A.S.TER. GENOVA S.p.A.

Progetto:

INTERVENTI DI DIFESA A MARE DELL'EDIFICIO "LA MARINELLA" SITO IN PASSEGGIATA ANITA GARIBALDI 18 A GENOVA NERVI

– progetto definitivo –

Opere finanziate con Ordinanza del CDPC n. 558 del 15 novembre 2018

Titolo:

RELAZIONE TECNICA GENERALE

Progettista:

Ing. Paolo Noce

Via Antonio Cecchi 9/15B – 16129 Genova
Cell. 329.9273739
e–mail ing.paolonoce@gmail.com

Committente:

A.S.TER. Genova S.p.A.
Via XX Settembre n. 15
16122 Genova (GE)
R.U.P. Dott.ssa Geol. Giacomina Andreola

Timbro e firma:



codice commessa:

MA2001

scale:

–

Tavola n°

A

revisioni:

–

data:

Luglio 2021

E' vietata a norma di legge la riproduzione anche parziale non autorizzata di questo documento.

INDICE

1 PREMESSA....2
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE....2
2.1 IL LITORALE DELLA PASSEGGIATA DI NERVI....2
2.2 CRITICITÀ....4
3 INDAGINI E RILIEVI....4
4 OPERE PREVISTE DIFESA DELLA MARINELLA....6
4.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO....6
4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE....7
5 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO....10
5.1 SETTORI DI TRAVERSIA....10
5.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO....11
5.3 PROPAGAZIONE DELL'ONDAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA....12
5.3.1 Processo di shoaling....12
5.3.2 Processo di saturazione....13
5.3.3 Determinazione dell'onda di progetto....13
5.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDA AL PIEDE DELL'OPERA....14
5.5 LIVELLO DEL MARE....15
6 EFFETTI DI DISSIPAZIONE DELL'OPERA....16
7 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA SOMMERSA....17
7.1 ONDA DI PROGETTO....17
7.2 CALCOLO DEI MASSI....18

1 PREMESSA

La presente relazione è redatta dallo scrivente su incarico di A.S.TER Genova S.p.A. a corredo del progetto definitivo delle opere di difesa dell'edificio "La Marinella" che trovasi sulla passeggiata Anita Garibaldi a Genova Nervi.

La costruzione si trova affacciata direttamente sul mare alla quota della passeggiata (circa 14 m s.l.m.), in area del Demanio marittimo; costruita nel 1933 in stile razionalista (su progetto dell'arch. Carlo Nicoli), con la forma di una nave incagliata sulla scogliera, era originariamente un albergo con tredici camere, una pasticceria e un ristorante; dopo un lungo periodo di decadenza e abbandono, nel 2017 è stata data in concessione ad un soggetto privato che si è impegnato a ristrutturarla e riqualificarla.

Dal 15 luglio 2014 è stato dichiarato edificio di interesse culturale, ex D.lgs. 42/2004, dal ministero per i Beni e le Attività Culturali.

Nel corso della eccezionale mareggiata del 29-30 ottobre 2018, quando i lavori di ristrutturazione erano già in corso, si verificarono notevoli danni alla struttura e alle opere provvisionali.

Il Comune di Genova ha affidato ad A.S.TER. una parte di un finanziamento ricevuto dalla Protezione Civile della Regione destinato ad interventi di ripristino dei danni delle mareggiate e di realizzazione di opere di salvaguardia della costa e delle infrastrutture.

Si è pertanto individuata la "Marinella di Nervi" come un fabbricato di significativo valore storico-architettonico, inserito in un pregevole contesto paesaggistico e naturale, quale la scogliera della passeggiata Anita Garibaldi e si è voluto finanziare un'opera a mare finalizzata a difendere tale bene.

Il progetto pertanto si è sviluppato su diversi fronti:

- si è anzitutto affidata una campagna di rilievi batimetrici a scala locale, ma eseguiti con notevole dettaglio, data la morfologia molto variegata dei fondali;
- si sono poi commissionate analisi dello stato dei fondali sotto l'aspetto biologico e ambientale, data la presenza del SIC marino IT 1332575 dei fondali di Nervi-Sori;
- si è infine voluto verificare la eventuale presenza di emergenze archeologiche nei dintorni, coinvolgendo un archeologo subacqueo professionista;
- la realizzazione dell'opera marittima ha infine richiesto studi e verifiche sul clima ondoso locale, che permettessero di posizionare correttamente l'opera, determinarne le dimensioni e verificarne l'efficacia;
- il progetto è infine corredato della relazione geologica e di una relazione di prefattibilità ambientale.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 IL LITORALE DELLA PASSEGGIATA DI NERVI.

La passeggiata di Nervi passa al margine sud dei Parchi e collega il Porticciolo di Nervi con la frazione di Capolungo; fu realizzata nel 1945 e intitolata ad Anita Garibaldi.

Lungo la passeggiata, all'altezza della stazione ferroviaria di Genova Nervi, è presente l'edificio della Marinella, che sorge ad una quota di circa 14 metri sul mare, con ingresso dal piano passeggiata e due piani superiori.

