

COMMITTENTE :



RETE FERROVIARIA ITALIANA - S.p.A.

DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI ANCONA

PROGETTAZIONE:



SWS engineering SPA
Via della Stazione, 27 Frac. Mattarello
38123 Trento (TN) Italia
P.iva C.F. 00580610222



SOGGETTO TECNICO : RFI SpA - DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI ANCONA
S. O. INGEGNERIA

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA: BOLOGNA-LECCE
COMUNE DI ANCONA

PROGETTO: Comune di Ancona - Lungomare Nord

Realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria Bologna-Lecce, interrimento con gli escavi dei fondali marini, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria

RELAZIONE TECNICA SCOGLIERA FORANEA E PENNELLO

SCALA

-

Foglio

1 di 1

PROGETTO/ANNO

SOTTOPR.

LIVELLO

NOME DOC.

PROGR.OP.

FASE FUNZ.

NUMERAZ.

1 8 2 6 1 8

0 0 2

P D

T G - -

0 0

0 0

E 5 0 8

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	1^ EMISSIONE	S. Monni	03 Luglio 2018	V. Gangai	02 Luglio 2018	P. Ludovico	04 Luglio 2018	G. del Vasto	04 Luglio 2018
B	2^ EMISSIONE		03 Agosto 2018	V. Gangai	02 Settemb. 2018	P. Ludovico	04 Settemb. 2018	G. del Vasto	04 Settemb. 2018
C	3^ EMISSIONE		21 Dicembre 2018	V. Gangai	26 Febbraio 2019	P. Ludovico	26 Febbraio 2019	N. D'Alessandro	26 Febbraio 2019



POSIZIONE ARCHIVIO	LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ
				- - - -
	Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data

File:

Sommario

1	PREMESSA.....	2
2	LIVELLI MARINI DI RIFERIMENTO	4
3	STIMA DELLA QUOTA DI RUN-UP SULLE SCOGLIERE.....	8
4	MURO IN SOMMITÀ O POSTO NELLA AREA DI COLMATA SUCCESSIVAMENTE ALLA REALIZZAZIONE DELLA COLMATA IN RELAZIONE ANCHE ALLE TRASFORMAZIONI DELL'AREA. VERIFICA DI SORMONTO ..	10
	4.1 GESTIONE DELLE PORTATE DI TRACIMAZIONE DURANTE IL PERIODO DI CANTIERE PRIMA DELLA REALIZZAZIONE DELLA COLMATA	13
5	STABILITÀ DEI MASSI DELLA MANTELLATA.....	14

1 PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di fornire le indicazioni per un progetto definitivo delle scogliere a protezione dell'area marina antistante il nuovo tratto di ferrovia a nord di Ancona.

Le condizioni meteomarine dell'area di studio sono state analizzate nello "Studio Idrodinamico per la messa in sicurezza dall'azione meteomarina e per la velocizzazione della linea ferroviaria adriatica da Ancona a Torrette" eseguito dall'Università Politecnica delle Marche. Lo studio analizza le caratteristiche delle onde al largo e, tramite un modello di propagazione, fornisce la stima dell'altezza e direzione dell'onda sotto costa necessaria per le verifiche di stabilità e sormonto della scogliera di protezione.

Il livello di approfondimento dello studio è tale da fornire la stima delle caratteristiche d'onda incidente sulle scogliere, con prefissati tempi di ritorno, determinati in funzione delle caratteristiche delle opere, e quindi viene determinata l'onda di progetto.

In particolare, tenendo conto della tipologia dell'infrastruttura in oggetto, del livello di sicurezza richiesto in termini di rischio di perdita di vite umane e danni ambientali è stata definita la durata di vita delle opere distinguendo fra la scogliera foranea a difesa della costa ed il pennello. Associando alla durata di vita dell'opera la probabilità di danneggiamento accettabile viene determinato il tempo di ritorno per il quale calcolare l'altezza d'onda di progetto, sulla base della statistica degli eventi estremi. Il risultato, ottenuto con la relazione di Borgman, fornisce per la scogliera un tempo di ritorno di 30 anni e per il pennello un tempo di ritorno di 70 anni.

I dati forniti nella relazione di prima fase studio idrodinamico possono essere riassunti dalle conclusioni finali riportate nel capitolo 6.

6. CONCLUSIONI

La presente versione di relazione fornisce i dati di moto ondoso al piede delle opere da progettare con diversi periodi di ritorno e direzioni di propagazione. La collocazione geografica dell'area oggetto di studio evidenzia la protezione fornita dal porto esistente e dal promontorio del Monte Conero rispetto alle onde provenienti da Est, Sud-Est.

Per il Tempo di Ritorno di 30 anni, il valore massimo dell'altezza significativa alla distanza di circa 50 m dalla scogliera è pari a 2.09 m associato alla direzione 30°N e al periodo $T_p=10.41$ s, prendendo in considerazione i dati RON.

Per il Tempo di Ritorno di 70 anni, il valore massimo dell'altezza significativa alla distanza di circa 50 m dal nuovo molo è pari a 2.40 m associato alla direzione 0°N e al periodo $T_p=9.45$ s, prendendo in considerazione i dati RON.

