



UNIONE EUROPEA



REGIONE SICILIANA

**ASSESSORATO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITA'
DIPARTIMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DELLA MOBILITA'
E DEI TRASPORTI**

Ufficio di progettazione:

**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche
Sicilia - Calabria
Ufficio Opere Marittime per la Sicilia**

PROGETTO PRELIMINARE

**ISOLA DI MARETTIMO (TP)
OPERE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL PORTO A SUD
DELL'ABITATO (art. 5 della legge regionale 21/98)**

Elaborato:

R5

DIMENSIONAMENTO OPERE A GETTATA

Prog. N. 7 del 21 MAR. 2014 Rev.



UFFICIO DI PROGETTAZIONE:

Il Dirigente:

Dott. Ing. Pietro Viviano

Dott. Ing. Leonardo Tallo

Geom. Francesco Daidone

Dott. Ing. Gianluca Marvuglia

**Il Responsabile Unico del Procedimento
Dott. Ing. Vincenzo Falletta**

Indice

DIMENSIONAMENTO OPERE A GETTATA	2
1. PREMESSA - ONDE DI PROGETTO	2
2. ANALISI DELLE VARIAZIONI DEL LIVELLO MEDIO MARINO	4
2.1. EFFETTO DELLA MAREA ASTRONOMICA	4
2.2. EFFETTO DELLA MAREA METEOROLOGICA	4
2.3. DISLIVELLI COMPLESSIVI	5
3. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE A GETTATA	6
3.1. ONDA DI PROGETTO AL PIEDE DELLE OPERE A GETTATA	8
3.2. FORMULE IMPIEGATE NEL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE A GETTATA	8
3.3. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE A GETTATA EMERSE	10
3.4. VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI AFFIORAMENTO (RUN-UP) E DELLA TRACIMAZIONE (OVERTOPPING)	12
3.5. CRITERI DI CALCOLO DEI LIVELLI DI AFFIORAMENTO (RUN-UP) E DELLA TRACIMAZIONE (OVERTOPPING)	14
3.6. CALCOLI DEI LIVELLI DI AFFIORAMENTO (RUN-UP) E DELLA TRACIMAZIONE (OVERTOPPING)	16

DIMENSIONAMENTO OPERE A GETTATA

1. **PREMESSA - ONDE DI PROGETTO**

Lo studio Idraulico - Marittimo preliminare ha definito il clima ondoso al largo e le onde estreme calcolate per il settore di traversia 120° - 165° N (mareggiate da scirocco, maggiormente significative per le opere proposte in progetto).

Nella tabella seguente si riportano gli estremi calcolati nel punto di estrazione del clima ondoso al largo del porto di Marettimo su fondali di circa 150m, al variare del tempo di ritorno.

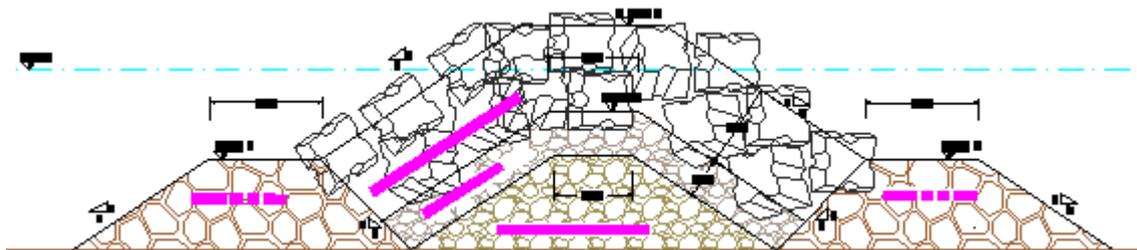
T [anni]	Hs Weibull [m]	Dev.st Weibull [m]
1	3.0	0.1
2	3.4	0.1
5	3.8	0.2
10	4.2	0.3
20	4.5	0.3
50	5.0	0.4
100	5.3	0.5
200	5.6	0.6

Precauzionalmente tali valori di altezza d'onda sono stati assunti per il dimensionamento delle opere a gettata di progetto.