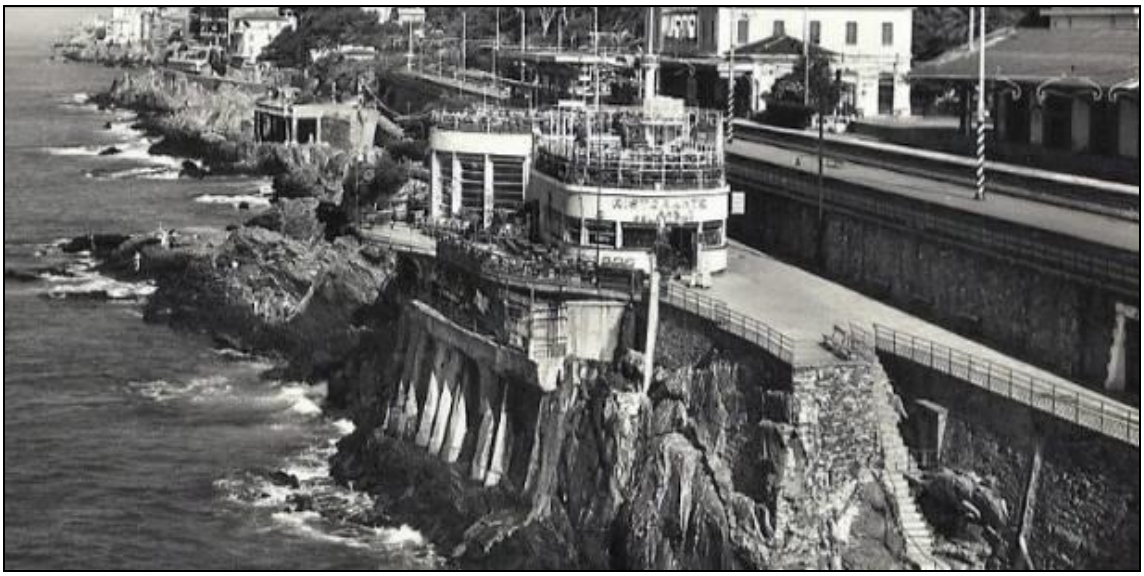


Figura 1 - La Marinella come si presentava negli anni '50

La scogliera antistante è caratterizzata da formazioni frastagliate di calcari inclinati con orientamento subverticale, disposti parallelamente alla linea di costa. I fondali sono rocciosi e si approfondiscono rapidamente a poche decine di metri da riva.

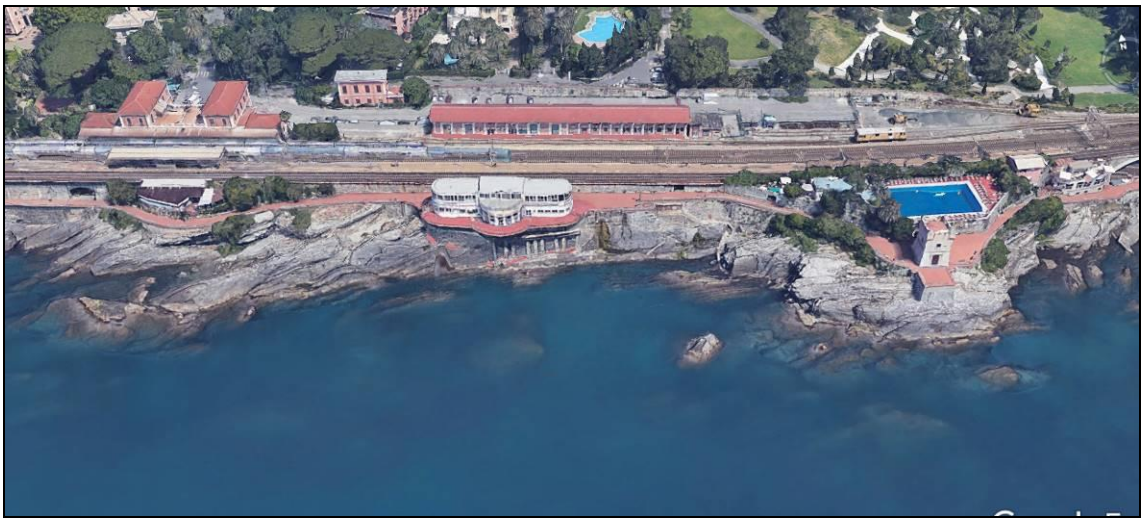


Figura 2 - La passeggiata di Nervi e la Marinella.

In ragione di ciò e della esposizione del sito che risulta aperto ai mari provenienti dai quadranti di scirocco e libeccio, la passeggiata è spesso schiaffeggiata dai marosi che raggiungono facilmente il piano pedonale.

La tromba d'aria che si abbattè sulla costa del levante genovese il 14 ottobre 2016 e soprattutto la mareggiata del 29-30 ottobre 2018 hanno devastato l'edificio della Marinella, sfondando un muro, abbattendo una parte del terrazzo e penetrando all'interno del fabbricato sul quale erano cominciati da poco i lavori di ristrutturazione.



Figura 3 - I fondali antistanti l'edificio della Marinella: è evidente la parte di fondali rocciosi ben distinta dalla successiva fascia di banchi sabbiosi.

2.2 CRITICITÀ.

Il fondale davanti alla costruzione si approfondisce rapidamente e a circa 30 metri da riva si rilevano già - 10 metri (vedi figura 3); l'apertura al moto ondoso e la mancanza difese sono alla base di uno stato potenzialmente vulnerabile del sito, al quale si intende – con questo progetto – porre rimedio.

3 INDAGINI E RILIEVI

Il litorale antistante la Marinella è stato attentamente rilevato e esaminato. Si è commissionato un rilievo batimetrico ad una ditta specializzata, che ha eseguito un'indagine su un ampio areale come indicato in figura (circa 500 metri di estensione e 250 m di profondità, sino alla batimetrica - 15 m).

