CANTIERI DEL MEDITERRANEO

CAPO VERDE- SANREMO



PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:

INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI PROTEZIONE COSTIERA E RICOSTRUZIONE MOLO DI ALAGGIO DEI CANTIERI DEL MEDITERRANEO IN LOCALITA' CAPO VERDE A SANREMO

PROGETTISTA:

ING. PIERFRANCESCO RUSSO

VIA ROMA 119
18038 SANREMO
TEL. 0184/840639 FAX 0184/840639
EMAIL ing.pierfrancescorusso@gmail.com

COMMITTENTE:

CANTIERI DEL MEDITERRANEO srl

C. MAZZINI FOCE ARMEA
18038 SANREMO

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI GENOVA
Dott. Ing.
GIOVANNI
SPISSU
N. 7105

STUDI IDRAULICO-MARITTIMI: Ing. Giovanni Spissu Genova

ASPETTI GEOLOGICI: Dott. Geol. Marco Martolini Sanremo

TAVOLA: Bmod	DATA: Aprile 2020	SCALA:

OGGETTO TAVOLA:

Relazione tecnica : Dimensionamento idraulico

REV. N°	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	ESEGUITO	APPROVATO	VALIDATO
1	Aprile 2020	Applicazione prescrizioni screening VIA			

CANTIERI DEL MEDITERRANEO

(PROVINCIA DI IMPERIA)

Intervento di manutenzione straordinaria di protezione costiera e ricostruzione del molo di alaggio dei cantieri del mediterraneo In località Capo Verde (Sanremo)

RELAZIONE N°1: RELAZIONE METEOMARINA – REV. B – Aprile 2020

INDICE DEGLI ARGOMENTI TRATTATI

1. Premessa

1. Studio per la determinazione delle condizioni meteomarine su acqua alta

1.0 Statistiche del moto ondoso su acqua alta

1.1 Altezze d'onda spettrali su profondità infinita

2. Studio per la determinazione delle condizioni meteomarine

2.0 Altezze d'onda spettrali su profondità finita

2.1 Batimetrie

2.2 Planimetria e sezioni di progetto

2.3 Onde di progetto

3. Dimensionamenti

3.1 Dimensionamento della diga sopraflutti

3.2 Dimensionamenti di verifica dei fenomeni di risalita (run-up) e di tracimazione (overtopping)

3.3 Calcolo dell'agitazione interna lungo il molo di alaggio

3.4 Calcolo dell'altezza della lama d'acqua a tergo del muro paraonde della sezione B-B

3.5 Calcolo delle azioni dinamiche sul muro paraonde

4. Conclusioni

1. Premessa

Il progetto, prevede la realizzazione di una diga foranea a protezione di un molo di alaggio.

La presente relazione, viene redatta in revisione 1, a seguito delle prescrizioni della Regione Liguria. La revisione ha riguardato in particolare:

- Riduzione dell'altezza del muro paraonde tra la testata della diga e la diga mediana, a seguito di prescrizioni di carattere paesagistico;
- Modifiche planimetriche e dimensionali delle opere marittime.

Essa tratta i seguenti argomenti:

a. **Paragrafo 1: studio per la determinazione delle condizioni meteomarine su acqua alta.** Lo studio rielabora le statistiche del moto ondoso disponibili al fine di determinare le altezze d'onda spettrali su profondità infinita, propedeutiche per le analisi di progetto, di cui al paragrafo 2.

b. Paragrafo 2: Studio per la determinazione delle condizioni meteomarine. Lo studio esegue la propagazione degli spettri di energia del moto ondoso dalla profondità infinita alle sezioni di riferimento in corrispondenza dell'alaggio, consentendo la determinazione degli stati di mare di progetto.

c. Paragrafo 3: Verifica dei fenomeni di risalita (run-up), di tracimazione (overtopping) della diga, di agitazione interna lungo il molo dell'alaggio e delle azioni dinamiche sulla diga. Si esegue il calcolo della portata media di tracimazione e del run-up, dell'agitazioni ondose lungo il molo di alaggio e delle azioni dinamiche sulla diga frangiflutti.

1. Studio per la determinazione delle condizioni meteomarine su acqua alta

1.0 Statistiche del moto ondoso su acqua alta

1.0.1. Premessa

Il paraggio in esame è esposto alle seguenti traversie:

- traversia principale provenente dal III quadrante compresa tra la tangente alle coste occidentali della Sardegna e della Corsica e la Tangente di Capo Nero (traversia di Libeccio (175°N-240°N);
- traversia secondaria provenente dal II quadrante compresa tra la tangente alle coste occidentali della Sardegna Fonte e la tangente al Capo dell'Arma (traversia di Libeccio (90°N-175°N).

Le fonti ufficiali dei dati meteomarini sono:

- dati dell'ondametro direzionale di Nizza, ubicato a largo del capoluogo Francese, relativi al periodo 2002 - 2007;
- dati dell'ondametro direzionale di La Spezia, ubicato a largo del capoluogo Ligure, funzionante dal 1989;
- dati di MEDATLAS-3 dell'atlante delle onde e del vento sul mar mediterraneo (WWA), con riferimento alle statistiche del punto a largo di Imperia (periodo di riferimento dal 1997);
- i dati KNMI relativi al periodo 1961-1980 ed osservati a largo del mar Ligure;

Di seguito si mostrano le ubicazioni dei dati meteremarini rilevati ufficialmente:

FIGURA N°1: Ubicazione boe di rilevamento dati meteomarini



Nella figura sopra si mostrano i punti di rilevamento dati: boa di Nizza, punto WWA e boa di La Spezia.

1.0.2. Periodo di ritorno dell'onda di Progetto

Il periodo di ritorno dell'onda di progetto viene definito in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996). Il periodo di ritorno dipende dalla vita tecnica dell'opera e dalla massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera. La durata minima di vita per le opere si definita con la tabella seguente:

FIGURA N°2: Vita dell'opera

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

Nel caso in esame imponendo il livello di sicurezza 1, per l'infrastruttura di uso specifico, la vita di progetto dell'opera risulta pari a 15 anni.

I parametri per il calcolo del periodo d'onda di progetto in base alla vita dell'opera sono i seguenti:

Tipo di opera - infrastrutture ad uso specifico: si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc

Livello di sicurezza 1 - Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Con riferimento alla tabella sopra tratta dalle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime, edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996), la durata minima di vita per le opere è dunque pari a 25 anni

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (come le dighe a scogliera in sopraflutto), si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il 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.

Per le scogliere si può assumere un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione eco-nomica bassa, come mostrato nella figura seguente

FIGURA N°3: Rischio per la vita umana

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

Per il danneggiamento incipiente: assumendo una ripercussione economica media, un rischio limitato per la vita umana, si ottiene una probabilità di danneggiamento pari al 30%.

