



UNIONE EUROPEA



## Regione Sicilia

Assessorato Regionale Infrastrutture e Mobilità

Ufficio di progettazione:

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Sicilia - Calabria

Ufficio Opere Marittime per la Sicilia

**PORTO DI MARSALA - OPERE DI MESSA IN SICUREZZA**

- Molo foraneo sopraflutto
- Molo foraneo sottoflutto
- Banchine e piazzali
- Escavazione

Elaborato:

EL. 13

### **SOLUZIONE ALTERNATIVA PROGETTO DEFINITIVO**

**Dimensionamento opere marittime**

**Prog. N. 6 del 11 feb. 2011 Rev. 2 2 MAG. 2013**

Aggiornamento 15 nov. 2013



Redatto da:  
Dirigente tecnico  
Dott. Ing. *Pietro Viviano*

Il Responsabile Unico del Procedimento  
Dott. Ing. *Luigi Palmeri*

## Indice della Relazione

<b>VERIFICHE PRELIMINARI - DIMENSIONAMENTO OPERE MARITTIME</b>	<b>2</b>
<b>1 Clima Ondoso – Caratteristiche Onde Incidenti</b>	<b>2</b>
<b>2 Analisi delle Variazioni del livello medio marino</b>	<b>9</b>
2.1 EFFETTO DELLA MAREA ASTRONOMICA .....	9
2.2 EFFETTO DELLA MAREA METEOROLOGICA .....	9
2.3 DISLIVELLI COMPLESSIVI.....	10
<b>3 Dimensionamento delle Opere Marittime</b>	<b>12</b>
3.1 ONDA DI PROGETTO SULLE OPERE A PARETE ED A GETTATA .....	12
3.2 CARATTERISTICHE DELLE SCOGLIERE PROPOSTE .....	14
3.3 FORMULE IMPIEGATE E DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE A GETTATA.....	17
3.4 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AFFIORAMENTO (RUN-UP) E DELLA TRACIMAZIONE (OVERTOPPING) – OPERE A GETTATA .....	21
3.5 VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AFFIORAMENTO (RUN-UP) E DELLA TRACIMAZIONE (OVERTOPPING) – OPERE A PARETE VERTICALE .....	26

## **VERIFICHE PRELIMINARI DIMENSIONAMENTO OPERE MARITTIME**

### **1      Clima Ondoso – Caratteristiche Onde Incidenti**

Al fine di una valida scelta delle tipologie delle opere di difesa, delle opere di accosto ed una più approfondita conoscenza dello stato dei luoghi, sono stati eseguiti preliminarmente rilievi topografici e batimetrici del paraggio interessato alla realizzazione della nuova infrastruttura turistica per la nautica da diporto.

I dati meteorologici di largo sono stati estratti dal modello d'onda di larga scala approntato da quest'Ufficio con la collaborazione di DHI Italia per il settore di mare che interessa il tratto di costa della Sicilia sud-occidentale. Tale modello, realizzato a partire da dati ondometrici e anemometrici del modello globale Met-Office (UKMO) e calibrato sulle misurazioni della boa di Mazara del Vallo, rappresenta un vero e proprio database di dati ondometrici per il periodo compreso tra il 01/11/88 ed il 30/10/08.

Sulla base di tali dati è stato effettuato lo studio su modello matematico con l'applicazione del codice numerico MIKE 21 edito dal DHI (Danish Hydraulic Institute).

Mediante l'utilizzo del codice di calcolo MIKE 21 SW, modello d'onda a griglia flessibile ("Flexible Mesh") in grado di tenere conto dei principali fenomeni che intervengono nella trasformazione dell'onda quali la rifrazione, lo shoaling, l'attrito col fondo ed il frangimento, è stato quindi calcolato il clima ondoso in un sito antistante la zona in esame.

I dati di clima ondoso al largo mostrano che le onde più alte e numerose provengono dai settori di Nord-Ovest (Maestrale), e Sud-Est (Scirocco).

Tali considerazioni hanno consentito di definire il settore di traversia per il paraggio di riferimento, ovvero il range di direzioni dalle quali possono effettivamente arrivare delle onde non trascurabili, in relazione alla morfologia del luogo. L'area portuale è risultata esposta, in maniera diretta, a mareggiate provenienti da direzioni comprese tra 155 e 320 °N.

I risultati dello studio hanno evidenziato che le onde più alte e frequenti al largo provengono da direzioni comprese tra 250° N e 280° N, che presentano fetch liberi molto lunghi.

È stata quindi definita la seguente relazione tra altezza e periodo mediante la regressione dei dati valida per le altezze d'onda più frequenti:  $T_s = 4.38 H_s^{0.43}$ .

La correlazione altezza significativa – periodo medio, dove con  $T_{\text{meteor}}$  è indicato il periodo

medio di Rice, è pari a:  $T_{\text{mteor}} = 3.3 \pi (H_s / g)^{1/2}$

La legge di regressione dei dati è del tipo:  $\frac{T_m}{T_{\text{mteor}}} = 1 + \frac{\alpha_{Tm}}{H_s / H_{sm}}$  con :  $\alpha_{Tm} = 0.65$ ;

in cui  $T_m$  rappresenta il periodo medio,  $H_s$  l'altezza significativa e  $H_{sm}$  l'altezza significativa media che nel punto in esame risulta uguale a 0.63 m.

Quanto al periodo dominante per le mareggiate più intense, esso viene espresso in funzione dell'altezza significativa mediante la relazione  $T_p = 8.5\pi \sqrt{H_s / 4g}$ .

L'analisi delle onde estreme è stata condotta a partire dai dati riguardanti la frequenza di apparizione delle mareggiate elaborati a partire dai dati del modello a scala globale, al fine di permettere una caratterizzazione statistica degli eventi estremi attesi al largo. Gli eventi di mareggiata sono stati pertanto processati statisticamente mediante l'applicazione del cosiddetto metodo POT (Peak Over Threshold). La regolarizzazione statistica, sia omnidirezionale che direzionale, è stata effettuata utilizzando il modulo EVA – Extreme Values Analysis del DHI. I risultati delle elaborazioni sono riportati di seguito in forma tabellare. La distribuzione di probabilità che ha approssimato meglio i dati è la distribuzione “Weibull”.

Gli estremi al largo, con l'ausilio del medesimo codice di calcolo MIKE 21 SW, sono stati propagati fino alle opere in progetto in n. 2 punti significativi, individuati, ciascuno in corrispondenza delle sezioni tipiche delle opere foranee. Per il punto 3 su fondali più bassi (-4 m, s.l.m.m.), per considerare il limite indotto dal frangimento sulla altezza d'onda significativa in corrispondenza delle profondità di riferimento e tenere conto della irregolarità del moto ondoso si è proceduto al calcolo dei valori estremi del moto ondoso da utilizzare per il dimensionamento dell'opera a gettata adottando la formula ricavata da Kamphuis per onde irregolari e verificata attraverso innumerevoli prove sperimentali di laboratorio:

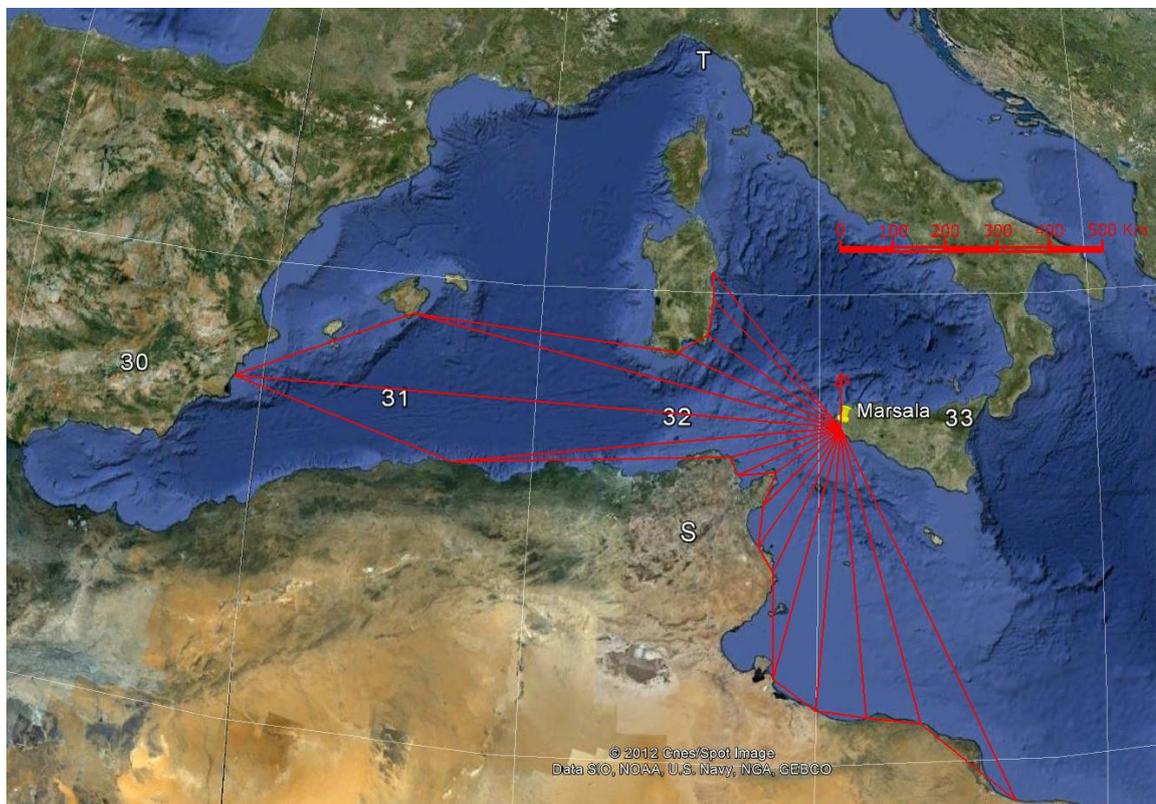
$$H_{sb} = 0.56 \exp(3.5m) d_b$$

dove “b” indica la condizione di frangimento, “db” la profondità dell'acqua ed “m” la pendenza della spiaggia.

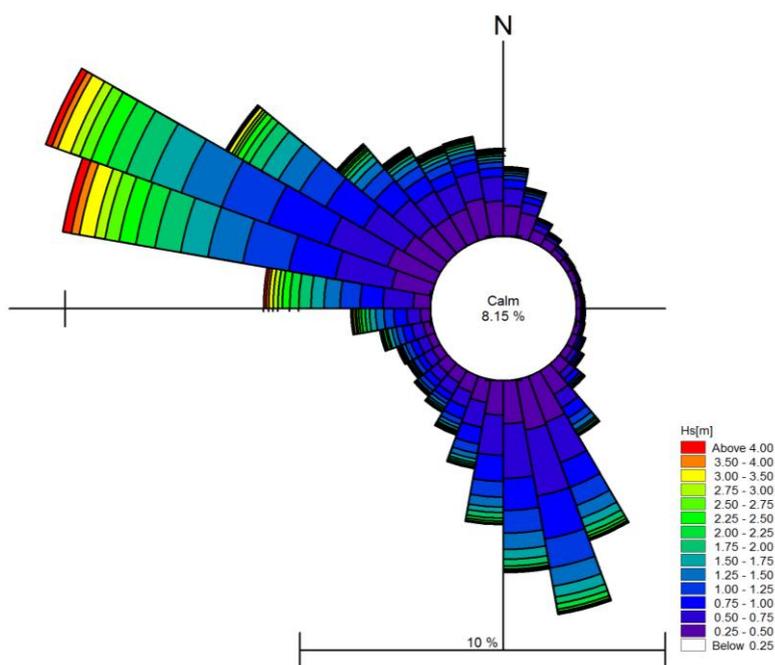
Di seguito sono riportati il settore di traversia, i dati di clima ondoso in termini di altezza d'onda direzione e frequenza di apparizione di provenienza nella classica rappresentazione a rosa, sia a largo che sottocosta, la probabilità di superamento omnidirezionale dell'altezza significativa al largo, gli estremi ondosi a largo, omnidirezionali e per ciascuna direzione significativa, ed infine il grafico riportante i punti di calcolo degli estremi ed i relativi valori ottenuti.



Settore di traversia dell'area oggetto di studio



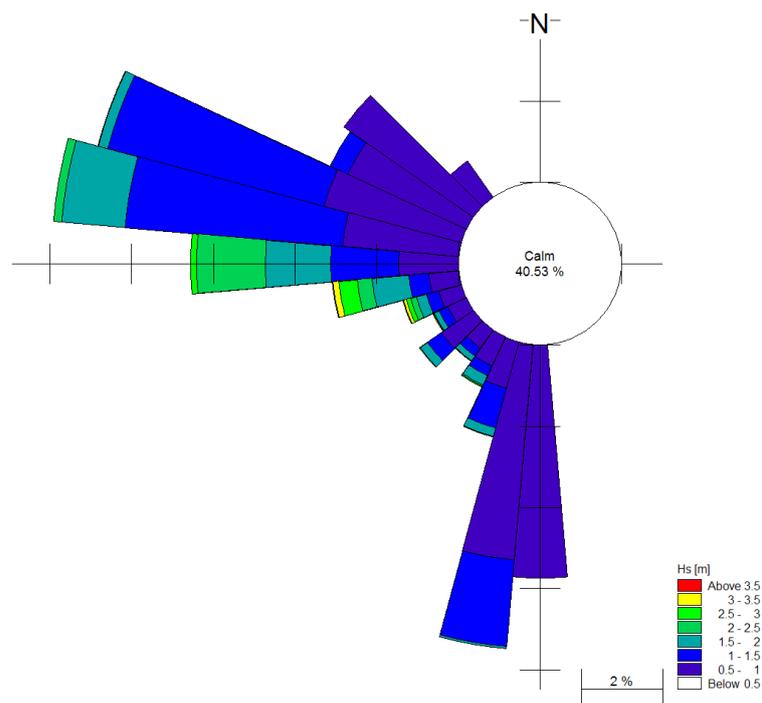
Fetch geografico stimato sulla base delle distanze misurate sulla vista satellitare



Rosa del Clima ondoso significativo al largo – fondali di -35 m, s.l.m.m.