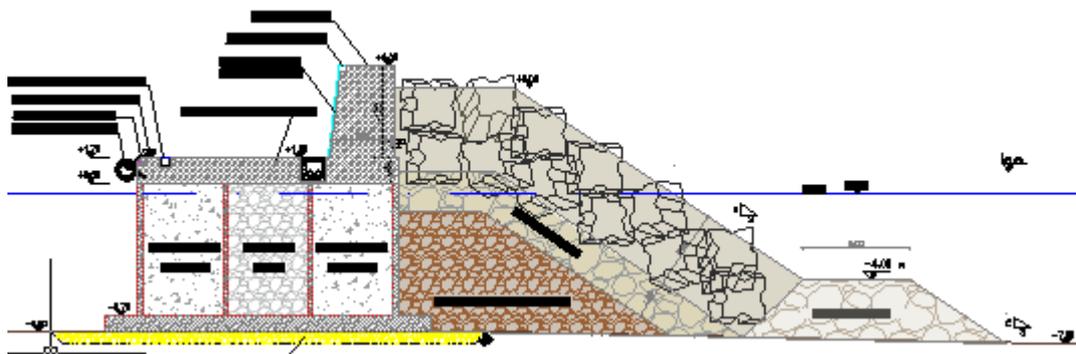
Le opere previste sono descritte nella relazione di progetto e si riferiscono alla protezione mediante un'opera a gettata "Antemurale" ed al prolungamento dell'esistente diga foranea e banchinamento, come da grafici seguenti (aerofoto e sezioni tipo).



Aerofoto con individuazione interventi da realizzare



Sezione tipo diga antemurale da realizzare



Sezione tipo prolungamento molo esistente

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 sopraddetti: 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 ± 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 ± 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, sovrizzo 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 sovrizzo 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 sovrizzo 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 sovrizzo 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 sovrizzo 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 sovrizzo sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 20-25% per il sovrizzo 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 sovrizzo 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 sovrizzo del livello che alimenta la corrente di ritorno attraverso l'imboccatura.

3. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE A GETTATA

Le opere a gettata (diga foranea e sottoflutto) 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 "TRP " è definito, in accordo con le "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, dalla relazione:

$$T_{RP} = T_v / \left[-L_n (1 - P_f) \right]$$

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

Distruzione Totale	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	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 è locale, 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 72 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).

3.1. **Onda di progetto al piede delle opere a gettata**

I risultati dello studio matematico effettuato hanno evidenziato che le onde più alte al largo, per un intervallo di ricorrenza pari a 100 anni presentano un'altezza di 5,00 m e periodo di picco di 10,4 s e sono associate alla direzione di provenienza di 135° N. Tali valori sono stati assunti pertanto come onda di progetto incidente sull'opera a gettata "antemurale" proposta per la difesa della rada di Marettimo e per il prolungamento della foranea esistente.

3.2. **Formule impiegate nel dimensionamento delle opere a gettata**

Stabilità delle mantellate emerse

Per la mantellata della diga foranea di sopraflutto, in tutti i tratti, è stato previsto di realizzare una mantellata in massi speciali in conglomerato cementizio (classe Rck 350) di tipo "Antifer" da 8 m³ (circa 18 t), dello spessore di 4.0m, posti in opera in doppio strato con la scarpata del 3/2 fino al massiccio di sovraccarico ed avente berma superficiale a quota di 6.0m s.l.m. della larghezza di 6.0m, con retrostante cella di smorzamento della larghezza di circa 10m per l'assorbimento dell'onda tracimante; il loro peso è stato determinato utilizzando la

$$W = \frac{\delta_c H^3}{K_D \Delta^3 \cot^2 \alpha}$$

formula di Hudson: dove:

W = peso dell'elemento della mantellata;

H = altezza d'onda di progetto;

KD = coefficiente di stabilità dei massi (per Antifer pari a 6 - per scogli pari a 2);

Δ = $\delta_c/\delta_w - 1$;

δ_c = densità specifica del materiale dell'elemento di protezione;

δ_w = densità specifica dell'acqua;

α = angolo formato dalla mantellata con l'orizzontale.