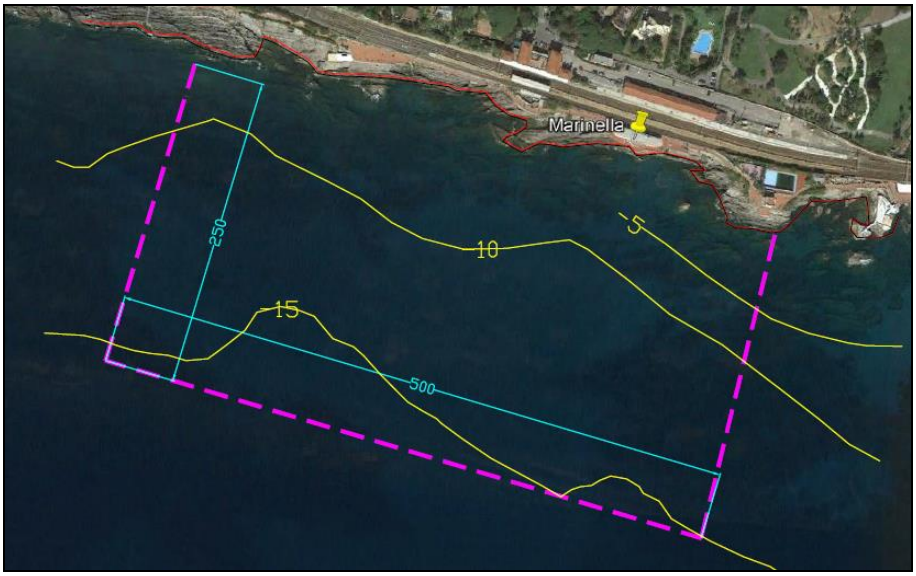


Figura 4 - Area rilevata davanti alla Marinella con strumentazione multibeam.

Si è utilizzata una strumentazione multibeam con risoluzione del rilievo 20 x 20 cm restituendo un piano quotato con isobate a scansione di 0,50 m.

La restituzione del rilievo sulle tavole di progetto è stata limitata alle isobate ogni metro, per non appesantire la grafica degli elaborati.

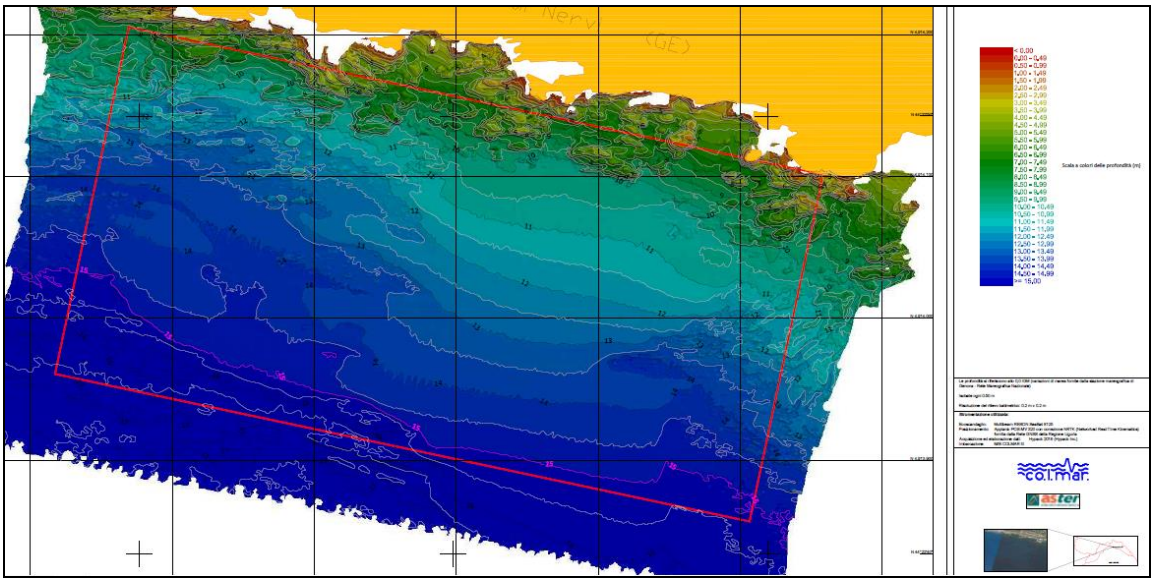


Figura 5 - Rilievo dei fondali con le curve isobatimetriche sino alla profondità di -15 m.

I dati rilevati nella campagna batimetrica sono stati utilizzati per la definizione del progetto, per la scelta del posizionamento e della orientazione dell'opera di difesa marittima, per il suo dimensionamento geometrico (quota sommergenza, inclinazione dei paramenti, larghezza sommità) e strutturale (categorie dei massi e peso degli elementi).

Trattandosi di fondali rocciosi con minima presenza di sedimenti, almeno nella parte interessata dalle opere, non si è ritenuto necessario eseguire indagini sedimentologiche con prelievo di campioni.

