



# COMUNE DI RIPOSTO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO  
DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE.  
*MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO*

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**



DATA:

**06-07-2017**

SEZIONE:

**D: STUDI SPECIALISTICI E MODELLAZIONI**

ELAB./TAV.:

**D.02**

OGGETTO:

**STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA**

PROGETTAZIONE:



PROGETTISTA:

Ing. Antonino SUTERA

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Giuseppe BERNARDO  
Ing. Massimo TONDELLO  
Ing. Roberta Chiara DE CLARIO

Certified by Bureau Veritas Italia S.p.A.

ISO 9001:2008

ISO 14001:2004

Sistema di Gestione Qualità

Sistema di Gestione Ambientale

ASSOCIATO



Associazione delle organizzazioni di ingegneria  
di architettura e di consulenza tecnico-economica

REVISIONI	REV. n°	DATA	MOTIVAZIONE

R.U.P.:

Arch. Salvatore CALÌ

VISTI/APPROVAZIONI:

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

---

## INDICE

1	PREMESSA	2
2	CRITERI UTILIZZATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE	3
	2.1 <i>DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA</i>	3
	2.2 <i>DIMENSIONAMENTO DEGLI STRATI DI TRANSIZIONE</i>	4
	2.3 <i>VERIFICA DELLA TRANSIZIONE TRA STRATI DIVERSI</i>	5
	2.3.1 <i>Verifica della transizione mantellata/nucleo</i>	5
	2.3.2 <i>Verifica della transizione imbascamento/terreno di fondazione</i>	5
	2.3.3 <i>Verifica della transizione geotessile – terreno di base (Metodo di HEERTEN)</i>	6
	2.4 <i>CRITERIO DI IDONEITÀ MECCANICA (LAWSON)</i>	6
3	CONCLUSIONI	8

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

## 1 PREMESSA

Nella presente Relazione si riportano il dimensionamento e le verifiche relativi all'intervento previsto nell'ambito del Progetto Definitivo – Esecutivo “*OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO- RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO*”.

Obiettivo del Progetto è la mitigazione dell'agitazione ondosa interna, connessa principalmente con l'innescarsi del fenomeno della risonanza nel bacino portuale, che al momento non consente l'operatività dei pontili e pone seri problemi in termini di sicurezza dell'intera area portuale.

In attesa dell'attuazione degli interventi previsti al vigente P.R.P. ed in funzione delle aree attualmente disponibili, tra le diverse soluzioni analizzate (cfr. *Elaborato D.01 – Studi su modello matematico*), la scelta progettuale è ricaduta sulla realizzazione di una scogliera in massi naturali con funzione antiriflettente, da posizionare a ridosso della Banchina Grasso, consentendo un notevole abbattimento dell'altezza d'onda residua all'interno del primo bacino, a fronte di un investimento economico non eccessivo, grazie alle limitate profondità ivi presenti.

La scogliera, realizzata su fondali posti mediamente a circa – 5,00 m s.l.m.m. e con coronamento a quota + 1,05 m s.l.m.m., presenterà le seguenti caratteristiche:

- mantellata costituita da un doppio strato di massi naturali di seconda categoria (con peso del singolo masso compreso tra 1 e 3 t), con pendenza della scarpata 1:1,5 e spessore pari a 1,80 m;
- nucleo in massi naturali di prima categoria (con peso del singolo masso compreso tra 120 e 210 kg);
- scanno di imbasamento in massi naturali di prima categoria (con peso del singolo masso compreso tra 120 e 210 kg), pendenza della scarpata 3:4;
- geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia con resistenza a trazione pari a 50 kN/m, ed un geotessile non tessuto in poliestere del peso di 140 g/m<sup>2</sup>, con apertura caratteristica di filtrazione pari a 0,10 mm, interposto tra i massi naturali ed il terreno di base al fine di prevenire l'erosione di quest'ultimo attraverso gli elementi della scogliera.

Il dimensionamento dell'opera è stato definito in relazione alle caratteristiche di antiriflettente richieste alla scogliera per limitare il fenomeno della risonanza che si innesca nello specchio acqueo considerato oltre che in funzione di un suo possibile riutilizzo qualora le opere previste dal Piano Regolatore Portuale vengano completate, ed è stato altresì verificato anche in relazione alla stabilità dell'opera nei confronti del moto ondoso presente nel bacino.

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

## 2 CRITERI UTILIZZATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

Il presente capitolo descrive l'approccio impiegato per il calcolo del peso degli elementi della mantellata della scogliera.

La metodologia impiegata fa riferimento alle indicazioni contenute nel *Coastal Engineering Manual* (CEM) edito dallo US Army Corps of Engineers (USACE) ed alle *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime* emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il calcolo dei massi è stato condotto considerando un'onda frangente associata alle mareggiate estreme di Greco-Levante (67.5° N).

