LA PAGANINA S.S.

REALIZZAZIONE DI SCOGLIERA A DIFESA DI TRATTO COSTIERO

IN SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

RELAZIONE METEOMARINA E

DI CALCOLO DELLA SCOGLIERA

Genova, 9 luglio 2020

Ing. Riccardo Giammarini

STUDIOELB INGEGNERI ASSOCIATI

Corso Torino 17/6 sc. A - 16129 GENOVA GE Tel. 010.5740568 - Fax 010.4211059
e-mail: inge@studioelb.it - PEC: studio@pec.studioelb.it - C.F. e P. IVA: 01933110999

SOMMARIO

1. PREMESSA 3

2. INQUADRAMENTO METEOMARINO 4

2.1 INQUADRAMENTO GENERALE 4

2.2 ANALISI MOTO ONDOSO 4

2.2.1 Eventi estremi al largo ante mareggiata 4

2.3 ONDE A LARGO : STATISTICA PRE-MAREGGIATA OTTOBRE 2018 5

2.4 ONDE A LARGO : STATISTICA AGGIORNATA POST-MAREGGIATA OTTOBRE 2018 7

2.5 ONDE A LARGO : SETTORE SECONDARIO 9

2.6 EVENTI ESTREMI A COSTA 10

3. INDIVIDUAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO E DEI PARAMETRI CORRELATI 12

3.1 TEMPO DI RITORNO 12

3.2 CORRELAZIONE TRA ALTEZZA D'ONDA E PERIODO 12

3.3 LIVELLO IDRICO 13

3.4 DEFINIZIONE PARAMETRI DI PROGETTO 14

4. CARATTERISTICHE DELLA SCOGLIERA 14

5. VERIFICA DI STABILITÀ DEI MASSI DELLA MANTELLATA 16

6. TRASMISSIONE ONDA A TERGO DELLA SCOGLIERA 19

7. SINTESI: CARATTERISTICHE, MANUTENZIONE 22

1. PREMESSA

Nel presente documento vengono definite le caratteristiche del moto ondoso nell'area oggetto di intervento e vengono eseguiti i dimensionamenti della scogliera a progetto, comprensivi delle valutazioni sull'efficacia della stessa.



Figura 1.1 : inquadramento dell'area

2. INQUADRAMENTO METEOMARINO

2.1 Inquadramento generale

Per valutare le caratteristiche del moto ondoso nell'area sono stati utilizzati gli studi eseguiti da parte del LABIMA - Laboratorio di Ingegneria Marittima del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Firenze relativi ai siti di Rapallo e Santa Margherita, con dettagli relativi all'area di fronte al porto di Santa Margherita, che presenta caratteristiche analoghe all'area oggetto di intervento.

Il paraggio oggetto di studio è aperto ai moti ondosi provenienti dal settore di ampiezza 50° compreso fra 120°N e 170°N. I moti ondosi provenienti da direzioni superiori ai 170°N risultano, invece, schermati dal promontorio di Portofino e possono raggiungere il paraggio in esame solo in seguito a fenomeni di diffrazione; di conseguenza è orientato secondo i mari da Scirocco e risulta fortemente ridossato ai mari da Libeccio. Il settore di traversia 120-170°N è delimitato dalla Corsica e dalla Sardegna in corrispondenza dei 170°N e dalla costa ligure, con punto di tangenza vicino a Punta Mesco (Levanto, SP), in corrispondenza dei 120°N.

2.2 Analisi moto ondoso

2.2.1 Eventi estremi al largo ante mareggiata

L'analisi del clima meteomarino al largo è stata condotta con riferimento al punto di coordinate 44°15'N (latitudine), 9°15'E (longitudine), detto nel seguito «punto al largo». Tale punto è situato fuori dal Golfo del Tigullio, ad una distanza dalla costa di circa 10 km, su un fondale con profondità di circa 200 m come riportato nella seguente figura.



Figura 2.1 - Localizzazione del punto utilizzato quale riferimento per la determinazione delle condizioni meteomarine al largo della zona di interesse (Santa Margherita Ligure, GE).

Per l'analisi di venti caratteristici in mare aperto all'interno dell'area di generazione relativa al paraggio in esame, si è fatto riferimento ai dati di vento forniti dal CFSR (Reanalysis Climate Forecast System) dell'agenzia federale statunitense NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration); Il clima ondoso nel punto al largo della zona di interesse è stato caratterizzato tramite l'applicazione del modello WW3-DICEA.

L'analisi statistica è stata effettuata con il metodo detto POT (Peak Over Threshold). Con questo metodo, gli eventi estremi utilizzati nell'analisi vengono individuati come picchi al di sopra di un valore soglia. Per ciascuno dei picchi così ottenuti è calcolata la probabilità, campionaria, che la relativa altezza d'onda (H) non venga superata durante un generico evento sopra soglia. Come funzioni interpolanti degli eventi estremi sono state utilizzate, alternativamente, la distribuzione di Gumbel e quella di Weibull.