Nella stima dell'onda incidente sulle nuove opere non è stato tenuto conto dell'innalzamento del livello del mare dovuto a fattori meteorologici (variazioni bariche e vento) e marea astronomica che vengono stimati nella presente relazioni, insieme al livello di riferimento, necessario per il dimensionamento idraulico delle sezioni.

Nella presente relazione verranno esaminati i seguenti aspetti:

1. Livello marino di riferimento per il dimensionamento idraulico e strutturale delle scogliere;
2. Correzione da apportare ai valori di altezza d'onda per definire le caratteristiche delle onde di progetto;
3. Stima della quota di run-up sulle scogliere;
4. Dimensionamento idraulico e stima della portata media di overtopping;
5. Disegno della sezione tipo per la scogliera parallela;
6. Disegno della sezione tipo per il molo perpendicolare a riva;
7. Verifica strutturale sulla stabilità dei massi.

2 LIVELLI MARINI DI RIFERIMENTO

Nel porto di Ancona è posizionato un mareografo della Rete Mareografica Nazionale. I dati pubblicati disponibili dal 2010 al 2016 sono riportati nel grafico seguente.

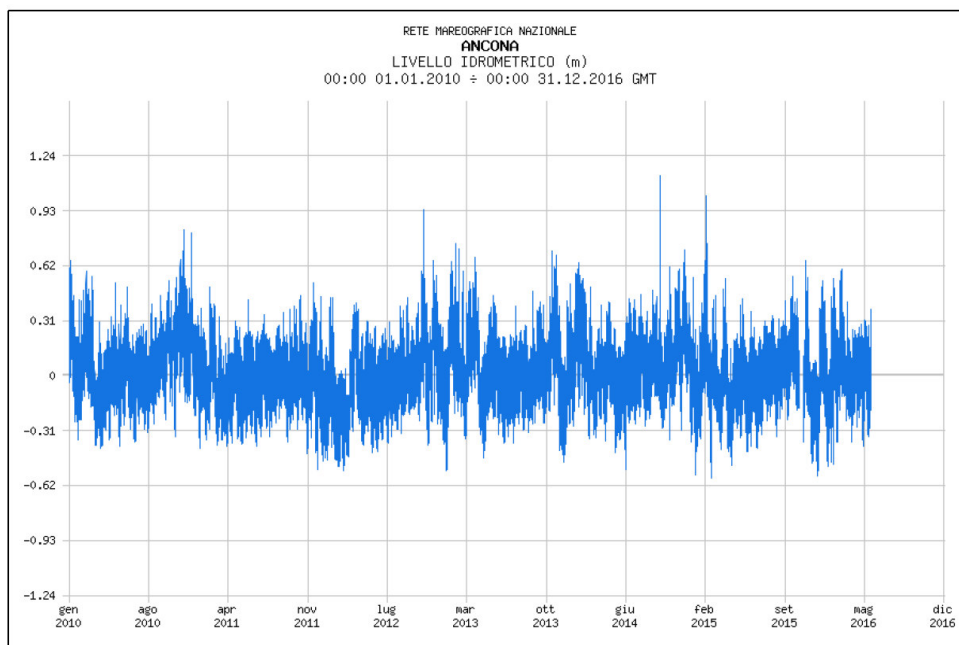


Figura 1 - Dati di livello idrico dal 2010 al 2016

Il mareografo di Ancona è posto all'interno del porto quindi non risente dell'incremento del set-up d'onda ma risente delle variazioni bariche e marea astronomica. Dal grafico si osserva che solo 3 volte in 6 anni è superato il livello di + 90 cm e 25 volte il livello di + 62 cm (5 volte all'anno in media) il sovrizzo di 75 cm è superato mediamente circa una volta all'anno.

La scelta di associare alla mareggiata eccezionale anche il sopralzo contemporaneo che ha la probabilità di verificarsi solo una sola volta all'anno appare troppo cautelativa e quindi in presenza della altezza d'onda di progetto associata ad un tempo di ritorno di 30 anni si può assumere un livello medio del mare presente alcune volte all'anno stimato in + 60 cm

Vicino a riva durante una mareggiata, nella zona di frangimento il livello medio locale si incrementa progressivamente dalla profondità dove iniziano a frangere le onde più alte fino a raggiungere il valore massimo a riva. Nel caso specifico è necessaria la stima alla base delle scogliera alla profondità di 4 m.

Il livello medio nella surf-zone può essere determinato con il criterio di Goda ed utilizzata la relazione di valida per onde reali sintetizzata nel grafico seguente (Y.Goda 2005)

Per questa stima si assume la condizione di progetto indicata nello studio Idrodinamico corrispondente alla mareggiata con tempo di ritorno 30 anni dalla direzione 30° N con il valore dell'altezza d'onda al largo $H_o = 5,78$ m con periodo di picco $T_p = 10,4$ s.