Settore al largo [°N]	Hs												
	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
150 - 160	1.923	0.917	0.421	0.171	0.048	0.014	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160 - 170	3.081	1.322	0.500	0.229	0.051	0.010	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170 - 180	2.409	1.076	0.467	0.116	0.039	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180 - 190	1.836	0.712	0.310	0.139	0.036	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190 - 200	1.177	0.421	0.164	0.082	0.010	0.007	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
200 - 210	0.784	0.269	0.118	0.050	0.031	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
210 - 220	0.549	0.226	0.121	0.029	0.009	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
220 - 230	0.498	0.221	0.080	0.021	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
230 - 240	0.467	0.195	0.080	0.033	0.012	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
240 - 250	0.498	0.250	0.075	0.046	0.015	0.003	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
250 - 260	0.582	0.305	0.168	0.089	0.046	0.017	0.005	0.003	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000
260 - 270	0.732	0.494	0.281	0.180	0.098	0.062	0.036	0.019	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
270 - 280	1.458	0.985	0.683	0.459	0.243	0.118	0.079	0.031	0.024	0.007	0.007	0.000	0.000
280 - 290	2.857	2.248	1.478	0.991	0.679	0.428	0.226	0.109	0.075	0.033	0.019	0.005	0.002
290 - 300	3.461	2.544	1.605	1.027	0.595	0.373	0.166	0.098	0.043	0.024	0.010	0.000	0.000
300 - 310	2.482	1.497	0.924	0.387	0.159	0.109	0.046	0.029	0.012	0.003	0.002	0.000	0.000
310 - 320	1.632	0.712	0.308	0.152	0.084	0.043	0.019	0.009	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
320 - 330	1.322	0.530	0.204	0.077	0.048	0.033	0.017	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
330 - 340	1.102	0.385	0.181	0.101	0.034	0.043	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

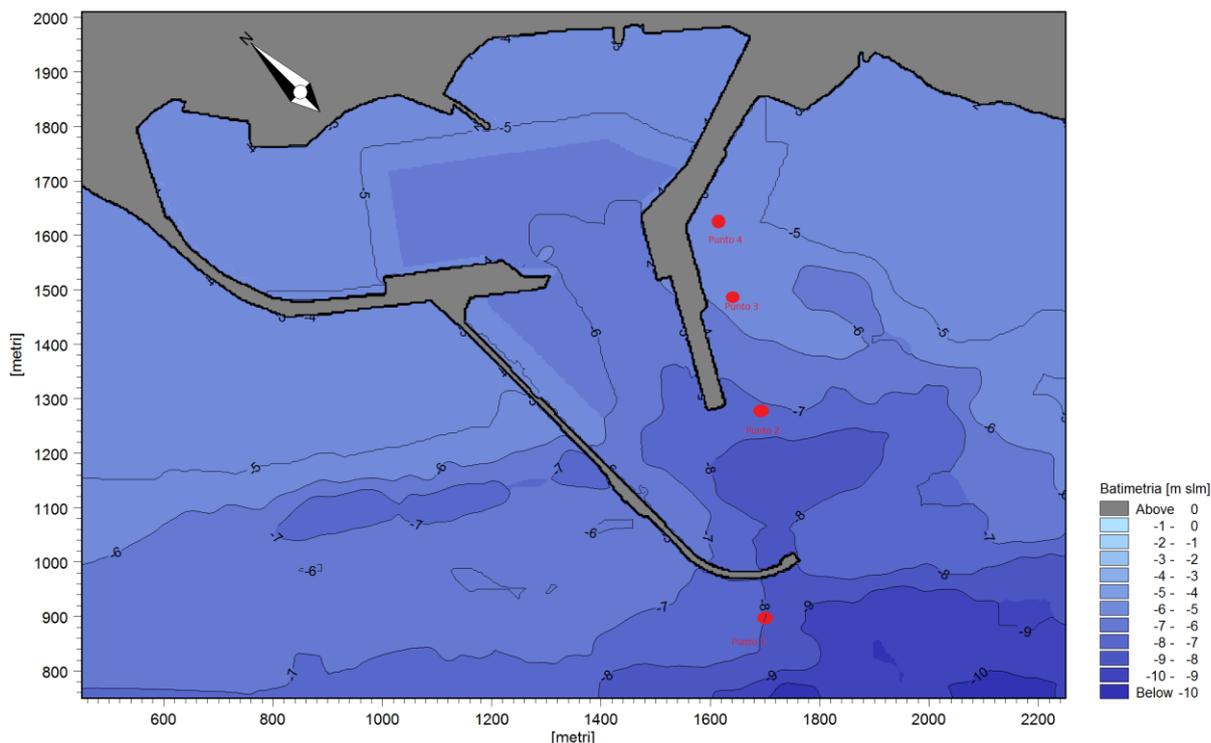
Clima Ondoso al largo. Frequenze di accadimento per eventi divisi in classi di altezza d'onda e direzione di provenienza



Rosa del Clima ondoso sottocosta antistante la struttura portuale

Settore al largo [°N]	Tr [anni]	Hs [m]	ST.DV [m]	Settore al largo [°N]	Tr [anni]	Hs [m]	ST.DV [m]
310-340	2	2.8	0.12	220-250	2	2.0	0.12
	5	3.4	0.20		5	2.6	0.24
	10	3.8	0.29		10	3.0	0.37
	20	4.2	0.39		20	3.5	0.53
	50	4.6	0.55		50	4.2	0.80
	100	5.0	0.68		100	4.7	1.03
	150	5.2	0.76		150	5.0	1.18
200	5.3	0.81	200	5.3	1.29		
280-310	2	5.4	0.12	190-220	2	2.7	0.09
	5	5.9	0.19		5	3.1	0.18
	10	6.2	0.25		10	3.4	0.28
	20	6.6	0.32		20	3.8	0.40
	50	7.0	0.43		50	4.3	0.60
	100	7.2	0.51		100	4.7	0.77
	150	7.4	0.55		150	5.0	0.88
200	7.5	0.59	200	5.1	0.96		
250-280	2	4.2	0.14	150-190	2	3.1	0.08
	5	4.8	0.22		5	3.5	0.13
	10	5.2	0.30		10	3.7	0.19
	20	5.5	0.39		20	4.0	0.25
	50	6.0	0.52		50	4.3	0.34
	100	6.3	0.62		100	4.5	0.42
	150	6.5	0.68		150	4.6	0.46
200	6.7	0.73	200	4.7	0.50		

Livelli di altezza significativa (estremi), su profondità di 35m, eguagliati o superati ogni Tr anni, al variare del settore di provenienza delle onde.



Punti di calcolo degli estremi in prossimità delle opere a parete e a gettata

Settore al largo [°N]	Tr [anni]	Hs [m]	Dir [°N]	Tp [s]	Settore al largo [°N]	Tr [anni]	Hs [m]	Dir [°N]	Tp [s]
310-340	2	1.74	281	7.2	220-250	2	1.65	230	6.0
	5	2.12	277	7.9		5	2.03	229	6.8
	10	2.38	275	8.3		10	2.35	228	7.4
	20	2.59	272	8.7		20	2.71	228	8.0
	50	2.84	269	9.2		50	3.21	227	8.7
	100	2.98	267	9.5		100	3.55	227	9.3
	150	3.07	266	9.7		150	3.73	227	9.6
280-310	200	3.12	265	9.8	200	3.82	226	9.8	
	2	3.29	253	9.9	190-220	2	2.01	210	7.0
	5	3.42	250	10.4		5	2.28	211	7.5
	10	3.52	249	10.7		10	2.52	212	7.9
	20	3.59	248	10.9		20	2.77	212	8.3
	50	3.69	247	11.2		50	3.12	213	8.9
	100	3.74	246	11.5		100	3.38	213	9.3
150	3.80	246	11.6	150		3.54	214	9.5	
250-280	200	3.82	246	11.7	200	3.63	214	9.7	
	2	3.02	243	8.7	150-190	2	1.75	195	7.5
	5	3.35	240	9.3		5	1.92	196	7.9
	10	3.55	239	9.7		10	2.04	197	8.2
	20	3.68	238	10.0		20	2.15	197	8.5
	50	3.84	237	10.5		50	2.31	198	8.8
	100	3.90	236	10.7		100	2.41	199	9.0
150	3.97	236	10.9	150		2.49	199	9.2	
200	3.99	236	11.0	200	2.53	199	9.2		

Livelli di altezza significativa e periodo dominante eguagliati o superati mediamente ogni R anni, al

variare del settore di provenienza delle onde – Punto 1 (-8 m, s.l.m.m).