2.3 Onde a largo : statistica pre-mareggiata ottobre 2018

In prima analisi, la statistica è stata eseguita non considerando l'evento del 29/30 ottobre 2018, ottenendo i seguenti risultati:

Tabella 14: Parametri di analisi statistica a largo per il settore 140-240°N per le distribuzioni di Gumbel e Weibull

$H_{threshold}$ [m]	β_{Gumbel}	$B_{Weibull}$	γ_{Gumbel}	$\gamma_{Weibull}$	λ
3.00	0.53	0.66	3.25	2.92	7.33

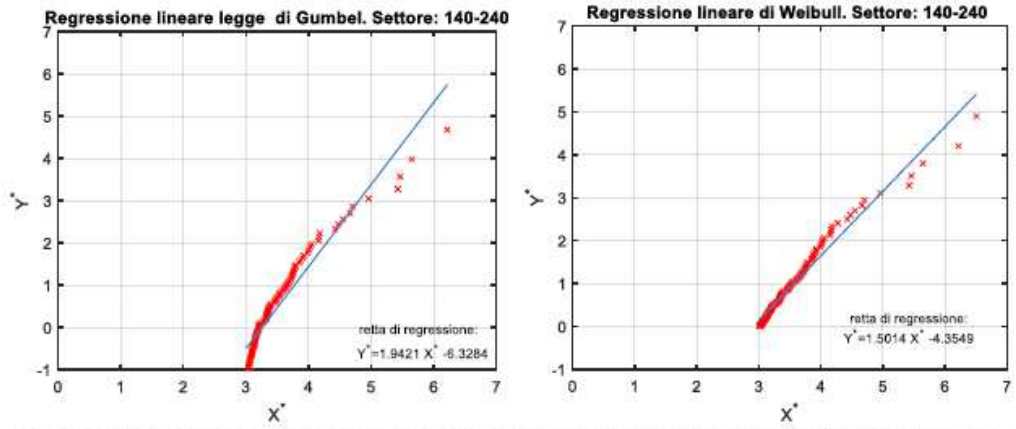


Figura 18: Regressione lineare per la stima dei parametri delle distribuzioni di Gumbel e Weibull a largo, settore 140-240°N.

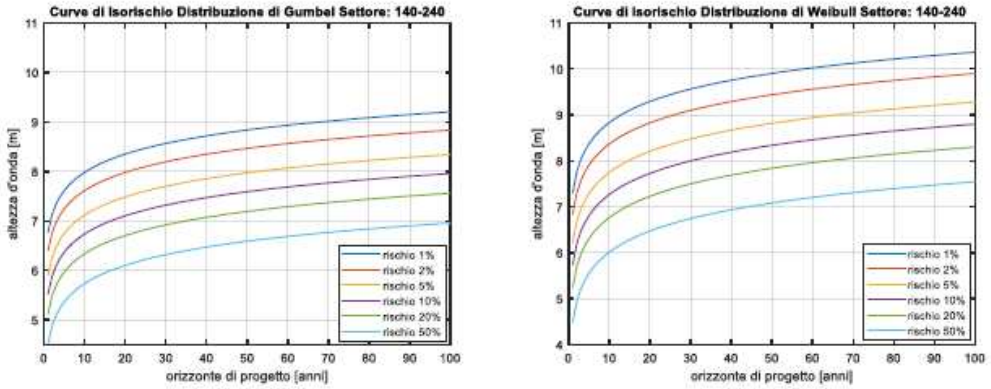


Figura 19: Altezze d'onda significative a largo di Rapallo in funzione dell'orizzonte temporale e del livello di rischio di superamento ottenute con le distribuzioni di Gumbel e di Weibull. Settore 140-240°N.

Tabella 15: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno (1-100 anni) per il settore 140-240°N ottenuta con la distribuzione di Gumbel.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	4.3	4.7	5.2	5.5	5.9	6.4	6.8

Tabella 16: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno (1-100 anni) per il settore 140-240°N ottenuta con la distribuzione di Weibull.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	4.2	4.7	5.3	5.8	6.2	6.8	7.3

2.4 Onde a largo : statistica aggiornata post-mareggiata ottobre 2018

L'analisi statistica è stata successivamente aggiornata considerando l'evento del 29/30 ottobre 2018, ottenendo i seguenti risultati:

Tabella VII.2: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno per onde provenienti dall'intero settore di traversia (140-240°N) – Distribuzione di Gumbel. Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	4.35	4.7	5.3	5.7	6.1	6.7	7.0

Tabella VII.3: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno per onde provenienti dall'intero settore di traversia (190-240°N) – Distribuzione di Weibull. Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	4.3	4.8	5.5	5.9	6.4	7.1	7.6

Come riportato in dettaglio nelle figure successivi, per l'onda a largo, considerando l'intero settore di traversia, si ha un aumento dei valori estremi di altezza d'onda, a parità di tempo di ritorno, pari a circa 30÷60 cm

Tabella VII.1 Parametri di analisi statistica a largo per le onde dall'intero settore di traversia (140-240) per le distribuzioni di Gumbel e Weibull. Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

$H_{threshold}$ [m]	β_{Gumbel}	$B_{Weibull}$	γ_{Gumbel}	$\gamma_{Weibull}$	λ
3.00	0.57	0.72	3.25	2.87	7.26