Lo spessore minimo della mantellata è stato ricavato dalla relazione $r = n K D50$, in cui:

n = numero degli strati;

K = coefficiente di forma;

D50 = diametro nominale del blocco $(W/\delta_c)^{1/3}$;

Per le mantellate relative al primo tratto della diga foranea sopraflutto, tra le progressive 0,0m - 100,0m, stante il limitato fondale raggiunto, dalla sezione tipo è stata esclusa associata alla diga di sottoflutto, tutte previste con impiego di scogli naturali di cava di tipo calcareo, le verifiche di dimensionamento sono state condotte con la medesima formula di Hudson e ripetute utilizzando le formule suggerite da Van der Meer.

Queste tengono conto dell'onda frangente e di un maggior numero di parametri legati all'onda incidente, come ad esempio il periodo, il numero di onde interessanti la difesa, la permeabilità ecc.

Le due equazioni sviluppate da Van der Meer per la determinazione del diametro D50 della mantellata esterna della scogliera si differenziano a seconda che il modo di frangimento dell'onda sia di tipo plunging o surging.

Il valore del parametro che rappresenta il passaggio dal modo di frangere plunging a quello surging è determinato secondo Van der Meer dall'espressione:

$$\xi_T = (6,2 P^{0,31} \sqrt{\tan \alpha})^{1/(P+1/2)}$$

Per valori di ξ inferiori a ξ_T la rottura dell'onda avviene con modalità plunging, viceversa per valori maggiori si ha il fenomeno surging.

Nel caso di condizioni surging, si usa la seguente espressione:

$$H_{si}/[(\gamma_m/\gamma_w - 1)D_{50}] = 1,0 \times P^{-0,13} \times (S/\sqrt{N})^{0,2} \cotg^{1/2} \alpha \times \xi^P$$

Il peso degli elementi degli strati filtro sottostanti la mantellata si assumono pari a 1/10 ÷ 1/15 del peso degli elementi soprastanti

Stabilità delle berme al piede

Per le berme al piede, previste in massi naturali, è stata usata la formula proposta da J.W. Van Der Meer:

$$h_t / h = -0.22 (H_s / \Delta D_{n50})^{0.7}$$

dove:

h_t = profondità della sommità della berma;

h = profondità al piede;