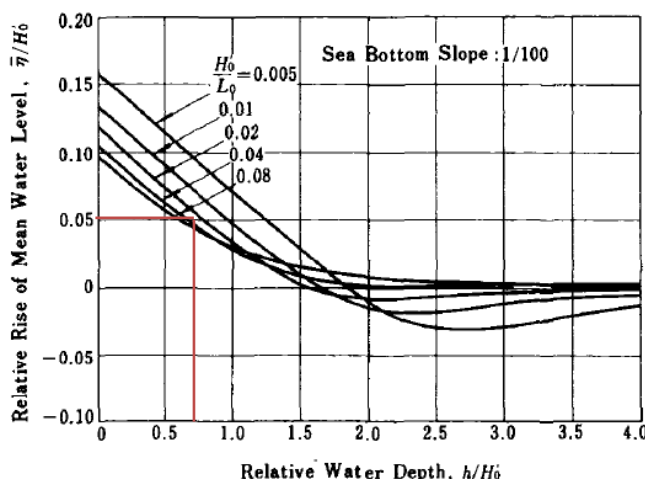


Fig. 3.25. Variation of mean water level due to shoaling and breaking of random sea waves,²³

Per le onde con queste caratteristiche la ripidità risulta $H_0/L_0 = (5,78/ 1,56 \times 10,4^2) = 0.034$

La stima eseguita per la profondità di 4,0m e quindi alla profondità relativa di $h/H_0 = 4,0/5,78 = 0,69$ cui il sovrizzo risulta $= 0,05 \times 5,78 = 0,29\text{m}$

Sommando i diversi contributi si ottiene un sovrizzo complessivo del livello del mare alla profondità di posa della scogliera di +0,90 m.

L'altezza d'onda di progetto, essendo limitata dalla profondità locale, deve essere corretta per la maggiore profondità presente in caso di alta marea. Il modello di propagazione d'onda tiene conto dell'incremento dovuto al set up e quindi si deve correggere solo per la quota di alta marea stimata in 0,6 m. Quindi deve essere stimato l'incremento che si ha fra l'altezza prevista per l'onda frangente sulla profondità di 4,6 m rispetto allo stesso valore stimato sulla profondità di 4,0 m prevista dal modello.

A costa alla profondità di 4,0 m il modello idrodinamico fornisce la stima di $H_s = 2,09\text{ m}$ $T_p = 10,4\text{ s}$ $L = 169\text{ m}$

Si stima con la relazione di Goda il valore dell'altezza significativa presente alla profondità di 4,0m e di 4,6 m e questo incremento viene sommato alla stima proveniente dal modello di propagazione alla profondità di 4 m.

Si utilizza il grafico della stima di H_s in zona frangente (Y.Goda, 2005)

Condizioni al largo $H_0 = 5,8\text{m}$ $T_p = 10,4\text{ s}$ $L_0 = 169\text{ m}$ $H_0/L_0 = 5,8/169 = 0,034$

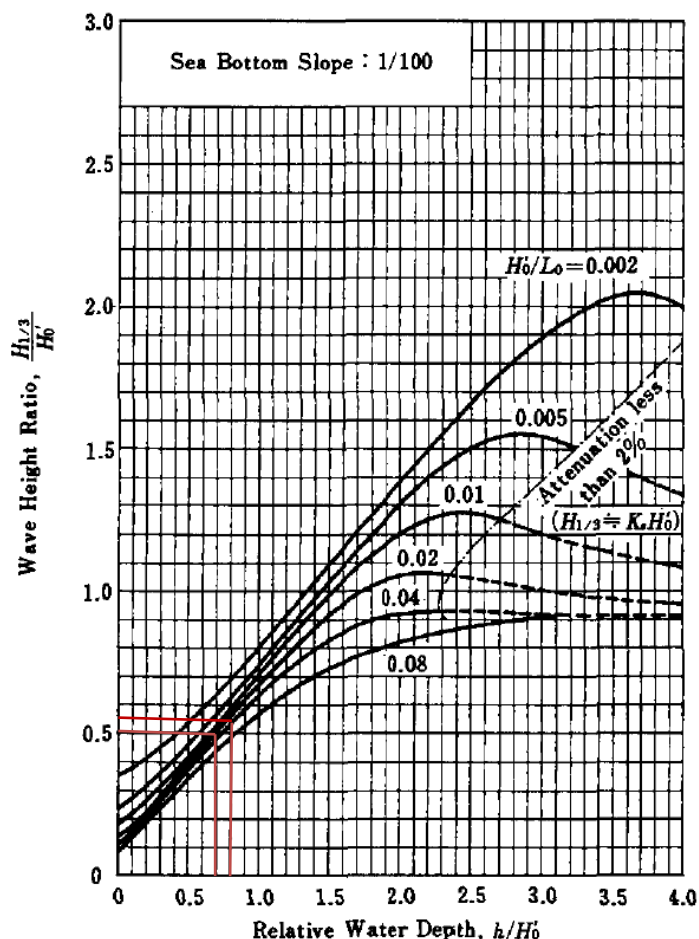
Stima dell'altezza d'onda alla profondità di 4 m.