Settore al largo [°N]	Tr [anni]	Hs [m]	Dir [°N]	Tp [s]	Settore al largo [°N]	Tr [anni]	Hs [m]	Dir [°N]	Tp [s]
310-340	2	0.97	254	7.2	220-250	2	1.46	228	6.0
	5	1.29	252	7.9		5	1.78	228	6.8
	10	1.51	251	8.3		10	2.05	227	7.4
	20	1.70	250	8.7		20	2.33	227	8.0
	50	1.91	249	9.2		50	2.67	226	8.7
	100	2.04	248	9.5		100	2.85	225	9.3
	150	2.11	248	9.7		150	2.95	225	9.6
	200	2.16	248	9.8		200	2.99	225	9.8
280-310	2	2.51	241	9.9	190-220	2	1.76	213	7.0
	5	2.60	240	10.4		5	1.98	214	7.5
	10	2.68	239	10.7		10	2.18	214	7.9
	20	2.73	239	10.9		20	2.37	214	8.3
	50	2.81	238	11.2		50	2.64	215	8.9
	100	2.85	238	11.5		100	2.80	215	9.3
	150	2.90	238	11.6		150	2.90	215	9.5
	200	2.91	237	11.7		200	2.95	215	9.7
250-280	2	2.49	236	8.7	150-190	2	1.53	203	7.5
	5	2.67	234	9.3		5	1.68	204	7.9
	10	2.79	234	9.7		10	1.79	204	8.2
	20	2.85	233	10.0		20	1.89	204	8.5
	50	2.95	232	10.5		50	2.02	205	8.8
	100	2.98	232	10.7		100	2.12	205	9.0
	150	3.03	232	10.9		150	2.18	205	9.2
	200	3.04	231	11.0		200	2.22	205	9.2

Livelli di altezza significativa e periodo dominante eguagliati o superati mediamente ogni R anni, al variare del settore di provenienza delle onde – Punto 2 (-7 m, s.l.m.m).

## **2      Analisi delle Variazioni del livello medio marino**

Da un punto di vista progettuale risulta importante analizzare le variazioni quasi statiche del livello medio marino indotte sia dalla marea astronomica che da quella meteorologica.

Prescindendo dai modesti dislivelli (pochi centimetri) imputabili a variazioni stagionali di densità del mare e a fenomeni di eustatismo, le escursioni di livello della superficie marina sono principalmente dovute ai due fenomeni sopradetti: marea “astronomica” e marea “meteorologica” (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica).

Si esaminano separatamente i due diversi contributi.

### **2.1   Effetto della marea astronomica**

La marea astronomica, dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, ha nel basso tirreno un andamento di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 25 minuti) con due massimi e due minimi durante la giornata di cui un massimo ed un minimo in genere più accentuati rispetto all'altro. Le ampiezze dell'oscillazione sono alquanto contenute: dalle tavole di marea, edite annualmente dall'Istituto Idrografico della Marina si sono ricavate le oscillazioni giornaliere con il metodo del rapporto.

Per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti per i porti di Reggio Calabria e di Catania e per Palinuro. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 25 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico - declinazionale).

Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori medi di circa  $\pm 0.15$  m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello pari a circa 0,30). Nelle fasi di quadratura l'escursione è limitata al massimo a  $\pm 0.10$  m s.l.m..

Mediamente l'oscillazione di marea astronomica da assumere (dislivello minimo e massimo livello diurno) è pari a 10 cm.

### **2.2   Effetto della marea meteorologica**

Le variazioni del livello medio marino indotte da cause meteorologiche vengono indicate con il termine di marea meteorologica. Le due cause principali che possono dar luogo alle accennate variazioni di livello sono costituite dalle variazioni di pressione atmosferica rispetto alla pressione

normale al suolo (effetto barico inverso) e dall'azione dei venti persistenti sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale.

Per quanto riguarda la prima causa, sovrалzo ed abbassamento barico (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni), è noto che alla variazione di 1 mb della pressione atmosferica al suolo (il cui valore medio è 1013 mb) corrisponde una variazione di segno opposto di circa 1 cm del livello marino. Per valutare i valori massimi di variazione del livello medio marino, si sono ricercati i minimi e massimi valori barometrici registrati nella zona. Il massimo valore rilevato è risultato di 1040 mb, cui corrisponde un abbassamento locale del livello marino pari a 27 cm.

Il minimo barometrico registrato è di 983 mb: si può quindi considerare un corrispondente innalzamento del livello medio marino di 30 cm.

Per quanto riguarda la seconda causa, l'azione dei venti persistenti sulla superficie del mare al di sopra della piattaforma continentale (profondità inferiori a circa 200 m) può dar luogo a fenomeni di sovrалzo lungo le coste poste sottovento alla direzione di azione del vento e a corrispondenti abbassamenti lungo quelle sopravvento. Questi ultimi sono in genere modesti e di non agevole determinazione. Per quanto riguarda invece il calcolo del massimo sovrалzo di tempesta, si può ricorrere alla seguente relazione:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D-d-S)} \ln\left(\frac{D}{d+S}\right) \quad \text{dove:}$$

$K_p = 3 \times 10^6$  (valore costante);

$U = 22$  m/s (massima velocità del vento persistente);

$L = 1,5$  km (estensione della piattaforma continentale);

$D = 200$  m (profondità media della piattaforma);

$d = 10,0$  m (profondità di calcolo del sovrалzo  $S$ ).

Inserendo nella precedente espressione i valori sopra indicati si ottiene  $S = 0,01$  m, mentre eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrалzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva ( $d=0$ ) pari a  $S=0,03$  m. Valori comunque trascurabili.

### **2.3 Dislivelli complessivi**

In definitiva sommando i vari contributi positivi e negativi si ricavano i seguenti (massimi) dislivelli totali rispetto al livello medio marino:

- massimo innalzamento (dislivello positivo) =  $10+30+1 = 41$  cm

- massimo abbassamento (dislivello negativo) =  $10+27 = 37$  cm

Infine si devono considerare le variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo: le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrалzo sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrалzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 20-25% per il sovrалzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico; il massimo livello marino da assumere per la progettazione delle opere può essere prudenzialmente posto pari a +0.4/+0.5 m sopra il medio mare, tenendo anche conto che il sovrалzo d'onda indotto dal frangimento si risente in modo significativo solo in prossimità della riva.

Va peraltro osservato che nel caso di opere a gettata a cresta bassa (tracimabili) si crea nello specchio protetto un ulteriore sovrалzo del livello che alimenta la corrente di ritorno attraverso l'imboccatura.

### 3 Dimensionamento delle Opere Marittime

#### 3.1 Onda di Progetto sulle opere a parete ed a gettata

Le opere a parete (diga foranea e parte terminale di sottoflutto) e quelle a gettata (diga sottoflutto, parte iniziale) sono state dimensionate in ottemperanza ai criteri contenuti nelle Raccomandazioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti del Ministero dei Lavori Pubblici

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

$$T_{RP} = T_v / [1 - L_m (1 - P_f)]$$

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

La durata minima dell’opera è desumibile in relazione del tipo di opera e dal livello di sicurezza richiesto, come da tabella seguente:

Tipo dell’opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita dell’opera (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere ed installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell’opera (difese costiere – porti minori – ecc.), mentre il livello 2 si riferisce ad installazioni di interesse generale, comportanti rischio moderato di perdita di vite umane (opere di grandi porti – ecc.) e quello 3 alle opere d’interesse sopranazionale e di protezione dalle ondate, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane (difese costiere – porti minori – ecc.).

La massima probabilità di danneggiamento ammissibile è associata alle tipologie di rischio di danneggiamento incipiente o di distruzione totale, secondo le tabelle allegate:

Danneggiamento Incipiente Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15

Distruzione Totale	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Con riferimento alle istruzioni sopracitate, considerato che la struttura prevista è ad uso generale e che l'interesse dell'opera, precauzionalmente, può essere considerata "generale", il livello di sicurezza richiesto è 2, a cui corrisponde un tempo di vita di progetto di 50 anni.