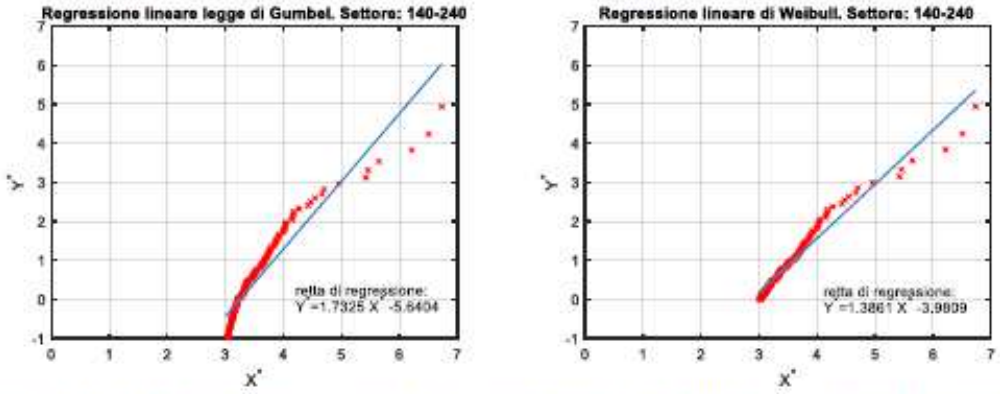


Figura VII.1: Regressione lineare per la stima dei parametri delle leggi Gumbel e Weibull a largo per le onde provenienti dall'intero settore di traversia (140-240°N). Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

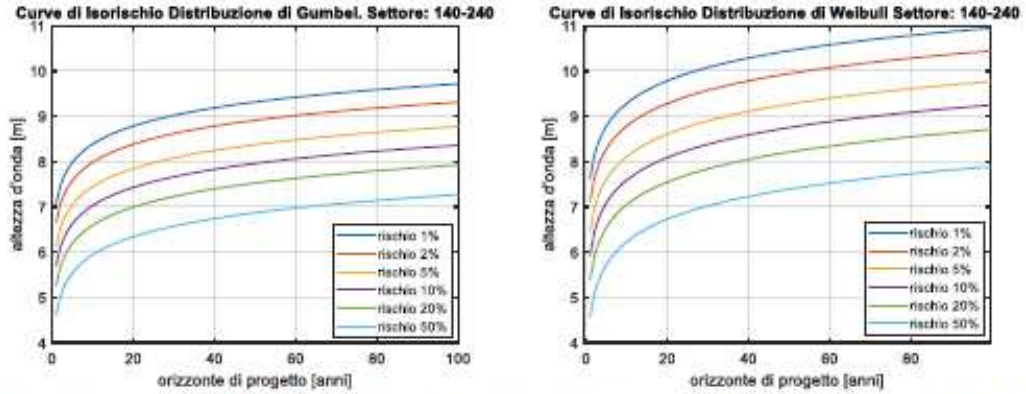


Figura VII.2: Altezze d'onda significative a largo in funzione dell'orizzonte temporale e del livello di rischio di superamento ottenute con le distribuzioni Gumbel e di Weibull, per onde provenienti dall'intero settore di traversia (140-240°N). Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

2.5 Onde a largo : settore secondario

Limitando l'analisi al solo settore secondario (140-170 °N), l'aggiornamento delle statistiche per le onde a largo è il seguente:

Tabella 21: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno (1-100 anni) per il settore 140-170°N ottenuta con la distribuzione di Gumbel.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.2	2.6	3.0	3.3	3.6	4.0	4.2

Tabella 22: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno (1-100 anni) per il settore 140-170°N ottenuta con la distribuzione di Weibull.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.2	2.5	3.0	3.4	3.7	4.2	4.6

Tabella VII.5: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno per onde provenienti dal settore di traversia secondario (140-170°N) – Distribuzione di Gumbel. Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.3	2.8	3.4	3.8	4.2	4.7	5.1

Tabella VII.6: Altezza d'onda significativa a largo associata a diversi tempi di ritorno per onde provenienti dal settore di traversia secondario (140-170°N) – Distribuzione di Weibull. Aggiornamento della statistica con l'evento del 2018.

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.2	2.7	3.4	3.9	4.4	5.0	5.5

Come emerge chiaramente dalla lettura delle sopra riportate tabelle, l'aumento dei valori estremi di altezza d'onda per il solo settore secondario, importante per valutare le onde estreme in paraggi simili a Santa Margherita, riparati dalla traversia principale di Libeccio, sono valutabili pari a circa 70÷90 cm, corrispondenti a circa il 20% dei valori antecedenti la mareggiata del 29-30 ottobre 2018.

2.6 Eventi estremi a costa

Si riportano i valori a costa con dati relativi al periodo 2000-2018, includendo, quindi, la mareggiata del 29/10/2018; I dati a costa sono stati estrapolati in prossimità del rilevato ad una distanza dalla costa di circa 50m, su un fondale profondo circa 15 m e precisamente nel punto di coordinate 44.3209° (latitudine), 9.2164° (longitudine), come mostrato nella figura che segue.

