

## PROGETTO DEFINITIVO DIGA FORANEA DI PROTEZIONE PORTUALE



Tav. Stato Progetto DEFINITIVO Rev. Data Sett. 2011 Scala

# DF

Descrizione

Relazione sul Dimensionamento Idraulico delle Scogliere  
e Stabilità delle Opere a Gettata

# R.02

Committente

M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l.  
Via Favara 452/c bis- T. +39 0923 722319

**MyR**  
Marsala Yachting Resort

Capo Progetto

**Ing. Massimo Ombra**

Ordine degli Ing. della Provincia di Trapani n° 1046

Timbro e Firma



Progettisti

Coordinamento gruppo di progettazione:

Ing. Francesco Di Noto

Ingegneria marittima / civile e studi ambientali:

Ing. Antonio D'Arrigo

Collaborazioni

Opere marittime:

Ing. Agostino La Rosa

Analisi strutturali e geotecniche:

Ing. Nicola Rustica

Impianti idrici:

Ing. Giovanni Berbiglia

Impianti elettrici e di illuminazione:

Ing. Pietro Inferrera / Ing. Massimo Brancatelli

Aspetti ambientali:

Ing. Domenico Mangano

Studi geologici e geotecnici:

Dott. Piero Merk Ricordi

**REGIONE SICILIANA**



**COMUNE DI MARSALA**

*Provincia di Trapani*



\*\*\*\*\*

## **PROGETTO DEL PORTO TURISTICO**

### **Marina di Marsala**

\*\*\*\*\*

**Committente: M.Y.R. Marsala Yachting Resort S.r.l**

\*\*\*\*\*

## **RELAZIONE SUL DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE SCOGLIERE E STABILITÀ DELLE OPERE A GETTATA**

\*\*\*\*\*

# INDICE

<b>1. GENERALITÀ .....</b>	<b>1</b>
1.1. PREMESSA .....	1
1.2. RELAZIONI DI RIFERIMENTO .....	1
<b>2. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO E DEL PROGETTO.....</b>	<b>2</b>
2.1. ANALISI DELLE CONDIZIONI METEOMARINE .....	2
2.2. PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO.....	3
2.3. STUDIO DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA .....	4
2.4. ALTEZZE D'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE.....	12
<b>3. CRITERI DI VERIFICA DELLE SCOGLIERE DI PROTEZIONE .....</b>	<b>14</b>
3.1. PREMESSA .....	14
3.2. PROGETTO DELLA MANTELLATA .....	16
3.3. STABILITA' DEGLI STRATI DI TRANSIZIONE E DEL NUCLEO .....	20
3.4. STABILITA' DELLA BERMA AL PIEDE - CRESTA.....	20
<b>4. CALCOLI DI VERIFICA DELLE SCOGLIERE IN PROGETTO.....</b>	<b>22</b>
4.1. PREMESSA .....	22
4.2. HUDSON – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI LEVANTE .....	23
4.3. HUDSON – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO COLOMBO.....	24
4.4. HUDSON – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI PONENTE.....	25
4.5. VAN DER MEER - SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI LEVANTE .....	26
4.6. VAN DER MEER – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO COLOMBO .....	33
4.7. VAN DER MEER – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI PONENTE.....	40
4.8. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI PER IL PROGETTO DELLE MANTELLATE.....	47

# 1. GENERALITÀ

## 1.1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce ai calcoli idraulici marittimi relativi alla verifica delle scogliere di protezione previste nell'ambito del "**Progetto del Porto Turistico Marina di Marsala**". In particolare è prevista la realizzazione delle opere a gettata di seguito elencate:

1. Scogliera di testata da realizzarsi in corrispondenza del prolungamento di progetto del **Molo di Levante**;
2. Rifiorimento della scogliera di protezione della testa del **Molo di Ponente**;
3. Rifiorimento della scogliera di protezione della testa del **Molo Colombo** sottoposto a rettifica nel presente progetto, in corrispondenza del faro.

La relazione consta di tre parti:

- nella prima viene riassunto il regime meteomarinico del paraggio;
- nella seconda parte si riportano i criteri e i calcoli relativi alle opere in progetto;
- nella terza parte si riportano i calcoli eseguiti per la verifica idraulica e di stabilità dell'opera.

## 1.2. RELAZIONI DI RIFERIMENTO

- [1] AP R.06 - Inquadramento idrogeologico, geologico e geotecnico
- [2] AP R.07 - Aggiornamento e riorganizzazione dell'area portuale di Marsala – Progetto Definitivo, Piano di indagine geognostica, Piano di caratterizzazione ambientale – Relazione Tecnica
- [3] AP R.03 – Studio del moto ondoso sotto costa
- [4] AP R.08 - Relazione Geotecnica

## 2. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO E DEL PROGETTO

### 2.1. ANALISI DELLE CONDIZIONI METEOMARINE

Il tratto di costa oggetto di studio si trova nel territorio di Marsala lungo la fascia litoranea, individuabile approssimativamente nei dintorni delle coordinate lat.  $37^{\circ}47'0.00''$  N – lon.  $12^{\circ}26'0.00''$  E.

In primo luogo si è individuato il paraggio interessato dal tratto di costa in esame e si è verificato che tale paraggio si estende da  $160^{\circ}$  N a  $340^{\circ}$  N. lo stesso è limitato a Nord dall'estrema punta occidentale dell'isola denominato Capo Lilibeo, e a Sud-Sud-Est da Torre Scibiliana nel comune di Petrosino.

L'ampiezza complessiva del paraggio è pari a  $180^{\circ}$ . Nella Figura 1 sono riportati i fetches geografici relativi alla corografia del paraggio, determinati ad intervalli di  $5^{\circ}$  rispetto al Nord ed espressi numericamente in km.

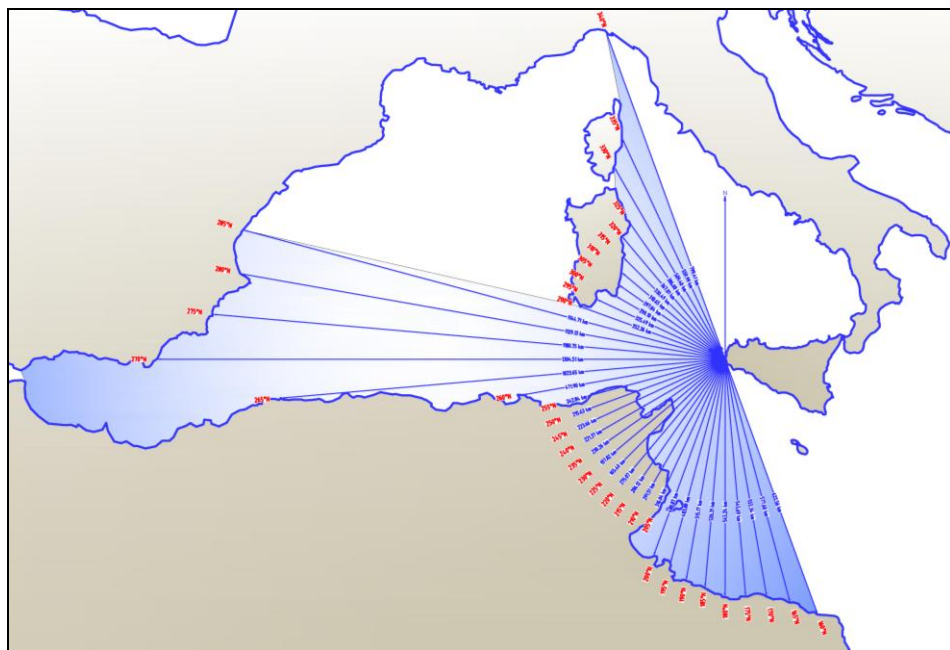


Figura 1 – Fetches geografici relativi al paraggio di Marsala

Nello Studio Idraulico Marittimo si sono studiati i venti che soffiano all'interno della zona di generazione del moto ondoso. A questo scopo si sono utilizzati i dati riportati nel *Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea* – Aprile 2004.

In particolare si è fatto riferimento ai dati MedAtlas corrispondenti alla stazione identificata dalle coordinate  $38^{\circ}$ N,  $12^{\circ}$ E. In particolare si evince che i venti dominanti provengono con maggiore frequenza da Ponente e da Libeccio e con minore frequenza

da Nord e Ostro. I venti con alta frequenza, ma non classificabili regnanti, risultano provenire da tutto il paraggio interessato con picchi in corrispondenza di Ponente e Mezzogiorno Libeccio.

La seconda via adottata per il calcolo del moto ondoso al largo relativo al paraggio in esame ha fatto riferimento ai dati di moto ondoso desunti dallo stesso atlante MedAtlas, rilevando che il moto ondoso con maggiore frequenza ma con una bassa altezza d'onda proviene da Ponente e da Scirocco. Le onde di altezza  $H_s$  superiore a 3,00 m provengono da NN-O, S e SS-E.

Inoltre si sono analizzati i valori degli eventi di moto ondoso rilevati dall'APAT (Boa RON Mazara del Vallo LAT. 37°31'05"N LON. 12°32'E). Anche qui, in accordo con le elaborazioni descritte sopra, la direzione di provenienza del moto ondoso di maggiore frequenza e bassa intensità risulta da Ponente e da Libeccio mentre il moto ondoso di maggiore intensità superiore a 3 m di altezza d'onda proviene da Maestrale-Ponente e da Libeccio-Mezzogiorno.

## **2.2. PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO**

Per la previsione del moto ondoso al largo si è utilizzato il metodo di Sverdrup-Munch e Bretshneider (SMB) con il quale è stato possibile ricavare l'altezza  $H_s$  e il periodo di picco  $T_p$  per ogni valore del fetch  $F$ , della velocità del vento  $V$ , della durata  $t$  in funzione del tempo di ritorno  $T_r$ . Si sono considerati i settori compresi tra l'11 e il 23 e per ognuno di essi si sono considerate le velocità del vento in funzione ai tempi di ritorno  $T_r = 5, 10, 50, 100, 120$  anni.

La determinazione dell'onda di progetto è eseguita in funzione di un fissato tempo di ritorno  $T_{rp}$  determinato in accordo con quanto riportato nelle *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime* redatte dal *Ministero dei Lavori Pubblici*.

Per le scogliere, che sono opere flessibili e comunque riparabili, si è assunta la probabilità di danneggiamento incipiente, inteso come livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione. In questo caso per rischio di vita umana limitata e per ripercussione economica bassa si ha un valore  $P_f = 0.50$  per cui si ottiene  $T_{rp} = 36$  anni per cui si assume un  $T_{rp} = 50$  anni.

### 2.3. STUDIO DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Per le analisi numeriche eseguite e di cui si riportano di seguito i risultati, si è utilizzato il codice di calcolo MIKE 21, che è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei.

I valori in input da assegnare al modello sono, oltre la batimetria della zona di propagazione del moto ondoso, le caratteristiche dell'onda al contorno dell'area in esame, il campo di vento nella zona in esame e il campo di corrente.

Per definire il moto ondoso in prossimità delle opere occorre predisporre i seguenti dati:

- *dati relativi alla batimetria del sito*; si riferiscono sia ai rilievi di dettaglio del fondo marino sottocosta fino all'isobata -10.00, sia a profondità maggiori, di minor dettaglio ottenibili da carte nautiche.

- *dati relativi al moto ondoso*; si riferiscono al clima ondoso al largo nel sito in esame e sono stati ottenuti dai dati di mare APAT e MEDATLAS nonché dai dati di vento MEDATLAS come meglio specificato in precedenza.

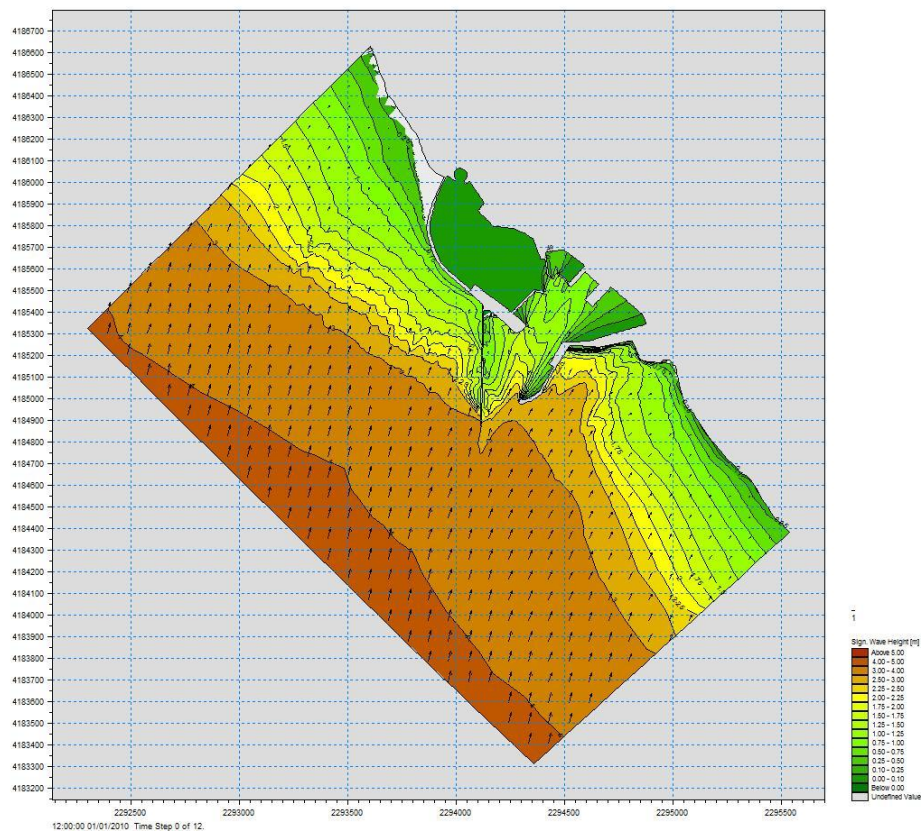
Per definire le caratteristiche del moto ondoso sotto costa partendo dal clima ondoso al largo si è fatto riferimento al modello SW che permette la trasposizione del clima ondoso comprendendo le trasformazioni dell'onda per *shoaling*, rifrazione, attrito sul fondo ed eventualmente vento locale.