$h/H_0 = 4,0/5,8 = 0.69$ $H_s/H_0 = 0,50$ il valore si H_s risulta quindi $0,50 \times 5,8 = 2,90\text{m}$

Stima dell'altezza d'onda alla profondità di 4,6 m.

$h/h_0 = 4,6/5,8 = 0,79$ da cui $H_s/H_0 = 0,55$, il valore di H_s risulta quindi $= 0,55 \times 5,8 = 3,19\text{m}$.

L'incremento di altezza d'onda per frangimento su profondità maggiore da 4 m a 4,6 m risulta di 29 cm.



Queste stime dei valori di altezza d'onda limitata dalla profondità di frangimento sono superiori al valore di $H_0 = 2.09$ m prevista dal modello idrodinamico poiché quest'ultimo tiene conto della dissipazione di energia ed attrito al fondo e della riduzione di altezza d'onda per rifrazione sulla batimetria reale, mentre le relazioni di Goda ipotizzano situazioni ideali di fondo piano.

L'altezza d'onda di progetto quindi passa da 2.10 m a 2,40m (Tr 30 anni) ed analogamente per Tr = 70 anni da 2,40 m a 2,70 m

Il livello di riferimento del medio mare va incrementato di +0,6 m dovuta i livelli marea forniti dal mareografo, del livello locale di set-up + 0,30m (set-up a 5,6 m) quindi il livello di progetto per le verifiche è di + 0,9 m s.l.m.

La condizione di progetto della scogliera parallela è pertanto la seguente:

Caratteristiche al largo $H_o = 5,8 \text{ m}$, $T_p = 10,4 \text{ s}$, $L_o = 169 \text{ m}$

Caratteristiche d'onda incidente sulla scogliera a 4 m di profondità $H_s = 2,4 \text{ m}$, $T_p = 10,4 \text{ s}$, $T_m = 8,7 \text{ s}$, $L_p = 169 \text{ m}$, $L_m = 116 \text{ m}$.

3 STIMA DELLA QUOTA DI RUN-UP SULLE SCOGLIERE

Per la stima del run-up sulle mantellate della scogliera si è fatto riferimento ai criteri riportati nel CEM (Coastal Engineering Manual) per la determinazione della quota di run up su una scogliera di altezza illimitata.

Il parametro che regola il fenomeno é il numero di Iribarren $\xi_p = \tan\alpha / (H_s/L_p)^{0,5}$ oppure $\xi_m = \tan\alpha / (H_s/L_m)^{0,5}$ dove $\tan\alpha$ è la pendenza della mantellata della scogliera lato mare (0,5) ed L_p ed L_m sono le lunghezze d'onda al largo calcolate sulla base del periodo di picco o del periodo medio.

Per la stima del Run-up sulle scogliere si fa riferimento al livello superato solo dal 2% delle onde più alte durante una mareggiata (come ordine di grandezza rappresenta mediamente un sormonto ogni 8 minuti).

Utilizzando la formulazione del CEM

$Ru_{2\%}/H_s = (A \xi_p + C) Y_r$ A e C sono valori determinati sperimentalmente (CEM, tab. VI 5.2) e Y_r rappresenta il fattore di riduzione per una scogliera rispetto ad una superficie liscia. Il CEM fornisce il valore di 0,5.

$$\xi_p = 0,5 / (2,4/169)^{0,5} = 4,19$$

$$Ru_{2\%}/H_s = (A \xi_p + C) Y_r = (-0,2 \times 4,19 + 4,5) \times 0,5 = 1,95 \text{ da cui } Ru_{2\%} = 1,95 \times 2,40 = 4,68 \text{ m}$$

Con $A = -0,2$ $C = 4,5$ ed il coefficiente $Y_r = 0,5$ tiene conto della riduzione di risalita per effetto della porosità e rugosità della scogliera

Si può quindi stimare la quota di run up = $4,7 + 0,90 = 5,60$ m s.l.m.

Le “Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime” (Min. LL. PP.- CNR, 1996) forniscono una diversa indicazione per la stima del run-up sulle scogliere utilizzando i valori di ξ per il periodo medio anziché il periodo di picco

$$Ru_{2\%}/H_s = b(\xi_m)^c \text{ con } b = 1,17 \text{ e } c = 0,46$$

$$(\xi_m) = 0,5 / (2,4/116)^{0,5} = 3,48$$

$$Ru_{2\%}/H_s = 1,17 \times 3,48^{0,46} = 2,07 \text{ da cui } Ru_{2\%} = 4,98$$

Si può quindi stimare la quota di run up superata dal 2% delle onde della mareggiata = $4,98 + 0,90 = 5,88$ m s.l.m.

Se si stima il valore di Ru_s ossia il livello superato dal terzo delle onde più alte si ottiene

$$Ru_s/H_s = b(\xi_m)^c \text{ con } b = 0,88 \text{ e } c = 0,41$$

$Ru_s/H_s = 0,88 \times 3,48^{0,41} = 1,46$ da cui $Ru_s = 3,51$ m. La quota di Ru_s è pertanto di 4,41 m s.l.m.

