portato in testata.

Il masso è stato sottoposto alla verifica di stabilità allo slittamento ed al ribaltamento.

Sul masso, oltre al peso, viene esercitata una spinta dovuta alle onde che raggiungono il coronamento; la spinta viene schematizzata in un'azione dinamica ed una idrostatica.

Le formule che stimano l'entità dell'azione dinamica, si basano sulla quota del coronamento e su quella di risalita dell'acqua sulla mantellata in accordo con quanto proposto da Bruun .

Per la valutazione della risalita d'acqua si è fatto ricorso alla formula proposta da Battjes e riportata nel CEM che stima la risalita dell'onda su di una superficie liscia impermeabile e tiene conto della permeabilità della mantellata, della distribuzione dei moti ondosi, della presenza di una berma e dell'inclinazione dell'onda incidente attraverso dei coefficienti correttivi.

Berma al piede esterna

Al piede della mantellata esterna è stata prevista una berma sommersa alla profondità - 3.85 m avente in sommità una larghezza di 5.55 m e costituita da massi naturali da 1.0 - 3.0 t.

La berma ha uno spessore di 1.85 m e prosegue verso il fondo con pendenza 4/3 fino ad incontrare lo strato filtro alla profondità -5.70 m.

Per la verifica del dimensionamento della berma, è stata usata la formula proposta da

J.W.Van Der Meer: $\frac{1}{2} \rho g H^3 \left(\frac{H}{L} \right)^2$

cui corrisponde un peso medio dei massi di 0.38 t.

La stabilità della berma, prevista in massi naturali da 1.0 – 3.0 t, è pertanto assicurata.

Le principali caratteristiche della berma sono le seguenti:

W:	peso medio degli scogli =	2.0 t;
V:	volume medio degli scogli =	0.77 m ³ ;
Dn50:	diametro medio nominale (V) ^{1/3} =	0.92 m;
	numero di strati di massi =	2;
	spessore della mantellata = 2Dn50 =	1.85 m;
	densità di pieno =	0.7;
	maglia di posa =	casuale;
	numero di massi sul piano superiore della berma =	6.

Berma al piede interna

Al piede della mantellata esterna è stata prevista una berma sommersa alla profondità – 2.85 m avente in sommità una larghezza di 2.75 m e costituita da massi naturali da 1.0 – 3.0 t.

La berma ha uno spessore di 1.85 m e prosegue verso il fondo con pendenza 4/3 fino ad incontrare lo strato filtro alla profondità –4.70 m.

Le principali caratteristiche della berma sono le seguenti:

W:	peso medio degli scogli =	2.0 t;
V:	volume medio degli scogli =	0.77 m ³ ;
Dn50:	diametro medio nominale (V) ^{1/3} =	0.92 m;
	numero di strati di massi =	2;
	spessore della mantellata = 2Dn50 =	1.85 m;
	densità di pieno =	0.7;
	maglia di posa =	casuale;
	numero di massi sul piano superiore della berma =	3.

Strati filtri

Al di sotto delle mantellate e delle berme al piede, sono stati previsti dei filtri in massi naturali.

Sotto la mantellata esterna, realizzata con massi Antifer da 7.8 t, il filtro è costituito da due strati di massi da 500 Kg a 1000 Kg.

Le principali caratteristiche dello strato filtro sono le seguenti:

W =	peso medio degli scogli =	750 kg;
	rapporto con il peso del masso di mantellata =	10.4;

V = volume medio degli scogli= 0.30 m³;
Dn50 = diametro medio nominale (V)^{1/3}= 0.67 m;
numero di strati di massi = 2;
spessore dello strato = 2Dn50 = 1.35 m;
densità di pieno = 0.7;
maglia di posa= casuale.