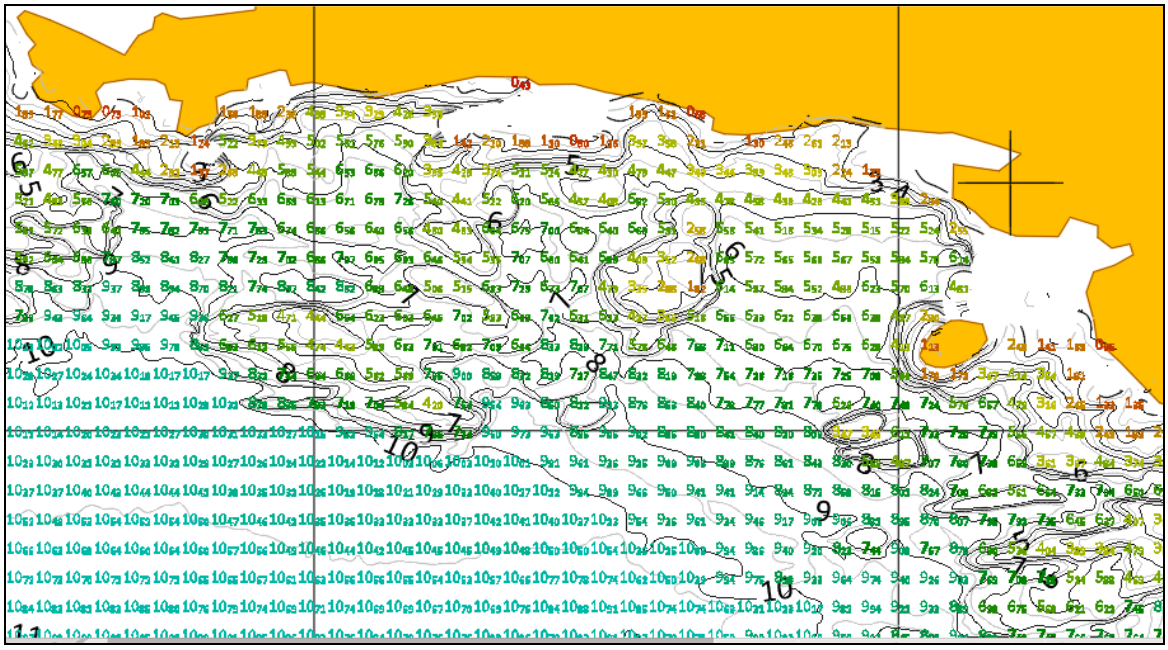


Figura 6 - Dettaglio del rilievo multibeam con le quote dei fondali.

La stazione appaltante (A.S.TER.) ha inoltre commissionato indagini biologiche marine, analisi geologiche e verifiche di interesse archeologico a professionisti specializzati, le cui relazioni sono state indispensabili al progettista per l'inquadramento ambientale del progetto.

Trattandosi di un intervento di difesa della costa in ambito marittimo infatti l'intervento ricade nella tipologia di cui al punto 7 lettera n) dell'Allegato IV al D.Lgs. 152/2006[1] in quanto *Opere costiere destinate a combattere l'erosione e lavori marittimi volti a modificare la costa mediante la costruzione di dighe, moli e altri lavori di difesa dal mare*.

Il progetto richiede pertanto l'attivazione di una procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA per l'ottenimento del parere della Regione Liguria.

I contenuti tecnici della verifica illustrati nei paragrafi seguenti sono quelli previsti dall'art.4 delle Norme Tecniche per la procedura di verifica/screening [2] e dell'art.19 del D.Lgs. 152/2006.

4 OPERE PREVISTE DIFESA DELLA MARINELLA

4.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO

L'intervento in oggetto è finalizzato alla protezione della porzione di scogliera sulla cui sommità è posta la passeggiata di Nervi ed in particolare dell'edificio della Marinella.

[1] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152: Norme in materia ambientale (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006);

[2] Aggiornamento delle Norme Tecniche per la procedura di verifica screening di cui alla DGR n° 1415/99 e s.m.i. ai sensi dell'art.16 della L.R. n° 38/98 e s.m.i.

Le mareggiate del 2018 e 2019 hanno colpito in maniera violentissima tutto il litorale ligure e anche la passeggiata di Nervi ha subìto forti danni.



Figura 7 - Mareggiata sulla Marinella.



Figura 8 - Gli effetti devastanti della mareggiata del 29-30 ottobre 2018

Occorre quindi prevedere interventi strutturali che permettano di proteggere le strutture e infrastrutture presenti sulla scogliera.

4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La soluzione è stata identificata in una barriera sommersa posta a difesa del paraggio, disposta in modo da assicurare la massima protezione al sito ove è stato realizzato l'immobile, sebbene si trovi a 14 metri di altezza sul livello del mare.

Si sfrutta la presenza di uno scoglio emergente sul lato di levante e si è progettata l'opera allineata parallelamente al fronte della falesia rocciosa, con un braccio curvato verso levante. Sull'estremo di ponente verrà posto un setto sommerso con funzione frangiflutti.

La barriera sommersa sarà posta ad una distanza variabile tra 35 e 45 metri dal piede della scogliera, su un fronte di circa 100 metri. La sezione trasversale sarà di forma trapezia con sommità a quota -2,00 metri larga 5 metri e paramenti inclinati 1 su 1,5 sia verso terra sia verso mare.