La scogliera riportata nelle planimetrie e sezioni preliminari con la cresta alla quota di 3m (col livello del mare sopraelevato di 0,90 m rimane un bordo libero di 2,1 m) è sormontata da oltre la metà delle onde durante la mareggiata di progetto (H_s 2,40m)

Le due stime forniscono risultati significativamente diversi; una stima più affidabile può essere ottenuta solo con misure su modello fisico dove vengano riprodotte le modalità del frangimento delle onde sui fondali reali prima di colpire la scogliera.

Per ridurre il sormonto ad un numero di onde più basso è necessario costruire un muro di coronamento che raggiunga la quota di almeno 4,0 m s.l.m. Tuttavia in accordo con i vari enti (Comune ed Autorità Portuale) è stato deciso di posticipare una eventuale sopraelevazione con un muro in sommità o posto a tergo della scogliera nell'area di colmata successivamente al completamento della colmata stessa in relazione anche alle ipotesi di utilizzo dell'area. Si potrà inoltre prevedere un muro a ridosso della scogliera oppure ad una certa distanza dalla stessa in relazione all'utilizzo dell'area. Sarà valutata quindi l'altezza del muro e/o l'ampiezza della fascia di rispetto nella successiva fase progettuale di sistemazione dell'area parco che non è oggetto del presente progetto.

4 MURO IN SOMMITÀ O POSTO NELLA AREA DI COLMATA SUCCESSIVAMENTE ALLA REALIZZAZIONE DELLA COLMATA IN RELAZIONE ANCHE ALLE TRASFORMAZIONI DELL'AREA. VERIFICA DI SORMONTO

La sezione tipo della scogliera è riportata nella figura seguente tenendo conto della possibilità di costruzione utilizzando anche mezzi terrestri, in particolare di realizzare una pista di transito per gli autocarri alla quota di almeno + 1,0 m sul medio mare di larghezza di almeno 6-8 m.

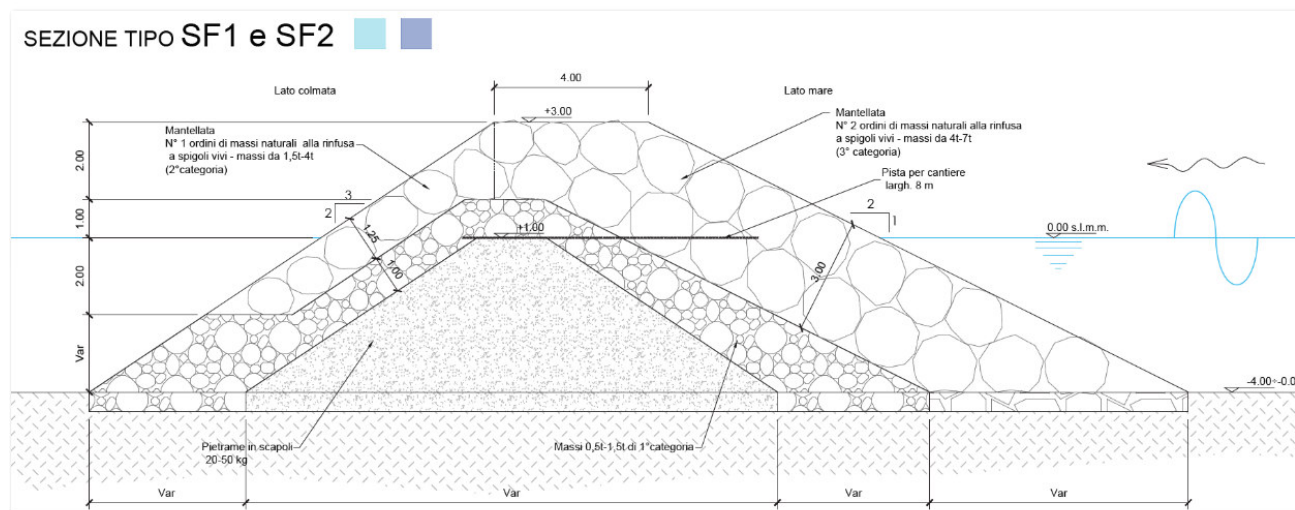


Figura 2 - Sezione tipologica scogliere foranee SF1 e SF2

È stata ipotizzata una pendenza per la scarpata lato mare di 2/1.

Per motivi di salvaguardia degli aspetti paesaggistici è stato ritenuto opportuno non superare la quota di +3,0 m s.l.m per la sommità della scogliera parallela a riva. Come già evidenziato l'eventuale muro paraonde o fascia di "sicurezza" saranno progettate e realizzate una volta effettuata la colmata e deciso il layout superficiale dell'area di colmata. Una prima stima della portata media di overtopping è stata condotta utilizzando i criteri riportati sul Manual of Wave Overtopping (2016).

Il manuale fornisce una relazione per la stima della portata di tracimazione su opere a scogliera che permette di mettere in conto esplicitamente la pendenza della scogliera, la presenza di una berma e la rugosità della scogliera.