Per la valutazione del danneggiamento ammissibile è stata considerata la probabilità relativa alle condizioni di danneggiamento incipiente essendo le sezioni tipo previste costituite da strutture flessibili e riparabili.

Dato che il rischio di perdita per la vita umana nel caso di danneggiamento dell'opera è minimo e che la ripercussione economica costituita dall'onere dell'intervento di manutenzione è piuttosto bassa, si è assunta una probabilità  $P_f = 0,50$ .

Sulla base dei parametri selezionati, il tempo di ritorno di progetto dell'opera risulta pari a circa 73 anni. Precauzionalmente però i dimensionamenti seguenti vengono effettuati per un tempo di ritorno di 100 anni, corrispondente ad un tempo di vita dell'opera circa 70 anni.

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

Le caratteristiche delle onde incidenti sulle opere sono state considerate quelle riportate nel precedente capitolo (cap. 1), mentre nel calcolo dei valori estremi del moto ondoso da utilizzare per il dimensionamento delle opere a gettata nelle sezioni incidenti su fondali più bassi (punto 3 su fondali di - 5.50 m, s.l.m.m.; punto 4 su fondali di - 4.00 m, s.l.m.m.), per considerare il limite indotto dal frangimento sulla altezza d'onda significativa in corrispondenza delle profondità di riferimento e tenere conto della irregolarità del moto ondoso, si è adottata la formula ricavata da Kamphuis per onde irregolari e verificata attraverso innumerevoli prove sperimentali di laboratorio:

$$H_{sb} = 0.56 \exp(3.5m) d_b$$

dove "b" indica la condizione di frangimento, "d<sub>b</sub>" la profondità dell'acqua ed "m" la pendenza della spiaggia.

Per i predetti punti di calcolo n. 3 e n. 4, pertanto, l'altezza significativa dell'onda di progetto con tempo di ritorno di 100 anni sulle isobate considerate è limitata da quella massima frangente per effetto della rifrazione.

Il moto ondoso di progetto, per ciascuna sezione, è stato quindi assunto pari all'onda

significativa incidente (R = 100 anni) per i punti 1 e 2, mentre per i punti 3 e 4 si è fatto ricorso all'onda massima frangente, come segue.

R = 100 anni	Tp [s]	Hs [m]			
Dir. sottocosta		Punto 1	Punto2	Punto3	Punto4
236°	10,7	3,90			
232°	10,7		2,98		
197°	8,5			2,70	2,40

### **3.2 Caratteristiche delle scogliere proposte**

La configurazione relativa al layout 7 delle nuove opere foranee necessarie per consentire la messa in sicurezza del bacino portuale di Marsala prevede la realizzazione di una diga sottoflutto radicata in corrispondenza dell'esistente piazzale non pavimentato, costituita da n. 2 tratti rettilinei, rispettivamente dalla progr. 0,00 m alla 293 m (sez. tipo n. 4) e dalla progr. 293 fino alla progr. 452 m (sez. tipo n. 3).

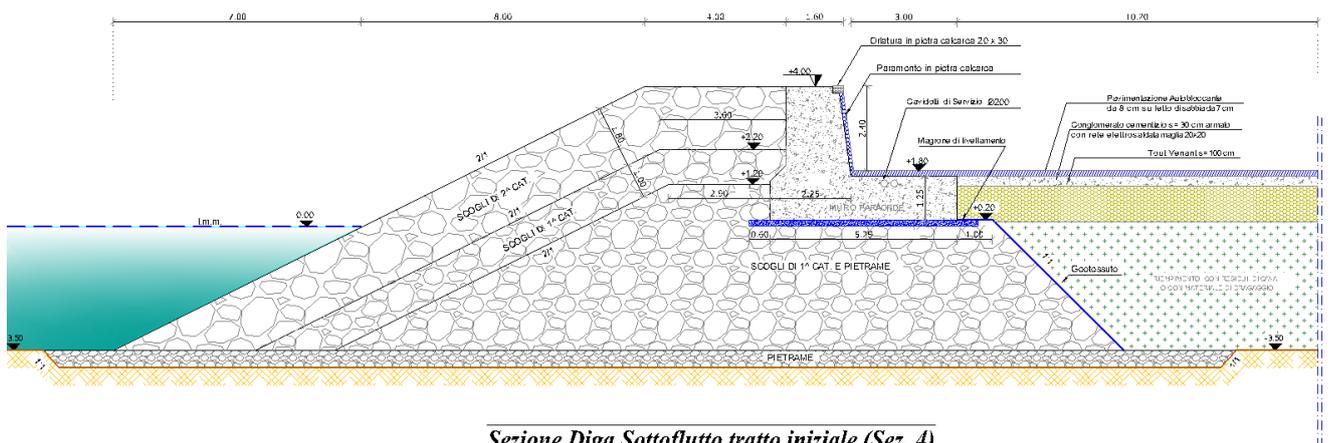
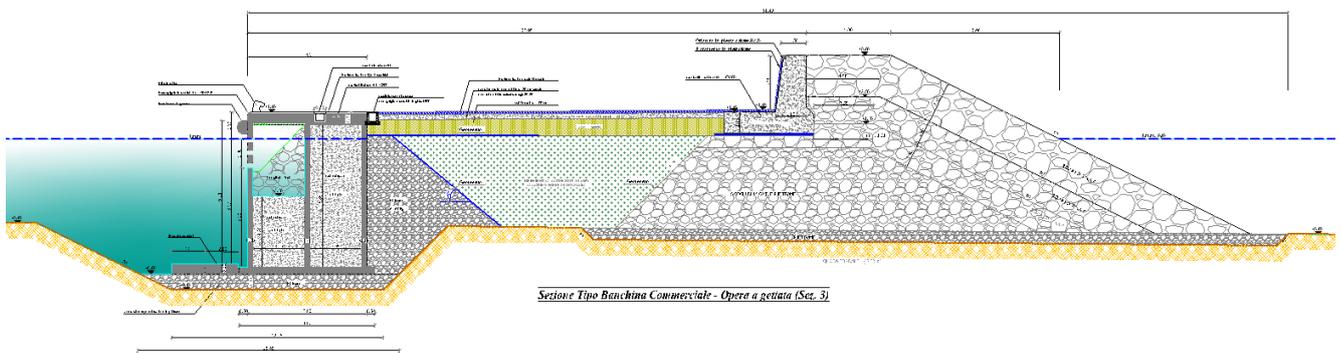
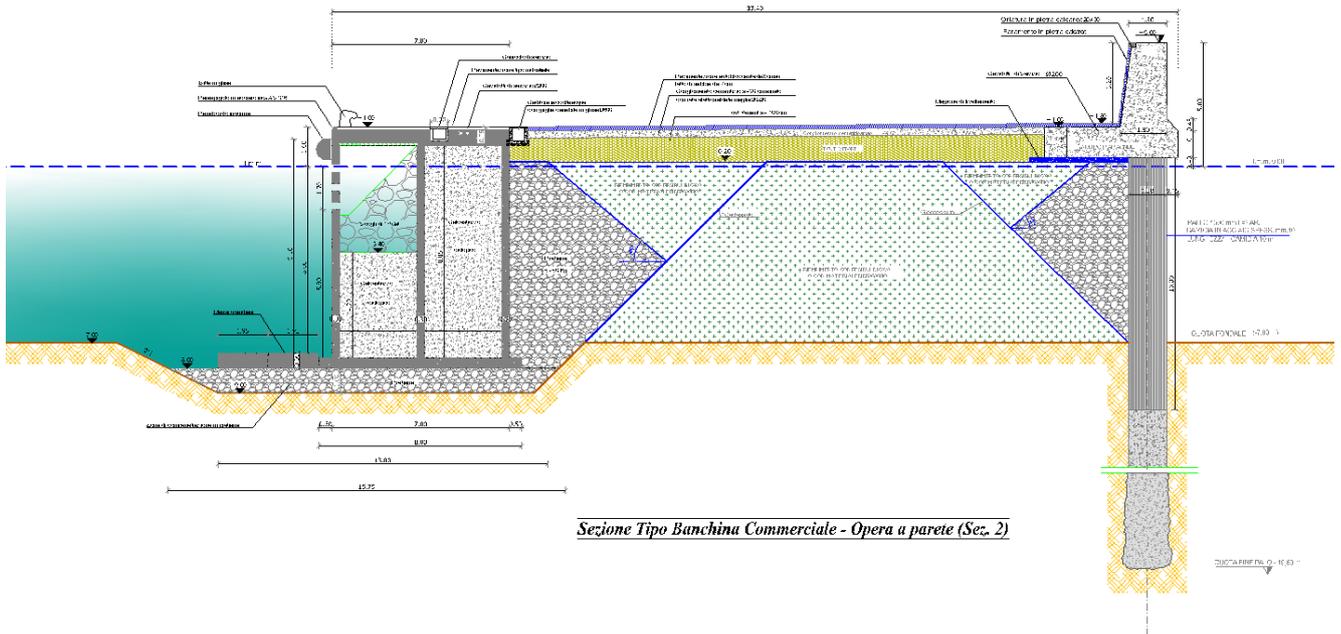
Nelle figure seguenti sono rappresentate la configurazione portuale e le sezioni tipo adottate.