Le analisi bidimensionali del moto ondoso sottocosta sono stati effettuate tramite un modello SW di maggiore dettaglio per tenere in conto anche i fenomeni di diffrazione dell'onda tipici della presenza di strutture costiere quali pennelli trasversali, scogliere longitudinali sommerse o soffolte e moli.

Una volta studiato il clima ondoso a largo si è “estratto” il clima ondoso sotto costa nel punto di coordinate UTM 4184295,5N 273833,5E. Nella tabella seguente si riportano le onde estratte poste come input del modello di dettaglio per il tempo di ritorno di 50 anni adottato per il dimensionamento delle scogliere. Nelle figure seguenti sono riportati i risultati del modello di dettaglio.

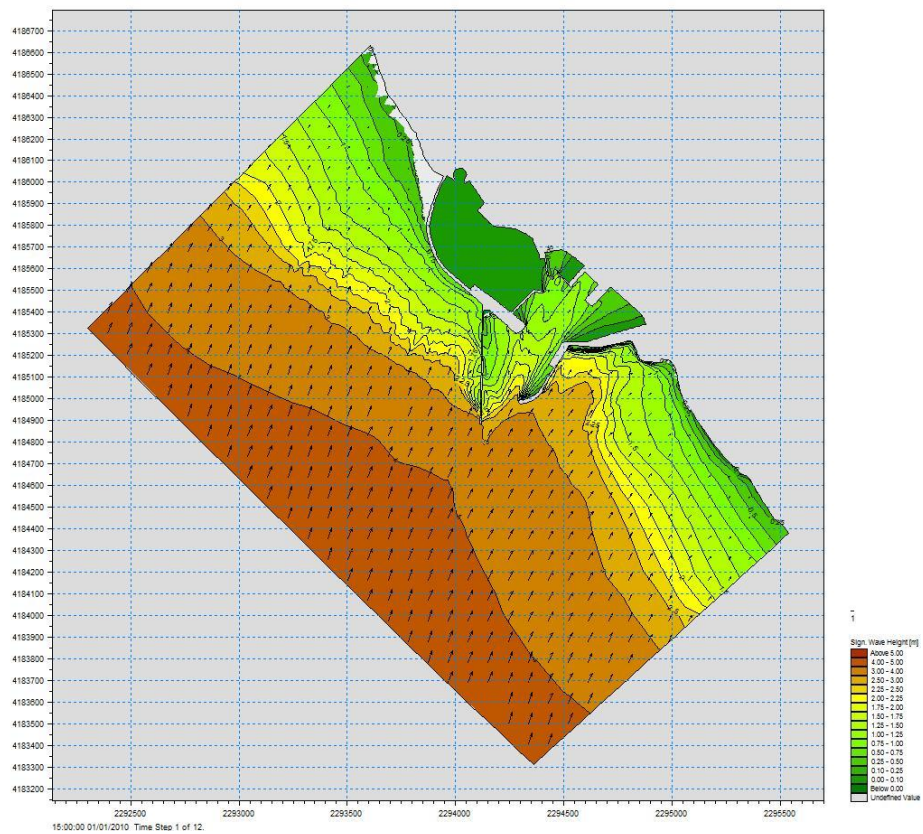
Settori	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	4.20464	9.34919	191.157
12	4.55246	10.1197	198.347
13	4.62777	10.3441	204.256
14	4.65786	10.4371	210.862
15	4.68545	10.5093	218.442
16	4.75324	10.7266	226.218
17	4.77103	10.8156	233.226
18	4.80885	11.0892	238.824
19	4.86993	11.7074	242.703
20	4.87182	12.1109	245.941
21	4.76148	11.8712	249.891
22	4.48762	11.1165	255.295
23	4.21128	10.5682	260.119

**Tabella 1 – Valori di Hs e Tp per Tr 50 anni**

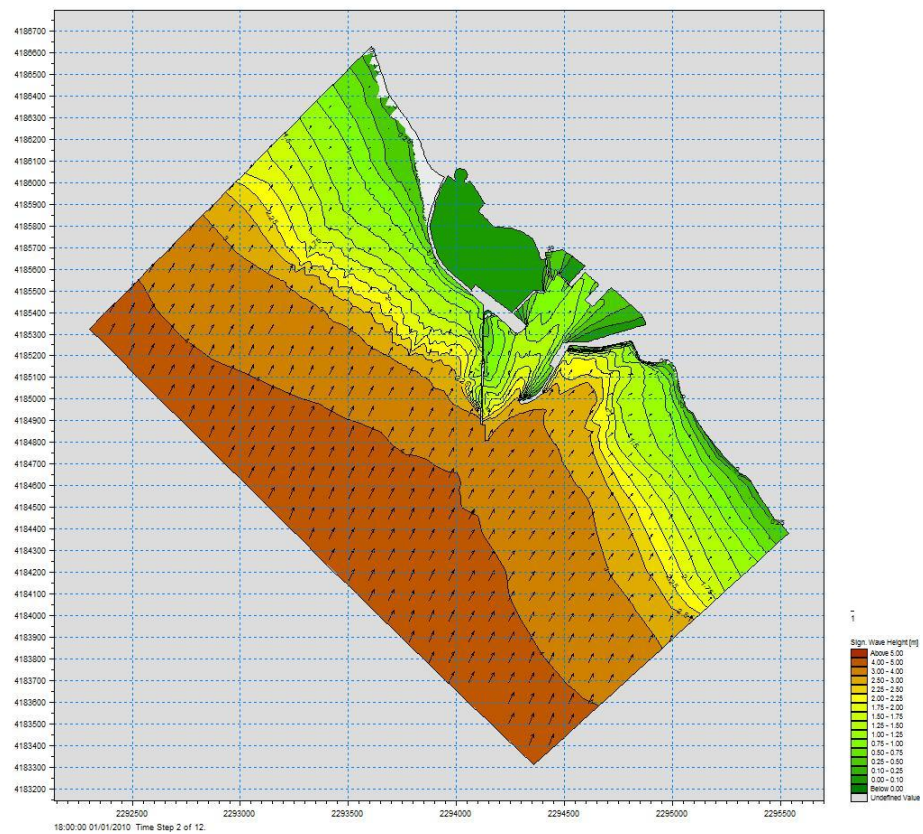


**Figura 2a – Andamento dell'onda dal settore 11 – modello SW - Tr = 50 anni**

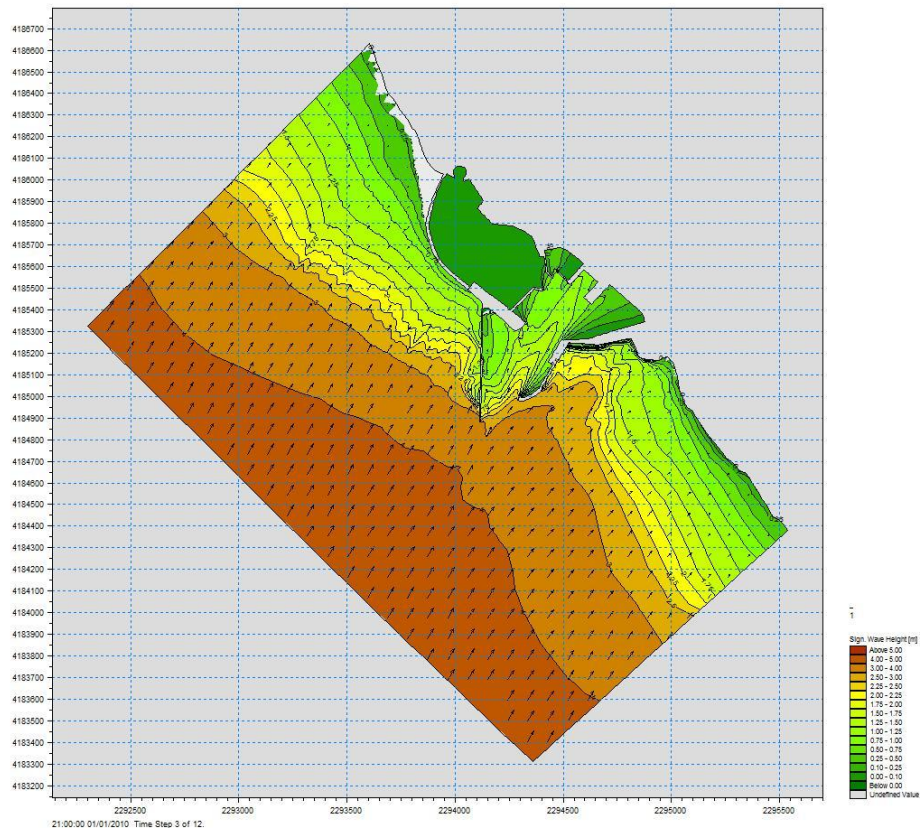




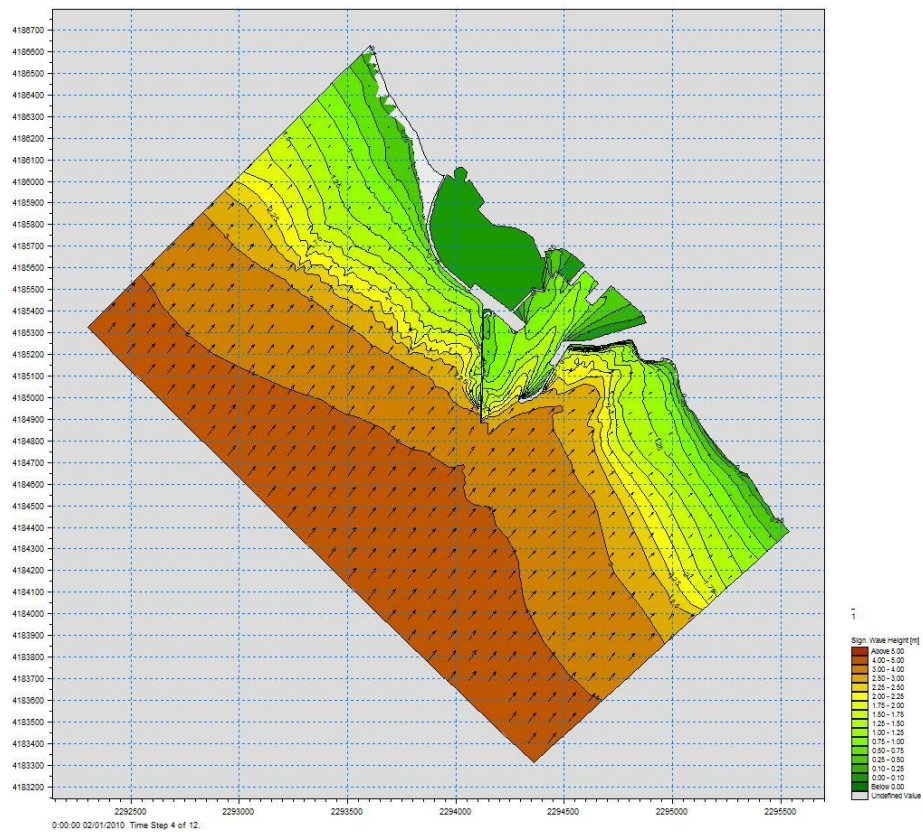
**Figura 2b – Andamento dell’onda dal settore 12 – modello SW - Tr = 50 anni**



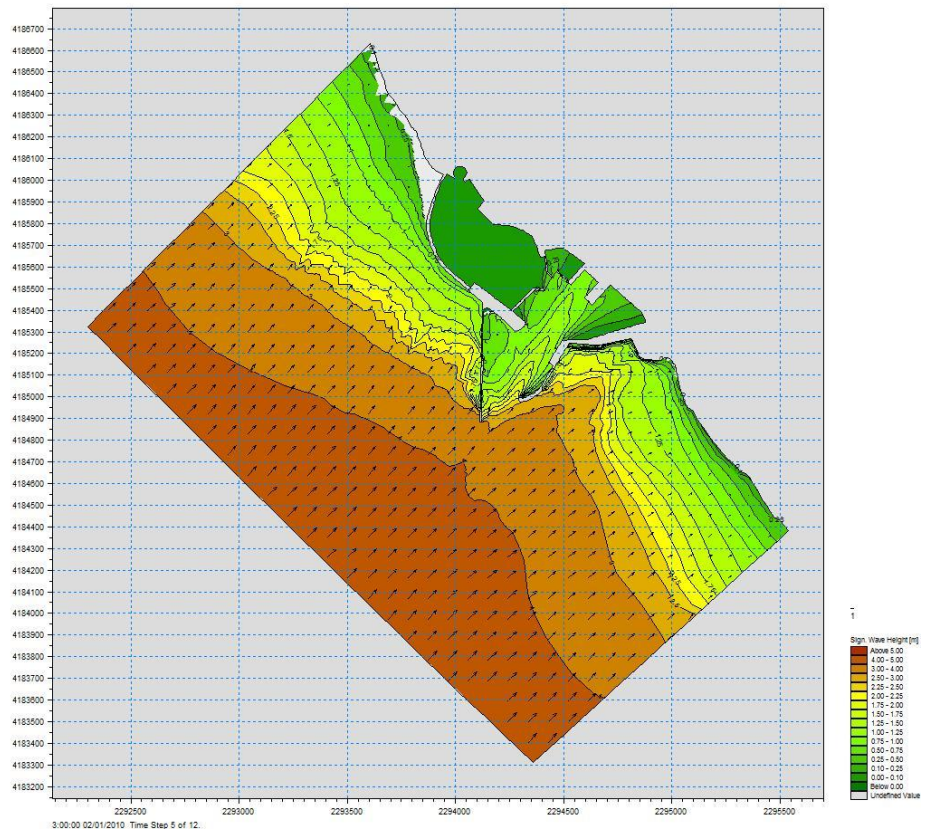
**Figura 2c – Andamento dell’onda dal settore 13 – modello SW - Tr = 50 anni**