La combinazione del tempo di vita dell'opera Tv (15 anni), la probabilità di danneggiamento Pf (30%), determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto Trp:

$$Trp = Tv/[-\ln (1-Pf)]$$

Sulla base delle impostazioni sopra indicate il tempo di ritorno dell'evento di progetto, può essere assunto a base della progettazione pari a:

- **50 anni** per una probabilità di danneggiamento Pf pari al 30%;

1.1 Altezze d'onda spettrali su profondità infinita

Sulla base delle statistiche di riferimento di cui al paragrafo 1.0 s'illustrano di seguito i dati di altezza d'onda utilizzati per la definizione dei parametri di progetto:

Modello dello spettro di energia Stati del mare eventi estremi					
Direzione W - SW [175°N - 240° N]			**Direzione E - SE** [90° N -175° N]		
Periodo Ritorno	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	Periodo Ritorno	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)
1/1 anni	3,9	8,9	1/1 anni	2,6	6,9
1/5 anni	4,8	9,3	1/5 anni	3,6	8,1
1/10 anni	5,2	10,3	1/10 anni	4,0	8,6
1/25 anni	6,2	10,6	1/25 anni	4,5	9,1
1/50 anni	**6,9**	**11,2**	**1/50 anni**	**4,9**	**9,4**

2. Determinazione delle condizioni meteomarine in corrispondenza dell'alaggio

2.0 Altezze d'onda spettrali su profondità finita

Lo spettro in frequenza su profondità infinita è assunto della forma JONSWAP medio:

$$S_{j_o}(f) = S_{PH_o}(f) * \Phi_{PM_o}(f, f_{p_o}) * \Phi_{j_o}(f, f_{p_o}, \gamma_o, \omega_o)$$

ove:

- $S_{PH_o}(f) = (\alpha_o / 2) * g^2 * (2\pi)^{-4} * f^{-5}$ è lo spettro in frequenza di Philips;
- $\Phi_{PM_o}(f, f_{p_o}) = \exp\{-1.25 * (f / f_{p_o})^{-4}\}$ è la funzione di forma di Pierson & Moskowitz;
- $\Phi_{j_o}(f, f_{p_o}, \gamma_o, \omega_o) = \exp\left\{\ln \gamma_o \exp\left[-0.5\left(f / f_{p_o} - 1\right)^2 / \omega_o{}^2\right]\right\}$ è la funzione di forma di Hasselmann;

Le relazioni impiegate per la determinazione dei parametri spettrali sono le seguenti:

1. frequenza di picco: $f_{p_o} = 3.5 \cdot \overline{x}^{-0.33} g / U_o$;
2. parametro di equilibrio: $\alpha_o = 0.076 \cdot \overline{x}^{-0.22}$;
3. fattore di amplificazione dello spettro $\gamma_o = 3.3$;
4. parametro di larghezza del picco $\omega_o = 0.07$ per $f \le f_{p_o}$; $\omega_o = 0.09$ per $f \ge f_{p_o}$;

Impiegando i parametri spettrali stimati, si costruisce lo spettro d'onda sulla profondità infinita. Integrando lo spettro si determina, per ognuna delle due direzioni di traversia, il momento di ordine "0" dello spettro e l'altezza d'onda spettrale corrispondente.

Lo studio della propagazione spettrale dello stato del mare, dalla profondità infinita all'opera portuale, si effettua considerando i seguenti effetti:

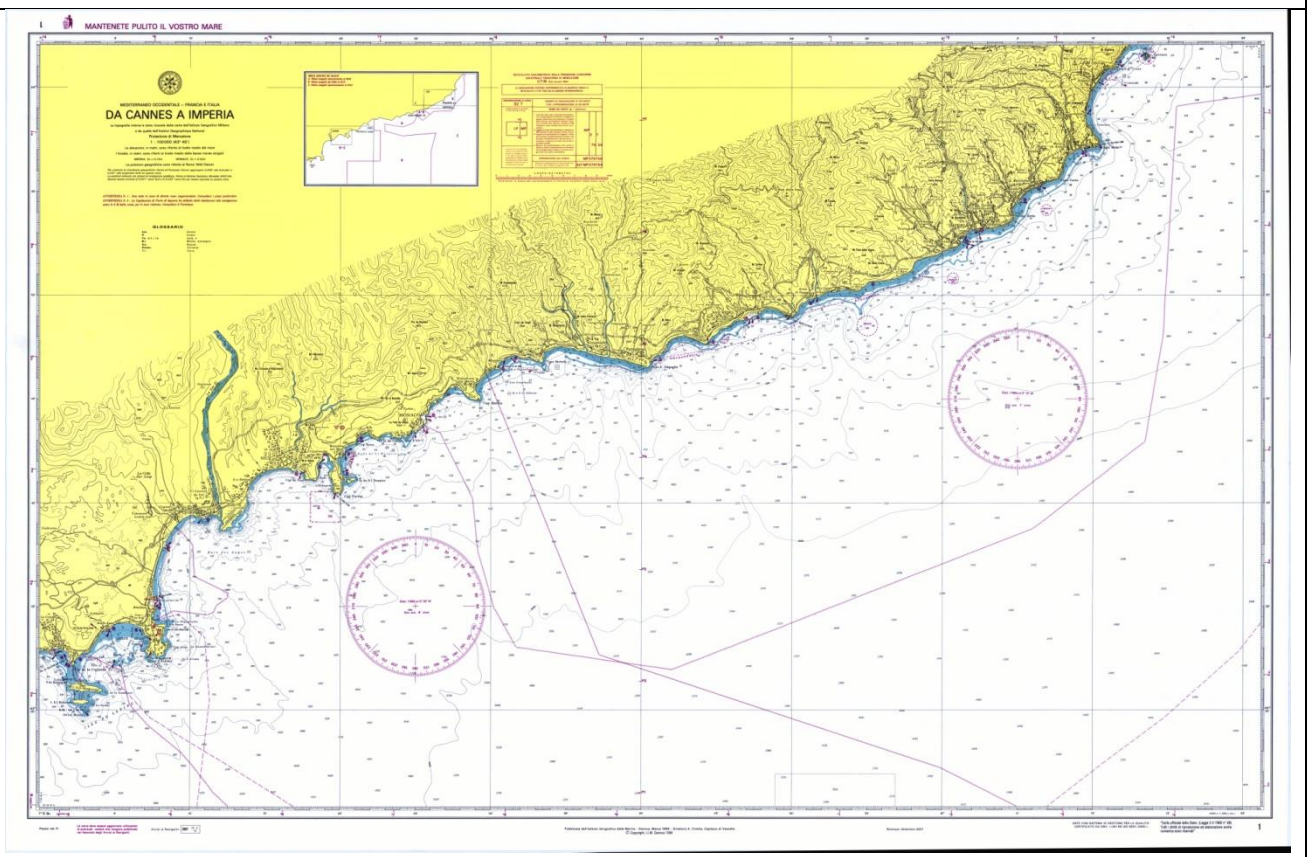
- Shoaling, rifrazione per effetto della variazione batimetrica dei fondali;
- effetti di dissipativi di saturazione dello spettro e di frangimento;

I risultati ottenuti sono riportati nei paragrafi seguenti.

2.1 Batimetrie

La figura seguente mostra la carta nautica di riferimento tratta dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico della Marina:

FIGURA N°4: Carta nautica di riferimento

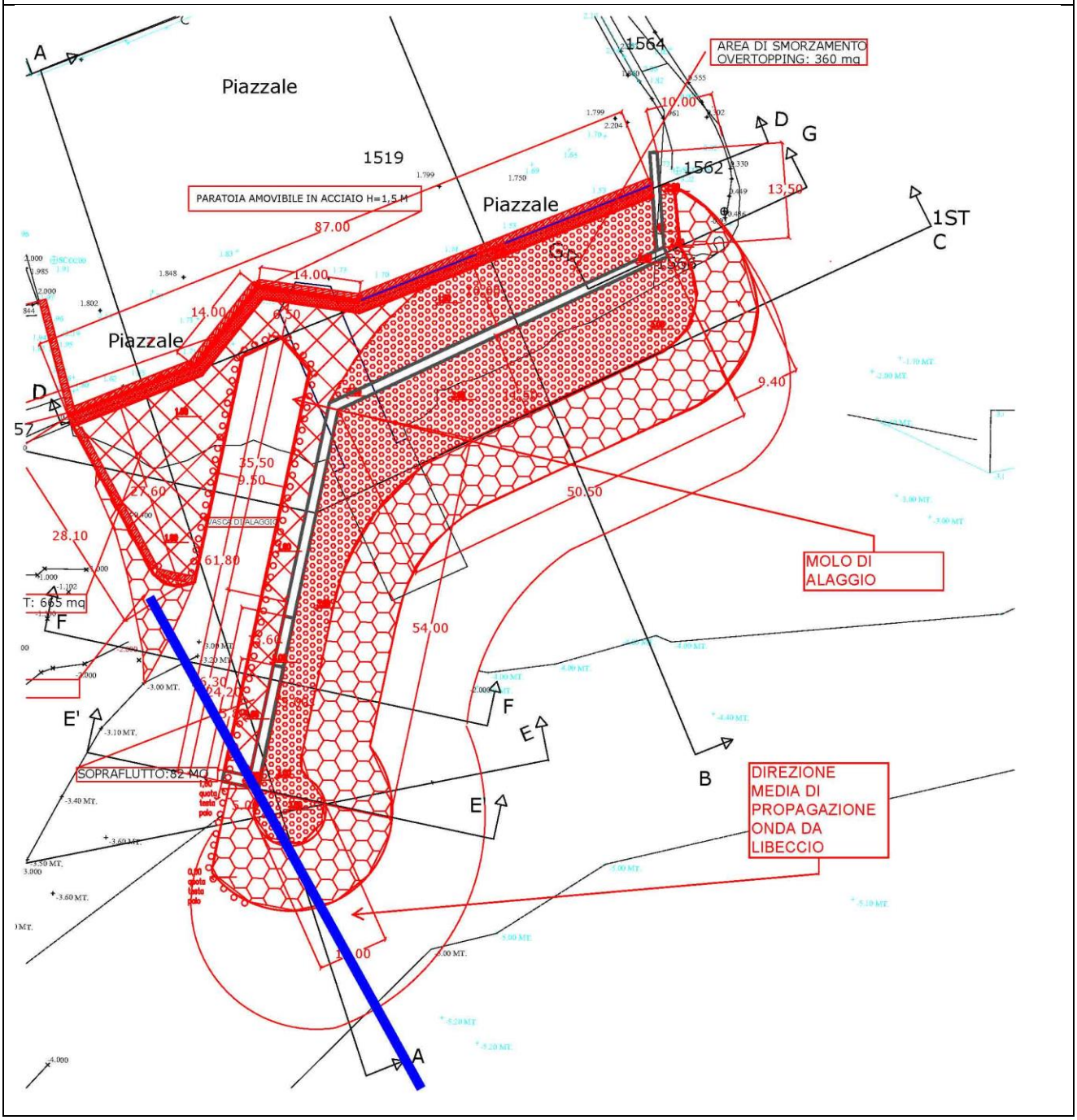


Dalla carta nautica suddetta è stato dedotto in via preliminare l'andamento delle batimetriche necessarie per involvere il modello.

2.2 Planimetria e sezioni di progetto

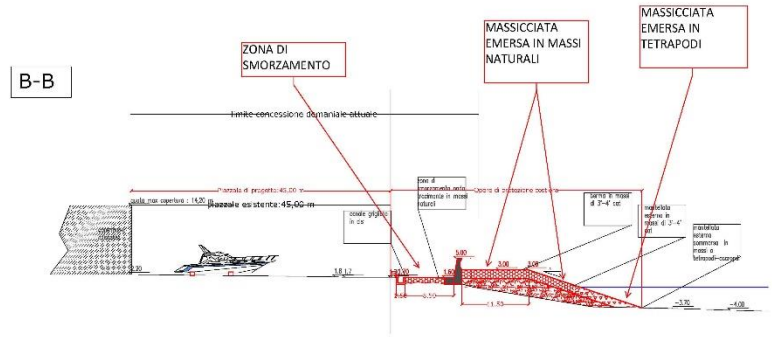
La figura seguente mostra la planimetria generale di progetto:

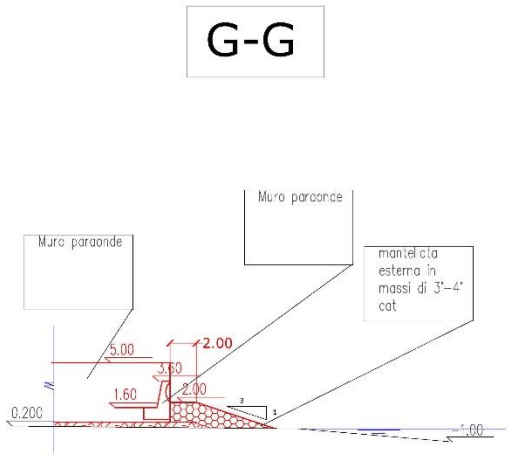
FIGURA N°5: Planimetria generale di progetto

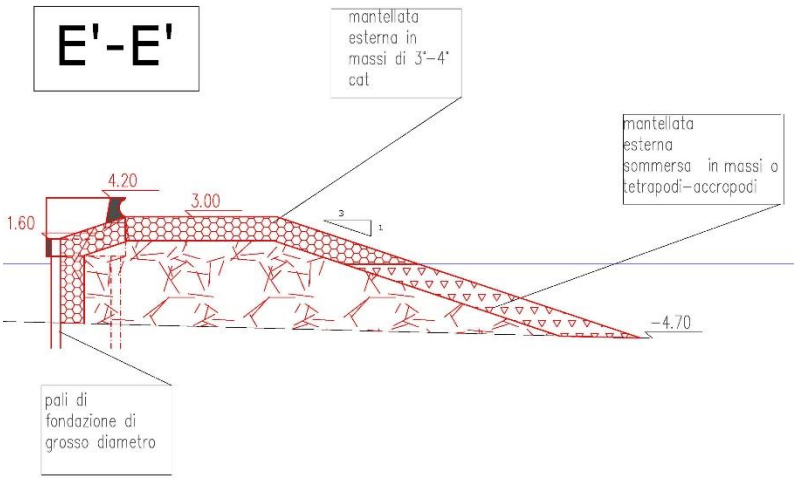


Le figure seguenti mostrano le sezioni trasversali di progetto:

FIGURA N°6: sezioni trasversali di progetto







Da rilevare i seguenti dati di progetto:

- Sezione B-B – Profondità piede diga pari a 3,7m;
- Sezione E'-E' – Profondità piede diga pari a 5 m;
- Sezione G-G – Profondità piede diga pari a 1 m;

2.3 Onde di progetto

2.3.1 Propagazione Spettro di energia dalla profondità infinita al porto in esame

Di seguito si mostrano le tabelle ove sono raccolti gli stati del mare riferiti ad eventi estremi sulla diga di sopraflutto , nelle condizioni più gravose assunte al paragrafo 1.0.2.

La tabella seguente mostra l'onda di progetto da Scirocco (situazione più gravosa) incidente sulla diga in corrispondenza della sezione G-G:

Modello dello spettro di energia Stati del mare eventi estremi – Traversia Scirocco Sezione G-G profondità 1 m			
Direzione E - SE [175°N - 240° N]			
Periodo Ritorno	H_S (m)	T_S (s)	Φ_S [°N]
1/50 anni	1,5 (FRANG.)	9,4	185

La tabella seguente mostra l'onda di progetto da Libeccio (situazione più gravosa) incidente sulla diga in corrispondenza della sezione B-B:

Modello dello spettro di energia Stati del mare eventi estremi – Traversia Libeccio Sezione B-B profondità 3,7 m			
Direzione W - SW [175°N - 240° N]			
Periodo Ritorno	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	$\Phi_{mo,s}$ [°N]
1/50 anni	3,2 (FRANG.)	11,2	200

La tabella seguente mostra l'onda di progetto da Libeccio (situazione più gravosa) incidente sulla diga in corrispondenza della sezione E-E:

Modello dello spettro di energia Stati del mare eventi estremi – Traversia Libeccio Sezione E'-E' profondità 5 m			
Direzione W - SW [175°N - 240° N]			
Periodo Ritorno	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	$\Phi_{mo,s}$ [°N]
1/50 anni	3,84 (FRANG.)	11,2	200

Da rilevare che nei casi in cui è presente la nota "FRANG." si intende che sono state raggiunte le condizioni di frangimento.