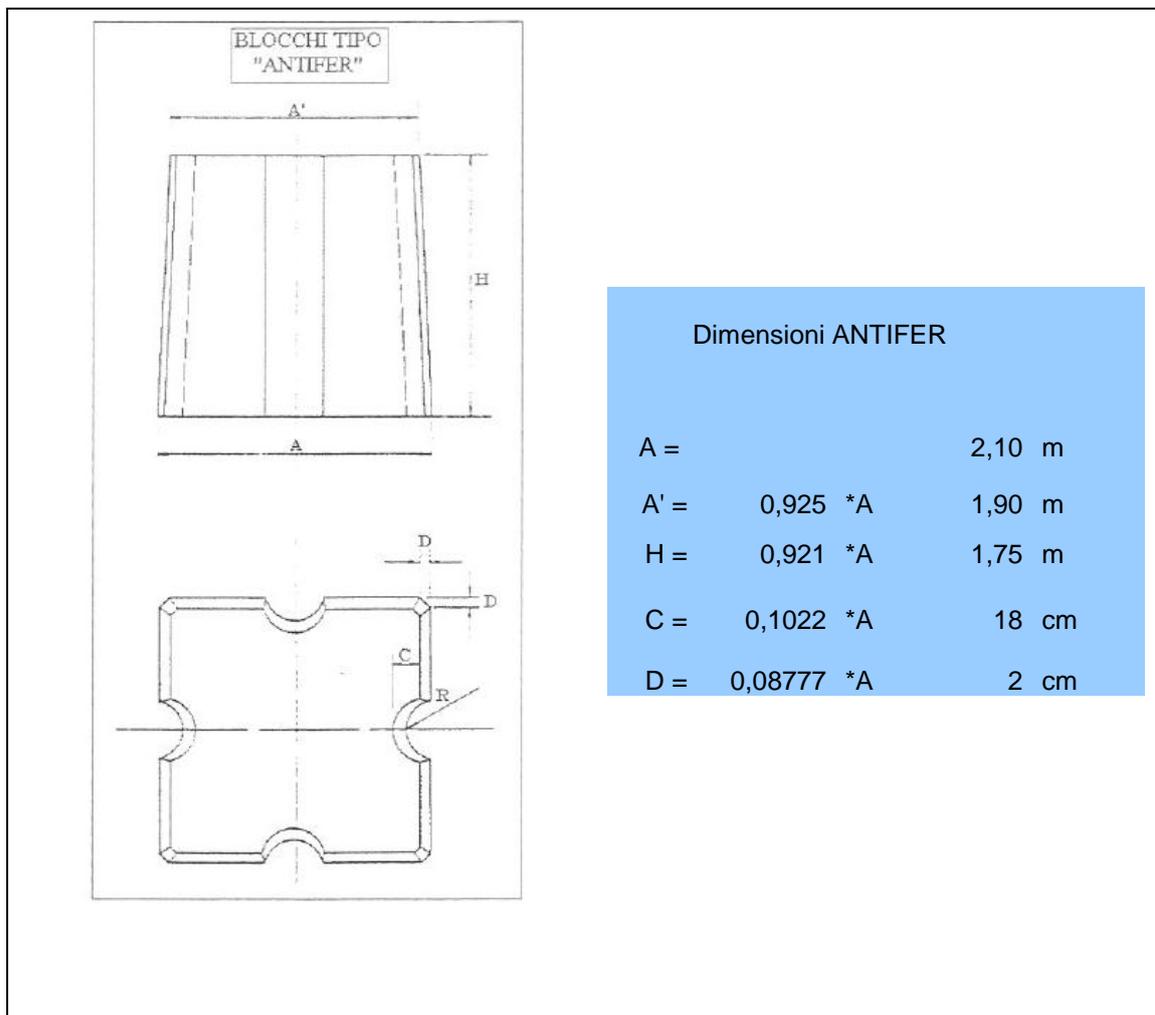
H_s = altezza d'onda significativa;

Δ = $(\delta c/\delta w) - 1$;

D_{n50} = diametro nominale dei massi.

3.3. Calcoli di dimensionamento delle opere a gettata emerse

I risultati sono stati compendati nelle tabelle allegate. Di seguito si riportano le caratteristiche dimensionali dei massi artificiali tipo "Antifer" previsti per la mantellata della diga foranea.



VERIFICHE OPERE A GETTATA - Antemurale - Mantellata in Antifer

Dati

H_{si}	=	5,30					
g_m	=	2,4 m	T_s	=	sec	9,5	
g_w	=	1,03	T_p	=	sec	10,40	π = 3,1416
K_D	=	6	T_m	=	$0,775 T_p$	8,1	
$ctga$	=	1,5	L_{op}	=	$gT_p^2/2p$	168,87	$L_o = gT_o^2/2p$ 139,56
P	=	0,4	a	=	33,69	$tga = 0,6666667$	0,67
			g	=	$9,81 \text{ m/sec}^2$	9,81	

Formula di Hudson

$$W_{50} = g_m H_{si}^3 / [(g_m/g_w - 1)^3 K_D ctga]$$

$W_{50} = 16,87 \text{ t}$ Si adottano **ANTIFER** da t 17,0
 $K\Delta = 1,04$ pari a m^3 7,1 Arrotond. **7** m^3