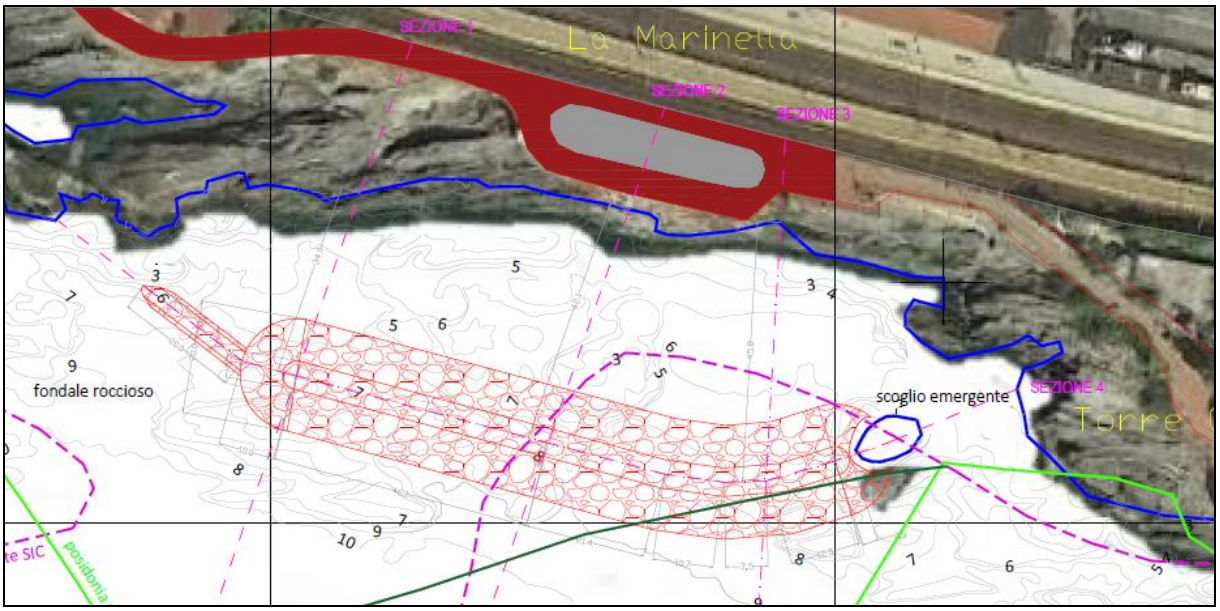


Figura 9 - Planimetria dell'opera di difesa marittima antistante La Marinella.

Il fondale in questo tratto è roccioso, stabile e pressoché sgombro, anche in ragione della fortissima azione del moto ondoso che "spazza" la costa con forte energia. Si potrà pertanto appoggiare l'opera marittima direttamente sul fondale, senza interposizione di imbasamenti di appoggio.

La barriera sarà costituita interamente da materiali naturali, massi di natura calcarea o comunque di caratteristiche cromatiche e litologiche simili a quelle degli ammassi rocciosi localmente affioranti. Il corpo della barriera avrà un nucleo formato da materiale di pezzatura ridotta (massi di II categoria con peso tra 1 e 3 tonnellate) protetti e ricoperti da una mantellata di massi decisamente più grossi (massi di IV categoria con peso superiore a 7 tonnellate).

La stabilità complessiva dell'opera è garantita dal peso complessivo del manufatto, in cui i massi verranno posati con cura, confezionando un mutuo incastro: i massi della mantellata superiore dovranno essere disposti in doppio strato per uno spessore non inferiore a 2-2,5 metri.

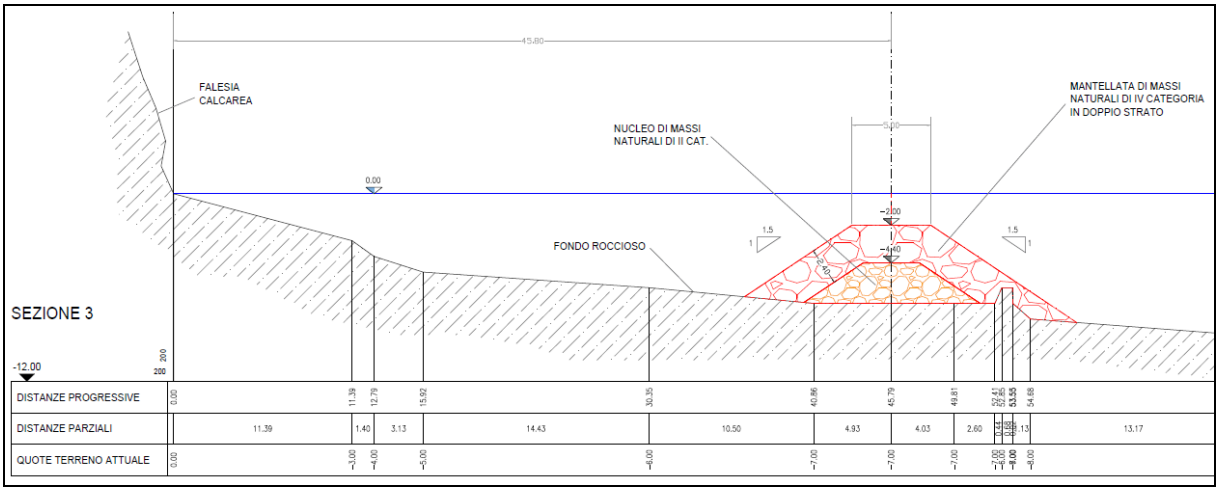


Figura 10 - Sezione trasversale tipo dell'opera marittima.

Sull'estremità di levante la barriera verrà raccordata ad uno scoglio emergente, mentre sul lato di ponente, rimanendo distaccata dalla falesia per circa 40 metri, si è ritenuto necessario realizzare in questo tratto un setto sommerso di massi di IV categoria che possa costituire un dispositivo dissipativo: in questo breve braccio di mare infatti la profondità dei fondali arriva a -8 metri ed è possibile che questo possa consentire una concentrazione di energia del moto ondoso ai danni della falesia. D'altra parte allungare la barriera (a quota – 2.00 m) sino alla scogliera retrostante poteva creare un bacino chiuso con scarso ricambio e rischio di intorbidimento delle acque proprio a ridosso dell'immobile.

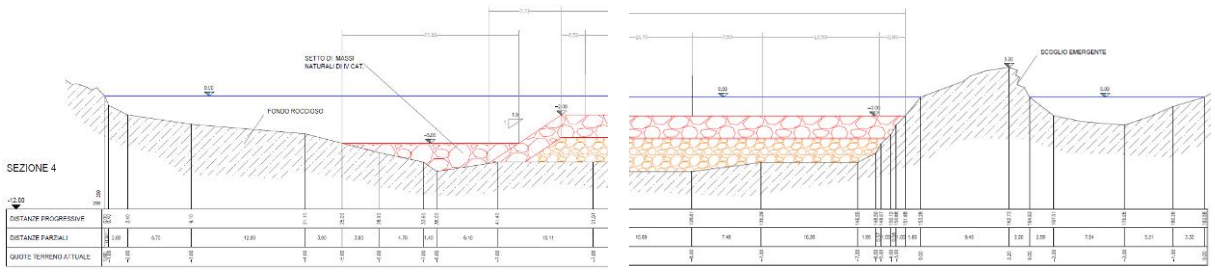


Figura 11 - Sezione longitudinale dell'opera: estremi di ponente (sx) e levante (dx)

L'intera opera verrà compiuta con l'ausilio di mezzi marittimi, che preleveranno i massi da zone di accumulo e deposito temporaneo, preventivamente scelte, alle quali verranno conferiti i massi provenienti da cave: saranno aree facilmente accessibili da mezzi terrestri (autocarri) e avvicinabili da mezzi marittimi (pontoni). In via preliminare si prevede che il punto di carico più agevole sia il Porto di Genova.