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left(-4.75 \frac{R_C}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

Dove:

q è la portata di tracimazione espressa in mc/s/m

g l'accelerazione di gravità

R_c la quota che intercorre tra la sommità della diga, pari all'altezza della scogliera più l'altezza del muro, e il livello del mare, in questo caso +0,6 m s.l.m. (solo marea astronomica e meteorologica in quanto l'incremento dovuto al set-up è messo in conto nelle relazioni)

H_{m0} è l'altezza d'onda significativa davanti all'opera (2,4 m)

γ_f è il fattore di riduzione dovuto alla scabrezza dell'opera, assunto pari a 0.5 per il caso in esame.

γ_β è il fattore di riduzione dovuto alla direzione di incidenza del moto ondoso, pari a 1 per onde incidenti ortogonalmente all'opera, come per il caso in esame

Con questa relazione si ottiene un valore di portata media di tracimazione di 250 l/s/m, nel caso di evento estremo.

La grandezza restituita dalla formula è il valore medio della portata di tracimazione che passa attraverso una sezione di larghezza unitaria nell'unità di tempo. Moltiplicando questo valore per la durata della mareggiata si ottiene il volume di acqua tracimato.

Se fosse ritenuto utile ridurre la tracimazione a valori inferiori, lasciando invariata la scogliera, sarebbe necessario costruire un muro di coronamento anche arretrato (indicativamente di 15-20 m).

Sono disponibili criteri diversi per la stima della portata di tracimazione riportati sul CEM.; è stato fatto riferimento alla formula di Pedersen relativa a test su scogliera con muro paraonde.

Anche questa relazione fornisce una stima della portata media di tracimazione per unità di lunghezza del muro di coronamento (q) in presenza di un attacco ondoso caratterizzato dall'altezza d'onda incidente H_s e periodo medio T_m .

$$\frac{q T_{om}}{L_{om}^2} = 3.2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{H_s}{R_c} \right)^3 \frac{H_s^2}{A_c B \cot \alpha}$$

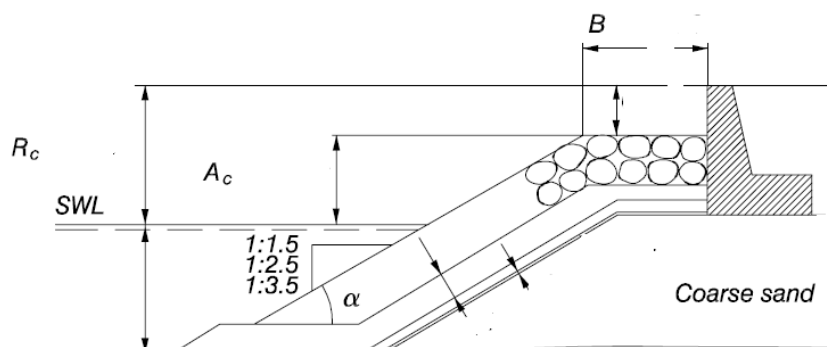


Figura 3 - Caso di muro in calcestruzzo con berma antistante

La stima delle portate di sormonto sopra una scogliera dove è presente un muro di coronamento è fortemente dipendente dalla geometria della struttura dove il valore del parametro più importante è rappresentato dalla quota di sommità del muro rapportata

all'altezza dell'onda incidente (H_s/R_c), ma anche dalla lunghezza ed altezza della berma a protezione del muro e dalla pendenza del paramento lato mare.

Dove $H_s = 2,4$ m $T_m = 8,7$ s $L_{om} = 116$ m

Le caratteristiche geometriche della sezione sono le seguenti $A_c = 2,40$, $R_c = 3,6$ m, $B = 4$ m, $Cot\alpha = 2$

La portata risultante (q) dalla formula di Pedersen risulta di 5.0 l/s.m

Dal Manual on wave overtopping si ricavano le indicazioni relative ai danni che possono verificarsi dietro la barriera.

La portata media di 0,001 mc/s.m è considerata il limite di sicurezza per personale esperto ed equipaggiato che si muove dietro il muro per motivi di servizio, mentre una portata di 0.010 mc/s.m è ritenuto il limite per autoveicoli che si muovono dietro il muro.

Per portate maggiori come quelle stimate in assenza di muro di coronamento per motivi di sicurezza deve essere interdetto l'accesso su una fascia di 20-30 m dietro la scogliera in presenza di mareggiate.

Non essendo ancora definite le condizioni di uso degli spazi immediatamente retrostanti la scogliera si deve tener conto che senza un muro di protezione non si ha alcuna sicurezza neppure per la percorribilità in caso di emergenza così come non risultano stabili eventuali pavimentazioni stradali si deve quindi considerare necessaria l'interdizione all'accesso su una fascia di 20-30 m dalla sommità della scogliera.

Per tale motivo si dovrà progettare una sistemazione dell'area di colmata (esclusa dal presente progetto) dove dovranno essere previsti sistemi strutturali (muro paraonde o fascia di interdizione) integrati con sistemi non strutturali (sirene avvertimento, sistemi monitoraggio, ecc).