$$D_{50} = (W_{50}/\gamma_m)^{1/3} = 1,92 \text{ m}$$

$r = n K_D D_{50} = 3,98 \text{ m}$ **Si adotta uno spessore di 4,00 m**

Berma al piede dell'opera a gettata

Criterio di Van der Meer

$$h_v/h = 0,22 (H_s/\Delta D_{50})^{0,7}$$

in cui: h_t = profondità della berma al piede

h = profondità del

fondale

H_s = altezza d'onda significativa incidente

Delta 1,86

$D_{50} =$

scogli di 3[^]
 categoria

Peso medio

D_{50}

3,00

1,05

m

$g_s = 2,60 \text{ t/m}^3$

$h_t =$

6,65 m

si conferma pari a 8,00 m

$h_t/h =$

0,53

compreso tra 0,4 e 0,7

Verifica $D_{50} =$

0,81 m

$W_{50} = 1,36 \text{ t}$

Si conferma l'impiego di scogli di 3[^] categoria del peso da oltre 3 t

Strati filtro sotto la mantellata

Il peso degli elementi degli strati sottostanti la mantellata si assumono pari a $1/10 \div 1/15$ del peso degli elementi soprastanti. In tal modo si adottano il seguente strato di transizione:

1° Strato:

$$W_1 = (1/15 \div 1/10) W = 1,1 \div 1,7 \text{ t} \quad D_{50} = 0,87$$

Si adottano scogli di 2[^] categoria del peso minimo a partire da 1,5 t

Spessore $r = n K_D D_{50} =$

1,81 m

Si assume 1,80 m

3.4. Valutazione dei livelli di affioramento (Run-up) e della tracimazione (Overtopping)

Un aspetto significativo non trascurabile nel dimensionamento delle dighe foranee è rappresentato dalla quota dell'opera a gettata, 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 sezioni delle dighe sopraflutto e sottoflutto.

In particolare per la sezione di calcolo sulla diga foranea sopraflutto 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).

Porto di Marettimo (Favignana) – Lavori di messa in sicurezza del Porto a Sud dell'abitato
 Progetto Preliminare * Dimensionamento Opere a gettata

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

Valori ammissibili delle portate medie di tracimazione

3.5. Criteri di calcolo dei livelli di affioramento (Run-up) e della tracimazione (Overtopping)

Il calcolo del run up, cioè della risalita ondosa lungo il paramento della scogliera foranea, è stato effettuato basandosi sulle formule di Van der Meer:

$$\frac{R_{2\%}}{H_S} = 1.6 \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta \gamma_b \xi_{op} \quad \text{per } 0.5 < \gamma_b \xi_{op} < 2;$$

$$\frac{R_{2\%}}{H_S} = 3.2 \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta \quad \text{per } 2 < \gamma_b \xi_{op} < 4-5;$$

dove

$R_{2\%}$ è il valore dell'altezza del run up superato da 2% delle creste risalenti,

H_S = è l'altezza significativa incidente di fronte all'opera (m);

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_S}{g T_p^2}}} =$$

è il numero di Irribarren modificato riferito al periodo di picco,

$T_p = \text{sec}$: è il periodo di picco.

Per quanto riguarda i fattori di riduzione γ , questi sono dovuti alla berma γ_b , al basso fondale γ_h , alla rugosità della mantellata γ_f ed all'angolo di attacco delle onde γ_β .

γ_b in assenza di berma = 1,

$$\gamma_h = 1 - 0.03 \left(4 - \frac{h_m}{H_S} \right)^2 = 0.84 \quad \text{per } \frac{h_m}{H_S} < 4 \quad \text{con}$$

h_m = profondità del fondale (m) + 0,50 m soprizzo marea,

γ_f è dato da apposite tabelle e viene assunto pari a 0.5,

γ_β vale 1 per $0 < \beta < 30^\circ$ con β angolo di attacco delle onde rispetto all'ortogonale alla diga.

La portata media di tracimazione viene stimata in via indicativa utilizzando le espressioni proposta da Van der Meer e Janssen "Wave run up and Wave overtopping ai dikes" (1994), secondo cui la portata media tracimata in m³/sec/m va calcolata con la seguente espressione:

$$q = Q_n \sqrt{g H_S},$$

in cui:

$$Q_n = 0.2 \exp(-2.3 R_n) \quad \text{parametro adimensionale di tracimazione,}$$

$$R_n = \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_b \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta}$$

parametro adimensionale di altezza di cresta,

in cui:

R_c = è la quota sommitale della berma rispetto al livello medio mare (m);

H_s = è l'altezza d'onda di progetto (m);

$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$ è l'accelerazione di gravità.