Al di sotto della mantellata interna e delle berme al piede , il filtro è costituito di massi da 100 Kg a 500 Kg;

Le principali caratteristiche dello strato filtro sono le seguenti:

W = peso medio degli scogli = 300 kg;
rapporto con il peso del masso di mantellata= 10.3;
V = volume medio degli scogli= 0.12 m³;
Dn50 = diametro medio nominale (V)^{1/3}= 0.49 m;
numero di strati di massi = 2;
spessore dello strato = 2Dn50 = 1.00 m;
densità di pieno = 0.7;
maglia di posa= casuale.

Tout venant

All'interno della diga è previsto l'uso di tout-venant di cava.

Il materiale dovrà essere privo del fino e del finissimo e la pezzatura inferiore ad 1 Kg non dovrà superare il 2% del materiale totale.

SEZIONE CORRENTE DEL MOLO SOTTOFLUTTO – QUOTA DI CRESTA E VALUTAZIONE DELLE TRACIMAZIONI

Il molo di sottoflutto è previsto nell'ambito dell'ampliamento del porto ed è finalizzato alla creazione di una nuova darsena all'interno della quale saranno disposti pontili per l'ormeggio di natanti da diporto.

Per limitare l'impatto visivo del molo e contenere la quota di cresta, è stata prevista una struttura tracimabile non direttamente attraccabile: la quota sul lato interno del masso di coronamento è posta a +2.5 m s. l. m. m., prevedendo che ad essa, debitamente discosti, siano attraccati i pontili di ormeggio dei natanti.

Non è previsto che sulla banchina stazionino mezzi o merci ed è interdetto il transito alle persone ed ai mezzi durante le mareggiate estreme.

La cresta della sezione del prolungamento del molo sopraflutto è stata posta alla quota, +3.90 m s. l. m. m.

Si è calcolata la portata tracimante sulla sezione e verificato che, anche in occasione di una mareggiata pari a quella di progetto, la tracimazione non sia tale da compromettere la stabilità della parte interna della sezione ovvero, secondo quanto riportato da J.W.Van Der Meer, non superiore a 57 l/s m.

Per il calcolo della portata media tracimata si sono utilizzate le formule proposte da J. Van Deer Meer and J.P.F.M. Janssen per onde frangenti o non frangenti; le formule tengono conto delle caratteristiche del moto ondoso (H_s , e angolo di incidenza) e della geometria della sezione (altezza della cresta, dimensioni della berma al piede, profondità al piede della sezione, pendenza e tipo del paramento):

I due valori della tracimazione per metro di paramento valgono:

$$q_{br} = 0.112 \text{ m}^3/\text{s m} \quad \text{per onde non frangenti (breaking)}$$

$$q_{nb} = 0.0005 \text{ m}^3/\text{s m} \quad \text{per onde frangenti (no breaking)}$$

Essi differiscono quasi di due ordini di grandezza ed è chiaro che all'interno della zona dei frangenti vi sia una transizione tra le due condizioni.

Il valore atteso di tracimazione si colloca più vicino all'uno o all'altro in funzione del rapporto tra l'onda all'esterno della zona dei frangenti e quella al piede della struttura: più quest'ultima si riduce più la percentuale di onde frangenti e frange aumenta e più la condizione di onda frangente diventa significativa.

Per calcolare il valore atteso della tracimazione si è fatto ricorso ad una relazione ricavata da misure condotte su numerosi modelli fisici che pesa attraverso un indice i due valori in funzione del rapporto tra l'onda fuori dalla zona dei frangenti e quella al piede dell'opera, riportata nell'apposita relazione di calcolo, dalla quale è risultato.

$$q = 0.044 \text{ m}^3/\text{s m}.$$

Il valore ottenuto è stato confrontato con quelli calcolati con la rete neurale del progetto europeo CLASH che è stata sviluppata tramite circa 8000 set di dati di tracimazioni su modelli fisici ed opere a mare ed è disponibile sul Web.

I risultati della rete neurale indicano come valore più probabile della portata $q_{(clash)} = 2,72$ l/sm ed un valore al 97,5% della banda di previsione $q_{(clas97,5\%h)} = 20,5$ l/sm .