In particolare la sezione n. 3 dell'opera di sottoflutto comprende una mantellata foranea in scogli di 3<sup>a</sup> categoria dello spessore di 2,50 m con berma superficiale a quota di + 5,00 m, sottostante strati di transizione in scogli di 2<sup>a</sup> categoria (spessore 1,60 m) e di 1<sup>a</sup> categoria (spessore 1,40 m) su nucleo in pietrame e scogli di 1<sup>a</sup> categoria. L'opera si completa con il massiccio di sovraccarico e con il muro paraonde.

Nella sezione in radice della diga di sottoflutti (sez. 4) la mantellata è in scogli di 2<sup>a</sup> categoria (spessore 1,80 m) con berma a quota di + 4,00 m, lo strato di transizione è in scogli di 1<sup>a</sup> categoria (spessore 1,00 m).







### 3.3 Formule impiegate e dimensionamento delle opere a gettata

Il dimensionamento delle scogliere di protezione viene di norma effettuato ricavando la massa M50 del singolo elemento mediante la formula di Hudson (ShoreProtection Manual, 1984):

$$M_{50} = \frac{\rho_s H_{des}^3}{K_D \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^3 \cot(\alpha)}$$

avendo indicato con:

$H_{des}$  l'altezza d'onda di progetto;

$\rho_s$  la densità del materiale costituente i blocchi;

$\rho$  la densità dell'acqua di mare;

$\alpha$  l'angolo formato dalla scogliera rispetto all'orizzontale;

$k_D$  un coefficiente di danno determinato empiricamente, funzione delle variabili coinvolte nella stabilità della struttura, del tipo di blocchi adottati, in particolare della loro forma, del loro posizionamento, e della percentuale di danno ritenuta accettabile. E' appena il caso di fare notare come valori di  $k_D$  maggiori implicano una minore massa del singolo blocco e quindi una sua minore dimensione.

Tale espressione deriva dall'aver imposto la stabilità dell'ammasso di blocchi nei confronti delle condizioni ambientali esterne: in condizioni di progetto cioè le onde e le correnti litoranee non devono spostare gli elementi costituenti la scogliera.

La formula di Hudson è stata ricavata sulla base di esperimenti di laboratorio realizzati con onde regolari. Per tener conto delle reali condizioni in mare, spesso si adotta un coefficiente correttivo, imponendo:

$$H_{des} = 1.27 \cdot H_b$$

essendo  $H_b$  l'altezza d'onda significativa al piede della scogliera.

Come accennato sopra, il coefficiente di danno  $k_D$  varia a seconda del tipo di elementi considerati e delle condizioni idrodinamiche; per materiale di cava, ovvero massi rocciosi irregolari è possibile adottare  $k_D=2.5$  per onde non frangenti.

La dimensione nominale  $D_{50}$  del singolo blocco si determina poi attraverso la relazione:

$$D_{50} = \left( \frac{M_{50}}{\rho_s} \right)^{1/3}$$

da intendersi come la misura della quale il 50% degli elementi è caratterizzata da dimensioni maggiori ed il 50% da dimensioni inferiori, ovvero come una sorta di diametro mediano.

Il dimensionamento della dimensione degli elementi di una mantellata può essere condotto anche attraverso la formula di Van der Meer, che tiene conto anche degli effetti della variabilità del periodo, particolarmente presenti in acque molto basse:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = \begin{cases} 6.2 p^{*0.18} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} & \text{per } \xi_m \leq 2.5 \\ 1.0 p^{*-0.13} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^{p^*} & \text{per } \xi_m \geq 2.5 \end{cases}$$

in cui:

$\alpha$  è l'angolo formato dalla scarpata con l'orizzontale

$$\Delta = \rho_s / \rho - 1$$

$\rho_s$  la densità del materiale costituente i blocchi

$\rho$  la densità dell'acqua di mare

$p^*$  è un parametro indicatore di permeabilità assunto pari a 0.5 nel presente caso

$S$  è il livello di danneggiamento assunto pari a 2 nel presente caso

$N$  è il numero di onde presenti nella mareggiata

$$\xi_m = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{H_s / L_0}} \text{ è il parametro di frangimento di Iribarren}$$

$L_0$  è la lunghezza d'onda su profondità infinita riferita al periodo medio

Dall'applicazione delle procedure descritte è possibile determinare la massa media dei massi costituenti la mantellata (M50 e W), come mostrato nella tabella seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Valutazione della massa minima degli scogli costituenti la diga a gettata.

Sez. Tipo	Tr	Tp	H <sub>s</sub> - H <sub>b</sub>	h	D <sub>50</sub>	M <sub>50</sub>	W	r
	[anni]	[s]	[m]	[m]	[m]	[t]	[t]	[m]
N. 3	100	10.7	2.70	- 5.50	1.02	2.78	3	2.50
N. 4	100	8.5	2.40 H <sub>b</sub>	- 4.00	0.75	1.09	1	1.80



### **3.4 Valutazione dei livelli di affioramento (Run-up) e della tracimazione (Overtopping) – Opere a gettata**

Un aspetto significativo non trascurabile nel dimensionamento delle opere a gettata è rappresentato dalla quota dell'opera, la cui corretta definizione comporta valutazioni di tipo tecnico, legate all'interazione tra moto ondoso e struttura ed in particolare alla stima dei livelli di affioramento (Run-up) e della tracimazione (Overtopping – superamento dell'opera da parte delle onde), associate a valutazioni di tipo paesaggistico – ambientale, per evitare il raggiungimento di quote eccessive di berma che possano comprometterne il delicato equilibrio.

Il superamento dell'opera da parte delle onde inizia a verificarsi a partire da determinati valori di altezze d'onda incidente e varia con la quota sommatata oltre che con lo stato del mare. Particolare importanza assume anche la geometria del paramento e della struttura in cresta.

L'accettazione o meno della tracimazione dipende dalle funzioni svolte immediatamente a tergo dall'opera a gettata e dalla presenza di attrezzature o strutture in si svolgono attività.