I massi dovranno avere caratteristiche litologiche, cromatiche del tutto simili a quelle degli ammassi rocciosi dell'ambito in cui verranno disposti. Non saranno quindi accettabili elementi lapidei di marmo o con cromatismi e caratteristiche litostragrafiche non equiparabili alle formazioni calcaree in sito (Formazione dei Calcari di M.te Antola).

L'analisi meteomarina riportata nei successivi capitoli ha mostrato come l'opera consenta una diminuzione dell'altezza d'onda incidente di oltre il 50% circa con una sensibile riduzione dell'energia associata.

Ciò garantisce una significativa protezione della scogliera e soprattutto delle strutture e infrastrutture ivi presenti, con una riduzione dell'energia delle onde incidenti e del conseguente run-up sulla scogliera.

I lavori verranno svolti con impiego di un pontone rimorchiato o motorizzato, con capacità di carico tale da trasportare un quantitativo di massi da essere movimentati nell'arco di una giornata (circa 400-500 tonnellate). Sul pontone sarà alloggiata una gru dotata di grappo o benna a polpo che preleverà i massi uno alla volta e li poserà sul fondale.

Le operazioni saranno svolte con il supporto di un sommozzatore che, periodicamente, controllerà la corretta posa del materiale e il rispetto della sagoma di progetto.

Al fine di mitigare il disagio conseguente ai lavori e ridurre l'inquinamento all'ambiente marino si raccomanda che vengano poste panne galleggianti antinquinamento, che verranno stese tra la zona operativa di lavoro e la scogliera. La costruzione della barriera dovrà essere eseguita in senso longitudinale "a strati successivi", procedendo dapprima al versamento del materiale di pezzatura inferiore (massi di II categoria) che costituisce il nucleo e provvedendo subito dopo alla realizzazione della mantellata di protezione con i massi di IV categoria, al fine di non lasciare esposto il nucleo.

5 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO

5.1 SETTORI DI TRAVERSIA

Il paraggio di Nervi ha due settori di traversia: quello di libeccio (SW) e di meridione-scirocco (SSE).

Il settore di traversia principale (che conduce a valori di altezza d'onda maggiori) è quello di libeccio (195°-225° N) compreso indicativamente tra le isole Baleari e la costa occidentale della Sardegna. Il settore secondario è quello proveniente dal Tirreno tra la costa toscana e la Corsica.

Nella mappa rappresentata nella figura seguente sono tracciati i settori di traversia del paraggio.

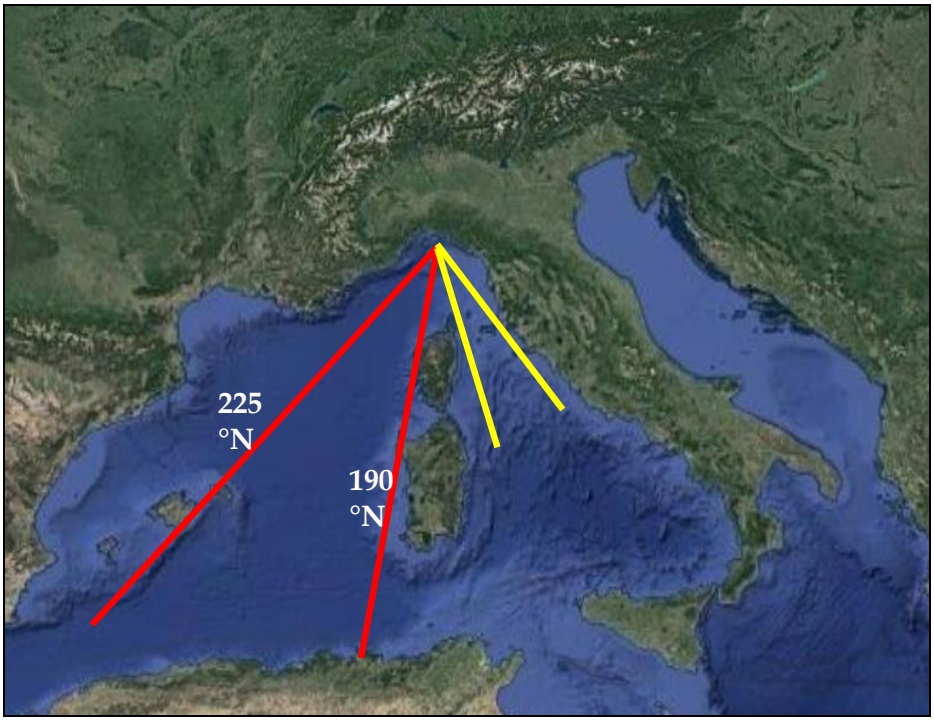


Figura 12 - Settori di traversia principale (rosso) e secondario (giallo) del paraggio di Nervi.

5.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO

La stima delle caratteristiche del moto ondoso che può incidere sull'opera in progetto deriva dal calcolo della propagazione dello stato del mare dalle alte profondità verso riva.