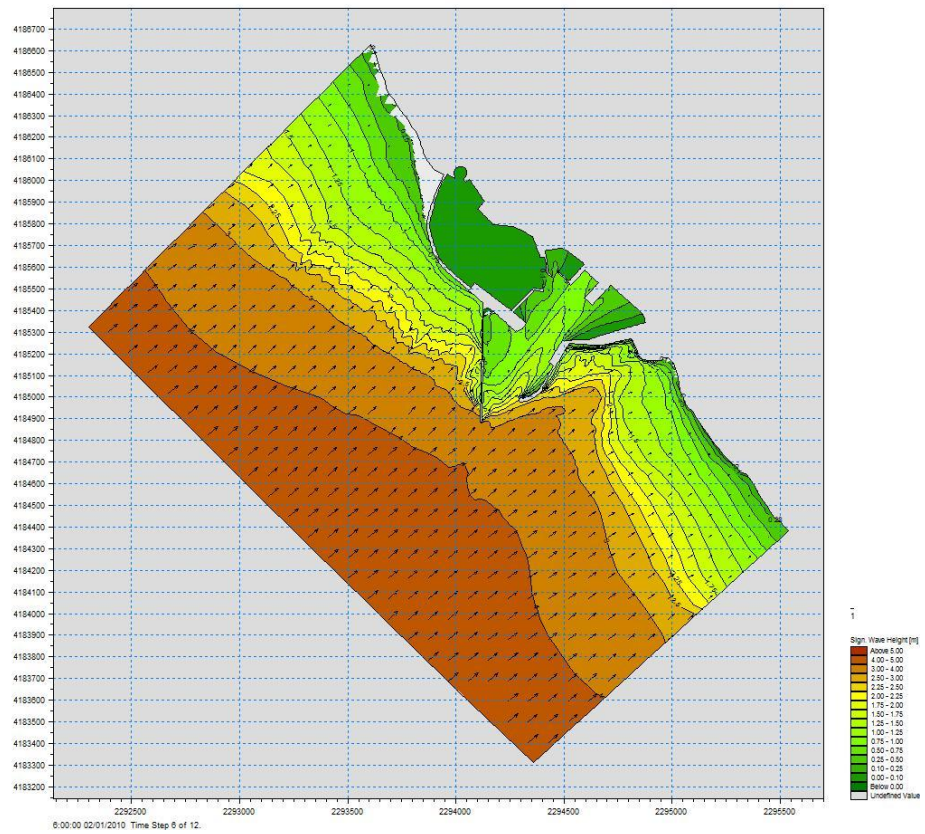
**Figura 2d – Andamento dell’onda dal settore 14 – modello SW - Tr = 50 anni**



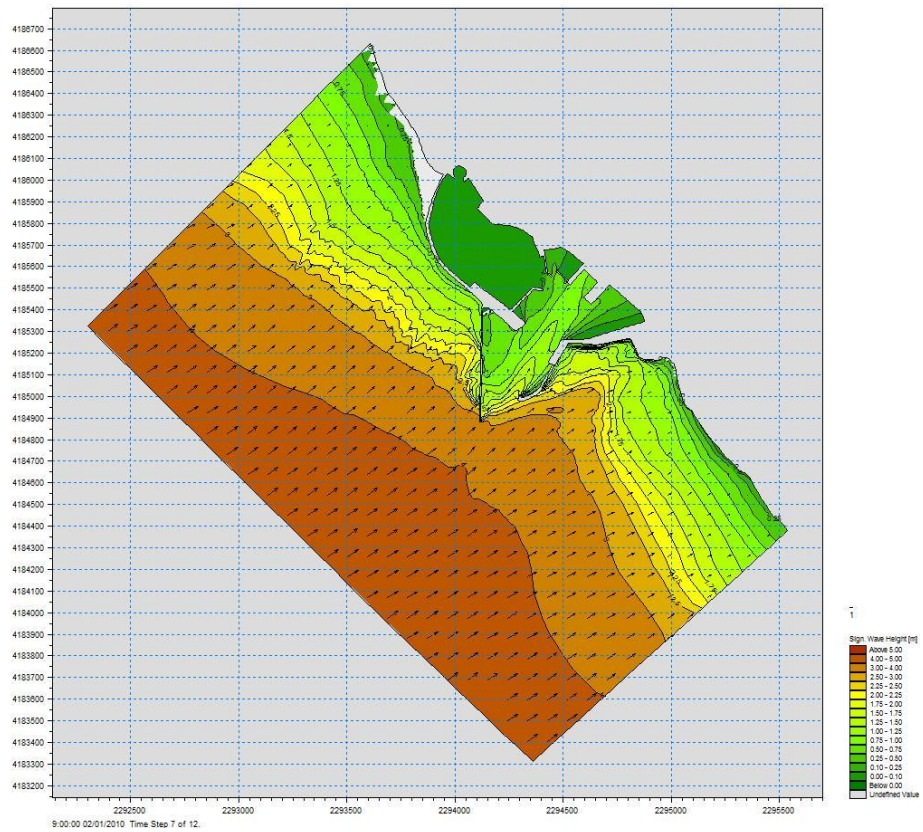
**Figura 2e – Andamento dell’onda dal settore 15 – modello SW - Tr = 50 anni**



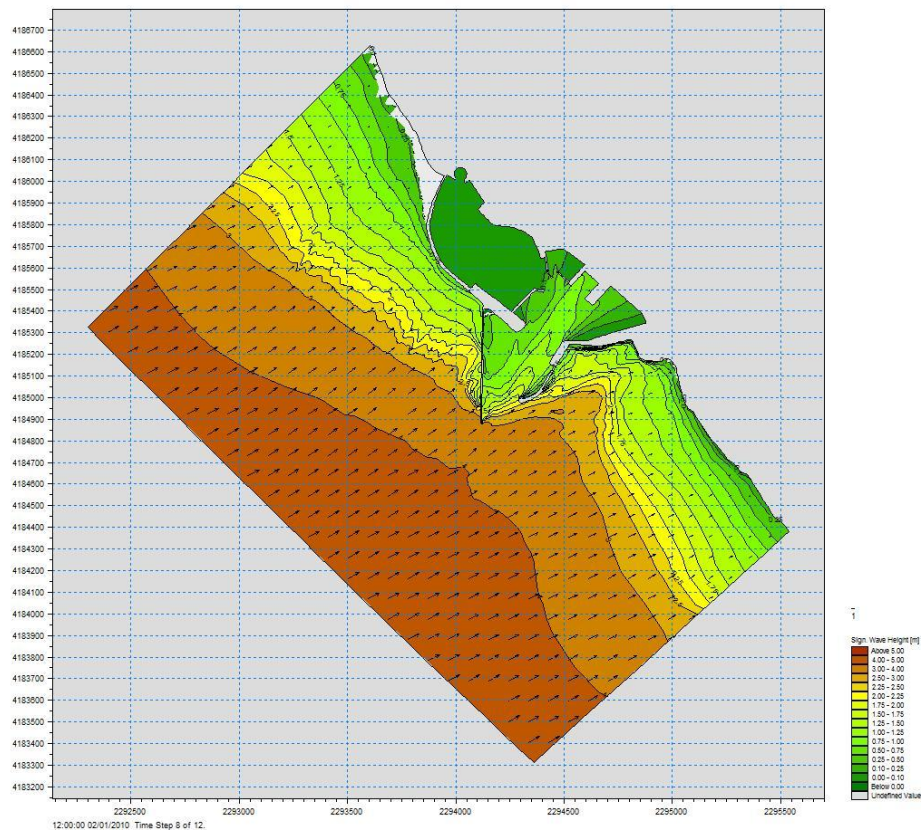
**Figura 2f – Andamento dell’onda dal settore 16 – modello SW - Tr = 50 anni**



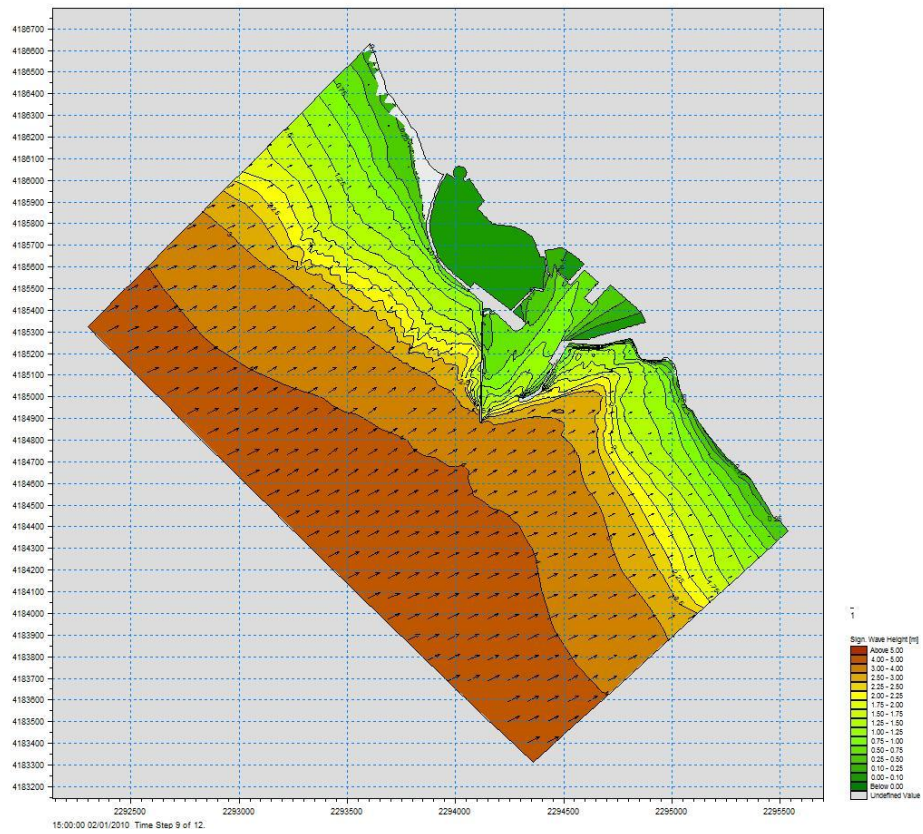
**Figura 2g – Andamento dell’onda dal settore 17 – modello SW - Tr = 50 anni**



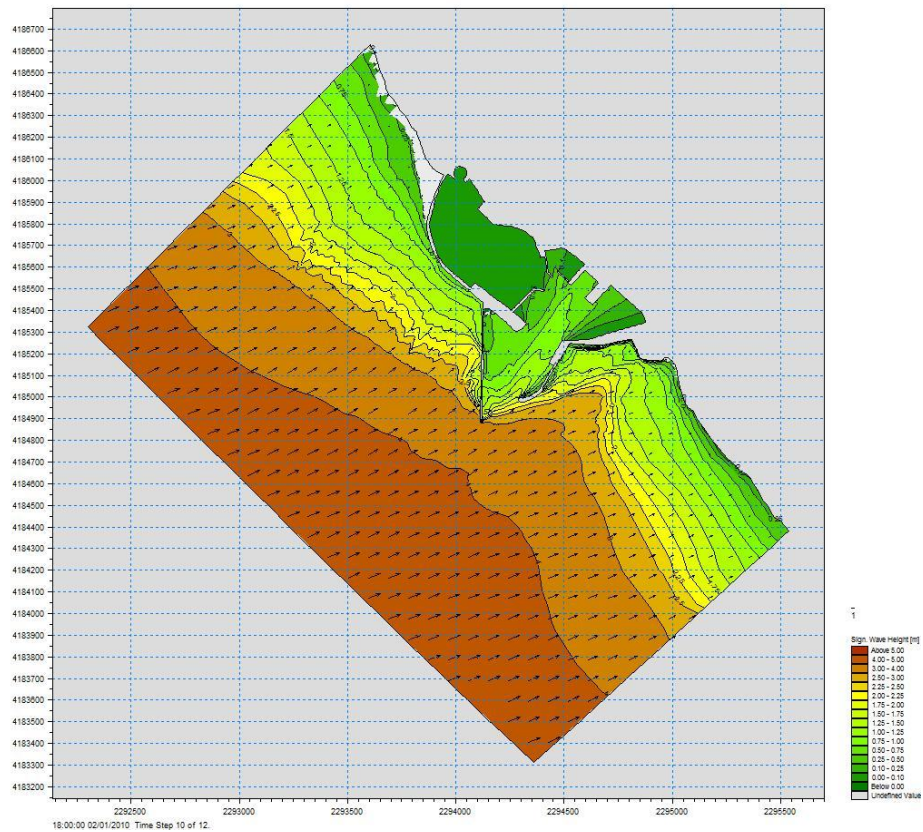
**Figura 2h – Andamento dell’onda dal settore 18 – modello SW - Tr = 50 anni**