Qualora il periodo di tempo fra il completamento della barriera e la costruzione del muro dovesse prolungarsi di diversi anni sarà opportuno stendere sulla fascia retrostante del pietrame di opportuna pezzatura per evitare la fuoriuscita durante le mareggiate intense della sabbia utilizzata per il riempimento.

Per quanto riguarda la sezione del pennello e della scogliera a protezione del ridosso (scogliera SF1 ovest) la portata di overtopping risulta superiore a 50 l/s ma non essendo previsto alcun utilizzo dello spazio retrostante portate di tracimazione elevate non presentano aspetti critici rilevanti. La sezione riportata di seguito è comunque idonea a riparare lo specchio acqueo retrostante e permettere sosta nell'area del "ridosso" da parte di imbarcazioni in transito durante il periodo estivo.

SEZIONE TIPO SF1

Scala 1:100

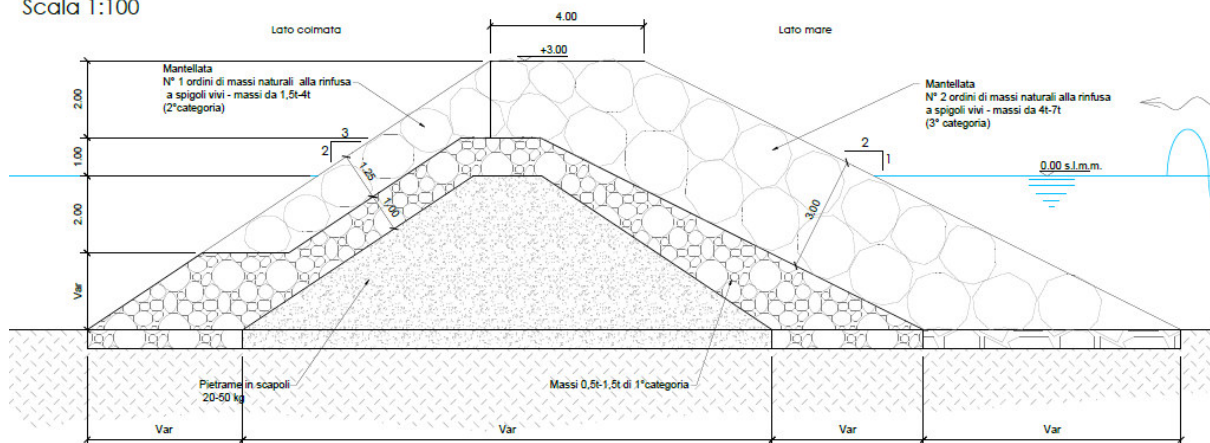


Figura 4 - Sezione tipologica scogliere foranee SF1

4.1 GESTIONE DELLE PORTATE DI TRACIMAZIONE DURANTE IL PERIODO DI CANTIERE PRIMA DELLA REALIZZAZIONE DELLA COLMATA

Durante la fase di cantiere e per un periodo successivo di durata di un paio di anni, dietro la scogliera verrà a trovarsi uno specchio acqueo di acqua stagnante in periodi di mare calmo ma è soggetto a forti variazioni di livello durante le mareggiate.

La portata di overtopping stimata sulla scogliera senza muro di coronamento può essere assunta cautelativamente in 250 l/s/m che corrispondono ad un volume immesso di circa 900 000 mc/ora per km. Considerando una ampiezza media di 150 m per lo specchio acqueo protetto con una superficie stimata di 150 000 mq si ha un allagamento molto rapido dell'area fino quasi alla sommità della scogliera di protezione del rilevato ferroviario. Risulta quindi indispensabile predisporre dei varchi sulla scogliera in modo da contenere a valori accettabili il livello durante il periodo transitorio cioè fino a colmata avvenuta. In prima approssimazione si può ritenere sufficiente un varco ogni 100 m in modo da far uscire una portata sufficientemente elevata a contenere l'innalzamento nella zona allagata. Ipotizzando la soglia del varco al livello del medio mare e la quota massima nella zona protetta di + 2,00 m è necessario cautelativamente un varco ogni 150 m.

Di seguito si riporta sezione tipo che sarà approfondita in fase di progetto esecutivo sia per la dimensione che per la frequenza dei varchi, eventualmente sulla base di misure condotte su modello fisico-

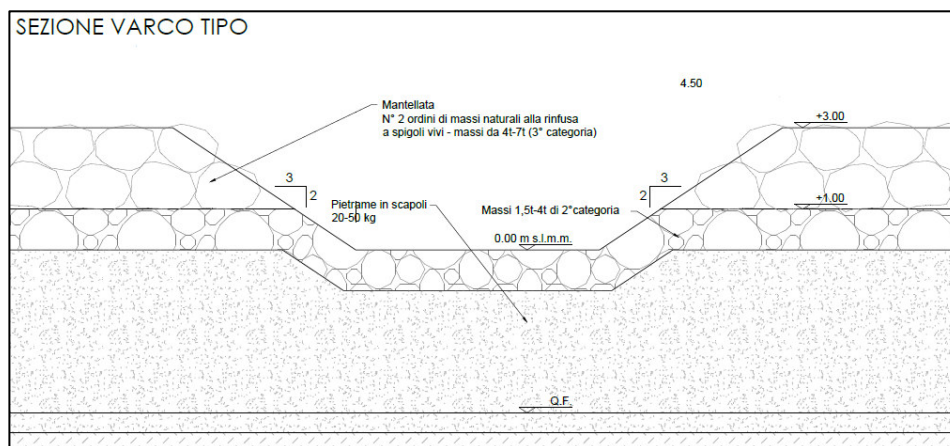


Figura 5 - Sezione tipologica del varco

5 STABILITÀ DEI MASSI DELLA MANTELLATA

Il dimensionamento viene eseguito con la formula di Hudson assumendo per Kd il valore di 2 corrispondente a massi naturali a spigoli vivi provenienti da cave:

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_{n50}} = (Kd \cot \alpha)^{1/3} = 1,59$$

Considerando che nella formula di Hudson per il valore di Kd scelto l'altezza d'onda deve essere assunta come $H_{1/10}$ (pari a $1,27 H_s$), si ottiene $D_{n50} = 1,22$ m e quindi massi di peso medio pari a 4,8 t (CEM TabVI-5-22).

Per quanto riguarda la stabilità della sezione del molo perpendicolare a riva (sez P) l'altezza d'onda di progetto è pari a 2,70 m e $H_{1/10}$ risulta di 3,4 m da cui $D_{n50} = 1,37$ m e quindi massi di peso medio pari a 6,8 t.

Un'analisi più dettagliata può essere condotta con le relazioni di Van der Meer che tengono conto di un maggior numero di parametri che influenzano il fenomeno della stabilità e tengono conto dell'azione di onde irregolari.

Nel caso di massi naturali, Van der Meer introduce due formule, in funzione del tipo di frangimento che si sviluppa sulla scogliera:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \quad \text{per } \xi_m < \xi_{mc} \quad \text{"plunging waves"}$$
$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 S^{0.2} P^{-0.13} N_z^{-0.1} (\cot \alpha)^{0.5} \xi_m^P \quad \text{per } \xi_m > \xi_{mc} \quad \text{"surging waves"}$$

Dove:

H_s = Altezza d'onda significativa al piede della struttura pari a 2,4 m

$$\Delta = \frac{\delta_s}{\delta_w} - 1 = 1,57$$

δ_s = Densità dei massi naturali= 2.65 t/m³

δ_w = Densità dell'acqua di mare= 1.03 t/m³

D_{n50} = Diametro nominale equivalente (m)

P= Parametro indicatore della permeabilità della struttura assunto pari a 0,4

N_z = n° onde della mareggiata ~ 5000

s_m = Ripidità d'onda= H_s/L_{om} pari a $2,4/116$ m = 0,020

L_{om} = Lunghezza d'onda al largo corrispondente al periodo medio $T_m = 116$ m

α = Angolo formato dalla scarpata con l'orizzontale ($\tan \alpha = 0,5$)

S= Livello di danneggiamento della struttura che può essere calcolato con la seguente espressione:

$$S = A_e / D_{n50}^2$$

Dove A_e = area della sezione trasversale erosa dalla mareggiata

Per ottenere una corrispondenza con la formula di Hudson si può porre $S=2$, valore che corrisponde a circa il 5% di danno calcolato con la relazione di Hudson.

I parametri:

$$\xi_m = s_m^{-0.5} \tan \alpha$$

$$\xi_{mc} = (6.2 P^{0.31} (\tan \alpha)^{0.5})^{1/P+0.5}$$

Risultano rispettivamente

$$\xi_m = 3,53$$

$$\xi_{mc} = 4,66 \times 0,680 = 3,17$$

Dalla relazione relativa ad onde frangenti si ricava $N_s = 6.2 S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} = 1,68$

da cui $D_{n50} = \frac{H_s}{\Delta N_s} = 1,12m$

Il peso medio dei massi risulta quindi 2,8 t si ritiene opportuno costruire la mantellata con massi di III categoria da 3-6 t con valor medio di 4 t.

Per quanto riguarda la sezione del pennello inclinato soggetta all'azione delle onde frangenti di 2,7 m si ottiene un valore di $D_{n50} = 1,53 m$ a cui corrisponde un peso medio dei massi di 5,3 t.

Le due stime conducono allo stesso risultato indicando necessari massi di 3° categoria 3-6 t. ma nel tratto terminale del pennello sono necessari massi di peso superiore pari a 4-7 t con peso medio superiore a 5 t.

In via cautelativa sono stati utilizzati per la mantellata della scogliera foranea (lato mare) e del pennello (lato mare) un doppio ordine di massi di III categoria. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati di progetto.

Bibliografia

US.Army Corp of Engineers - Coastal Engineering Manual (CEM) -ParVI, cap. 5.

Ministero LL.PP. – CNR Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime. 1996.

EurOtop- Manual on wave overtopping of sea defences and related structures - release 2016.

Goda Y. - Random Seas and Design in Maritime Structures Tokyo Univ. Press. 2005

Firenze 30 agosto 2018

Prof. Ing Pier Luigi Aminti