Per la valutazione delle grandezze caratteristiche (altezza d'onda, periodo, lunghezza d'onda) si è fatto riferimento ai dati forniti dal K.N.M.I. (Istituto della Marina Reale Olandese), elaborati dal Prof. Boccotti (1986) i cui risultati sono riportati nella tabella seguente.

ZONA 2 DA PUNTA DI PORTOFINO A CAPO DI VADO **Settori di provenienza: scirocco, mezzogiorno, libeccio**						
dir °N	TR (anni)					
	1		50		100	
	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)
150	2.5	7.1	5.4	10.5	5.8	10.9
180	3.1	7.9	6.0	11.0	6.5	11.5
210	3.4	8.3	7.8	12.6	8.5	13.2

Tabella I: altezza e periodo di picco dell'onda al largo di Genova per vari settori di provenienza e diversi tempi di ritorno (Boccotti).

Per il settore di traversia che interessa il sito di intervento si fa riferimento ad un angolo di 210°, che costituisce la direzione più prossima alla media del settore di traversia principale individuato.

Mediante interpolazione logaritmica dei dati per lo stesso settore di provenienza sono stati ricavati i valori anche per i tempi di ritorno di 5, 10, 20 e 75 anni.

Di seguito sono riassunti i valori risultanti per la direzione di 210°N e tempi di ritorno variabili tra 1 e 100 anni:

T [anni]	H [m]	Tp [s]
1	3.4	8.3
5	5.2	10.3
10	6.0	11.0
20	6.7	11.7
50	7.8	12.6
75	8.2	12.9
100	8.5	13.2

Tabella II – Caratteristiche delle onde al largo per la direzione di 210° N.

5.3 PROPAGAZIONE DELL'ONDAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA

Trattandosi di opera sotto costa l'onda di progetto che si assume a base dei calcoli è quella di altezza massima compatibile con la profondità dell'opera da realizzare.

La lunghezza d'onda al largo è calcolata con la relazione valida su profondità infinita:

$$L_{p0} = gT^2/2\pi$$

Lo studio del moto ondoso in corrispondenza dell'area costiera tiene conto dei fenomeni di interazione dell'onda con i fondali sui quali si propaga, in particolare degli effetti di *shoaling* e *saturazione*.

A favore di sicurezza non vengono considerati nel calcolo gli effetti di *rifrazion*e, considerando un moto ondoso con attacco frontale.

La profondità del fondale antistante il paraggio in esame è limitata, per cui si utilizza un modello spettrale in cui compaiono i processi di *shoaling* e *saturazione* fino alla profondità limite. Dalla profondità limite fino alla profondità di frangimento, si utilizza un modello ad onde regolari in cui interviene soltanto il processo di *shoaling*.

5.3.1 Processo di shoaling

Secondo il modello di propagazione dal largo fino alla profondità limite l'altezza d'onda spettrale di *shoaling* (H_{sh}), che rappresenta la conservazione dell'energia da profondità infinita a profondità finita, si ricava da:

$$H_{sh}=K_s \cdot H_{m0}$$

dove H_{m0} è l'altezza d'onda su profondità infinita e K_s è il coefficiente di *shoaling* pari a:

$$K_s = \sqrt{\frac{2 \cdot \cosh^2(kh)}{2kh + senh(2kh)}}$$

con $k = 2\pi/L_p$ numero d'onda e L_p lunghezza d'onda che, per profondità finita h, è uguale a:

$$L_p = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_p}\right)$$

5.3.2 Processo di saturazione

Il processo di *saturazione* interpreta le dissipazioni superficiali di energia conseguenti ai frangimenti parziali tipo *spilling* che si hanno nella propagazione dal largo verso riva, di conseguenza l'onda spettrale di saturazione rappresenta un valore limite, cioè l'onda di massima altezza che può esistere nello stato di mare considerato.

Assumendo la profondità limite adimensionalizzata σ_{hp} pari a 0.6 e definita come:

$$\sigma_{hp} = \left(\frac{2\pi}{T_H}\right)\sqrt{\frac{h^*}{g}}$$

si ricava la profondità limite h^*.

L 'altezza spettrale di saturazione H_{sat} alla profondità limite h^* si ottiene dalla relazione di Resio[3]:

$$\frac{H_{sat}}{L_p^{0.75}} = \frac{H_{m0}}{L_{p0}^{0.75}}$$

dove L_p è la lunghezza d'onda alla profondità limite, L_{p0} è la lunghezza d'onda alla profondità infinita e H_{m0} è l'altezza d'onda alla profondità infinita.

5.3.3 Determinazione dell'onda di progetto

L'altezza d'onda spettrale effettiva H_{mE} alla profondità limite è quindi data dalla seguente espressione:

$$H_{mE} = min\ \{ H_{sh}, H_{sat} \}$$

Dall'altezza effettiva d'onda H_{mE} si ricava l'altezza d'onda spettrale fittizia al largo H_{m0}' che rappresenta l'altezza d'onda, la cui propagazione restituisce l'altezza H_{sat} alla profondità limite h^*.

L'altezza d'onda spettrale fittizia alla profondità limite h^* può essere espressa come:

$$H_{m0}' = H_{m0E} / K_s^*$$

dove K_s^* è il coefficiente di *shoaling* alla profondità limite pari a 1.

Il modello di propagazione dalla profondità limite fino alla profondità di frangimento tiene conto solo del processo di *shoaling* e permette di calcolare l'altezza d'onda H_h alle varie profondità h_i fino al frangimento.

Il valore di H_h è pari al prodotto fra l'altezza d'onda spettrale fittizia H_{m0}' e il coefficiente di *shoaling* $K_s(h_i)$ calcolato alla profondità h_i.