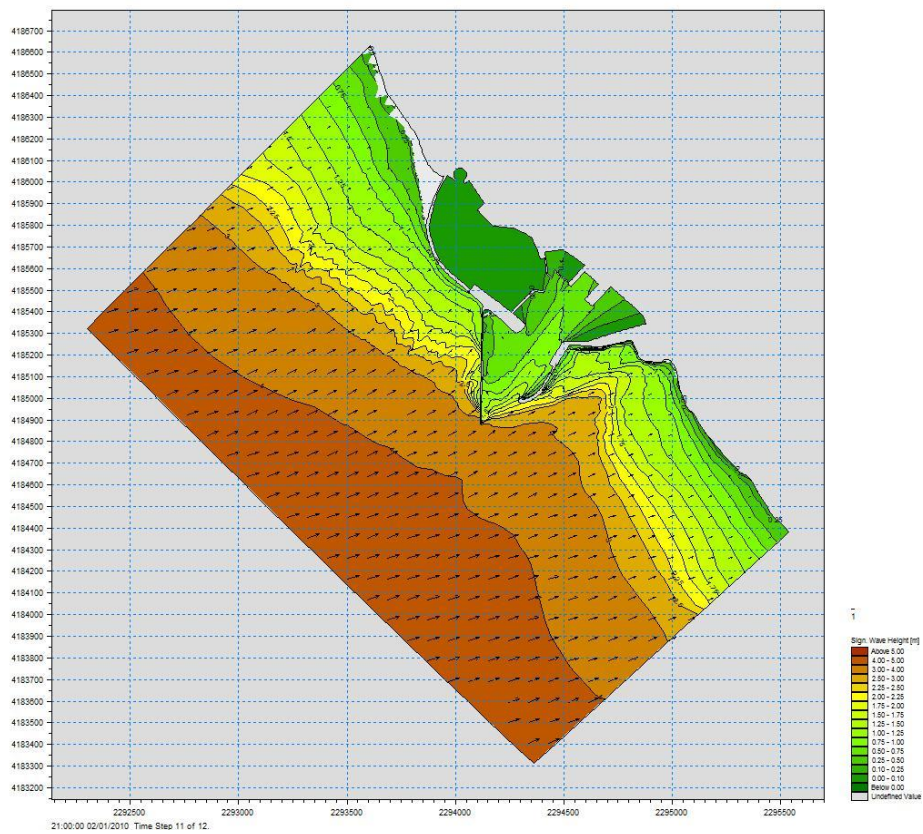
**Figura 2i – Andamento dell’onda dal settore 19 – modello SW - Tr = 50 anni**



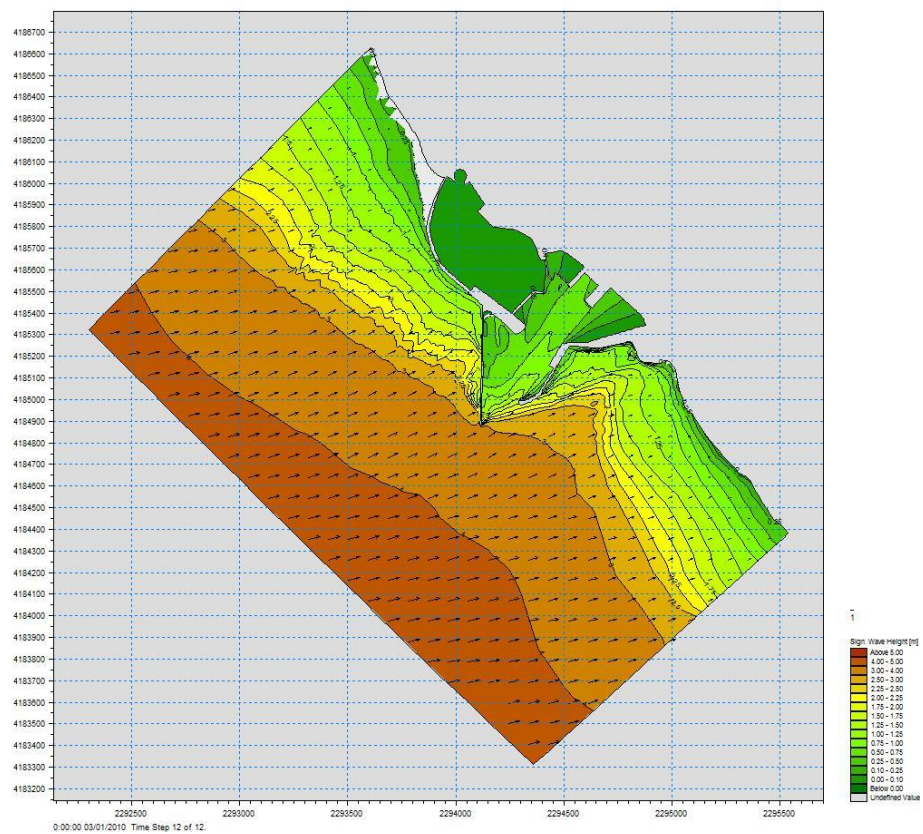
**Figura 21 – Andamento dell’onda dal settore 20 – modello SW - Tr = 50 anni**



**Figura 2m – Andamento dell’onda dal settore 21 – modello SW - Tr = 50 anni**



**Figura 2n – Andamento dell’onda dal settore 22 – modello SW - Tr = 50 anni**



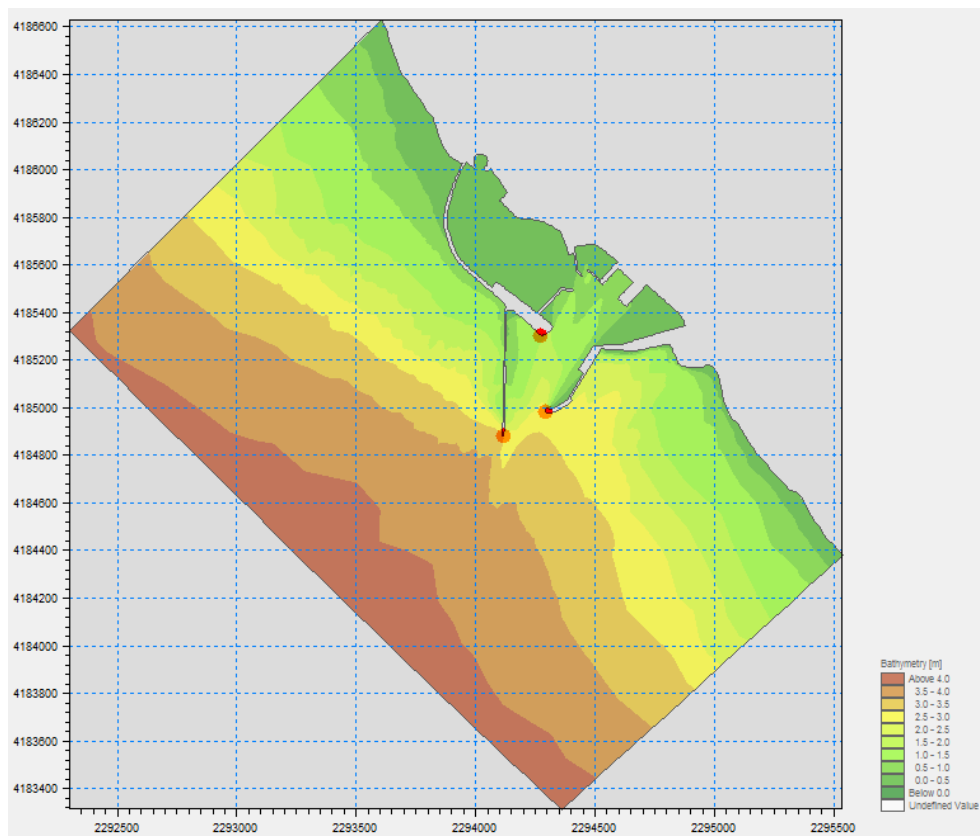
**Figura 2o – Andamento dell’onda dal settore 23 – modello SW - Tr = 50 anni**

## 2.4. ALTEZZE D'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE

Per la definizione del progetto delle opere occorre conoscere il moto ondoso in corrispondenza delle stesse per cui, per ogni settore e con il modello SW si sono determinate le altezze d'onda massime per il tempo di ritorno di 50 anni in punti prestabiliti del modello ed in particolare:

Tempo di Ritorno (anni)	Posizione	Coordinate Gauss Boaga (E) (N)	
50	Testata molo di Levante	2294291	4184981
50	Mantellata molo Colombo	2294271	4185305
50	Testata molo di Ponente	2294114	4184882

**Tabella 2 – Individuazione delle coordinate dei punti in cui effettuare le verifiche per Tr 50 anni**



**Figura 3 - Individuazione dei punti in cui effettuare le verifiche per Tr 50 anni**

Settori	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	2.72	8.05	202
12	2.74	8.67	206
13	2.70	8.91	208
14	2.63	9.03	211
15	2.53	9.11	214
16	2.40	9.25	217
17	2.27	9.36	219
18	2.16	9.49	221
19	2.09	9.81	223
20	2.03	10.22	224
21	1.97	10.40	225
22	1.88	10.13	226
23	1.75	9.55	226

**Tabella 3a – Altezze d’onda sotto costa per Tr = 50 anni – MOLO DI LEVANTE – TESTATA**

Settori	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	1.48	7.66	174
12	1.38	8.25	174
13	1.27	8.49	175
14	1.15	8.62	175
15	1.02	8.72	176
16	0.89	8.89	177
17	0.81	9.01	178
18	0.75	9.15	178
19	0.72	9.47	178
20	0.70	9.88	178
21	0.67	10.06	178
22	0.64	9.81	178
23	0.58	9.25	178

**Tabella 3b – Altezze d’onda sotto costa per Tr = 50 anni – MOLO COLOMBO – MANTELLATA**

Settori	Hs (m)	Tp (s)	MWD (°)
11	3.02	8.27	192
12	3.17	8.89	195
13	3.24	9.11	197
14	3.29	9.21	200
15	3.32	9.28	203
16	3.33	9.41	207
17	3.31	9.52	210
18	3.27	9.65	213
19	3.25	9.97	216
20	3.23	10.39	218
21	3.19	10.57	219
22	3.09	10.30	222
23	2.94	9.69	225

**Tabella 3c – Altezze d’onda sotto costa per Tr = 50 anni – MOLO DI PONENTE – TESTATA**



### **3. CRITERI DI VERIFICA DELLE SCOGLIERE DI PROTEZIONE**

#### **3.1. PREMESSA**

Le "dighe a gettata" sono caratterizzate da un procedimento costruttivo che consiste nel versare scogli o massi in materiale lapideo o artificiale con mezzi terrestri o marittimi. In una diga a gettata si possono distinguere:

- una sottostruttura o imbasamento idonea a ripartire i carichi sul terreno di sedime costituita da scapolame. Quando il terreno di sedime è costituito da terreni compressibili si interpone uno strato filtro costituito da pietrisco o sabbia;
- una infrastruttura direttamente soggetta all'azione del moto ondoso incidente in blocchi naturali o artificiali il cui peso è determinato in funzione delle caratteristiche del moto ondoso stesso. La sommità orizzontale dell'infrastruttura è detta berma. mentre lo strato inclinato è detta mantellata;
- un nucleo interno che non è soggetto all'azione del moto ondoso che viene realizzato con materiale di cava (tout-venant) la cui granulometria varia tra confini piuttosto estesi; il nucleo può essere costituito anche con materiali provenienti dagli scavi se idonei a questa funzione; il nucleo è protetto da ulteriori strati intermedi in massi naturali o artificiali le cui dimensioni sono crescenti verso la mantellata secondo la regola dei filtri rovesci di Terzaghi;
- una eventuale sovrastruttura di coronamento comprendente il massiccio di carico e l'eventuale muro paraonde. La quota di imposta della sovrastruttura è generalmente fissata tale da risultare 1.00 - 2.00 ml s.l.m.m. per consentire il transito dei mezzi d'opera sia in fase di costruzione che in fase di manutenzione.

La verifica della stabilità delle varie parti di una diga a gettata ha proprio inizio con il calcolo della stabilità della mantellata (armour layer) che interagisce direttamente con il moto ondoso proteggendo gli strati sottostanti. Occorre verificare la stabilità idraulica ossia la capacità di ogni singolo elemento di restare nella propria sede e la stabilità strutturale cioè la capacità di resistenza a rottura dell'elemento stesso. Per valutare il danno idraulico occorre eseguire una misura della modifica del profilo della superficie della scarpata e un conteggio dei massi che si muovono sotto l'azione delle onde frangenti.

Si possono classificare i seguenti movimenti:

- nessun movimento;
- ondeggiamento del singolo masso;
- singoli massi spostati dalla loro posizione iniziale entro una distanza D pari alla lunghezza del masso;
- singoli massi spostati per una distanza maggiore della lunghezza D del masso;
- scivolamento di un gruppo di massi.

Il diametro  $D_n$  è detto diametro nominale del masso ed è dato da

$$D_n = (W/\gamma)^{1/3}$$

in cui W è il peso del masso e  $\gamma$  il suo peso specifico.

Il Van der Meer ha stabilito i valori del danno S all'inizio del danneggiamento, a danneggiamento intermedio e a danneggiamento limite per una mantellata a massi naturali a doppio strato.

Scarpa	Danno Iniziale	Danno da mod. a forte	Cedimento
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17

**Tabella 4 – Percentuali di danno delle mantellate**

Per mantellate realizzate con elementi artificiali si indica con  $N_0$  il numero degli elementi mossi rapportato al numero di massi presenti nella fascia della mantellata di larghezza pari al diametro nominale  $D_n$  con  $D_n = t \times h$  essendo h l'altezza dell'elemento artificiale e t un parametro che varia in funzione del tipo di elementi.