Per quanto riguarda i fattori di riduzione γ a questi si attribuiscono gli stessi valori determinati in precedenza per il calcolo del run up.

3.6. Calcoli dei livelli di affioramento (Run-up) e della tracimazione (Overtopping)

I risultati sono stati compendati nelle tabelle seguenti, distinte per sezione d'indagine.

Run-Up - Diga Foranea Sopraflutto - Tempo di ritorno 50 Anni

formule di Van der Meer

$$\frac{R_{2\%}}{H_S} = 1.6 \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta \gamma_b \xi_{op} \quad \text{per } 0.5 < \gamma_b \xi_{op} < 2$$

$$\frac{R_{2\%}}{H_S} = 3.2 \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta \quad \text{per } 2 < \gamma_b \xi_{op} < 4-5$$

in cui

$h_m =$	15,0	m	$R_c =$ Quota sommitale	2,00	m		
$H_{si} =$	5,0	m					
Frequenza di accadimento (Tempo di ritorno)				=	50 anni		
$T_p =$ sec	10,4	s					
$T_m = 0,775 T_p$	8,1	s					
$L_{op} = gT_p^2/2p$	168,87	m		$n =$	3,141593		
$ctga =$	1,5		$a =$	33,69	$tga =$	0,666667	0,67

quindi

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2 \pi H_s}{g T_p^2}}}$$

è il numero di Irribarren
 riferito al periodo di picco
 = 3,87

Per quanto riguarda i fattori di riduzione g , questi sono dovuti alla berma g_b , al basso fondale g_h , alla rugosità della mantellata g_f ed all'angolo di attacco delle onde g_b .

g_b si sceglie a vantaggio di sicurezza $g_b=1$,

$$\gamma_h = 1 - 0.03 \left(4 - \frac{h_m}{H_S} \right)^2 \quad \text{per } \frac{h_m}{H_S} < 4 \quad = \quad 1,00$$

g_f è dato da apposite tabelle e viene assunto pari a 0,5 = 0,5
 vale 1 per $0 < b < 30^\circ$ con b angolo di attacco delle onde 1

$$R_{2\%} = 3.2 \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta H_S = 7,98$$

Stima dell'overtopping

stimata utilizzando le espressioni proposta da Van der Meer e Janssen
 "Wave run up and Wave overtopping ai dikes" (1994)

con

$$q = Q_n \sqrt{gH_s}$$

Param. tracimazione

$$Q_n = 0.2 \exp(-2.3R_n)$$

$$R_n = \frac{R_c}{H_s \gamma_b \gamma_h \gamma_f \gamma_\beta}$$

Param. altezza cresta

Rc = Quota sommitale 2,00 m

Pertanto si ottiene

R _n = 0,80	Q _n = 0,031588	q = 1,10	m ₃ /sec/m
		q = 1.100	l/sec/m

La quota sommatiale di +2.0 m, s.l.m. scelta per la sezione della diga antemurale si ritiene accettabile, tenuto conto che l'energia residua dell'onda tracimata si diffonde nel bacino a ridosso e che l'opera antemurale non è ne banchinata ne accessibile.

Nel caso del prolungamento del molo di sopraflutto, avendo posto la quota del muro a +6,00m, la tracimazione in funzione del tempo di ritorno varia come segue:

T [anni]	H _s [m]	R _n	q [l/sec/m]
1	3.0	4,01	0,3
2	3.4	3,55	1,1
5	3.8	3,18	3,1
10	4.2	2,89	7,0
20	4.5	2,70	12,0
50	5.0	2,44	25,9

La quota sommatiale di +6.0 m, s.l.m. scelta per la sezione di prolungamento della diga foranea si ritiene accettabile, tenuto conto del carattere di eccezionalità dei valori elevati, associati a tempi di ritorno superiori a 10 anni ed in presenza di moto ondoso elevato che non consente la traversata dei mezzi nautici, e che la tracimabile massima comunque non può generare danni sostanziali alla struttura portuale.