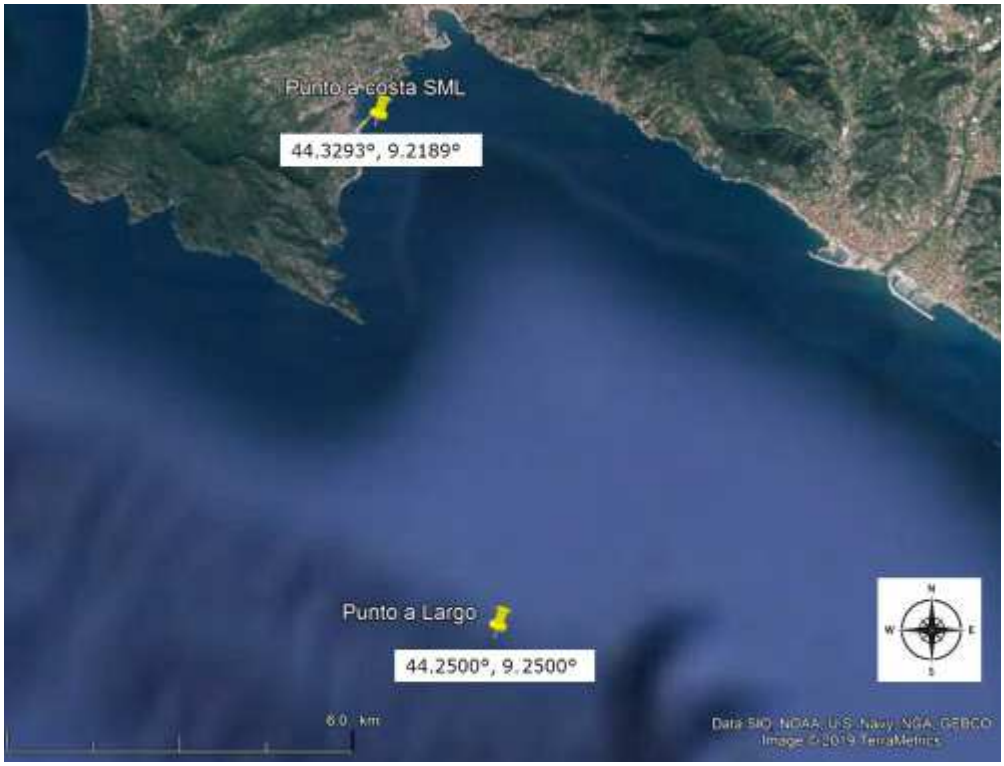


Figura 2.2: Localizzazione dei punti a largo e a costa per la caratterizzazione del clima ondoso presso Santa Margherita Ligure

Gli eventi estremi a costa provenienti, a largo, dall'intero settore di traversia (140-240°N) sono riportate nelle tabelle seguenti:

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.4	2.8	3.2	3.4	3.7	4.1	4.4

Altezza d'onda significativa a costa associata a diversi tempi di ritorno per onde provenienti a largo dall'intero settore di traversia (140-240°N) - Distribuzione di Gumbel

	tempo di ritorno [anni]						
	1	2	5	10	20	50	100
Hs [m]	2.4	2.7	3.2	3.5	3.9	4.3	4.7

Altezza d'onda significativa a costa associata a diversi tempi di ritorno per onde provenienti a largo dall'intero settore di traversia (140-240°N) - Distribuzione di Weibull

3. INDIVIDUAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO E DEI PARAMETRI CORRELATI

3.1 Tempo di ritorno

Il calcolo dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento delle opere a progetto è stato eseguito secondo i criteri suggeriti nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime", approvate dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 23 Settembre 1994 n. 156.

In particolare si è assunta come durata di vita minima Tv per l'opera a progetto la vita minima per un'infrastruttura ad uso specifico con livello di sicurezza richiesto pari a 1, ossia 15 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dell'opera è stata assunta la probabilità di danneggiamento incipiente come consigliato per strutture flessibili (le opere in esame non sono soggette a collasso strutturale immediato) con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa (il rapporto tra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti per la perdita di funzionalità delle opere protette ed il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5), ossia P_f bassa pari a 0,50.

La combinazione del tempo di vita dell'opera e della probabilità di danneggiamento determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} secondo la relazione:

$$T_{rp} = T_v / [- \ln(1-P_f)]$$

Ne consegue che il tempo di ritorno in caso di ripercussione economica bassa risulta pari a 21 anni; cautelativamente, per i calcoli progetto si assume tempo di ritorno pari a 50 anni.

L'altezza d'onda da utilizzare per le verifiche risulta quindi quella dell'onda con tempo di ritorno 50 anni calcolata cautelativamente alla profondità di 10 m, come individuata nell'ambito della statistica condotta da LABIMA e sintetizzata ai paragrafi precedenti, con l'applicazione della distribuzione di Weibull, che risulta H_s = 4,30 m.

Essendo l'opera a progetto molto vicina a costa, l'altezza d'onda sarà limitata dal frangimento, in funzione della profondità.

3.2 Correlazione tra altezza d'onda e periodo

Dato che non esistono relazioni universalmente valide per la definizione di un periodo (sia esso medio o di picco) da associare alle onde significative estreme, per individuare il periodo da

associare ai valori estremi di altezza d'onda è stata utilizzata la relazione basata sui dati relativi al punto al largo del Golfo del Tigullio ottenuti tramite simulazione con il modello WW3-DICEA per il periodo 2000-2018 che tiene in conto dei fattori locali quali la morfologia e l'orografia dell'area in esame.

$$T_p = 6.26 * H_s^{0.34}$$

Tale relazione può, in prima approssimazione, essere considerata rappresentativa anche per il moto ondoso a costa.

Il legame fra periodo $T_{m-1,0}$ e periodo di picco T_p, specificatamente verificato con i dati a largo di Rapallo può essere espresso con buona approssimazione dalla seguente relazione:

$$T_p = 1{,}14 * Tm_{-1,0}$$

3.3 Livello idrico

La scogliera a progetto non ha funzioni di limitazioni della tracimazione, per cui le valutazioni sull'innalzamento del livello medio idrico non sono particolarmente rilevanti.

Ad ogni modo, per la valutazione del coefficiente di trasmissione, è stato considerato, in analogia con progettazioni analoghe, un innalzamento del livello del medio mare pari a circa 70 cm per eventi TR 50 anni.