La figura seguente mostra le caratteristiche delle onde incidenti sulla diga, in una situazione reale fotografata durante una mareggiata da libeccio di media intensità:

FIGURA N°7: onde incidenti sulla diga



La figura seguente mostra il run-up sulla diga esistente:

FIGURA N°8: run up diga esistente



Le caratteristiche del sito in esame, comportano frangimenti sulla nuova diga (pendenza 1/3) di tipo surging, piuttosto simili ai frangimenti osservati nella mareggiata fotografata.

3. Dimensionamenti

3.1 Dimensionamento della diga sopraflutti

Il calcolo di dimensionamento si esegue con la formula di Van Der Meer, di seguito illustrato:

FIGURA N°9: formula di Van Der Meer

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 \cdot S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \qquad \text{Plunging waves : } \xi_m < \xi_{mc}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 \cdot S^{0.2} P^{-0.13} N_z^{-0.1} (\cot\alpha)^{0.5} \xi_m^{P} \qquad \text{Surging waves : } \xi_m > \xi_{mc}$$

$$\xi_m = s_m^{-0.5} \tan\alpha \qquad \xi_{mc} = \left(6.2\, P^{0.31} (\tan\alpha)^{0.5}\right)^{1/(P+0.5)}$$

where

H_s	Significant wave height in front of breakwater
D_{n50}	Equivalent cube length of median rock
ρ_s	Mass density of rocks
ρ_w	Mass density of water
Δ	$(\rho_s/\rho_w) - 1$
S	Relative eroded area (see Table VI-5-21 for nominal values)
P	Notional permeability (see Figure VI-5-11)
N_z	Number of waves
α	Slope angle
s_m	Wave steepness, $s_m = H_s/L_{om}$
L_{om}	Deepwater wavelength corresponding to mean wave period

Validity:

1) Equations VI-5-68 and VI-5-69 are valid for non-depth-limited waves. For depth-limited waves H_s is replaced by $H_{2\%}/1.4$.
2) For $\cot\alpha \geq 4.0$ only Eq VI-5-68 should be used.
3) $N_z \leq 7,500$ after which number equilibrium damage is more or less reached.
4) $0.1 \leq P \leq 0.6$, $0.005 \leq s_m \leq 0.06$, $2.0\ tonne/m^3 \leq \rho \leq 3.1\ tonne/m^3$
5) For the 8 tests run with depth-limited waves, breaking conditions were limited to spilling breakers which are not as damaging as plunging breakers. Therefore, Eqs VI-5-68 and VI-5-69 may not be conservative in some breaking wave conditions.

I dati d'ingresso si riassumono di seguito:

- Pendenza della mantellata pari ad 1/3;
- Porosità pari a 0,6;
- Indice di danneggiamento pari a 2;
- Peso specifico dei massi naturali pari a 2,4 t/mc;
- Profondità del piede della diga sopraflutti e stato del mare riassunto nelle tabelle del paragrafo precedente.

Utilizzando la formula suddetta, si ottengono i seguenti risultati:

a. **Diga sopraflutti massi naturali:**
   - Sezione B-B (Mediana): massi di quarta categoria (peso medio P50=8 t)
   - Sezione F-F (Sezione intermedia): massi di quarta categoria (peso medio P50=10 t)
   - Sezione E'-E' (Testata): massi di quarta categoria (peso medio P50=10 t)

b. **Diga sopraflutti massi tetrapodi sommersi (peso specifico 2,3 t) sommersi da 3,6 mc.**

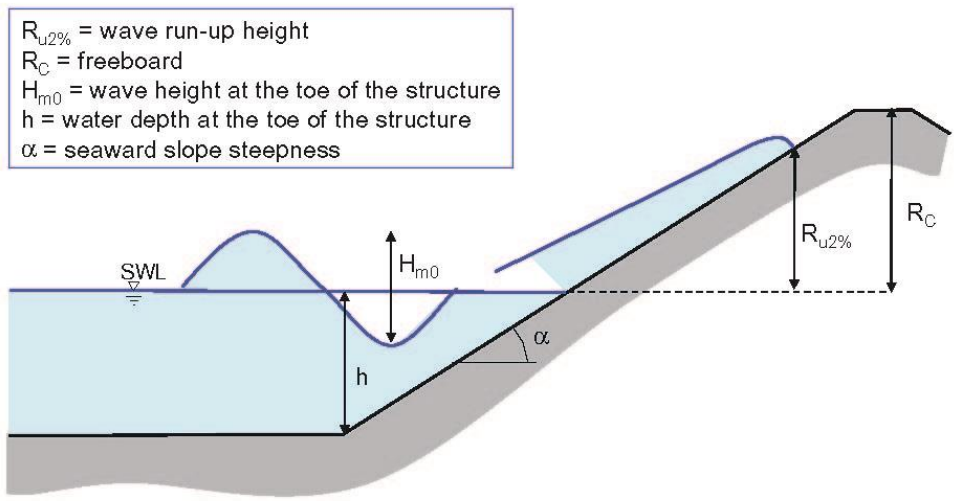
Da rilevare che per ambedue i dimensionamenti il calcolo è stato prodotto considerando la diga costituita da massi di caratteristiche omogenee (ossia o in massi naturali, o in massi artificiali).

3.2 Dimensionamenti di verifica dei fenomeni di risalita (run-up) e di tracimazione (overtopping)

Con riferimento ai parametri ed alle sezioni di riferimento raccolte nelle pagine precedenti, si illustrano i dimensionamenti preliminari di verifica dei fenomeni di risalita (run-up) e di tracimazione (overtopping) della diga sopraflutti.

Lo schema di calcolo utilizzato si illustra nella figura seguente:

FIGURA N°10: schema di calcolo



Per il calcolo della portata tracimazione di progetto, si utilizza la formula indicata nella figura seguente:

FIGURA N°11: schema di calcolo della portata media di tracimazione

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

with a maximum of: 4.2

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.6 \frac{R_C}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

Le formulazioni sopra definite provengono dal Manuale Eurotop.

La figura seguente mostra la tipologia di muro paraonde previsto per la diga sopraflutti:

FIGURA N°12: tipologia muro paraonde



I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m];
b. H_{m0}= altezza d'onda al piede della struttura [m];
c. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 5 m;
d. hwall=altezza del muro paraonde pari a 2,5 m;
e. q= portata di tracimazione [l/s/m]
f. $\zeta_{m-1,0}$ = surf similarity parameter;
g. γ_b = parametro di influenza della berma;
h. γ_f = parametro di influenza della scabrosità;
i. γ_β = parametro di influenza dell'angolo di attacco sulla diga;
j. γ_v = parametro di influenza del muro;
k. γ^* = parametro di influenza combinato moto ondoso-massicciata-muro;

Utilizzando gli stati di mare di progetto, per i vari periodi di ritorno, sulla base della formulazione indicata nelle figure sopra, ed utilizzando la tipologia di muro curvato indicata nella figura precedente la portata di tracimazione e l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga sopraflutti, risultano pari a:

Periodo ritorno	Hs (m)	Ru2% (m)	Q (l/s/m)	Ht (m)
Sezione B-B	3,2	**6,1**	**1,4**	**0,7**
Sezione E'-E'	3,8	**7,3**	**< 5**	**1.6**
Sezione G-G	1,5	**4,6**	**< 1**	**<0,5**

I simboli indicati in tabella sono:

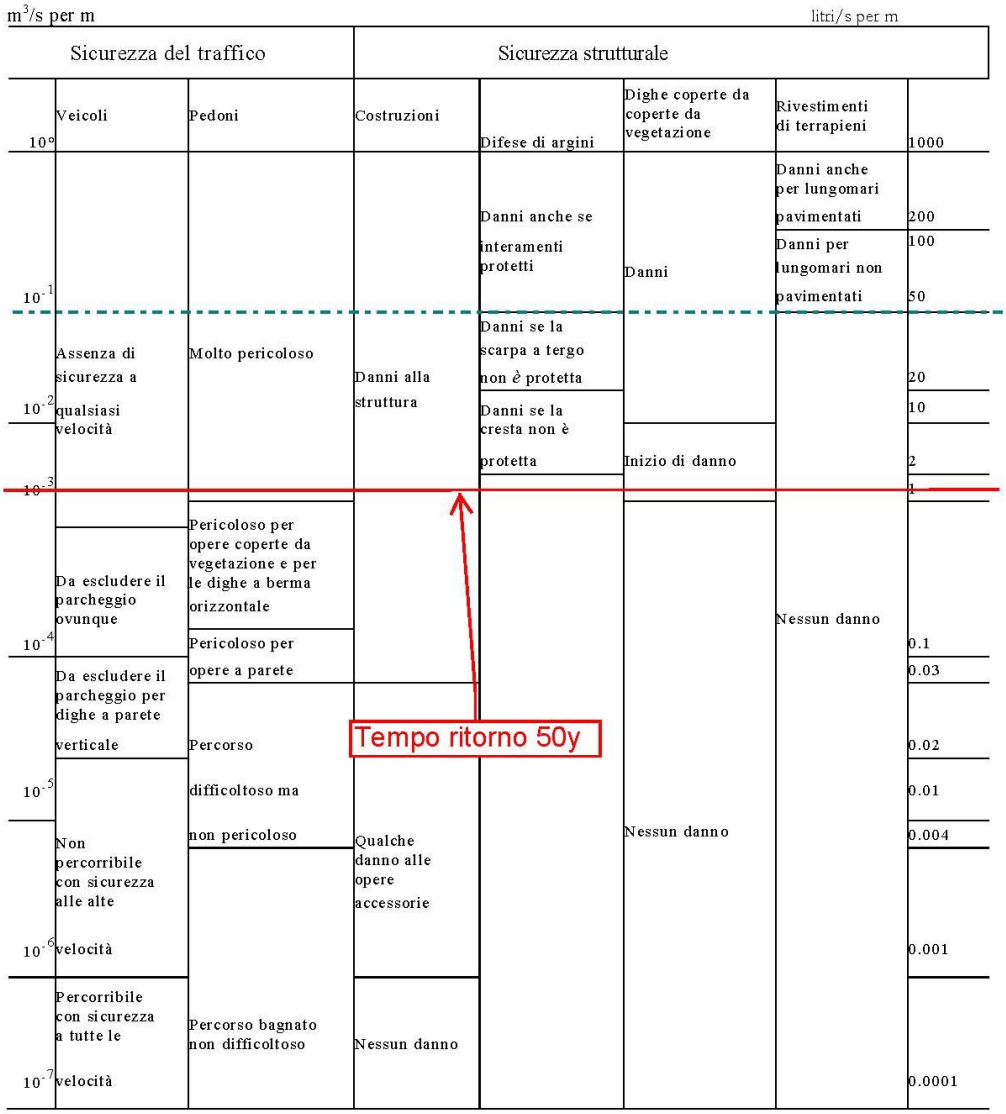
- Hs= altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti (SEZIONE 4SP);
- Ru2%= run-up come sopraindicato;
- Q= portata di tracimazione;
- Ht= altezza d'onda trasmessa a tergo della diga. Per la sezione E-E il valore nella tabella sopra non tiene c
- onto della diffrazione del molo sopraflutti in testata;

I valori di portata di tracimazione e di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga sopraflutti, in corrispondenza della sezione B-B, risultano compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto in base al periodo di vita dell'opera (livello di rischio limitato per il danneggiamento incipiente, corrispondente a livelli di ripercussione economica bassa o media, e rischio limitato per la vita umana pari al 30%).

Da rilevare che a tergo della diga frangiflutti non è stato previsto nessun traffico veicolare e/o pedonale e nessun ricovero delle imbarcazioni, ma come mostrato nella sezione B-B è stata prevista una zona di smorzamento dell'onda di ampiezza pari a 15m, delimitata nel marine verso terra da un canale grigliato per l'evacuazione dell'acqua dopo eventuale tracimazione.

La figura seguente mostra i livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione:

FIGURA N°13: livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione



La sezione B-B, che risulta più sollecitata, presenta una portata di tracimazione pari ad 1,4 l/s/m, in corrispondenza di un evento estremo avente tempo di ritorno pari a 50 anni, con le seguenti deduzioni:

- Per la sicurezza pedonale e veicolare il livello di rischio è comunque molto basso per la presenza della zona di smorzamento dell'onda a tergo della diga;

- Per la sicurezza strutturale, il rischio di danno è da considerarsi medio per il muro paraonde e molto limitato per le costruzioni che comunque si trovano ad una distanza superiore a 50 m dal muro paraonde.

Si noti, al contrario, che in corrispondenza della sezione E'-E' in testata alla diga frangiflutti, le condizioni di tracimazione sono notevolmente peggiorate rispetto alla precedente revisione progettuale (ove la portata tracimante era pari a 0,6 l/sm – vedi pagina 19/26 della relazione B – del settembre 2019).

Da rilevare che:

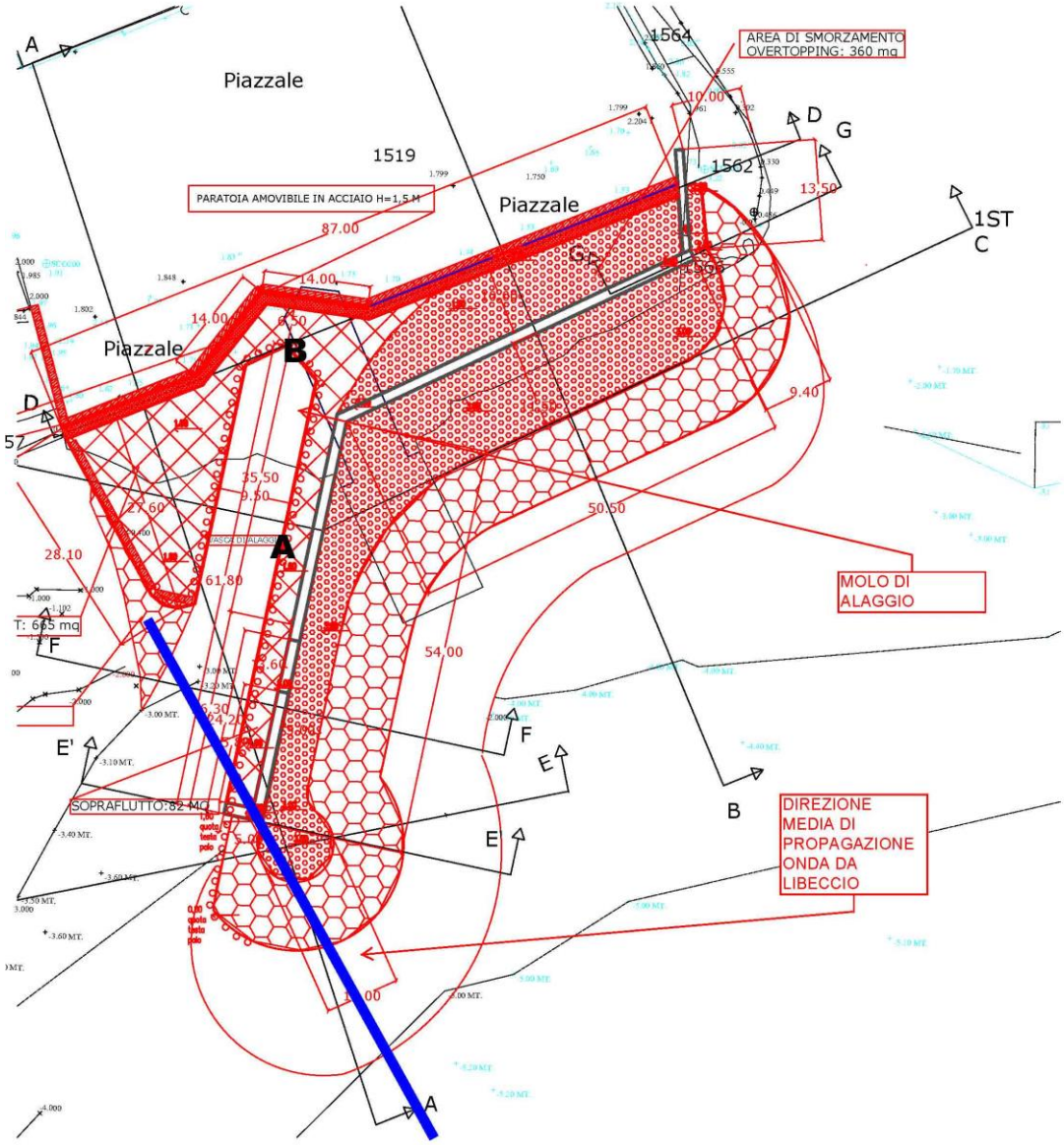
- nella precedente revisione progettuale le dissipazioni energetiche dell''onda incidente sulla diga sono prevalenti, e ciò determina un modesto valore dell'altezza d'onda trasmessa oltre la diga stessa;
- nella nuova revisione progettuale, le dissipazioni energetiche dell''onda incidente sulla diga non sono prevalenti, e ciò determina che l'onda trasmessa oltre la diga assuma la connotazione di una vera e propria vena liquida di scavalco