Per danno strutturale si intende un parametro che sia funzione del numero di massi rotti in una determinata area della scarpata. I massi artificiali sono classificati in funzione della loro resistenza strutturale in:

- elementi massicci (cubi Antifer, blocchi parallelepipedi)
- elementi tozzi (Accropod, Haro)

- elementi snelli (Tetrapodi, Dolos)
- elementi forati (Shed, Cob)

Le sollecitazioni a cui gli elementi suddetti sono sottoposti sono:

- dinamica pulsante
- dinamica d'impatto
- abrasivo
- termico
- chimico

Quella che prevale su tutte è la sollecitazione dinamica d'impatto dovuta all'azione dei pezzi rotti di altri elementi scagliati dall'onda su elementi integri.

### 3.2. PROGETTO DELLA MANTELLATA

Come già descritto in precedenza, le dighe a gettata sono costituite da una struttura a massi naturali di varia pezzatura disposti a strati successivi delimitata verso il mare da una mantellata di blocchi naturali o artificiali di peso adeguato per assorbire l'onda incidente che vi si rompe al frangimento.

Per il calcolo del singolo masso di rivestimento si usa la formula di Hudson

$$W = \gamma_m \times H^3 / [k_D \times (\gamma_m / \gamma_a - 1)^3 \times \cotg(\alpha)]$$

Nella formula precedente:

$\gamma_m$  = peso dell'unità di volume

$\gamma_a$  = peso dell'unità di volume dell'acqua (1.03 ton/mc)

H = altezza d'onda di progetto (ad esempio quella significativa)

$\alpha$  = angolo della scarpata con l'orizzontale

$k_D$  = coefficiente adimensionale di stabilità variabile con il tipo di masso.

Nel coefficiente  $k_D$  reperibile in letteratura sono sintetizzate tutte le caratteristiche relative alla forma, all'angolo di attrito interno e all'indice dei vuoti degli elementi considerati.

Il coefficiente  $k_D$  è stato ottenuto in condizioni di moto ondoso regolare e per una condizioni di danno inferiore al 5%, percentuale intesa come rapporto tra il volume di massi spostati e il volume totale della mantellata. Il coefficiente dipende poi della modalità di attacco da parte delle onde; si distinguono due situazioni tipiche e cioè quella di completa dissipazione dell'energia sulla mantellata (no-breaking wave) e quella di frangimento provocato dal fondale prima che le onde aggrediscano l'opera (breaking-wave).

Nel primo caso l'altezza d'onda da introdurre nella formula di Hudson è quella "significativa" di progetto intendendo un'onda caratterizzata da un "tempo di ritorno" quale si manifesta su fondali pari a quello esistente al piede dell'opera. Occorre notare che l'onda al largo può subire per effetto della rifrazione, attenuazioni o concentrazioni avvicinandosi alla zona di impianto dell'opera di difesa.

Particolare cura deve essere assicurata per il progetto della testata. I motivi per i quali la testata può essere più esposta sono i seguenti:

- la testata è usualmente ubicata in acque più profonde;
- la testata è spesso esposta all'attacco di onde che giungono da un più ampio settore di traversia;
- le onde incidenti possono essere riflesse, rifratte o diffratte dalla struttura o da altro frangiflutti posto all'ingresso del porto;
- l'azione di disturbo dell'onda può risultare accresciuta dalla riflessione o dalla diffrazione.

Per questi motivi i valori di  $k_D$  assunti per la testata sono inferiori rispetto a quelli assunti per la sezione corrente.

Il tempo di ritorno da adottare è legato al costo complessivo di costruzione e manutenzione.

Si ammette comunque che nell'opera sia indispensabile eseguire delle manutenzioni periodiche, dovute a perdita o rotture di elementi nel corso delle mareggiate. Non è pensabile realizzare un'opera in cui sia nullo il costo di manutenzione. Come onda di progetto si assume generalmente l'onda significativa con un tempo di ritorno di  $T_r$  (es.

10÷30 anni) ammettendo che in corrispondenza i danni siano limitati ( $\leq 5\%$ ). La verifica può essere ripetuta per un tempo di ritorno maggiore (es. 30÷50÷100 anni) ammettendo che i danni siano gravi ma non irreparabili e che non comportino la rovina dell'opera.

Nel caso di frangimento dell'onda prima che esse pervengano al piede sulla struttura l'onda significativa non è più rappresentativa della distribuzione delle altezze d'onda. Pertanto nella formula di Hudson deve essere introdotta l'altezza d'onda al frangimento dipendente dalla pendenza del fondale al piede dell'opera. L'onda da introdurre non è generalmente quella che frange in corrispondenza del piede dell'opera ma quella di maggiore altezza frangente a una certa distanza dal piede stesso ed ancora in grado di dissipare gran parte della propria energia.

La formula di Hudson può essere espressa in funzione del numero di stabilità  $N_s$  e del diametro nominale  $D_n$  con la relazione

$$N_s = H/[(\gamma_m/\gamma_a - 1) \times D_n] = [k_D \times \text{ctg}(\alpha)]^{1/3}$$

La stabilità statica corrisponde a valori del parametro  $N_s$  compresi tra 1 e 3. Frangiflutti di massi naturali fortemente mobili sia trasversalmente che longitudinalmente presentano valori di  $N_s$  compresi tra 4 e 20. Le spiagge di ghiaia ( $0.4 < D_n < 10$  cm) hanno in genere  $N_s = 15 \div 500$ , mentre spiagge di sabbia presentano  $N_s > 500$ .

Lo spessore del rivestimento è dato dall'espressione

$$s = n \times k \times (W/\gamma_m)^{1/3}$$

in cui  $n$  è il numero degli strati imposti dalla dimensione del masso del rivestimento ( $n=2$ ),  $k$  è il coefficiente di stratificazione. I calcoli relativi al peso del masso, al numero di stabilità e allo spessore della mantellata sono riportati in tabelle in cui per i vari settori si riporta il calcolo del peso  $W$  del masso per diverse altezze d'onda e per diverse direzioni di provenienza dell'onda stessa. La densità di posa in opera è data da

$$N_r/A = n \times k \times (1 - P/100) \times (\gamma_m/W)^{2/3}$$

in cui  $N_r$  è il numero richiesto di singoli massi per una data area di superficie  $A$ ,  $k$  è il coefficiente di strato,  $P$  è la porosità media della mantellata in percento.

Le formule di Van der Meer sono state ricavate portando in conto l'azione delle onde irregolari che la formula di Hudson non prende in considerazione. Esse consentono di tenere conto anche degli effetti della variabilità del periodo, fattore particolarmente presente in acque molto basse in cui  $d/L < 0.15$ . Per mantellate costituite da massi naturali, sono state ottenute da Van der Meer due formule:

$$H_s/(\delta \times D_{n50}) = 6.20 \times (p^*)^{0.18} \times (S/N^{0.50})^{0.2} \times \xi_m^{-0.5}$$

che vale per opere soggette ad onde frangenti tipo plunging in cui  $\xi_m \leq 2.5$ , e

$$H_s/(\delta \times D_{n50}) = 1.00 \times (p^*)^{-0.13} \times (S/N^{0.50})^{0.2} \times \cotg(\alpha)^{0.50} \times \xi_m^{p^*}$$

che vale per strutture investite da frangenti tipo surging in cui  $\xi_m \geq 3.5$ . Nelle formule di Van der Meer:

- $\delta = (\gamma_m/\gamma_a - 1)$
- $\gamma_m =$  peso dell'unità di volume del materiale
- $\gamma_a =$  peso dell'unità di volume dell'acqua (1.03 ton/mc)
- $H_s =$  altezza d'onda significativa
- $\alpha =$  angolo della scarpata con l'orizzontale
- $p^* =$  parametro indicatore della permeabilità della struttura variabile da 0.1 a 0.6
- $D_{n50} =$  diametro nominale del masso di peso mediano
- $S = A_e/D_{n50}^2$  è il livello di danneggiamento espresso come rapporto dell'area  $A_e$  della sezione trasversale erosa dalla mareggiata rispetto al profilo originale
- $N =$  numero di onde presenti nella mareggiata
- $\xi_m = \text{tg}(\alpha)/(H/L_0)^{0.50}$  è il parametro di frangimento (numero di Iribarren o surf parameter) con  $H/L_0$  parametro di ripidità dell'onda ottenuto dal rapporto dell'altezza d'onda significativa davanti alla struttura e  $L_0$  la lunghezza a largo riferita al periodo medio  $T_m$ .

Nell'intervallo di  $\xi_m$  compreso tra 2.5 e 3.5 si adotta la relazione che fornisce il valore minore di  $H_s/(\delta \times D_{n50})$ . Per dighe staticamente stabili dovrà essere  $D_{85}/D_{15} < 1.5$ .

### **3.3. STABILITA' DEGLI STRATI DI TRANSIZIONE E DEL NUCLEO**

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

Nel caso in cui si realizza un nucleo in modo classico inoltre la granulometria dell'ammasso deve rispettare alcune esigenze fondamentali come la compattezza e la non trasmissibilità del moto ondoso attraverso il corpo che per la parte al di sotto del l.m.m. non viene costipato.

La funzione degli strati filtro consiste nella protezione del nucleo dall'azione del moto ondoso che potrebbe asportare il materiale fino che lo costituisce. Lo strato posto direttamente sotto la mantellata deve essere formato da pietrame di dimensioni tali da non poter essere asportato attraverso i vuoti esistenti tra gli elementi della mantellata. In sede di dimensionamento preliminare si può eseguire la regola che il primo sottostrato è costituito da elementi il cui peso è compreso tra 1/10 e 1/15 di quello degli elementi della mantellata se questa è di massi naturali.

### **3.4. STABILITA' DELLA BERMA AL PIEDE - CRESTA**

La berma al piede ha il compito di impedire che le onde frangenti sulla struttura provochino l'erosione al piede della mantellata e quindi lo scivolamento in massa degli elementi che la compongono.

La berma può essere realizzata con gli stessi massi della mantellata anche se spesso si preferisce realizzarla con elementi di dimensione minore. La berma deve essere posizionata ad una profondità compresa tra  $1.00 \div 1.50 H_s$  in modo che non venga interessata dalla diretta azione dei frangenti. Se con  $h$  si indica la profondità del fondale dinanzi alla diga, la formula di stabilità è data dalla relazione:

$$H_s/(\delta \cdot D_n) = 8.70 \times (h_t/h)^{1.43}$$

in cui  $H_s$  è l'altezza d'onda significativa,  $\delta = (\gamma_m/\gamma_a - 1)$ ,  $D_n$  il diametro nominale del masso medio,  $h$  la profondità del fondo davanti alla diga e  $h_t$  la profondità dell'estradosso delle berme.

Per quanto riguarda la dimensione della cresta si assume la seguente equazione:

$$B = 3 \times k \times (W/\gamma_m)^{1/3}$$

in cui  $B$  è la larghezza della cresta,  $k$  il coefficiente di strato,  $W$  il peso del masso della mantellata e  $\gamma_m$  il peso specifico del masso.



## **4. CALCOLI DI VERIFICA DELLE SCOGLIERE IN PROGETTO**

### **4.1. PREMESSA**

Nel presente capitolo si riportano i calcoli relativi delle opere a gettata previste nel presente progetto secondo i criteri esposti nei capitoli precedenti. Per le opere in esame, sono stati individuati i settori di traversia dai quali provengono le onde che sono state prese in considerazione per il progetto della mantellata.

Definite le altezze d'onda in corrispondenza delle barriere, si sono procede con il progetto della mantellata secondo quanto riportato nel paragrafo 3.2. Le onde prese in esame sono quelle  $H_{(1/3)}$  corrispondenti ad un tempo di ritorno di 50 anni e per queste si ammette che il grado di danneggiamento sia limitato, inferiore al 5%. Per ogni onda si verifica che si tratti di un'onda frangente o di onda non frangente in modo da determinare il corretto coefficiente  $k_D$ , sempre fissato nell'ipotesi di sezione di testata.

Se l'onda è frangente al piede dell'opera non si assume più come onde di progetto l'altezza d'onda  $H_{(1/3)}$ , ma si assume l'altezza d'onda al frangimento  $H_b$ . Si verifica quindi se  $d_b$ , profondità di frangimento ricavata nello Studio Idraulico marittimo, è superiore alla profondità che si ha al piede dell'opera in esame.

Tutte le opere a gettata previste sono interamente costituite con scogli naturali. Il progetto delle mantellate è eseguito quindi con la formula di Hudson per condizioni di moto ondoso regolare e per la condizione di danno compreso tra 0 e 5% ed è riportato nei paragrafi 4.2, 4.3 e 4.4.

Per tenere conto delle onde irregolari e del periodo dell'onda si sono inoltre seguiti i criteri di progetto espressi dal Van der Meer e i risultati sono riportati nei paragrafi 4.5, 4.6, 4.7 per ciascun settore e riassunti in calce a ciascun paragrafo. Nelle tabelle di calcolo con la teoria di Van Der Meer sono riportati i valori delle caratteristiche delle mantellate e degli strati filtro in funzione del settore e per un tempo di ritorno di 50 anni. Per ogni settore sono riportate il periodo e l'altezza d'onda significativa, le caratteristiche del fondo (pendenza e profondità al piede della struttura), le caratteristiche del masso (peso dell'unità di volume), il coefficiente di permeabilità della mantellata e il livello di danno di progetto. Dall'analisi eseguita si ottengono lo spessore delle mantellate e dello strato filtro, la dimensione dei massi utilizzati  $D_n$ , il relativo peso  $W$  e la distribuzione percentuale delle varie pezzature. Sono riportati inoltre il numero di Iribarren (Surf parameter) che permette di definire la formula da utilizzare in funzione del tipo di frangimento, il CERC stability number che definisce il valore del

numero di stabilità per danno zero e il Dutch stability number che è il valore del numero di stabilità definito con le espressioni di Van der Meer.