Il fatto che il valore calcolato con le precedenti formule sia più elevato rispetto a quello ricavato con la rete neurale, è imputabile alla maggiore considerazione, nel primo, degli effetti del frangimento dei moti ondosi che raggiungono la struttura.

Il valore assunto nel dimensionamento della struttura di 44 l/s m risulta inferiore a 57 l/s m indicato in letteratura come limite per assicurare la stabilità del lato interno della mantellata nel caso di struttura tracimabile e quindi la verifica della struttura dimensionata alla tracimazione risulta positiva.

Mantellata esterna

La mantellata esterna è costituita da massi Antifer di peso 3.1 t disposti su due strati con pendenza di 2/3.

La stabilità dei massi è stata verificata con la formula di Hudson, dalla quale è risultato $W=3.1$ t

I massi artificiali tipo Antifer sono caratterizzati dalle grandezze:

$a =$ grandezza caratteristica dell'elemento $= (V/0.8)^{1/3} = 1.19$ m

$V =$ volume dell'elemento $= W/\rho c = 1.36$ m³

Le caratteristiche della mantellata realizzata con i massi tipo Antifer sono le seguenti:

altezza della mantellata (2 strati) $= 2 a$;

posa con rotazione casuale del masso e posizione assegnata con maglia orizzontale $1.48 a = 1.77$ m e verticale $= a = 1.19$ m;

sfasamento nel piano inclinato tra i baricentri dei massi Antifer dello strato inferiore e di quello superiore: orizzontale $= 0.74 a = 0.88$ m; verticale $= 0.5 a = 0.60$;

densità di pieno $= 0.54$.

Mantellata interna

La mantellata interna è prevista in massi da 0.5 - 1 t con pendenza 2/3 e raggiunge lo strato filtro alla profondità di -2.00 m.

La stabilità della mantellata interna è garantita dal fatto che l'entità della tracimazione media con i moti ondosi di progetto è stata contenuta al disotto del valore 57 l/m s.

Masso di coronamento

In cresta è previsto un masso di coronamento per contenere gli Antifer, limitare la tracimazione e consentire il transito diretto ai pontili di ormeggio nonché le attività di monitoraggio e manutenzione della mantellata e del faro che sarà realizzato in testata.

Il masso è stato sottoposto alla verifica di stabilità allo slittamento ed al ribaltamento.

Sul masso, oltre al peso, viene esercitata una spinta dovuta alle onde che raggiungono il coronamento; la spinta viene schematizzata in un'azione dinamica ed una idrostatica.

Le formule che stimano l'entità dell'azione dinamica, si basano sulla quota del coronamento e su quella di risalita dell'acqua sulla mantellata in accordo con quanto proposto da Bruun.

Per la valutazione della risalita d'acqua si è fatto ricorso alla formula proposta da Battjes e riportata nel CEM che stima la risalita dell'onda su di una superficie liscia impermeabile e tiene conto della permeabilità della mantellata, della distribuzione dei moti ondosi, della presenza di una berma e dell'inclinazione dell'onda incidente attraverso dei coefficienti correttivi, riportati nell'apposita relazione di calcolo.

Con riferimento ai simboli illustrati nel capitolo 5.1.4, considerato che i fattori di riduzione per il molo in progetto risultano uguali a quelli calcolati per la tracimazione sulla struttura

inserendo i seguenti valori nella formula:

$$H_s = 3.00 \text{ m};$$

$$T_p = 9.5 \text{ s};$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2;$$

risulta:

$$\xi_{op} = 4.57;$$

$$R_{U2\%} = 4.87 \text{ m}.$$

Dato che il sopralzo è di 0.5 m, la quota raggiunta dal run up è di 5.37 m.

Utilizzando la formula proposta da Brunn ad una risalita $R_{U2\%}$ corrisponde un'altezza della spinta idrodinamica Y pari a $Y=0.72 \text{ m}$.