L'approccio di calcolo per tenere in conto del nuovo scenario progettuale si illustra nel paragrafo seguente e viene implementato per determinare l'agitazione interna lungo il molo di alaggio.

3.3 Calcolo dell'agitazione interna lungo il molo di alaggio

Il calcolo dell'agitazione interna lungo il molo di alaggio, si effettua con riferimento alla figura seguente:

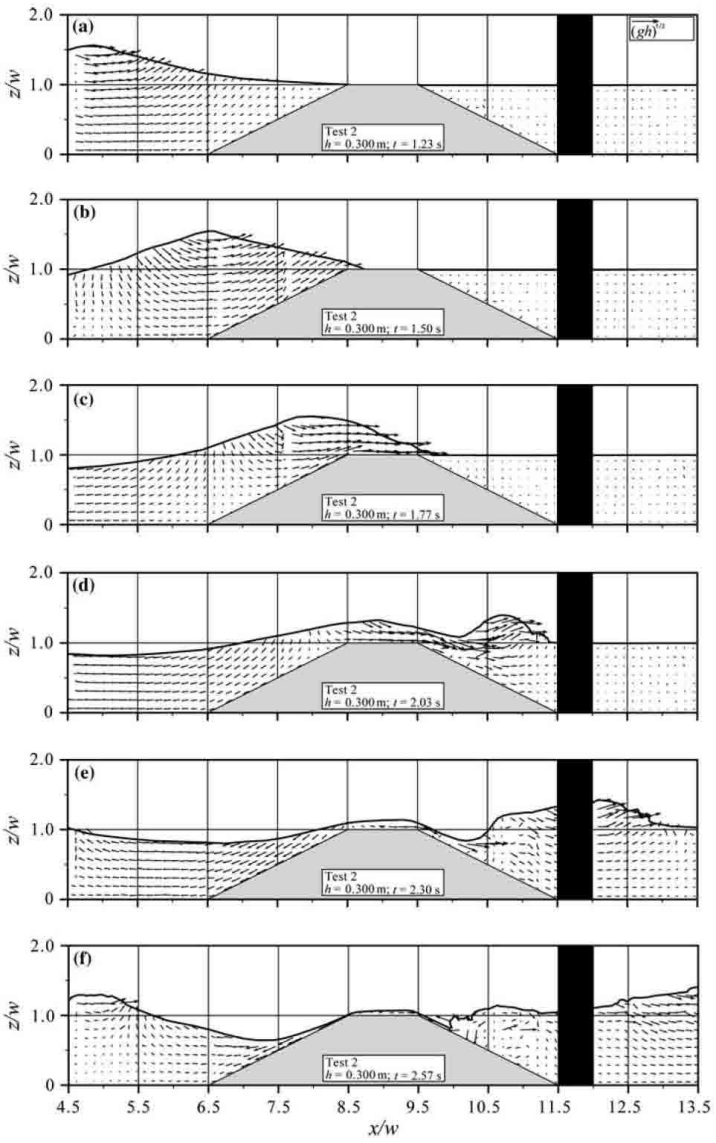
FIGURA N°14: schema di calcolo dell'agitazione interna



La sezione di riferimento e la sezione E'-E', in testata della diga, ove oltre all'onda trasmessa durante la tracimazione della diga, è presente anche l'onda generata dalla diffrazione del molo.

Il fenomeno di trasmissione dell'onda oltre la diga della sezione E'-E' si illustra nella figura seguente:

FIGURA N°15: schema trasmissione onda oltre la sezione E'-E'



Lo schema sopra riportato mostra le fasi della tracimazione, dall'attacco del moto ondoso, alla trasmissione dell'onda ed alla sua propagazione oltre la diga. In tale dinamica gli effetti di dissipazione dell'onda incidente non sono prevalenti, e l'onda trasmessa assume la connotazione di una vera e propria vena liquida di scavalco.

Considerando trascurabili gli effetti dell'inclinazione dell'onda incidente rispetto all'asse della diga sopraflutti, si eseguono le valutazioni in riferimento al seguente schema di calcolo:

FIGURA N°16: schema trasmissione onda oltre la sezione E'-E'

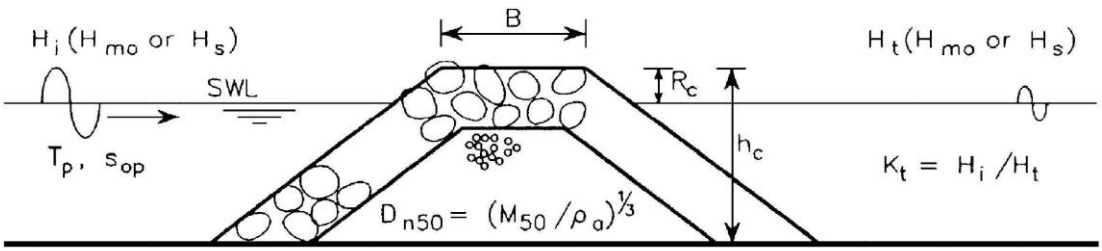


Fig. 1. Definitions of governing parameters involved in wave transmission.