## 4.2. HUDSON – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI LEVANTE

### Dimensionamento della mantellata

$\gamma_m =$	2,60 (ton/m <sup>3</sup> )	(peso specifico scogli naturali)
$\gamma_w =$	1,03 (ton/m <sup>3</sup> )	(peso specifico acqua di mare)
$p =$	1 /2	(pendenza mantellata)
$\alpha =$	26,6 °	(inclinazione mantellata)
$\cot(\alpha) =$	2,0	(scarpa mantellata)
$n =$	2	(numero degli strati)
$k =$	1	(coefficiente di strato)
$k_D =$	2,8	(coefficiente stabilità di Hudson - onda non frangente)
$P =$	37%	(percentuale di vuoti)
$N_s =$	1,78	(numero di stabilità)

settore	tipo sez.	H <sub>s</sub> (m)	W (ton)	D <sub>n</sub> (m)	s (ml)	Nr/A
11	testata	2,72	2,64	1,00	2,01	1247,81
12	testata	2,74	2,70	1,01	2,02	1229,66
13	testata	2,70	2,58	1,00	1,99	1266,37
14	testata	2,63	2,38	0,97	1,94	1334,68
15	testata	2,53	2,12	0,93	1,87	1442,27
16	testata	2,40	1,81	0,89	1,77	1602,75
17	testata	2,27	1,53	0,84	1,68	1791,58
18	testata	2,16	1,32	0,80	1,60	1978,70
19	testata	2,09	1,20	0,77	1,54	2113,46
20	testata	2,03	1,10	0,75	1,50	2240,24
21	testata	1,97	1,00	0,73	1,46	2378,78
22	testata	1,88	0,87	0,69	1,39	2611,99
23	testata	1,75	0,70	0,65	1,29	3014,47

### Dimensionamento della berma

settore	tipo sez.	H <sub>s</sub> (m)	h <sub>i</sub> (m)	h (m)	D <sub>n</sub> (m)	W (ton)
11	testata	2,72	5,50	7,00	0,29	0,06
12	testata	2,74	5,50	7,00	0,29	0,06
13	testata	2,70	5,50	7,00	0,29	0,06
14	testata	2,63	5,50	7,00	0,28	0,06
15	testata	2,53	5,50	7,00	0,27	0,05
16	testata	2,40	5,50	7,00	0,26	0,04
17	testata	2,27	5,50	7,00	0,24	0,04
18	testata	2,16	5,50	7,00	0,23	0,03
19	testata	2,09	5,50	7,00	0,22	0,03
20	testata	2,03	5,50	7,00	0,22	0,03
21	testata	1,97	5,50	7,00	0,21	0,02
22	testata	1,88	5,50	7,00	0,20	0,02
23	testata	1,75	5,50	7,00	0,19	0,02

### 4.3. HUDSON – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO COLOMBO

#### Dimensionamento della mantellata

$\gamma_m =$	2,60 (ton/m <sup>3</sup> )	(peso specifico scogli naturali)
$\gamma_w =$	1,03 (ton/m <sup>3</sup> )	(peso specifico acqua di mare)
$p =$	2 /3	(pendenza mantellata)
$\alpha =$	33,7 °	(inclinazione mantellata)
$\cot(\alpha) =$	1,5	(scarpa mantellata)
$n =$	2	(numero degli strati)
$k =$	1	(coefficiente di strato)
$k_D =$	3,2	(coefficiente stabilità di Hudson - onda non frangente)
$P =$	37%	(percentuale di vuoti)
$N_s =$	1,69	(numero di stabilità)

settore	tipo sez.	H <sub>s</sub> (m)	W (ton)	D <sub>n</sub> (m)	s (ml)	Nr/A
11	testata	1,48	0,50	0,58	1,15	3803,06
12	testata	1,38	0,40	0,54	1,07	4374,19
13	testata	1,27	0,31	0,49	0,99	5164,74
14	testata	1,15	0,23	0,45	0,89	6298,84
15	testata	1,02	0,16	0,40	0,79	8006,74
16	testata	0,89	0,11	0,35	0,69	10516,62
17	testata	0,81	0,08	0,32	0,63	12696,56
18	testata	0,75	0,06	0,29	0,58	14809,27
19	testata	0,72	0,06	0,28	0,56	16069,09
20	testata	0,70	0,05	0,27	0,54	17000,44
21	testata	0,67	0,05	0,26	0,52	18556,95
22	testata	0,64	0,04	0,25	0,50	20337,44
23	testata	0,58	0,03	0,23	0,45	24762,83

#### Dimensionamento della berma

settore	tipo sez.	H <sub>s</sub> (m)	h <sub>t</sub> (m)	h (m)	D <sub>n</sub> (m)	W (ton)
11	testata	1,48	2,20	6,00	0,47	0,27
12	testata	1,38	2,20	6,00	0,44	0,22
13	testata	1,27	2,20	6,00	0,40	0,17
14	testata	1,15	2,20	6,00	0,36	0,13
15	testata	1,02	2,20	6,00	0,32	0,09
16	testata	0,89	2,20	6,00	0,28	0,06
17	testata	0,81	2,20	6,00	0,26	0,04
18	testata	0,75	2,20	6,00	0,24	0,03
19	testata	0,72	2,20	6,00	0,23	0,03
20	testata	0,70	2,20	6,00	0,22	0,03
21	testata	0,67	2,20	6,00	0,21	0,02
22	testata	0,64	2,20	6,00	0,20	0,02
23	testata	0,58	2,20	6,00	0,18	0,02

## 4.4.

**HUDSON – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI PONENTE****Dimensionamento della mantellata**

$\gamma_m =$	2,60 (ton/m <sup>3</sup> )	(peso specifico scogli naturali)
$\gamma_w =$	1,03 (ton/m <sup>3</sup> )	(peso specifico acqua di mare)
$p =$	2 /3	(pendenza mantellata)
$\alpha =$	33,7 °	(inclinazione mantellata)
$\cot(\alpha) =$	1,5	(scarpa mantellata)
$n =$	2	(numero degli strati)
$k =$	1	(coefficiente di strato)
$k_D =$	3,2	(coefficiente stabilità di Hudson - onda non frangente)
$P =$	37%	(percentuale di vuoti)
$N_s =$	1,69	(numero di stabilità)

settore	tipo sez.	H <sub>s</sub> (m)	W (ton)	D <sub>n</sub> (m)	s (ml)	Nr/A
11	testata	3,02	4,21	1,17	2,35	913,36
12	testata	3,17	4,87	1,23	2,47	828,97
13	testata	3,24	5,20	1,26	2,52	793,54
14	testata	3,29	5,45	1,28	2,56	769,60
15	testata	3,32	5,60	1,29	2,58	755,75
16	testata	3,33	5,65	1,30	2,59	751,22
17	testata	3,31	5,55	1,29	2,57	760,33
18	testata	3,27	5,35	1,27	2,54	779,04
19	testata	3,25	5,25	1,26	2,53	788,66
20	testata	3,23	5,15	1,26	2,51	798,46
21	testata	3,19	4,96	1,24	2,48	818,61
22	testata	3,09	4,51	1,20	2,40	872,45
23	testata	2,94	3,89	1,14	2,29	963,74

**Dimensionamento della berma**

settore	tipo sez.	H <sub>s</sub> (m)	h <sub>t</sub> (m)	h (m)	D <sub>n</sub> (m)	W (ton)
11	testata	3,02	4,20	7,00	0,47	0,27
12	testata	3,17	4,20	7,00	0,50	0,32
13	testata	3,24	4,20	7,00	0,51	0,34
14	testata	3,29	4,20	7,00	0,52	0,36
15	testata	3,32	4,20	7,00	0,52	0,37
16	testata	3,33	4,20	7,00	0,52	0,37
17	testata	3,31	4,20	7,00	0,52	0,36
18	testata	3,27	4,20	7,00	0,51	0,35
19	testata	3,25	4,20	7,00	0,51	0,34
20	testata	3,23	4,20	7,00	0,51	0,34
21	testata	3,19	4,20	7,00	0,50	0,32
22	testata	3,09	4,20	7,00	0,48	0,29
23	testata	2,94	4,20	7,00	0,46	0,25

4.5.

VAN DER MEER - SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI LEVANTE

**Case: TR50 - Sett.11**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.72 m  
 Significant wave period (Ts): 8.05 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 1.50  
 Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.49189 m			Thickness: 0.62297 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	6285.79	0.62	0 (min)	16.44	0.09
15	20114.50	0.92	15	27.68	0.10
50	50286.30	1.25	50	93.27	0.15
85	98561.20	1.56	85	314.29	0.23
100 (max)	201145.00	1.98	100 (max)	528.99	0.27

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	5.24 m
Conservative:	6.59 m
Surf Parameter:	2.55
CERC Stability Number:	1.28
Dutch Stability Number:	1.38

Tabella 5a – Scogliera Molo di Levante – Settore 11 – Tr = 50 anni

**Case: TR50 - Sett.12**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.74 m  
 Significant wave period (Ts): 8.67 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 1.50  
 Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.60032 m			Thickness: 0.65008 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	7142.55	0.65	0 (min)	18.69	0.09
15	22856.20	0.96	15	31.45	0.11
50	57140.40	1.30	50	105.98	0.16
85	111995.00	1.63	85	357.13	0.24
100 (max)	228562.00	2.06	100 (max)	601.09	0.28

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	5.43 m
Conservative:	6.84 m
Surf Parameter:	2.74
CERC Stability Number:	1.28
Dutch Stability Number:	1.33

Tabella 5b – Scogliera Molo di Levante – Settore 12 – Tr = 50 anni

**Case: TR50 - Sett.13**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.70 m  
Significant wave period (Ts): 8.91 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.60715 m			Thickness: 0.65179 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	7198.98	0.65	0 (min)	18.83	0.09
15	23036.70	0.96	15	31.70	0.11
50	57591.80	1.30	50	106.82	0.16
85	112880.00	1.63	85	359.95	0.24
100 (max)	230367.00	2.07	100 (max)	605.84	0.29

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	5.43 m	Conservative:	6.84 m
Surf Parameter:	2.84	Dutch Stability Number:	1.31
CERC Stability Number:	1.28		

**Tabella 5c – Scogliera Molo di Levante – Settore 13 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.14**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.63 m  
Significant wave period (Ts): 9.03 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.57345 m			Thickness: 0.64336 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	6923.38	0.64	0 (min)	18.11	0.09
15	22154.80	0.95	15	30.48	0.11
50	55387.00	1.29	50	102.73	0.16
85	108559.00	1.61	85	346.17	0.24
100 (max)	221548.00	2.04	100 (max)	582.64	0.28

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	5.35 m	Conservative:	6.74 m
Surf Parameter:	2.91	Dutch Stability Number:	1.29
CERC Stability Number:	1.28		

**Tabella 5d – Scogliera Molo di Levante – Settore 14 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.15**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.53 m  
Significant wave period (Ts): 9.11 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.49305 m			Thickness: 0.62326 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	6294.56	0.62	0 (min)	16.47	0.09
15	20142.60	0.92	15	27.72	0.10
50	50356.50	1.25	50	93.40	0.15
85	98698.70	1.56	85	314.73	0.23
100 (max)	201426.00	1.98	100 (max)	529.72	0.27

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	5.22	m	Conservative:	6.56	m
Surf Parameter:	3.00		Dutch Stability Number:	1.27	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5e – Scogliera Molo di Levante – Settore 15 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.16**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.40 m  
Significant wave period (Ts): 9.25 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.36495 m			Thickness: 0.59124 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	5373.26	0.59	0 (min)	14.06	0.08
15	17194.40	0.87	15	23.66	0.10
50	42986.00	1.18	50	79.73	0.15
85	84252.60	1.48	85	268.66	0.22
100 (max)	171944.00	1.88	100 (max)	452.19	0.26

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	5.04	m	Conservative:	6.34	m
Surf Parameter:	3.12		Dutch Stability Number:	1.24	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5f – Scogliera Molo di Levante – Settore 16 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.17**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.27 m  
Significant wave period (Ts): 9.36 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.23685 m			Thickness: 0.55921 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	4546.54	0.56	0 (min)	11.89	0.08
15	14548.90	0.82	15	20.02	0.09
50	36372.30	1.12	50	67.46	0.14
85	71289.80	1.40	85	227.33	0.21
100 (max)	145489.00	1.78	100 (max)	382.62	0.25

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	4.84 m
Conservative:	6.10 m
Surf Parameter:	3.25
CERC Stability Number:	1.28
Dutch Stability Number:	1.22

**Tabella 5g – Scogliera Molo di Levante – Settore 17 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.18**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.16 m  
Significant wave period (Ts): 9.49 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.12845 m			Thickness: 0.53211 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	3917.10	0.53	0 (min)	10.25	0.07
15	12534.70	0.78	15	17.25	0.09
50	31336.80	1.06	50	58.12	0.13
85	61420.20	1.33	85	195.85	0.20
100 (max)	125347.00	1.69	100 (max)	329.65	0.23

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	4.68 m
Conservative:	5.89 m
Surf Parameter:	3.38
CERC Stability Number:	1.28
Dutch Stability Number:	1.20