Con riferimento allo schema di calcolo indicato da Bruun, in presenza di tracimazione sul muro di coronamento, l'azione della spinta dell'acqua tracimante può essere scomposta in una azione idrostatica ed in una azione dinamica che rappresenta la pressione di impatto delle onde sul coronamento.

La distribuzione della pressione dinamica viene assunta lineare tra il valore approssimato in sommità del masso :

$$Pm = g_w C^2 / 2g$$

ed il valore alla base:

$$0.5 Pm$$

dove:

$$g_w = \text{peso specifico dell'acqua};$$

$$C = (g Y)^{0.5} = \text{velocità del fronte dell'acqua tracimante};$$

$$g = \text{accelerazione di gravità};$$

$$Y = \text{distanza rappresentativa della quota raggiunta dall'acqua tracimante}.$$

Con riferimento alle calcolazioni riportate nella relativa relazione e per metro di sezione risulta:

coefficiente di slittamento: $C_s = 1,43$;

coefficiente di ribaltamento rispetto al punto A: $C_r = 1,63$.

I due coefficienti sono superiori a quelli limite indicati nelle istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ($C_s > 1.4$ e $C_r > 1.5$).

Berma al piede esterna

Al piede della mantellata esterna è stata prevista una berma sommersa alla profondità – 2.15 m avente in sommità una larghezza di 2.75 m e costituita da massi naturali da 1.0 – 3.0 t.

La berma ha uno spessore di 1.85 m e prosegue verso il fondo con pendenza 4/3 fino ad incontrare lo strato filtro alla profondità –4.00 m.

Per la verifica del dimensionamento della berma, è stata usata la formula proposta da J.W.Van Der Meer : $D_{n50} = \frac{W}{\rho_s - \rho} \left(\frac{V}{W} \right)^{1/3}$ dalla quale si è ottenuto:

$$D_{n50} = 0.61 \text{ m};$$

cui corrisponde un peso medio dei massi di 0.57 t.

La stabilità della berma, prevista in massi naturali da 1.0 – 3.0 t, è pertanto assicurata.

Le principali caratteristiche della berma sono le seguenti:

W:	peso medio degli scogli =	2.0 t;
V:	volume medio degli scogli =	0.77 m ³ ;
D _{n50} :	diametro medio nominale (V) ^{1/3} =	0.92 m;
	numero di strati di massi =	2;
	spessore della mantellata = 2D _{n50} =	1.85 m;
	densità di pieno =	0.7;
	maglia di posa =	casuale;
	numero di massi sul piano superiore della berma =	3.

Strati filtro

Al di sotto delle mantellate e della berma al piede esterna, sono stati previsti dei filtri in massi naturali.

Gli strati filtro sono costituiti da massi da 100 Kg a 500 Kg.

Le principali caratteristiche dello strato filtro sono le seguenti:

W =	peso medio degli scogli =	300 kg;
	rapporto con il peso del masso della mantellata esterna =	10.3;

V = volume medio degli scogli= 0.12 m³;
Dn50 = diametro medio nominale (V)^{1/3}= 0.49 m;
numero di strati di massi = 2;
spessore dello strato = 2Dn50 = 1.00 m;
densità di pieno = 0.7;
maglia di posa= casuale.

Al di sotto della berma al piede il filtro è costituito da un solo strato di massi per uno spessore di 0,50 m.

Tout venant

All'interno della diga è previsto l'uso di tout-venant di cava.

Il materiale dovrà essere privo del fino e del finissimo e la pezzatura inferiore ad 1 Kg non dovrà superare il 2% del materiale totale.

11. CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE DEI SEDIMENTI MARINI

Tra le somme a disposizione dell'Amministrazione è stata inserita un apposita previsione di spesa per l'acquisizione dei parametri fisici, chimici e microbiologici sui livelli sedimentologici marini relativi all'area del dragaggio. Ciò al fine di testare i parametri essenziali atti a definire l'eventuale livello d'inquinamento dei sedimenti marini, compreso la determinazione dei parametri ecotossicologici e dei codici CER.