H_i= Incident significant wave height, preferably H_{m0i}, at the toe of the structure

H_t= Transmitted significant wave height, preferably H_{m0t}

T_p= Peak period

s_{op}= Wave steepness, $s_{op}=2\pi H_i/(gT_p^2)$

R_c= Crest freeboard

h_c= Structure height

B= Crest width

D_{n50}= Nominal diameter of armour rock (in case of rubble mound structure)

K_t= Transmission coefficient H_t/H_i

ξ_{op}= Breaker parameter $\xi_{op}=\tan\alpha/(s_{op})^{0.5}$

$\tan\alpha$= Seaward slope of structure

I modelli di calcolo impiegati per la determinazione dell'altezza dell'onda trasmessa oltre la diga in corrispondenza delle sezione E'-E' sono:

FIGURA N°17: schema trasmissione onda oltre la sezione E'-E' - D'Angremond e al. (1996)

$$K_t = -0.4\frac{R}{H_s} + \left(\frac{B}{H_s}\right)^{-0.31}\left(1 - e^{-0.5\xi}\right)0.80$$

FIGURA N°18: schema trasmissione onda oltre la sezione E'-E' – Calabrese e Buccino (2002)

$$K_t = a\frac{R_c}{B} + b$$

where: $a = \left(0.6957\frac{H_{moi}}{h_c} - 0.7021\right)e^{0.2568\frac{B}{H_{moi}}}$ and

$$b = \left(1 - 0.562e^{-0.0507\xi}\right)e^{-0.0854\frac{B}{H_{moi}}}$$

Range of validity are: $-0.4 \le (R_c/B) \le 0.3$; $1.06 \le (B/H_{moi}) \le 8.13$; $0.31 \le (H_{moi}/h) \le 0.61$; $3 \le \xi_{op} \le 5.2$.

I valori dei coefficienti di trasmissione, valutati con i due modelli sono pressoché coincidenti. Il coefficiente di trasmissione a tergo della diga risulta pari a circa 0.4 come indicato nella seguente tabella di riepilogo dell'output di calcolo:

FIGURA N°19: Altezza onda trasmessa - sezione E'-E'

Rc	Hmoi	Tp	Hmoi/h	hfondale	Rc/Hmoi	B	Rc/B	B/Hmoi	Pendenza Mantellata cotg alfa	tg alfa	L	Hmoi/L	ξ	hc	Hmoi/hc	a	b	Kt
[m]	[m]	[s]	[]	[m]	[]	[m]	[]	[]	[]	[]	[m]	[]	[]	[m]	[]	[]	[]	[]
3	3.84	11.2	0.768	5	0.78125	10	0.3	2.60	3	0.3333333	78	0.05	1.502313	8	0.48	-0.72	0.59053	0.4

Combinando l'agitazione ondosa che penetra dall'imboccatura alle estremità del canale di alaggio con l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga (sopra calcolata), si deduce l'altezza d'onda complessiva.

La tabella di calcolo mostra i dettagli della simulazione:

FIGURA N°20: Altezza onda diffratta e trasmessa - sezione E'-E'

Htot punto A	Htot punto B	H incidente	Ct	Htrasm	Htot punto A	Htot punto B
[m]	[m]	[s]	[]	[m]	[m]	[m]
2.3	2.1	3.84	0.4	1.6	2.9	2.7

I valori complessivi di agitazione interna, nei due punti ("A" e "B") indicati sulla planimetria risultano dunque pari a:

Punto A			
Periodo ritorno	Hs	h	Hag
	(m)	(m)	(m)
50 anni	4,3	3	**2.9**
Punto B – Alaggio			
Periodo ritorno	Hs	h	Hag
	(m)	(m)	(m)
50 anni	4,3	terra	**2.7**

I simboli indicati in tabella sono:

- h= profondità del punto in esame;
- Hs= altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti della sezione E-E;
- Hag= valore di agitazione interna (compresa anche l'influenza dell'altezza d'onda trasmessa a tergo della diga per tracimazione della stessa);

Si trascurano i fenomeni di riflessione delle strutture costituenti il contorno dell'alaggio, in quanto esse sono costituite da palificazioni.

3.4 Calcolo dell'altezza della lama d'acqua a tergo del muro paraonde della sezione B-B

Il calcolo della lama d'acqua a tergo del muro paraonde, si determina con il modello di trasmissione d'onda illustrato nel paragrafo precedente. Si consideri che al contrario della sezione E'-E', le dissipazioni energetiche dell''onda incidente sulla diga sono prevalenti, e si determina una modesta trasmissione energetica dell'onda incidente a tergo del muro paraonde. Pertanto i risultati del calcolo sono mostrati di seguito:

- Altezza d'onda significativa incidente al piede della diga pari a 3,2 m;
- Coefficiente di trasmissione pari a Kt=0,2;
- Altezza d'onda trasmessa pari a 70 cm circa;

Il decadimento di un'altezza d'onda trasmessa oltre la diga, può essere inquadrabile come decadimento di un'altezza d'onda impulsiva, secondo gli studi proposti in letteratura (vedi Huber ed Hager et al.).

Mediante tale approccio il decadimento dell'altezza d'onda trasmessa è proporzionale alla distanza (x) dal muro paraonde elevata ad una potenza -1/4, secondo la seguente espressione:

$$H(x) \propto x^{-1/4}$$

Considerando che:

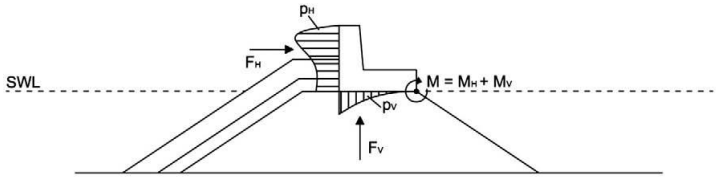
- la distanza del muro paraonde dal muro di delimitazione della zona di smorzamento è pari a 10 m circa;
- ritenendo trascurabili i fenomeni di riflessione provocati da tale muro (per la presenza della canaletta di scolo acque).

Si deduce che tale decadimento risulta pari a circa il 50% dell'onda trasmessa e dunque pari a circa 40 cm. Esso risulta compatibile con l'altezza del muro di delimitazione pari ad 1 m.

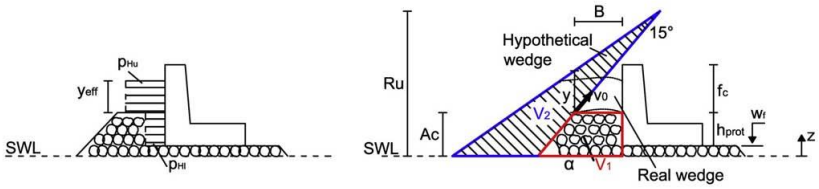
3.5 Calcolo delle azioni dinamiche sul muro paraonde

La figura seguente mostra lo schema di calcolo delle pressioni dinamiche agenti sulle strutture del muro paraonde (tratto da Wave Forces and Overtopping on Crown Walls of Rubble Mound Breakwaters an Experimental Study – Jan Pedersen):

FIGURA N°21: calcolo azioni dinamiche sul muro paraonde



Definition of wave induced pressure and resultant forces on rubble mound structures.



(Left) Assumed pressure distribution on crown wall. (Right) Run-up wedge and design parameters.

$$F_{h,0.1\%} = 0.21\sqrt{\frac{L_{om}}{B}}\left(1.6 p_m y_{eff} + A\frac{p_m}{2}h'\right) \qquad \text{(VI−5−187)}$$

$$M_{0.1\%} = a \times F_{h,0.1\%} = 0.55(h' + y_{eff})F_{h,0.1\%} \qquad \text{(VI−5−188)}$$

$$p_{b,0.1\%} = 1.00\ A\ p_m \qquad \text{(VI−5−189)}$$

where
- $F_{h,0.1\%}$ Horizontal wave force per running meter of the wall corresponding to 0.1% exceedence probability
- $M_{0.1\%}$ Wave generated turning moment per running meter of the wall corresponding to 0.1% exceedence probability
- $p_{b,0.1\%}$ Wave uplift pressure corresponding to 0.1% exceedence probability
- L_{om} Deepwater wavelength corresponding to mean wave period
- B Berm width of armor layer in front of the wall
- p_m $p_m = \rho_w g(R_{u,0.1\%} - A_c)$
- $R_{u,0.1\%}$ Wave runup corresponding to 0.1% exceedence probability

$$R_{u,0.1\%} = \begin{cases} 1.12 H_s \zeta_m & \zeta_m \le 1.5 \\ 1.34 H_s \zeta_m^{0.55} & \zeta_m > 1.5 \end{cases}$$

$$\zeta_m = \tan\alpha / \sqrt{H_s / L_{om}}$$

- α Slope angle of armor layer
- A_c Vertical distance between MWL and the crest of the armor berm
- A $A = \min\{A_2/A_1, 1\}$, where A_1 and A_2 are areas shown in the figure
- y_{eff} $y_{eff} = \min\{y/2, f_c\}$

$$y = \begin{cases} \frac{R_{u,0.1\%} - A_c}{\sin\alpha}\frac{\sin 15^0}{\cos(\alpha - 15^0)} & y > 0 \\ 0 & y \le 0 \end{cases}$$