Le analisi condotte in altre progettazioni hanno evidenziato una limitata correlazione tra altezze d'onda estreme e sopraelevazione del livello marino; tenendo tuttavia in considerazione il recente evento meteomarino occorso nell'Ottobre 2018, caratterizzato dalla concomitanza di altezze d'onda estreme e sopraelevazioni eccezionali del livello marino, è stato stabilito di associare all'altezza d'onda caratterizzata da un determinato periodo di ritorno il sovralzo meteorologico che presenta analoga ricorrenza statistica.

Tale combinazione di altezza d'onda-livello così determinata presenta un tempo di ritorno uguale o superiore a quello che caratterizza la stessa altezza d'onda e risulta pertanto cautelativa ai fini delle valutazioni progettuali.

Da quanto sopra riportato, è quindi possibile stimare che il livello medio rispetto allo zero IGM dovuto alla marea meteorologica, a quella astronomica e all'innalzamento per eustatismo nel medio periodo per TR = 50 anni possa essere considerato pari a 0.70 m.

3.4 Definizione parametri di progetto

Sulla base delle risultanze dello studio eseguito, sono stati definiti i parametri di progetto, utilizzati per il dimensionamento delle opere, come segue:

- **Onda di progetto**: TR50 anni : Hs = 4.3 m, Tp = 11.5 s
- **livello idrico di riferimento**, pari a +70 cm.

4. CARATTERISTICHE DELLA SCOGLIERA

La scogliera prevista a progetto è ubicata in prosecuzione dello scoglio emerso esistente, che raggiunge quote pari a circa +2.70 m, immediatamente a tergo dello scoglio sommerso, che ha quote massime pari a circa -0.50 m.

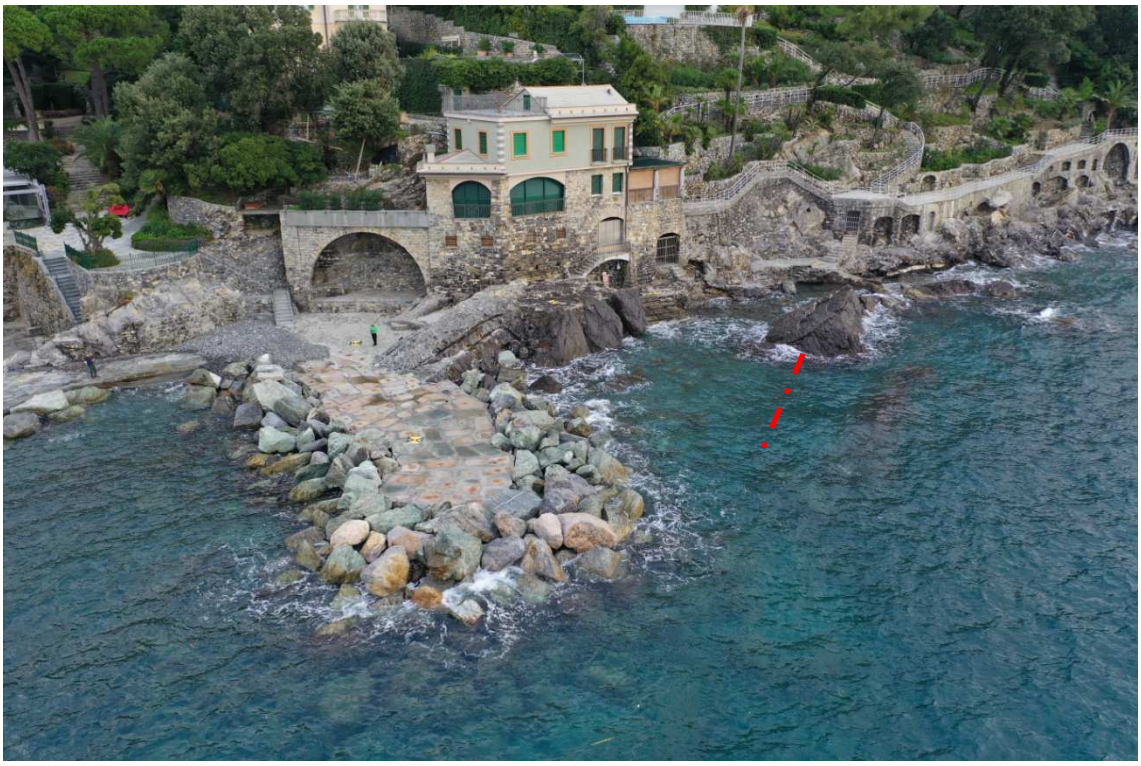


Foto 4.1: vista dell'area oggetto di intervento, con indicazione dell'asse della scogliera a progetto

Essa ha le seguenti caratteristiche (v. stralci grafici):

- lunghezza in asse pari a circa 15 m;
- larghezza della berma orizzontale: 6.50 m

- quota della berma orizzontale: +0.50 m
- pendenza mantellata verso largo : cotg α = 2.5 (nel fronte principale la scogliera va in appoggio sullo scoglio sommerso esistente)
- profondità al piede: è stata assunta cautelativamente la profondità di 5 m, batimetrica situata a circa 20 m a largo della scogliera a progetto.