**Tabella 5h – Scogliera Molo di Levante – Settore 18 – Tr = 50 anni**



**Case: TR50 - Sett.19**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.09 m  
Significant wave period (Ts): 9.81 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.05947 m			Thickness: 0.51487 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	3548.48	0.51	0 (min)	9.28	0.07
15	11355.10	0.76	15	15.62	0.08
50	28387.80	1.03	50	52.65	0.13
85	55640.20	1.29	85	177.42	0.19
100 (max)	113551.00	1.63	100 (max)	298.63	0.23

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	4.61	m	Conservative:	5.81	m
Surf Parameter:	3.55		Dutch Stability Number:	1.17	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5i – Scogliera Molo di Levante – Settore 19 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.20**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 2.03 m  
Significant wave period (Ts): 10.22 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.00035 m			Thickness: 0.50009 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	3251.56	0.50	0 (min)	8.51	0.07
15	10405.00	0.74	15	14.32	0.08
50	26012.50	1.00	50	48.25	0.12
85	50984.50	1.25	85	162.58	0.18
100 (max)	104050.00	1.59	100 (max)	273.64	0.22

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	4.57	m	Conservative:	5.75	m
Surf Parameter:	3.75		Dutch Stability Number:	1.17	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5l – Scogliera Molo di Levante – Settore 20 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.21**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.97 m  
Significant wave period (Ts): 10.40 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.94123 m			Thickness: 0.48531 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	2971.68	0.49	0 (min)	7.77	0.07
15	9509.38	0.72	15	13.08	0.08
50	23773.50	0.97	50	44.09	0.12
85	46596.00	1.21	85	148.58	0.18
100 (max)	95093.80	1.54	100 (max)	250.09	0.21

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	4.48	m	Conservative:	5.64	m
Surf Parameter:	3.88		Dutch Stability Number:	1.17	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5m – Scogliera Molo di Levante – Settore 21 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.22**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.88 m  
Significant wave period (Ts): 10.13 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 2.00  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.85254 m			Thickness: 0.46314 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	2582.72	0.46	0 (min)	6.76	0.06
15	8264.70	0.68	15	11.37	0.08
50	20661.80	0.93	50	38.32	0.11
85	40497.10	1.16	85	129.14	0.17
100 (max)	82647.00	1.47	100 (max)	217.35	0.20

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	4.28	m	Conservative:	5.39	m
Surf Parameter:	3.86		Dutch Stability Number:	1.17	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5n – Scogliera Molo di Levante – Settore 22 – Tr = 50 anni**

Case: TR50 - Sett.23					
Rubble Mound Revetment Design					
Significant wave ht (Hs):	1.75 m				
Significant wave period (Ts):	9.55 sec				
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00				
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m				
Cotan of structure slope (cot theta):	2.00				
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m				
Permeability coefficient (P):	0.10				
Damage level (S):	1.50				
Breaking criteria:	0.78				
Stone Size Gradation					
Armor Layer			Filter Layer		
Thickness:	1.72444 m		Thickness:	0.43111 m	
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	2083.14	0.43	0 (min)	5.45	0.06
15	6666.04	0.64	15	9.17	0.07
50	16665.10	0.86	50	30.91	0.11
85	32663.60	1.08	85	104.16	0.16
100 (max)	66660.40	1.37	100 (max)	175.31	0.19
Irregular wave runup (m)					
Expected maximum:	3.97 m		Conservative:	5.00 m	
Surf Parameter:	3.78		Dutch Stability Number:	1.17	
CERC Stability Number:	1.28				

**Tabella 5o – Scogliera Molo di Levante – Settore 23 – Tr = 50 anni**

S = 1.50 (livello di danno)  
 CERC = 1.28 (CERC stability number)

settore	$W_{50}$ (ton)	$D_{n50}$ (m)	s (m)	runup (m)	$\xi_m$ surf par.	Duch st. num.
11	5.03	1.25	2.49	5.24	2.55	1.38
12	5.71	1.30	2.60	5.43	2.74	1.33
13	5.76	1.30	2.61	5.43	2.84	1.31
14	5.54	1.29	2.57	5.35	2.91	1.29
15	5.04	1.25	2.49	5.22	3.00	1.27
16	4.30	1.18	2.36	5.04	3.12	1.24
17	3.64	1.12	2.24	4.84	3.25	1.22
18	3.13	1.06	2.13	4.68	3.38	1.20
19	2.84	1.03	2.06	4.61	3.55	1.17
20	2.60	1.00	2.00	4.57	3.75	1.17
21	2.38	0.97	1.94	4.48	3.88	1.17
22	2.07	0.93	1.85	4.28	3.86	1.17
23	1.67	0.86	1.72	3.97	3.78	1.17

**Tabella 6 – Scogliera Molo di Levante – Sintesi risultati Van der Meer – Tr = 50 anni**

4.6.

VAN DER MEER – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO COLOMBO

**Case: TR50 - Sett.11**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.48 m  
 Significant wave period (Ts): 7.66 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 1.50  
 Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.53001 m			Thickness: 0.38250 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	1454.98	0.38	0 (min)	3.81	0.05
15	4655.95	0.56	15	6.41	0.06
50	11639.90	0.77	50	21.59	0.09
85	22814.20	0.96	85	72.75	0.14
100 (max)	46559.50	1.21	100 (max)	122.45	0.17

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	3.61	Conservative:	4.54
Surf Parameter:	4.39	Dutch Stability Number:	1.05
CERC Stability Number:	1.22		

Tabella 7a – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 11 – Tr = 50 anni

**Case: TR50 - Sett.12**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.38 m  
 Significant wave period (Ts): 8.25 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 1.50  
 Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.42663 m			Thickness: 0.35666 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	1179.53	0.36	0 (min)	3.09	0.05
15	3774.51	0.53	15	5.19	0.06
50	9436.27	0.71	50	17.50	0.09
85	18495.10	0.89	85	58.98	0.13
100 (max)	37745.10	1.13	100 (max)	99.26	0.16

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	3.48	Conservative:	4.38
Surf Parameter:	4.90	Dutch Stability Number:	1.04
CERC Stability Number:	1.22		

Tabella 7b – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 12 – Tr = 50 anni

**Case: TR50 - Sett.13**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.27 m  
Significant wave period (Ts): 8.49 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.31292 m			Thickness: 0.32823 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	919.36	0.33	0 (min)	2.41	0.05
15	2941.94	0.48	15	4.05	0.05
50	7354.85	0.66	50	13.64	0.08
85	14415.50	0.82	85	45.97	0.12
100 (max)	29419.40	1.04	100 (max)	77.37	0.14

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	3.27	Conservative:	4.12
Surf Parameter:	5.25		
CERC Stability Number:	1.22	Dutch Stability Number:	1.05

**Tabella 7c – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 13 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.14**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.15 m  
Significant wave period (Ts): 8.62 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.18886 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	682.60	0.30	0 (min)	1.79	0.04
15	2184.32	0.44	15	3.01	0.05
50	5460.80	0.59	50	10.13	0.07
85	10703.20	0.74	85	34.13	0.11
100 (max)	21843.20	0.94	100 (max)	57.45	0.13

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	3.02	Conservative:	3.80
Surf Parameter:	5.61		
CERC Stability Number:	1.22	Dutch Stability Number:	1.05

**Tabella 7d – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 14 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.15**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 1.02 m  
Significant wave period (Ts): 8.72 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 1.05447 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	476.29	0.26	0 (min)	1.25	0.04
15	1524.14	0.39	15	2.10	0.04
50	3810.34	0.53	50	7.07	0.06
85	7468.26	0.66	85	23.81	0.10
100 (max)	15241.40	0.84	100 (max)	40.08	0.12

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	2.74	m	Conservative:	3.44	m
Surf Parameter:	6.02		Dutch Stability Number:	1.06	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7e – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 15 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.16**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.89 m  
Significant wave period (Ts): 8.89 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.92008 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	316.40	0.23	0 (min)	0.83	0.03
15	1012.50	0.34	15	1.39	0.04
50	2531.24	0.46	50	4.69	0.06
85	4961.23	0.58	85	15.82	0.08
100 (max)	10125.00	0.73	100 (max)	26.63	0.10

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	2.45	m	Conservative:	3.08	m
Surf Parameter:	6.57		Dutch Stability Number:	1.07	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7f – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 16 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.17**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.81 m  
Significant wave period (Ts): 9.01 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.83737 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	238.52	0.21	0 (min)	0.62	0.03
15	763.27	0.31	15	1.05	0.03
50	1908.17	0.42	50	3.54	0.05
85	3740.02	0.52	85	11.93	0.08
100 (max)	7632.70	0.66	100 (max)	20.07	0.09

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	2.26	m	Conservative:	2.84	m
Surf Parameter:	6.98		Dutch Stability Number:	1.08	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7g – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 17 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.18**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.75 m  
Significant wave period (Ts): 9.15 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.77534 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	189.35	0.19	0 (min)	0.50	0.03
15	605.91	0.29	15	0.83	0.03
50	1514.77	0.39	50	2.81	0.05
85	2968.95	0.49	85	9.47	0.07
100 (max)	6059.08	0.62	100 (max)	15.93	0.08

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	2.12	m	Conservative:	2.67	m
Surf Parameter:	7.37		Dutch Stability Number:	1.08	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7h – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 18 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.19**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.72 m  
Significant wave period (Ts): 9.47 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.74433 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	167.52	0.19	0 (min)	0.44	0.03
15	536.07	0.27	15	0.74	0.03
50	1340.17	0.37	50	2.49	0.05
85	2626.74	0.47	85	8.38	0.07
100 (max)	5360.69	0.59	100 (max)	14.10	0.08

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	2.06 m
Conservative:	2.59 m
Surf Parameter:	7.78
CERC Stability Number:	1.22
Dutch Stability Number:	1.09

**Tabella 7i – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 19 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.20**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.70 m  
Significant wave period (Ts): 9.88 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.72366 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	153.95	0.18	0 (min)	0.40	0.02
15	492.63	0.27	15	0.68	0.03
50	1231.56	0.36	50	2.28	0.04
85	2413.87	0.45	85	7.70	0.07
100 (max)	4926.26	0.57	100 (max)	12.96	0.08

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	2.02 m
Conservative:	2.54 m
Surf Parameter:	8.24
CERC Stability Number:	1.22
Dutch Stability Number:	1.10

**Tabella 7i– Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 20 – Tr = 50 anni**



**Case: TR50 - Sett.21**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.67 m  
Significant wave period (Ts): 10.06 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.69264 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	134.99	0.17	0 (min)	0.35	0.02
15	431.96	0.26	15	0.59	0.03
50	1079.91	0.35	50	2.00	0.04
85	2116.62	0.43	85	6.75	0.06
100 (max)	4319.64	0.55	100 (max)	11.36	0.08

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	1.94	m	Conservative:	2.44	m
Surf Parameter:	8.57		Dutch Stability Number:	1.10	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7m – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 21 – Tr = 50 anni**

**Case: TR50 - Sett.22**

**Rubble Mound Revetment Design**

Significant wave ht (Hs): 0.64 m  
Significant wave period (Ts): 9.81 sec  
Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
Water depth at toe of revetment (ds): 6.00 m  
Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
Permeability coefficient (P): 0.10  
Damage level (S): 1.50  
Breaking criteria: 0.78

**Stone Size Gradation**

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 0.66163 m			Thickness: 0.30480 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	117.66	0.17	0 (min)	0.31	0.02
15	376.50	0.24	15	0.52	0.03
50	941.24	0.33	50	1.75	0.04
85	1844.84	0.41	85	5.88	0.06
100 (max)	3764.98	0.53	100 (max)	9.90	0.07

**Irregular wave runup (m)**

Expected maximum:	1.86	m	Conservative:	2.34	m
Surf Parameter:	8.55		Dutch Stability Number:	1.10	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7n – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 22 – Tr = 50 anni**

Case: TR50 - Sett.23					
Rubble Mound Revetment Design					
Significant wave ht (Hs):	0.58 m				
Significant wave period (Ts):	9.25 sec				
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00				
Water depth at toe of revetment (ds):	6.00 m				
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50				
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m				
Permeability coefficient (P):	0.10				
Damage level (S):	1.50				
Breaking criteria:	0.78				
Stone Size Gradation					
Armor Layer			Filter Layer		
Thickness:	0.59960 m		Thickness:	0.30480 m	
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	87.57	0.15	0 (min)	0.23	0.02
15	280.23	0.22	15	0.39	0.02
50	700.56	0.30	50	1.30	0.04
85	1373.10	0.38	85	4.38	0.06
100 (max)	2802.25	0.48	100 (max)	7.37	0.07
Irregular wave runup (m)					
Expected maximum:	1.69 m		Conservative:	2.13 m	
Surf Parameter:	8.47		Dutch Stability Number:	1.10	
CERC Stability Number:	1.22				

**Tabella 7o – Scogliera Testata Molo Colombo – Settore 23 – Tr = 50 anni**

S = 1.50 (livello di danno)  
 CERC = 1.22 (CERC stability number)

settore	W <sub>50</sub> (ton)	D <sub>n50</sub> (m)	s (m)	runup (m)	ξ <sub>m</sub> surf par.	Duch st. num.
11	1.16	0.77	1.53	3.61	4.39	1.05
12	0.94	0.71	1.43	3.48	4.90	1.04
13	0.74	0.66	1.31	3.27	5.25	1.05
14	0.55	0.59	1.19	3.02	5.61	1.05
15	0.38	0.53	1.05	2.74	6.02	1.06
16	0.25	0.46	0.92	2.45	6.57	1.07
17	0.19	0.42	0.84	2.26	6.98	1.08
18	0.15	0.39	0.78	2.12	7.37	1.08
19	0.13	0.37	0.74	2.06	7.78	1.09
20	0.12	0.36	0.72	2.02	8.24	1.10
21	0.11	0.35	0.69	1.94	8.57	1.10
22	0.10	0.33	0.66	1.86	8.55	1.10
23	0.07	0.30	0.60	1.69	8.47	1.10

**Tabella 8 – Scogliera Testata Molo Colombo – Sintesi risultati Van der Meer – Tr = 50 anni**

4.7.