È prassi distinguere la possibilità di una tracimazione di una diga a gettata per la condizione di normale esercizio delle funzioni proprie della struttura (difesa del porto) da quella per le condizioni di mare estreme che potrebbero provocare danni alle installazioni permanenti disposte a tergo.

Il fenomeno della tracimazione si caratterizza inoltre per la non uniformità della portata tracimante, sia nello spazio che nel tempo.

L'individuazione dei limiti ammissibili di tracimazione, unitamente ai criteri di previsione della portata media di tracimazione per metro di lunghezza, sono stati studiati a livello sperimentale da diversi autori. Il CEM (Coastal Engineering Manual) ha effettuato una sintesi dei limiti ammissibili di tracimazione che si riporta nella tabella seguente.

Da tale tabella si evince che si è in presenza di pericolosità per i veicoli in transito (assenza di sicurezza a qualsiasi velocità) e per il transito dei pedoni (molto pericoloso), con valori delle portate medie di tracimazione pari a 1 l/s per m e che, per tale valore di portata, la struttura subisce anche dei danni. Già con valori di 0,01 – 1 l/s per m si consiglia di escludere il parcheggio.

Il calcolo del run-up e dell'overtopping è stato condotto per le due sezioni tipiche di calcolo sul sottoflutto).

In particolare per ciascuna sezione di calcolo è stata calcolata l'onda che determina la portata media di tracimazione di 1 l/s per m, in termini di altezza, periodo e frequenza (tempo di ritorno). Per la sezione di calcolo più gravosa della diga foranea di sottoflutto (sez. n. 3), il calcolo della portata tracimante è stato ripetuto per diverse quote di berma ipotizzate (4,50m – 5,00 m – 5,50m). Per tutte le

sezioni è stata calcolata infine la portata media di tracimazione associata alle relative onde di progetto con tempi di ritorno di 100 anni.

m <sup>3</sup> /s per m		litri/s per m					
Sicurezza del traffico			Sicurezza strutturale				
	Veicoli	Pedoni	Costruzioni	Difese di argini	Dighe coperte da coperte da vegetazione	Rivestimenti di terrapieni	
10 <sup>0</sup>							1000
10 <sup>-1</sup>	Assenza di sicurezza a qualsiasi velocità	Molto pericoloso	Danni alla struttura	Danni anche se interamente protetti	Danni	Danni anche per lungomari pavimentati	200
						Danni per lungomari non pavimentati	100
							50
				Danni se la scarpa a tergo non è protetta			20
10 <sup>-2</sup>	Da escludere il parcheggio ovunque	Pericoloso per opere coperte da vegetazione e per le dighe a berma orizzontale		Danni se la cresta non è protetta	Inizio di danno		10
							2
10 <sup>-3</sup>	Da escludere il parcheggio per dighe a parete verticale	Pericoloso per opere a parete			Nessun danno		1
10 <sup>-4</sup>	Non percorribile con sicurezza alle alte velocità	Pericolo per percorso	Qualche danno alle opere accessorie		Nessun danno	Nessun danno	0.1
							0.03
10 <sup>-5</sup>	Percorribile con sicurezza a tutte le velocità	Percorso bagnato non difficoltoso	Nessun danno		Nessun danno		0.02
							0.01
10 <sup>-6</sup>	Percorribile con sicurezza a tutte le velocità	Percorso bagnato non difficoltoso	Nessun danno		Nessun danno		0.004
							0.001
10 <sup>-7</sup>							0.0001

### Valori ammissibili delle portate medie di tracimazione

La massima risalita (Run-up) del moto ondoso irregolare sulla struttura R<sub>ui</sub>% può essere in linea di principio determinata per diversi percentili di frequenza, ma nella storia dell'ingegneria civile il parametro di riferimento per la progettazione di opere costiere è rappresentato dalla massima delle onde con percentile pari a 2%.

La stima di tale parametro di risalita dell'onda può essere eseguita per il caso in esame tramite la seguente relazione, proposta dal manuale EurOtop (2007), che è stata derivata in modo da includere le incertezze della predizione:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_{m-1,0} \quad \text{con un massimo di}$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.00 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_{f \text{ surging}} \cdot \gamma_\beta \cdot \left( 4.3 - \frac{1.6}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right)$$

in cui:

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_{m-1,0}}} \quad \text{è il parametro di Irribarren;}$$

$H_s$  è l'altezza d'onda al piede dell'opera;

$$L_{m-1,0} = \frac{gT_{m-1,0}^2}{2\pi}, \quad \text{è la lunghezza d'onda spettrale in acque profonde;}$$

$T_{m-1,0}$  rappresenta il periodo dell'onda spettrale, stimabile a partire dal periodo di picco ( $T_p$ ) dello spettro, ovvero  $T_{m-1,0} = T_p/1.1$ ;

$\gamma_\beta$  è un coefficiente minore o uguale ad uno che rappresenta l'effetto di riduzione della risalita della onde con angolo di incidenza obliquo rispetto alla struttura;

$\gamma_b$  tiene in considerazione la eventuale presenza di una o più berme lungo la scarpata della diga;

$\gamma_f$  è il parametro di scabrezza, pari ad 1 per superficie liscia ed impermeabile, il presente caso applicativo corrisponde ad uno strato di roccia naturale per il quale è consigliato un valore di 0.6;

$\gamma_{f \text{ surging}}$  è un parametro di scabrezza legato al frangimento di tipo “surging”, esso assume valori crescenti (fino ad 1) al crescere del parametro di Irribarren, con un massimo per  $\xi_{m-1,0} = 10$ , ovvero:

$$\gamma_{f \text{ surging}} = \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 1.8) \cdot (1 - \gamma_f) / 8.2$$

In particolare nel caso in esame si sono assunti i parametri  $\gamma_b$  e  $\gamma_\beta$  entrambi uguali a 1, rispettivamente a causa della assenza di berme lungo il profilo della struttura ed a causa della modesta entità delle profondità che determina un attacco del moto ondoso pressoché ortogonale alla struttura per effetto della rifrazione delle onde.

Utilizzando la procedura sopra descritta, le tabelle seguenti riportano i risultati della valutazione della risalita del moto ondoso per diversi tempi di ritorno e per le sezioni d'indagine.

In particolare, è possibile osservare come la struttura a gettata del prolungamento della diga di soprallutto viene sormontata dalle onde con percentile pari al 2% anche per tempi di ritorno pari a 5

anni, quindi l'opera è tracimabile.

Determinazione del run up sulla struttura a gettata - diga sottoflutto, sez. 3

Tr	Hs	T <sub>p</sub>	Dr	R <sub>u2%</sub>
[anni]	[m]	[s]	[s]	[m]
5	2.40	9.3	234°	3.77
50	2.55	10.5	232°	4.00
100	2.70	10.7	232°	4,23

Determinazione del run up sulla struttura a gettata - diga sottoflutto, sez. 4

Tr	Hs	T <sub>p</sub>	Dr	R <sub>u2%</sub>
[anni]	[m]	[s]	[s]	[m]
50	2.10	8.2	197°	3.31
100	2.40	8.5	197°	3.77

Per la presenza di aree destinate alla presenza di pedoni e mezzi risulta necessario condurre un accurato studio delle portate di sormonto possibili per definirne la compatibilità con l'utilizzo delle aree retrostanti la diga di sottoflutto.

È noto che la determinazioni di tali portate sia possibile in modo accurato solo a seguito di prove di laboratorio. Tuttavia, nel presente studio si vuole fornire un'indicazione di massima sulla base di quanto riportato nel manuale EurOtop (2007).