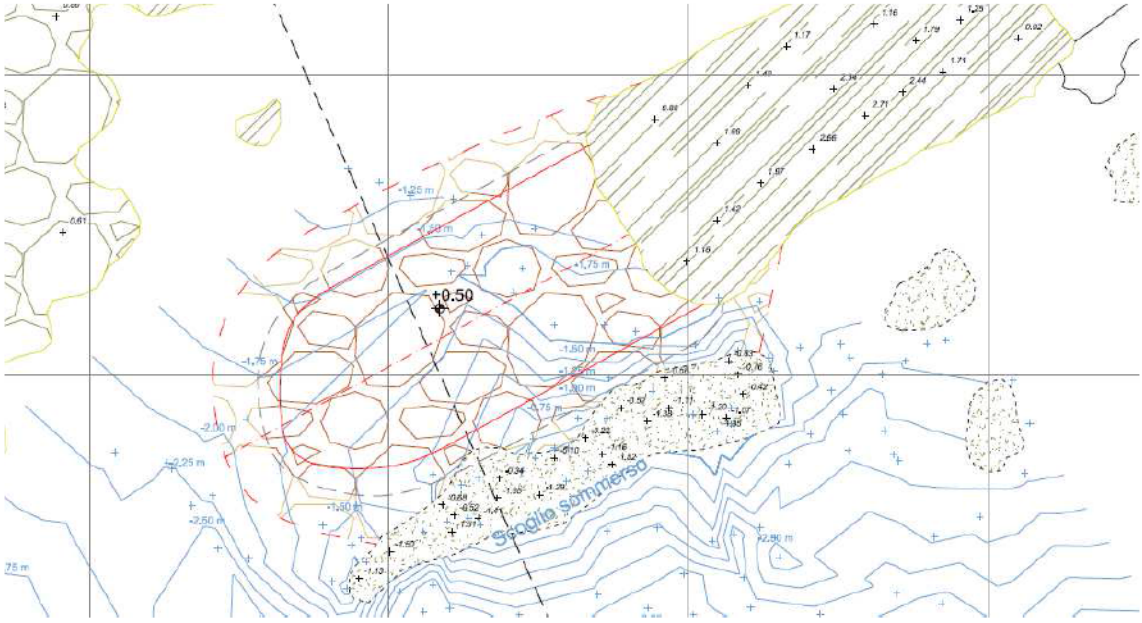


Figura 4.1 - Planimetria schematica della scogliera a progetto

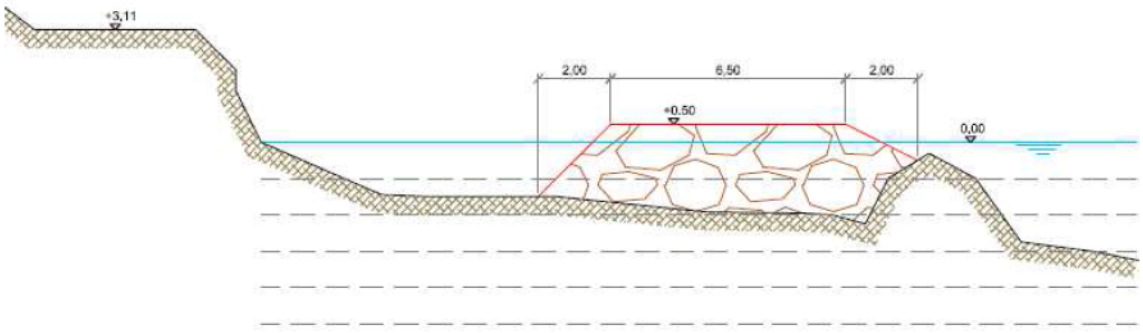


Figura 4.2 - Sezione tipo della scogliera a progetto

5. VERIFICA DI STABILITÀ DEI MASSI DELLA MANTELLATA

Per il dimensionamento dei massi della scogliera si è utilizzata la nota formula di Van Der Meer, riportata di seguito, che permette di tener conto dell'azione di onde irregolari e gli effetti della variabilità del periodo.

Formula di Van Der Meer

Per onda frangente tipo plunging ($\xi_m \leq 2.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n\,50}} = 6.2\,P^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{-0.5}$$

Per onda frangente tipo surging ($\xi_m \geq 3.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n\,50}} = 1.0\,P^{-0.13}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\sqrt{\cot\alpha}\;\xi_m^{P}$$

Per onde con frangimento intermedio ($2{,}5 < \xi_m < 3.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n\,50}} = \min\left(6.2\,P^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{-0.5};\,1.0\,P^{-0.13}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\sqrt{\cot\alpha}\;\xi_m^{P}\right)$$

in cui:

H_s = altezza d'onda significativa al piede della scogliera

ξ_m = parametro di surf o numero di Iribarren per il periodo medio $\quad \xi_m = \dfrac{\tan\alpha}{\sqrt{\dfrac{2\pi H_S}{g T_m^2}}}$

T_m = periodo d'onda medio (s)

α = pendenza della mantellata (°)

Δ = $(\gamma_m/\gamma_w - 1)$ = massa relativa del masso

γ_w = peso specifico dell'acqua marina (1030 Kg/m³)

γ_m= peso specifico del masso (2650 Kg/ m³)

D_{n50}= diametro nominale del masso, $D_{n50} = (W_{50}/\gamma_m)^{1/3}$ (m)

W_{50}= valore del peso corrispondente al 50% nella curva di distribuzione (kg)

P = coefficiente di permeabilità della struttura

S = livello di danneggiamento ammesso, $S = A/(D_{n50})^2$ (crf. tabella seguente)

A = area erosa nella sezione

N = numero di onde (tipicamente tra 1000 e 5000).

Nella tabella seguente sono riportati i valori del parametro S in funzione della pendenza.