VAN DER MEER – SCOGLIERA DI TESTATA MOLO DI PONENTE

Case: TR50 - Sett.11

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs): 3.02 m  
 Significant wave period (Ts): 8.27 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 3.00  
 Breaking criteria: 0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.74616 m			Thickness: 0.68654 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	8412.98	0.69	0 (min)	22.01	0.09
15	26921.50	1.01	15	37.04	0.11
50	67303.80	1.37	50	124.83	0.17
85	131916.00	1.72	85	420.65	0.25
100 (max)	269215.00	2.18	100 (max)	708.00	0.30

Irregular wave runup (m)

Expected maximum:	6.57	m	Conservative:	8.27	m
Surf Parameter:	3.32				
CERC Stability Number:	1.22		Dutch Stability Number:	1.39	

Tabella 9a – Scogliera Molo di Ponente – Settore 11 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.12

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs): 3.17 m  
 Significant wave period (Ts): 8.89 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 3.00  
 Breaking criteria: 0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.95266 m			Thickness: 0.73816 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	10457.10	0.74	0 (min)	27.36	0.10
15	33462.80	1.09	15	46.04	0.12
50	83656.90	1.48	50	155.16	0.18
85	163968.00	1.85	85	522.86	0.27
100 (max)	334628.00	2.34	100 (max)	880.03	0.32

Irregular wave runup (m)

Expected maximum:	7.01	m	Conservative:	8.81	m
Surf Parameter:	3.48				
CERC Stability Number:	1.22		Dutch Stability Number:	1.35	

Tabella 9b – Scogliera Molo di Ponente – Settore 12 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.13

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.24 m
Significant wave period (Ts):	9.11 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.03833 m			Thickness: 0.75958 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	11394.10	0.76	0 (min)	29.81	0.10
15	36461.10	1.12	15	50.17	0.12
50	91152.70	1.52	50	169.06	0.19
85	178659.00	1.90	85	569.71	0.28
100 (max)	364611.00	2.41	100 (max)	958.88	0.33

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	7.19 m
Surf Parameter:	3.53
CERC Stability Number:	1.22
Conservative:	9.04 m
Dutch Stability Number:	1.34

Tabella 9c – Scogliera Molo di Ponente – Settore 13 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.14

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.29 m
Significant wave period (Ts):	9.21 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.09026 m			Thickness: 0.77256 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	11988.30	0.77	0 (min)	31.36	0.11
15	38362.40	1.14	15	52.79	0.13
50	95906.10	1.55	50	177.88	0.19
85	187976.00	1.93	85	599.41	0.28
100 (max)	383624.00	2.45	100 (max)	1008.89	0.34

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	7.30 m
Surf Parameter:	3.54
CERC Stability Number:	1.22
Conservative:	9.19 m
Dutch Stability Number:	1.34

Tabella 9d – Scogliera Molo di Ponente – Settore 14 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.15

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.32 m
Significant wave period (Ts):	9.28 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.12317 m			Thickness: 0.78079 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	12375.40	0.78	0 (min)	32.37	0.11
15	39601.20	1.15	15	54.49	0.13
50	99003.00	1.56	50	183.62	0.19
85	194046.00	1.95	85	618.77	0.29
100 (max)	396012.00	2.48	100 (max)	1041.46	0.34

		Irregular wave runup (m)			
Expected maximum:	7.37	m	Conservative:	9.27	m
Surf Parameter:	3.55				
CERC Stability Number:	1.22		Dutch Stability Number:	1.34	

Tabella 9e – Scogliera Molo di Ponente – Settore 15 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.16

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.33 m
Significant wave period (Ts):	9.41 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.15207 m			Thickness: 0.78802 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	12722.10	0.79	0 (min)	33.28	0.11
15	40710.80	1.16	15	56.02	0.13
50	101777.00	1.58	50	188.77	0.19
85	199483.00	1.97	85	636.11	0.29
100 (max)	407108.00	2.50	100 (max)	1070.65	0.35

		Irregular wave runup (m)			
Expected maximum:	7.42	m	Conservative:	9.34	m
Surf Parameter:	3.60				
CERC Stability Number:	1.22		Dutch Stability Number:	1.33	

Tabella 9f – Scogliera Molo di Ponente – Settore 16 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.17

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs): 3.31 m  
 Significant wave period (Ts): 9.52 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 3.00  
 Breaking criteria: 0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.15615 m			Thickness: 0.78904 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	12771.60	0.79	0 (min)	33.41	0.11
15	40869.00	1.16	15	56.24	0.13
50	102173.00	1.58	50	189.50	0.19
85	200258.00	1.97	85	638.58	0.29
100 (max)	408690.00	2.51	100 (max)	1074.81	0.35

Irregular wave runup (m)

Expected maximum:	7.41	m	Conservative:	9.33	m
Surf Parameter:	3.65		Dutch Stability Number:	1.32	
CERC Stability Number:	1.22				

Tabella 9g – Scogliera Molo di Ponente – Settore 17 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.18

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs): 3.27 m  
 Significant wave period (Ts): 9.65 sec  
 Cotan of nearshore slope (cot phi): 60.00  
 Water depth at toe of revetment (ds): 7.00 m  
 Cotan of structure slope (cot theta): 1.50  
 Unit weight of rock (wr): 26000.00 m  
 Permeability coefficient (P): 0.10  
 Damage level (S): 3.00  
 Breaking criteria: 0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.14878 m			Thickness: 0.78720 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	12682.30	0.79	0 (min)	33.18	0.11
15	40583.50	1.16	15	55.84	0.13
50	101459.00	1.57	50	188.18	0.19
85	198859.00	1.97	85	634.12	0.29
100 (max)	405835.00	2.50	100 (max)	1067.30	0.34

Irregular wave runup (m)

Expected maximum:	7.38	m	Conservative:	9.28	m
Surf Parameter:	3.72		Dutch Stability Number:	1.31	
CERC Stability Number:	1.22				

Tabella 9h – Scogliera Molo di Ponente – Settore 18 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.19

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.25 m
Significant wave period (Ts):	9.97 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.18587 m			Thickness: 0.79647 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	13135.80	0.80	0 (min)	34.36	0.11
15	42034.50	1.17	15	57.84	0.13
50	105086.00	1.59	50	194.90	0.20
85	205969.00	1.99	85	656.79	0.29
100 (max)	420345.00	2.53	100 (max)	1105.46	0.35

		Irregular wave runup (m)			
Expected maximum:	7.41	m	Conservative:	9.33	m
Surf Parameter:	3.86		Dutch Stability Number:	1.29	
CERC Stability Number:	1.22				

Tabella 9i – Scogliera Molo di Ponente - Settore 19 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.20

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.23 m
Significant wave period (Ts):	10.39 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.23726 m			Thickness: 0.80932 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	13781.80	0.81	0 (min)	36.05	0.11
15	44101.70	1.19	15	60.68	0.13
50	110254.00	1.62	50	204.49	0.20
85	216098.00	2.03	85	689.09	0.30
100 (max)	441017.00	2.57	100 (max)	1159.82	0.35

		Irregular wave runup (m)			
Expected maximum:	7.46	m	Conservative:	9.39	m
Surf Parameter:	4.03		Dutch Stability Number:	1.26	
CERC Stability Number:	1.22				

Tabella 9l – Scogliera Molo di Ponente – Settore 20 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.21

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.19 m
Significant wave period (Ts):	10.57 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.23481 m			Thickness: 0.80870 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	13750.50	0.81	0 (min)	35.97	0.11
15	44001.50	1.19	15	60.55	0.13
50	110004.00	1.62	50	204.03	0.20
85	215607.00	2.02	85	687.52	0.30
100 (max)	440015.00	2.57	100 (max)	1157.19	0.35

		Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	7.42	Conservative:	9.34
Surf Parameter:	4.13		
CERC Stability Number:	1.22	Dutch Stability Number:	1.24

Tabella 9m – Scogliera Molo di Ponente – Settore 21 – Tr = 50 anni

Case: TR50 - Sett.22

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	3.09 m
Significant wave period (Ts):	10.30 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 3.11785 m			Thickness: 0.77946 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	12312.30	0.78	0 (min)	32.21	0.11
15	39399.30	1.15	15	54.21	0.13
50	98498.20	1.56	50	182.69	0.19
85	193057.00	1.95	85	615.61	0.29
100 (max)	393993.00	2.47	100 (max)	1036.15	0.34

		Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	7.19	Conservative:	9.04
Surf Parameter:	4.09		
CERC Stability Number:	1.22	Dutch Stability Number:	1.25

Tabella 9n – Scogliera Molo di Ponente – Settore 22 – Tr = 50 anni



Case: TR50 - Sett.23

Rubble Mound Revetment Design

Significant wave ht (Hs):	2.94 m
Significant wave period (Ts):	9.69 sec
Cotan of nearshore slope (cot phi):	60.00
Water depth at toe of revetment (ds):	7.00 m
Cotan of structure slope (cot theta):	1.50
Unit weight of rock (wr):	26000.00 m
Permeability coefficient (P):	0.10
Damage level (S):	3.00
Breaking criteria:	0.78

Stone Size Gradation

Armor Layer			Filter Layer		
Thickness: 2.91333 m			Thickness: 0.72833 m		
% less than by weight	Weight	Dimension	% less than by weight	Weight	Dimension
	N	m		N	m
0 (min)	10044.80	0.73	0 (min)	26.28	0.10
15	32143.50	1.07	15	44.23	0.12
50	80358.70	1.46	50	149.04	0.18
85	157503.00	1.82	85	502.24	0.27
100 (max)	321435.00	2.31	100 (max)	845.34	0.32

Irregular wave runup (m)	
Expected maximum:	6.78 m
Surf Parameter:	3.94
CERC Stability Number:	1.22
Conservative:	8.54 m
Dutch Stability Number:	1.27

Tabella 9o – Scogliera Molo di Ponente – Settore 23 – Tr = 50 anni

S = 3.00 (livello di danno)  
 CERC = 1.22 (CERC stability number)

settore	W <sub>50</sub> (ton)	D <sub>n50</sub> (m)	s (m)	runup (m)	ξ <sub>m</sub> surf par.	Duch st. num.
11	6.70	1.37	2.75	6.57	3.32	1.39
12	8.37	1.48	2.95	7.01	3.48	1.35
13	9.12	1.52	3.04	7.19	3.53	1.34
14	9.59	1.55	3.09	7.30	3.54	1.34
15	9.90	1.56	3.12	7.37	3.55	1.34
16	10.18	1.58	3.15	7.42	3.60	1.33
17	10.22	1.58	3.16	7.41	3.65	1.32
18	10.15	1.57	3.15	7.38	3.72	1.31
19	10.51	1.59	3.19	7.41	3.86	1.29
20	11.03	1.62	3.24	7.46	4.03	1.26
21	11.00	1.62	3.23	7.42	4.13	1.24
22	9.85	1.56	3.12	7.19	4.09	1.25
23	8.04	1.46	2.91	6.78	3.94	1.27

Tabella 10 – Scogliera Molo di Ponente – Sintesi risultati Van der Meer – Tr = 50 anni

#### 4.8. RISULTATI DELLE ELABORAZIONI PER IL PROGETTO DELLE MANTELLATE

Sulla base delle elaborazioni di cui alle Tabelle ed ai tabulati sopra riportati si sono fissati i materiali e le caratteristiche dei vari strati costituenti le barriere in esame.

In particolare si sono sotttate le seguenti configurazioni:

- Scogliera di testata del Molo di Levante:
  - Tempo di ritorno di calcolo: Tr = 50 anni
  - Livello di danno: S = 1.50 (danno iniziale)
  - Mantellata:

materiale	scogli III° ctg ( $\gamma_m = 2.60t/m^3$ )
pendenza	1/2
quota sommità	+3.00 m s.l.m.m.
spessore	2.50 ml
n.ro strati	2
  - Berma:

materiale	scogli III° ctg ( $\gamma_m = 2.60t/m^3$ )
quota sommità	-5.50 m s.l.m.m.
pendenza	1/1
spessore	var
n.ro strati	2
  
- Scogliera di protezione del Molo Colombo:
  - Tempo di ritorno di calcolo: Tr = 50 anni
  - Livello di danno: S = 1.50 (danno iniziale)
  - Mantellata:

materiale	scogli III° ctg ( $\gamma_m = 2.60t/m^3$ )
pendenza	2/3
quota sommità	+3.00 m s.l.m.m.
spessore	2.50 ml
n.ro strati	2
  - Berma:

materiale	scogli III° ctg ( $\gamma_m = 2.60t/m^3$ )
quota sommità	-2.20 m s.l.m.m.
pendenza	1/1
spessore	var
n.ro strati	2

- Scogliera di testata del Molo di Ponente:
  - Tempo di ritorno di calcolo:  $Tr = 50$  anni
  - Livello di danno:  $S = 3.00$  (danno moderato)
  - Mantellata:
 

materiale	scogli IV° ctg ( $\gamma_m = 2.60t/m^3$ )
pendenza	2/3
quota sommità +3.00 m s.l.m.m.	
spessore	3.20 ml
n.ro strati	2
  - Berma:
 

materiale	scogli IV° ctg ( $\gamma_m = 2.60t/m^3$ )
quota sommità -4.20 m s.l.m.m.	
pendenza	1/1
spessore	var
n.ro strati	2