### 2.1 Dimensionamento della mantellata

Per la progettazione della mantellata è stata impiegata la formula proposta da HUDSON.

Tale formulazione consente di determinare il peso dei massi che costituiscono la mantellata di scogliere emerse esposte all'azione dell'onda frangente, realizzate con almeno due strati di massi naturali.

Il peso medio dei massi della mantellata viene calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$W_{50} = \frac{\gamma_s H^3}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_a} - 1\right)^3 \text{ctg}(\alpha) K_D}$$

dove

- $W_{50}$  indica il peso medio dei massi della mantellata, nell'ipotesi che il peso di tutti gli elementi dello strato più esterno sia compreso tra  $0,75 W_{50}$  e  $1,25 W_{50}$ ;
- $H$  rappresenta l'altezza dell'onda di progetto;
- $\gamma_s$  il peso specifico dei massi;
- $\gamma_a$  il peso specifico dell'acqua di mare;
- $\alpha$  l'angolo che la scarpata della mantellata forma con l'orizzontale;
- $K_D$  il coefficiente di stabilità (SPM, USACE 1984) che, nel caso di onda frangente ed impiego di massi naturali con forma spigolosa, assume il valore di 2,00 per le sezioni intermedie e 1,60 per le sezioni di testata dell'opera.

Applicando i suddetti valori alla formula di HUDSON, si ottiene che il peso medio dei massi che costituiranno la mantellata sarà pari a 260 kg.

Considerato che lo scarto ammissibile rispetto al peso  $W_{50}$  deve essere del 25%, i massi impiegati per la realizzazione della mantellata dovranno avere peso compreso tra 200 e 300 kg.

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

Nella seguente Tabella 2-1 si riportano i dati di input utilizzati ed il relativo risultato:

**Tabella 2-1 Dimensionamento della mantellata (HUDSON)**

	<b>Simbolo</b>	<b>Valore</b>
Altezza onda di progetto [m]	H	1,00
Peso specifico dei massi [t/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$	2,70
Peso specifico dell'acqua di mare [t/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_a$	1,03
Coefficiente di stabilità	$K_D$	1,60
Diametro nominale dei massi [m]	<b>D<sub>N50</sub></b>	<b>0,46</b>
Peso medio dei massi [t]	<b>W<sub>50</sub></b>	<b>0,26</b>

Tuttavia, al fine di ottenere i migliori risultati in termini di antiriflessione dell'opera, la mantellata sarà costituita da massi di pezzatura superiore rispetto a quanto richiesto per consentirne la stabilità nei confronti del moto ondoso agente.

Inoltre, qualora le opere previste dal Piano Regolatore Portuale venissero completate, la scogliera potrà essere rimossa e gli elementi costituenti la stessa potranno essere riutilizzati in seno alla sezione del prolungamento del molo sopraflutto, restituendo totale funzionalità alla banchina esistente.

La scogliera di progetto pertanto presenterà una mantellata costituita da un doppio strato di massi naturali di seconda categoria (peso del singolo masso compreso tra 1,0 e 3,0 t), con spessore pari a 1,80 m.

## 2.2 Dimensionamento degli strati di transizione

La configurazione degli strati filtro presenti al di sotto della mantellata è direttamente dipendente dalle caratteristiche geometriche della mantellata stessa e dai relativi elementi.

Per il loro dimensionamento si è fatto riferimento a quanto riportato nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Gli elementi impiegati dovranno avere peso compreso fra 1/10 e 1/15 del peso degli elementi della mantellata; lo spessore può essere ricavato in base all'espressione:

$$s = n \cdot K_{\Delta} \cdot D_{N50}$$

in cui n rappresenta il numero degli elementi nello spessore e deve essere  $\geq 2$  e  $K_{\Delta}$  è un coefficiente di forma funzione del tipo di elemento e della tipologia di collocazione in opera, oltre che del numero di strati.

Nel caso in esame, considerando per la mantellata l'impiego di massi naturali di seconda categoria, il sottostrato filtro sarà costituito da massi del peso compreso tra 120 e 210 kg.

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

## 2.3 Verifica della transizione tra strati diversi

La scogliera è costituita da strati di pezzatura differente, di conseguenza è necessario verificare la transizione tra gli stessi attraverso l'applicazione dei criteri di ritenzione, basati prevalentemente su considerazioni di carattere geometrico.

### 2.3.1 Verifica della transizione mantellata/nucleo

La mantellata, in massi del peso compreso tra 1,0 e 3,0 t, si trova a contatto con il nucleo, costituito da massi di pezzatura inferiore, con peso compreso tra 120 e 210 kg.

Per verificare la transizione tra i due strati è stato adottato il criterio proposto dal **CERC SPM** (1984), valido per mantellate di granulometria uniforme in condizioni di flusso non stazionario (esposte al moto ondoso).