Pendenza	Livello di danno S		
	Danno iniziale	Danno intermedio	Danno totale
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

LIVELLI DI DANNO PER MANTELLATE IN DOPPIO STRATO IN FUNZIONE DELLA PENDENZA

La verifica è stata condotta sia per indice di danneggiamento S=2 corrispondente a danno iniziale.

Si riporta di seguito la tabella di calcolo per le due scogliere previste.

Come onda di progetto è stata assunta l'onda frangente con tempo di ritorno 50-ennale alla profondità di 5m, il cui valore è pari a 3.90 m.

Dati

$\rho 0$ =	1 030.00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2 650.00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1.57		$\rho / \rho 0$ - 1
p*=	0.50		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	2.00		pendenza mantellata (1 su ...)
tg (α) =	0.50		1 / pendenza della mantellata
h =	5.00	m	profondità al piede
H_s =	3.90	m	H onda significativa
g =	9.81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	11.5	s	periodo di picco
T_s=	11.5	s	periodo significativo
T_m =	10.1	s	periodo medio
$L_{0\,m}$	159.20	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**3.195**		parametro di Iribarren
ξ mc =	3.536		parametro di Iribarren critico
S =	2.00		livello di danneggiamento
N =	3 000.00		numero onde presenti nella mareggiata (da 3000 a 5000)
Pers =	8.42	ore	durata della mareggiata
R_c=	0.50	m	altezza della mantellata sul l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m≤2,5—>	Hs/(△*Dn50)=	--	-
2,5≤ ξ m ≤3,5—>	Hs/(△*Dn50)=	1.43	frangimento intermedio plunging/surging
ξ m≥3,5—>	Hs/(△*Dn50)=	--	-

Ns = Hs/(Δ*Dn50)= ***1.43***

- Coefficiente di riduzione per moli a cresta bassa

$R_c / H_{1/3}$ =	0.13	<1	*fi applicabile*
fattore di controllo fi =	0.0080	< 0.052	
f_i	**0.83**	coeff. di riduzione moli a cresta bassa	

- Determinazione finale del parametro Ns, del diametro e peso del masso di progetto

Ns/fi = Hs/(Δ*Dn50)/fi= ***1.73***

D_{n50}	**1.43**	**m**	**diametro nominale medio**
W_{50}	**7 822**	**kg**	**peso medio del singolo masso di progetto**

Alla luce dei risultati ottenuti, per la realizzazione dell'opera saranno quindi utilizzati massi naturali delle seguenti pezzature:

- massi naturali di IV categoria (oltre 7 t) con peso compreso tra 7 e 10 t.

6. TRASMISSIONE ONDA A TERGO DELLA SCOGLIERA

E' stato valutato il miglioramento nella trasmissione dell'onda a tergo della scogliera stessa, confrontando i valori nella configurazione attuale con quelli nella configurazione a progetto.

A tal fine è stata eseguita la stima del coefficiente di trasmissione dell'onda dall'esterno all'interno delle scogliere, per il calcolo dell'onda trasmessa, come segue:

- altezza d'onda incidente e periodo: sono stati assunti i valori calcolati nello studio meteomarino (documento R04), ridotti in funzione della profondità al piede della scogliera (4.5 m), se frangenti, per i tempi di ritorno di 1, 10 e 50 anni:

TR (anni)	1	10	50
Hs (m)	2.4	3.5	3.9*

** altezza al frangimento alla profondità di 5.00 m*

- a tali valori è stata aggiunta la sopraelevazione del livello del medio mare, variabile da 20 a 70 cm in funzione del periodo di ritorno considerato;
- è stato eseguito il calcolo del coefficiente di trasmissione Kt utilizzando 8 formule di letteratura e considerando quale valore finale il massimo dei valori calcolati (nei limiti di validità delle singole formule, che in alcuni casi non sono applicabili);
- è stato effettuato il confronto tra il coefficiente di trasmissione nelle condizioni attuali e in quelle di progetto.

Vista l'elevata variabilità dei coefficienti e la forte sensibilità delle formule applicate, che restano valide solo all'interno di singoli range molto specifici, il valore più significativo che si ottiene con queste calcolazioni è la variazione relativa tra le due condizioni, mentre il valore assoluto resta affetto dalla forte dipendenza dai parametri sperimentali.

Il calcolo è stato eseguito per le seguenti condizioni:

- condizioni attuali e tempi di ritorno di 1,10, 50 anni;
- condizioni di progetto e tempi di ritorno di 1,10, 50 anni;

Le formule utilizzate per il calcolo del coefficiente di trasmissione sono le seguenti (il significato dei simboli è specificato nelle tabelle):

1 - Van Deer Meer (1990)

$$Kt = 0.46 - 0.3 * \frac{Rc}{Hs}$$

2 - Van der Meer e D'Angremond (1991)

$$Kt = \left(0.031 * \frac{Hs}{D_{50}} - 0.24\right) * \frac{Rc}{D_{50}} + b$$

3 - D'Angremond (1996)

$$Kt = -0.4 * \frac{Rc}{Hs} + \left(\frac{B}{Hs}\right)^{-0.31} * [1 - exp(-0.5 * \varphi)] * c$$

4 - Seabrook e Hall (1998)

(solo per scogliere sommerse – non utilizzata)

5 - Calabrese et al.

$$Kt = a * \frac{Rc}{B} + b$$

6 - Van der Meer e altri (2005)

$$Kt = a1 * \frac{Rc}{Hs} + a2 * \left(\frac{B}{Hs}\right)^{a3} * [1 - exp(a4 * \varphi)]$$

7 - Kondo e Sato (1) (1964)

$$Kt = 0.3 * \left(1.5 - \frac{Rc}{Hs}\right)$$

8 - Kondo e Sato (2) (1964)

$$Kt = 0.3 * \left(1.1 - \frac{Rc}{Hs}\right)$$

Vista la particolarità della situazione attuale (scoglio sommerso a quota -0.50 m), le formule dalla 3 alle 8 non sono applicabili, perché i valori di input sono al di fuori del range sperimentale di applicazione, pertanto sono stati utilizzati i risultati delle sole formule 1-2.