- h' Height of the wall protected by the armor layer
- f_c Height of the wall not protected by the armor layer

I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $F_{h0,1\%}$= forza orizzontale sul muro corrispondente ad una probabilità di superamento dello 0,1% [t/m];
b. $M_{0,1\%}$= Momento ribaltante sul muro corrispondente ad una probabilità di superamento dello 0,1% [t/m];
c. $p_{b0,1\%}$= pressione di sottospinta sul muro corrispondente ad una probabilità di superamento dello 0,1% [t/m];
d. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m];
e. $R_{u0,1\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento dello 0,1% [m];
f. L_{m0}= Lunghezza d'onda su profondità infinita [m];
g. B=larghezza della berma;
h. H_{m0}= altezza d'onda al piede della struttura [m];
i. ζ_m = surf similarity parameter;
j. α = angolo di inclinazione della sogliera;
k. A_c= distanza tra la cresta del muro ed il livello del medio mare [m];
l. h'=altezza del muro protetta dalla berma della scogliera;
m. f_c= altezza del muro non protetta dalla berma della scogliera [m];

Nella tabella seguente sono mostrati i risultati del calcolo riferiti alle nuove sezioni di progetto:

FIGURA N°22: tabella dei risultati del calcolo delle azioni dinamiche sul muro paraonde

		SEZ. B-B	SEZ.E'-E'	SEZ.G-G
PARAMETRI IDRAULICI				
Traversia	[]	LIBECCIO	LIBECCIO	SCIROCCO
Periodo di ritorno	[y]	50	50	50
Altezza d'onda prof. infinita	[m]	6.9	6.9	4.9
Altezza d'onda prof. finita	[m]	3.2	3.84	1.5
Periodo d'onda di picco	[s]	11.20	11.20	10.00
Profondità	[m]	3.8	5	1
PARAMETRI STRUTTURALI				
Pendenza Mantellata cotg	[ ]	3	3	3
Altezza di cresta della struttura Rc	[m]	5	4.2	3.6
Altezza della berma sul livello medio mare Ac	[m]	3	3	2
Larghezza della berma	[m]	10	10	2
Altezza muro paraonde hwall (Rc-quota berma)	[m]	2	1.2	1.6
OVERTOPPING		SEZ. B-B	SEZ.E'-E'	SEZ.G-G
Run Up 2%	[m]	6.1	7.3	4.6
Run Up 0,1%	[m]	5.5	6.6	4.1
AZIONI SULLA DIGA-AZIONI INCLINATE		SEZ. B-B	SEZ.E'-E'	SEZ.G-G
FH,01%-effetto dinamico	[kg/m]	2940	6090	3990
FH,01%-effetto idrostatico	[kg/m]	2700	4760	2880
FH,01%	[kg/m]	5630	10850	6860
SOTTOSPIMTA IDRAULICA		SEZ. B-B	SEZ.E'-E'	SEZ.G-G
FV,01%	[kg/m]	2490	4790	1890
MOMENTO RIBALTANTE		SEZ. B-B	SEZ.E'-E'	SEZ.G-G
MH,01%-effetto dinamico	[kg m/m]	9290	4900	7540
MH,01%-effetto idrostatico	[kg m/m]	3170	3830	3270
MH,01%	[kg m/m]	12450	8720	10810
braccio di FH rispetto alla base - a=	[m]	2.2	2.4	1.6

Nella tabella seguente sono mostrati i risultati del calcolo riferiti alle sezioni della revisione progettuale precedente:

FIGURA N°23: tabella dei risultati del calcolo delle azioni dinamiche sul muro paraonde

		SEZ. B-B	SEZ.E-E	SEZ.G-G
PARAMETRI IDRAULICI				
Traversia	[]	LIBECCIO	LIBECCIO	SCIROCCO
Periodo di ritorno	[y]	50	50	50
Altezza d'onda prof. infinita	[m]	6,9	6,9	4,9
Altezza d'onda prof. finita	[m]	3,2	3,84	1,5
Periodo d'onda di picco	[s]	11,20	11,20	10,00
Profondità	[m]	3,8	5	1
PARAMETRI STRUTTURALI				
Pendenza Mantellata cotg	[ ]	3	3	3
Altezza di cresta della struttura Rc	[m]	5	5	3,6
Altezza della berma sul livello medio mare Ac	[m]	3	3	2
Larghezza della berma	[m]	10	5	2
Altezza muro paraonde hwall (Rc-quota sommitale fondazione muro paraonde)	[m]	3,4	3,4	2
OVERTOPPING		SEZ. B-B	SEZ.E-E	SEZ.G-G
Run Up 2%	[m]	6,1	7,3	4,6
Run Up 0,1%	[m]	5,5	6,6	4,1
Total overtopping + overwash rate [quadratic sum]	[l/m]	1,4	0,6	0,5
AZIONI SULLA DIGA-AZIONI INCLINATE		SEZ. B-B	SEZ.E-E	SEZ.G-G
FH,01%-effetto dinamico	[kg/m]	2940	6470	3990
FH,01%-effetto idrostatico	[kg/m]	2700	4760	2880
FH,01%	[kg/m]	5630	11220	6860
SOTTOSPIMTA IDRAULICA		SEZ. B-B	SEZ.E-E	SEZ.G-G
FV,01%	[kg/m]	2490	4950	1890
MOMENTO RIBALTANTE		SEZ. B-B	SEZ.E-E	SEZ.G-G
MH,01%-effetto dinamico	[kg m/m]	9290	18520	7540
MH,01%-effetto idrostatico	[kg m/m]	3170	7870	3270
MH,01%	[kg m/m]	12450	26380	10810
braccio di FH rispetto alla base - a=	[m]	2,2	2,4	1,6

La sezione E-E della precedente versione progettuale (altezza di cresta Rc=5 m) presenta valori delle risultanze del calcolo superiori alla sezione E'-E' della nuova versione progettuale (altezza di cresta Rc=4.2 m), considerando la diminuzione in altezza del muro paraonde . Si consiglia pertanto, a favore della sicurezza l'adozione dei precedenti valori di spinta della sezione E-E (più cautelativi)

4. Conclusioni

La presente Relazione, redatta in revisione 1, accoglie le prescrizioni indicate dalla Regione Liguria nel processo istruttorio. Essa illustra le condizioni meteo marine di progetto sulle strutture dell'alaggio dei cantieri del mediterraneo siti in località Capo Verde (Sanremo), determinate mediante fonti e statistiche ufficiali del paraggio in esame. Lo studio illustra in dettaglio le condizioni meteo marine propedeutiche al dimensionamento della diga sopraflutti (in riferimento al periodo d'onda di progetto determinato secondo le prescrizioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - 1996) e le condizioni meteo marine al piede della diga (profondità 7 m).

Una stima analitica delle portate medie di tracimazione nello stato di progetto conduce a valori compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto durante a vita dell'opera.

Lo studio fornisce inoltre i valori di agitazione interna in corrispondenza dell'alaggio, che risultano compatibili con le sezioni progettuali. Inoltre si calcolano le azioni dinamiche sul muro paraonde, finalizzare alle verifiche di progetto.