Tale criterio si basa sulla limitazione del rapporto tra il diametro degli elementi del filtro ( $D_f$ ), o del materiale a granulometrica maggiore, e quello degli elementi del materiale di base ( $D_b$ ), o del materiale a granulometrica più fine:

$$\frac{D_f}{D_b} \leq 2,2$$

La verifica viene condotta con riferimento a strati contigui di materiali granulari aventi differente pezzatura; pertanto, per la scogliera di progetto, tra la mantellata e lo strato filtro sottostante.

Il valore del diametro del filtro  $D_f$  (rappresentato dagli elementi della mantellata, costituita da massi di II categoria) è stato assunto pari al diametro di un masso naturale da 1,0 t (limite inferiore della pezzatura impiegata per la mantellata), mentre il diametro del materiale di base  $D_b$  (costituito dagli elementi dello strato filtro) è stato assunto pari al diametro di un masso naturale da 210 kg (limite superiore della pezzatura utilizzata).

Effettuando la verifica si ottiene:

$$\frac{D_f}{D_b} = \frac{0,72}{0,43} = 1,69 \leq 2,2$$

Il criterio risulta pertanto soddisfatto.

### 2.3.2 Verifica della transizione imbasamento/terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da TERZAGHI (1922) per i materiali granulari.

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

Tale criterio si basa sul principio che la granulometria del corpo filtrante deve impedire la migrazione della frazione più fine del terreno esistente in situ (terreno di base) attraverso il corpo drenante, al fine di evitare l'intasamento dello stesso e la progressiva erosione del terreno all'intorno.

La formula di verifica proposta da TERZAGHI prevede che il rapporto tra il diametro corrispondente al 15% del passante in peso del materiale drenante ( $D_{15f}$ ) ed il diametro corrispondente all'85% del passante in peso del terreno da drenare ( $D_{85b}$ ) sia inferiore a 4.

Nel caso in esame, il diametro  $D_{15f}$  è stato assunto pari a 0,36 m, corrispondente al masso che rappresenta il limite inferiore della pezzatura scelta per la realizzazione dell'imbasamento, pari a 120 kg.

Di conseguenza, affinché la verifica risulti soddisfatta, è necessario che il  $D_{85b}$  minimo sia pari almeno a 0,09 m.

Per garantire tale condizione, si è scelto di interporre tra la scogliera ed il terreno di base un geocomposito, costituito dall'accoppiamento di un geotessile non tessuto con peso di 140 g/mq e apertura caratteristica di filtrazione pari a 0,1 mm, con una geogriglia a maglia quadra regolare con resistenza alla trazione pari a 50KN/m.

### 2.3.3 Verifica della transizione geotessile – terreno di base (Metodo di HEERTEN)

Data l'estensione planimetrica della scogliera e considerando che alla base della stessa possa localmente essere presente del materiale più fine rispetto a quello richiesto dal criterio di TERZAGHI, si è ritenuto ragionevole interporre tra i massi ed il terreno di base un filtro di geotessile, accoppiato ad una geogriglia per motivi di idoneità meccanica.

Il dimensionamento del filtro di geotessile può essere eseguito mediante l'applicazione del metodo di HEERTEN (1982), valido in condizioni di flusso non stazionario, espresso dalla seguente formula:

$$D_w < D_{50}$$

in cui  $D_w$  rappresenta l'apertura efficace di filtrazione, determinata mediante test tipo "wet sieving" (EN ISO 12956) e  $D_{50}$  rappresenta il diametro mediano del materiale di base.

Prevedendo di impiegare un geotessile non tessuto in poliestere del peso di 140 g/m<sup>2</sup>, con apertura caratteristica di filtrazione pari a 0,10 mm, la verifica proposta da HEERTEN risulta soddisfatta nel caso in esame, in quanto il terreno di base è costituito da un materiale con  $D_{50}$  sicuramente maggiore di 0,10 mm.

## 2.4 Criterio di idoneità meccanica (LAWSON)

La lacerazione rappresenta il meccanismo di rottura più probabile per il geotessile utilizzato come filtro al disotto della protezione in massi. Il danneggiamento, in questo tipo di costruzioni, avviene prevalentemente durante la messa in opera.

Per la verifica dell'idoneità meccanica del geotessile, cioè della capacità del geotessile stesso di sopportare le sollecitazioni meccaniche conseguenti alle fasi di costruzione, si fa riferimento al criterio proposto da LAWSON (1992).

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

I parametri di riferimento per la verifica secondo il criterio di LAWSON sono la dimensione degli elementi lapidei posti sopra il geotessile (rappresentata dal  $D_{85}$  del materiale lapideo), e la resistenza caratteristica alla lacerazione del geotessile ( $F_T$  [N]), valutata secondo la prova ASTM D4533 (*"trapezoidal tear test method"*).