Come risulta dalla tabella di sintesi di seguito riportata, per le due scogliere si ottiene:

tempo di ritorno 1 anni : riduzione di Kt del 27.3 %

tempo di ritorno 10 anni : riduzione di Kt del 24.9 %

tempo di ritorno 50 anni : riduzione di Kt del 31.9 %

TEMPO DI RITORNO 1 ANNO

Condizioni : STATO ATTUALE

Onda trasmessa per evento con tempo di ritorno di 1 anni

RIEPILOGO	1	2	3	4	5	6	7	8	Kt e Ht max (per formule valide)
					non appl.			non appl	
Hs incidente [m]	**2.40**	**2.40**	**2.40**	**2.40**	2.40	**2.40**	**2.40**	**2.40**	**2.40**
Kt	0.55	0.58	-	-	-	-	-	-	0.58
Hs trasmessa [m]	**1.32**	**1.39**	**-**	**-**	-	**-**	**-**	**-**	**1.39**

Condizioni : STATO DI PROGETTO

Onda trasmessa per evento con tempo di ritorno di 1 anni

RIEPILOGO	1	2	3	4	5	6	7	8	Kt e Ht max (per formule valide)
					non appl.			non appl	
Hs incidente [m]	**2.40**	**2.40**	**2.40**	**2.40**	2.40	**2.40**	**2.40**	**2.40**	**2.40**
Kt	0.42	0.40	-	-	-	-	-	-	0.42
Hs trasmessa [m]	**1.01**	**0.95**	**-**	**-**	-	**-**	**-**	**-**	**1.01**

Riduzione onda trasmessa : **-27.3%**

TEMPO DI RITORNO 10 ANNI

Condizioni : STATO ATTUALE

Onda trasmessa per evento con tempo di ritorno di 10 anni

RIEPILOGO	1	2	3	4	5	6	7	8	Kt e Ht max (per formule valide)
					-			-	
Hs incidente [m]	**3.50**	**3.50**	**3.50**	**3.50**	-	**3.50**	**3.50**	**3.50**	**3.50**
Kt	0.54	0.60	-	-	-	-	-	-	0.60
Hs trasmessa [m]	**1.89**	**2.10**	**-**	**-**	-	**-**	**-**	**-**	**2.10**

Condizioni : STATO DI PROGETTO

Onda trasmessa per evento con tempo di ritorno di 10 anni

RIEPILOGO	1	2	3	4	5	6	7	8	Kt e Ht max (per formule valide)
					-			-	
Hs incidente [m]	**3.50**	**3.50**	**3.50**	**3.50**	3.50	**3.50**	**3.50**	**3.50**	**3.50**
Kt	0.45	0.43	-	-	-	0	0	0	0.45
Hs trasmessa [m]	**1.58**	**1.52**	**-**	**-**	-	**-**	**-**	**-**	**1.58**

Riduzione onda trasmessa : **-24.9%**

TEMPO DI RITORNO 50 ANNI

Condizioni : STATO ATTUALE

Onda trasmessa per evento con tempo di ritorno di 50 anni

RIEPILOGO	1	2	3	4	5	6	7	8	Kt e Ht max (per formule valide)
					-			-	
Hs incidente [m]	**3.90**	**3.90**	**3.90**	**3.90**	-	**3.90**	**3.90**	**3.90**	**3.90**
Kt	0.55	0.66	-	-	-	-	-	-	0.66
Hs trasmessa [m]	**2.15**	**2.57**	**-**	**-**	-	**-**	**-**	**-**	**2.57**

Condizioni : STATO DI PROGETTO

Onda trasmessa per evento con tempo di ritorno di 50 anni

RIEPILOGO	1	2	3	4	5	6	7	8	Kt e Ht max (per formule valide)
					-			-	
Hs incidente [m]	**3.50**	**3.50**	**3.50**	**3.50**	3.50	**3.50**	**3.50**	**3.50**	**3.50**
Kt	0.48	0.50	-	-	-	-	-	-	0.50
Hs trasmessa [m]	**1.68**	**1.75**	**-**	**-**	-	**-**	**-**	**-**	**1.75**

Riduzione onda trasmessa : **-31.9%**

7. SINTESI: CARATTERISTICHE, MANUTENZIONE

La scogliera verrà realizzata con massi naturali di pezzatura superiore a 7 t, avrà una volumetria di circa 400 mc e un peso di circa 800 t.

L'ubicazione e la conformazione della scogliera non consentono che la stessa svolga un'azione determinante per la protezione dell'area costiera a tergo, che permarrà a rischio in caso di mareggiate intense; la scogliera consente di ridurre la trasmissione ondosa di circa il 30% rispetto alle condizioni attuali.

Vista la conformazione e le dimensioni ridotte, nel tempo essa dovrà essere sottoposta a regolari interventi di manutenzione, mediante salpamento e ricollocamento dei massi fuori sagoma e rifiorimenti locali per mantenere la configurazione prevista.