In particolare, la portata per unità di lunghezza può essere determinata dalla relazione:

$$q = 0.2\sqrt{gH_s^3} \exp\left(-2.3\frac{Rc}{H_s\gamma_f\gamma_\beta}\right)$$

in cui:

Rc è la quota di coronamento sul livello medio del mare, in particolare nel presente caso bisogna tenere in considerazione il sovrizzo massimo legato alla marea astronomica ed allo stormsurge;

H<sub>s</sub> è l'altezza d'onda significativa al piede della struttura;

γ<sub>f</sub> è il fattore di correzione dovuto alla scabrezza della parete, che per il caso di mantellata realizzata in massi naturali può essere assunto pari a 0,6;

γ<sub>β</sub> è il fattore di correzione dovuto all'incidenza del moto ondoso, che per la valutazione della portata di sormonto può essere definito dalla relazione già ricordata (EurOtop Manual, 2007):

$$\gamma_{\beta} = \begin{cases} 1 - 0.0033|\beta| & \text{per } 0 \leq \beta \leq 80^{\circ} \\ 0.736 & \text{per } \beta > 80^{\circ} \end{cases}$$

in cui  $\beta$  è l'angolo formato tra la normale alla struttura e la direzione di propagazione di propagazione del moto ondoso in prossimità della stessa, che nel presente caso è posto pari a 0.

Portate di sormonto sulla struttura a gettata - diga sottoflutto, sez. 3 - quota berma +4.50 m

Tr	Hs	T <sub>p</sub>	Rc	q
[anni]	[m]	[s]	[m]	[l/(s m)]
5	2.40	9.3	3.77	0.36
50	2.55	10.5	4.00	0.67
100	2.70	10.7	4,23	1,16

Portate di sormonto sulla struttura a gettata - diga sottoflutto, sez. 3 - quota berma +5.00 m

Tr	Hs	T <sub>p</sub>	Rc	q
[anni]	[m]	[s]	[m]	[l/(s m)]
5	2.40	9.3	3.77	0,13
50	2.55	10.5	4.00	0.26
100	2.70	10.7	4,23	0.42

Portate di sormonto sulla struttura a gettata - diga sottoflutto, sez. 2 - quota berma +5.50 m

Tr	Hs	T <sub>p</sub>	Rc	q
[anni]	[m]	[s]	[m]	[l/(s m)]
5	2.40	9.3	3.77	0.05
50	2.55	10.5	4.00	0.13
100	2.70	10.7	4,23	0.19

Portate di sormonto sulla struttura a gettata - diga sottoflutto, sez. 3 - quota berma +4.00 m

Tr	Hs	T <sub>p</sub>	Rc	q
[anni]	[m]	[s]	[m]	[l/(s m)]
50	2.10	8.2	3.31	0.26
100	2.40	8.5	3.77	0.95

Alla luce di quanto sopra si determina di adottare per la berma della sezione n. 3 della diga di sottoflutto la quota di + 5.50 m che garantisce il giusto equilibrio tra portata tracimata massima ed utilizzazione delle aree a terra. allo stesso modo si conferma la quota di + 4.00 m per la berma del tratto in radice della medesima diga di sottoflutto.

Della frequenza dei superiori valori di tracimazione, in se relativamente contenuti, si dovrà tenere in debito conto in fase di regolamentazione dell'accesso pedonale e veicolare alle zone

immediatamente a tergo dell'opera foranea di sottoflutto.

### **3.5 Valutazione dei livelli di affioramento (Run-up) e della tracimazione (Overtopping) – Opere a parete verticale**

In presenza di pareti verticali, la portata dei volumi di sormonto del moto ondoso sulle strutture è fortemente dipendente dalla tipologia di moto ondoso che impatta sulle stesse strutture.

Più in dettaglio, è necessario stabilire se l'onda che impatta sulla struttura crea condizioni impulsive o non impulsive.

Al fine di stabilire tale condizione è necessario determinare il parametro:

$$h_* = 1.35 \frac{h_s}{H_s} \frac{2\pi h_s}{g T_{m-1,0}}$$

in cui:

$h_s$  è la profondità di imbasamento della parete verticale;

$H_s$  è l'altezza d'onda significativa incidente sulla struttura;

$T_{m-1,0}$  è il periodo medio dell'onda definito da  $m-1/m_0$ ;

$m_n$  è l'n-esimo momento spettrale.

Nel caso in esame, per il prolungamento della diga foranea (Sez. 1) i valori del parametro  $h_*$  per le onde caratterizzate dai diversi tempi di ritorno sono riportate nella tabella seguente.

Tr	Hs	Tp	Tm-1,0	hs	h*	Rc
[anni]	[m]	[s]	[s]	[m]	[m]	[m]
2	3,3	9,9	9	8	1,86	5,00
5	3,4	10,4	9,4	8	1,73	5,00
50	3,8	10,5	9,5	8	1,53	5,00
100	3,9	10,7	9,7	8	1,46	5,00

Determinazione del parametro  $h_*$  per onde caratterizzate da diversi tempi di ritorno.

Nel caso in esame tutti i valori del parametro  $h_*$  risultano maggiori di 0.3 e dunque in condizioni non impulsive, in cui la portata dei volumi di sormonto può essere determinata dalla relazione:

$$q = 0.04 \sqrt{g H_s^3} \exp\left(-2.6 \frac{Rc}{H_s}\right)$$

Utilizzando tale relazione e considerando una quota di coronamento pari a 9 m si ottengono le

portate riportate nella tabella seguente.

L'area a tergo della diga a parete verticale non è destinata al transito dei veicoli destinati all'imbarco ma è possibile prevedere la presenza saltuaria di lavoratori portuali. In tali condizioni la portata media accettabile è compresa nell'intervallo 1-10 l/s/m (EurOtop Manual, 2007). Tale limite viene superato per onde caratterizzate da un tempo di ritorno superiori a circa 1 anno.

Tr	Hs	q	q
[anni]	[m]	[m <sup>3</sup> /s m]	[l/s m]
2	3,3	0,0146	14,6
5	3,4	0,0172	17,2
50	3,8	0,0303	30,3
100	3,9	0,0344	34,4

Portate di sormonto in corrispondenza delle strutture a parete verticale – Diga foranea – Sez. 1.

Per il tratto terminale della diga di sottoflutto (Sez. 2) i valori del parametro h\* per le onde caratterizzate dai diversi tempi di ritorno sono riportate nella tabella seguente.

Tr	Hs	Tp	Tm-1,0	hs	h*	Rc
[anni]	[m]	[s]	[s]	[m]	[m]	[m]
2	2,5	9,9	9	8	2,46	5,00
5	2,7	9,3	8,1	8	2,53	5,00
50	2,9	10,5	9,5	8	2,01	5,00
100	3,0	10,7	9,7	8	1,90	5,00

Determinazione del parametro h\* per onde caratterizzate da diversi tempi di ritorno.

Nel caso in esame tutti i valori del parametro h\* risultano maggiori di 0.3 e dunque in condizioni non impulsive, in cui la portata dei volumi di sormonto può essere determinata dalla relazione:

$$q = 0.04 \sqrt{gH_s^3} \exp\left(-2.6 \frac{Rc}{H_s}\right)$$

Utilizzando tale relazione e considerando una quota di coronamento pari a 9 m si ottengono le portate riportate nella tabella seguente.

L'area a tergo della diga a parete verticale non è destinata al transito dei veicoli destinati all'imbarco ma è possibile prevedere la presenza di lavoratori portuali. In tali condizioni la portata

media accettabile è compresa nell'intervallo 1-10 l/s/m (EurOtop Manual, 2007). Tale limite non viene mai superato.

Tr [anni]	Hs [m]	q [m <sup>3</sup> /s m]	q [l/s m]
2	2,5	0,0027	2,73
5	2,7	0,0045	4,51
50	2,9	0,0070	6,99
100	3,0	0,0085	8,54

Portate di sormonto in corrispondenza delle strutture a parete verticale – Diga sottoflutto – Sez.  
2