12. ASPETTI ECONOMICI ED AMMINISTRATIVI

La stima del costo dell'intervento è stata effettuata "a misura", ad accezione delle opere di completamento della cella di colmata del porto nuovo e della sovrastante pavimentazione in conglomerato bituminoso la cui lavorazione è stata prevista a corpo. Gli elaborati grafici e tecnico economici consentono una esatta valutazione delle opere da eseguire a misura e di quelle da realizzarsi a corpo.

I prezzi applicati per la stima dei lavori sono stati desunti dal Prezziario Regionale di riferimento per il Settore dei Lavori Pubblici dell'anno 2009 della Regione Calabria, ad eccezione di quelli relativi agli scavi ed ai dragaggi per i quali sono state effettuate le relative analisi. Per queste lavorazioni è infatti risultato necessario analizzare tre voci di prezzo, NP1, NP2 ed NP3, in relazione alle differenti tecniche e modalità operative, nonché per la diversa destinazione dei relativi materiali di risulta.

Il Capitolato Speciale d'appalto, redatto in base alle norme tecniche vigenti, alle norme di misurazione ed alle prescrizioni e raccomandazioni derivanti dallo stato dell'arte per le categorie di opere previste in progetto, è comprensivo di tutte le norme tecniche ed amministrative di cui al D.Lgs 163/2006 e successive modifiche ed integrazioni, e pertanto si ritiene idoneo sotto il profilo tecnico – economico a regolare efficacemente i rapporti tra la stazione appaltante e l'assuntore dei lavori. Esso risulta completo sia sotto l'aspetto dei requisiti tecnici e prestazionali dei materiali da fornire e collocare in opera, sia sotto l'aspetto contabile ed amministrativo.

L'importo dell'appalto per lavori a misura ed a corpo, per oneri di sicurezza non soggetti a ribasso d'asta e per somme a disposizione dell'Amministrazione ammonta complessivamente ad € 7.000.000,00 (diconsi Euro settemilioni/00), così ripartito:

Quadro economico del progetto

A) lavori a base d'asta

-a misura	€	6.165.003,16
-a corpo	€	440.866,24
- per oneri di sicurezza non soggetti a ribasso	€	<u>70.000,00</u>
Sommano per lavori	€	6.675.869,40

B) per somme a disposizione dell'Amministrazione

- Spese per prog. Dir. Lav, sicurezza (incentivo ex art. 18)	€	133.517,39
- Spese d'ufficio per prod. progetti, gestione lavori, ecc.	€	33.613,
- Spese per pubblicità e gara d'appalto	€	15.000,00
- Spese per accertamenti di laboratorio e collaudi	€	45.000,00
Monitoraggio Ambientale e relative analisi di laboratorio	€	35.000,00
- Spese per consulenza in materia ambientale, IVA compresa	€	30.000,00
- Caratterizzazione chimico, fisica e microb. dei sed. Marini	€	32.000,00
- per imprevisti ed arrotondamenti	€	<u>0,00</u>
Sommano	€	324.130,60

Importo complessivo del progetto € 7.000.000,00

Tempo utile per l'ultimazione dei lavori e relativo cronoprogramma.

Il Tempo utile per l'ultimazione di lavori è previsto in 450 giorni naturali e consecutivi decorrenti dalla data del verbale di consegna dei lavori, così come risulta dal cronoprogramma dei lavori redatto sulla base dei tempi occorrenti per l'esecuzione delle singole lavorazioni (attività), dei loro periodi di sovrapposizione e di scorrimento. La stima dei tempi necessari alla realizzazione delle singole attività lavorative è stata effettuata sulla base degli standard previsti per queste tipologie di opere e sulla scorta dell'esperienza acquisita dai progettisti nella esecuzione di opere similari. Essi tengono conto degli eventuali fermi di cantiere causati da maltempo e da eventuali avverse condizioni meteo marine.