La resistenza caratteristica può anche essere dedotta da prove standard analoghe a quella descritta dall'ASTM, quali la ISO 13434 o UNI 8279.

La resistenza alla lacerazione richiesta al geotessile è data in questo caso dalla relazione:

$$F_T \geq f \cdot 1500(D_{85})^{0,75}$$

con  $f$  coefficiente di sicurezza posto generalmente pari a 4.

Nel caso dell'impiego di geocompositi nei quali la resistenza meccanica è demandata ad elementi "rigidi" (georeti o geogriglie), come nel caso in esame, appare ragionevole sostituire alla resistenza alla lacerazione la resistenza a trazione.

La geogriglia impiegata presenta maglia quadrata regolare e resistenza alla trazione (EN 10319) pari a 50 kN/m. Essendo posta direttamente a contatto con i massi costituenti lo scanno di imbasamento, di peso compreso tra 120 e 210 kg ed ipotizzando di posizionare alla base dello scanno gli elementi di pezzatura inferiore, si può ragionevolmente assumere che il diametro  $D_{85}$  degli elementi della scogliera considerato nella verifica, sia corrispondente al diametro di un masso da 120 kg e che lo strato di posa abbia superficie irregolare.

Applicando la relazione precedente, pertanto, si ottiene:

$$F_T \geq 1500(D_{85})^{0,75} \geq 2,77 \text{ kN}$$

Pertanto, tenendo conto anche della larghezza del provino sottoposto a trazione pari a 76 mm, si ottiene una resistenza a trazione pari a 36,42 kN/m, inferiore rispetto alla resistenza offerta dalla geogriglia e la verifica risulta pertanto soddisfatta.

## PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO. RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO

## STUDIO GEOTECNICO - DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA

### 3 CONCLUSIONI

Con riferimento all'intervento previsto nell'ambito del Progetto Definitivo – Esecutivo *“OPERE COMPLEMENTARI PER LA PROTEZIONE DELLO SPECCHIO ACQUEO DEL 1° BACINO DEL PORTO TURISTICO DI RIPOSTO - RIELABORAZIONE GENERALE – MISURE DI MITIGAZIONE DEL FENOMENO DI RISONANZA ALL'INTERNO DEL BACINO”*, nella presente relazione sono stati riportati il dimensionamento e la verifica della scogliera antiriflettente da collocarsi a ridosso della Banchina Grasso del primo bacino del Porto di Riposto.

Scopo dell'intervento è la mitigazione dell'agitazione ondosa interna, connessa principalmente con l'innescarsi del fenomeno della risonanza nel bacino portuale, che al momento non consente l'operatività dei pontili e pone seri problemi in termini di sicurezza dell'intera area portuale.

In attesa dell'attuazione degli interventi previsti al vigente P.R.P. ed in funzione delle aree attualmente disponibili, tra le diverse soluzioni analizzate, la scelta progettuale è ricaduta sulla realizzazione di una scogliera in massi naturali con funzione antiriflettente, da posizionare a ridosso della Banchina Grasso, consentendo un notevole abbattimento dell'altezza d'onda residua all'interno del primo bacino, a fronte di un investimento economico non eccessivo, grazie alle limitate profondità ivi presenti.

Il dimensionamento dell'opera è stato definito in relazione alle caratteristiche di antiriflettenza richieste alla scogliera per limitare il fenomeno della risonanza che si innesca nello specchio acqueo considerato oltre che in funzione di un suo possibile riutilizzo qualora le opere previste dal P.R.P. vengano completate, ed è stato altresì verificato anche in relazione alla stabilità dell'opera nei confronti del moto ondoso presente nel bacino.

Pertanto la scogliera, che sarà realizzata su fondali posti mediamente a circa – 5,00 m s.l.m.m. e con coronamento a quota + 1,05 m s.l.m.m., presenterà le seguenti caratteristiche:

- mantellata costituita da un doppio strato di massi naturali di seconda categoria (con peso del singolo masso compreso tra 1 e 3 t), con pendenza della scarpata 1:1,5 e spessore pari a 1,80 m;
- nucleo in massi naturali di prima categoria (con peso del singolo masso compreso tra 120 e 210 kg);
- scanno di imbasamento in massi naturali di prima categoria (con peso del singolo masso compreso tra 120 e 210 kg), pendenza della scarpata 3:4;
- geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia con resistenza a trazione pari a 50 kN/m, ed un geotessile non tessuto in poliestere del peso di 140 g/m<sup>2</sup>, con apertura caratteristica di filtrazione pari a 0,10 mm, interposto tra i massi naturali ed il terreno di base al fine di prevenire l'erosione di quest'ultimo attraverso gli elementi della scogliera.

Sono stati inoltre verificati anche il criterio di ritenzione dei filtri granulari della scogliera e del geocomposito e l'idoneità meccanica di quest'ultimo.