Il calcolo dell'altezza d'onda è effettuato distinguendo tra acque basse e acque intermedie secondo le seguenti formulazioni:

acque basse d/L<0.04 $\qquad L = T \cdot \sqrt{g \cdot h}$

[3] Resio D.T. - *Shallow water waves* - Journ. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering - vol. 113 - N° 3 - 1987.

acque intermedie 0.04< d/L<0.5 $$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot Th\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)$$

$$K_s = \sqrt{\frac{2Ch^2(kh)}{2kh + Sh(2kh)}}$$ con k (numero d'onda)= $\frac{2 \cdot \pi}{L}$

L'altezza dell'onda frangente per fissate profondità h è calcolata utilizzando la formula di Mac-Cowan-Munk

$$\frac{H_f}{h} = 0.78$$

Confrontando l'altezza dell'onda frangente H_f con l'altezza ricavata dal modello di propagazione per i soli effetti di *shoaling* H_h, si ottiene l'altezza d'onda frangente e la relativa profondità all'uguaglianza dei due valori $H_f = H_h$.

5.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDA AL PIEDE DELL'OPERA

Sula base della teoria esposta ai paragrafi precedenti, a partire dai valori di onda al largo ricavati da Boccotti per la direzione di 210 °N, sono state calcolate le caratteristiche dell'onda al piede dell'opera di protezione a mare.

Il calcolo è stato effettuato per gli eventi con tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 75 e 100 anni ricavando le caratteristiche dell'onda sul fondale di -7,00 m assunto come riferimento per la base della scogliera di protezione esistente.

A favore di sicurezza non si è tenuto conto dell'effetto di rifrazione, che tenderebbe a diminuire l'energia e abbassare ulteriormente l'altezza d'onda.

I risultati sono riassunti nella tabella seguente:

Periodo di ritorno	**Profondità al frangimento**	**Altezza d'onda al frangimento**	**Lunghezza d'onda al frangimento**	**Altezza d'onda su fondale -7 m**
T [anni]	h_f [m]	H_f [m]	L_f [m]	$H_{7.00}$ [m]
1	3,20	2,50	45,18	2,17
5	4,80	3,74	68,46	3,57
10	5,50	4,29	78,58	4,22
20	6,25	4,88	88,91	4,82
50	7,20	5,62	102,73	5,46 (*)
75	8,00	6,24	112,96	5,46 (*)

(*) onda frangente

Tabella III – Onde al piede dell'opera in funzione del tempo di ritorno.

Sul fondale di -7,00 m l'altezza dell'onda frangente è pari a 5,46 m circa, per cui le onde con tempi di ritorno inferiori a 50 anni arrivano al piede della scogliera non ancora fratte; proprio su queste onde quindi è particolarmente efficace la presenza della barriera sommersa che, con l'innalzamento improvviso e brusco del fondale, crea un disequilibrio all'onda incidente che provoca il suo frangimento con conseguente dissipazione localizzata dell'energia.

Le onde con tempo di ritorno di 50 e 75 anni, quelle più severe, arrivano al piede dell'opera già fratte e quindi in parte già depotenziate.

5.5 LIVELLO DEL MARE

Al fine di valutare correttamente l'effetto della barriera dissipatrice sul moto ondoso incidente, si è valutato il valore dell'innalzamento medio probabile (*storm-surge*) del livello del medio mare in occasione di eventi di mareggiata, somma di più fattori, quali marea, pressione barometrica, moto ondoso.

La valutazione è stata effettuata a partire dai valori dell'innalzamento registrati al mareografo del porto di Genova, la cui statistica è riportata di seguito:

Il mareografo è posto all'interno del bacino portuale, pertanto è in grado di tenere in considerazione i seguenti contributi alla composizione del livello superficiale totale:

- contributo della marea astronomica;
- contributo della pressione atmosferica (effetto di "barometro inverso");
- contributo del vento (effetto "wind setup", ovvero schiacciamento della massa d'acqua verso terra in concomitanza con intensi venti provenienti dal mare).

La statistica dei livelli per assegnato tempo di ritorno è stata impostata sui 40 valori più elevati registrati dal mareografo ed ha fornito i valori riportati nella tabella seguente.

T [anni]	**storm-surge [m]**
1	0,481
5	0,579
10	0,620
20	0,662
50	0,720
75	0,740
100	0,760

Tabella V – Effetto di innalzamento del livello di medio mare nel corso di una mareggiata.

In base a tali valori, tenendo conto dell'indipendenza stocastica dei due fenomeni (onda e innalzamento livello medio mare), si è ricercato il valore medio probabile dell'innalzamento che conduca alla corretta correlazione statistica tra i due fenomeni.

Tale analisi ha condotto ad assumere un valore medio dell'innalzamento pari a 0,52 m, che è stato associato a tutti gli eventi di mareggiata per diversi tempi di ritorno.

In base a tali considerazioni sono stati quindi ricalcolati i valori dell'onda al piede dell'opera, tenendo conto del valore calcolato dell'innalzamento del medio mare.

In questo caso il fondale su cui calcolare la relativa altezza d'onda diventa pari a -7,52 m (somma di 7,00 m del fondale in condizioni normali e 0,52 m di sovralzo del medio mare).

Nella tabella seguente sono riportati i valori dell'altezza d'onda riscalati sulla profondità di -7,52 m.

Periodo di ritorno **T anni]**	**Altezza d'onda su fondale di – (7,00 + 0,52) = - 7,52 m** **$H_{7.00}$ [m]**
1	2,17
5	3,57
10	4,22
20	4,82
50	5,46 (*)
75	5,46 (*)

(*) onda frangente

Tabella V – Altezze d'onda al piè d'opera per vari tempi di ritorno.

6 EFFETTI DI DISSIPAZIONE DELL'OPERA

La barriera sommersa con sommità a quota -2,00 m posata su un fondale di – 7,00 m circa costituisce un elemento di forte dissipazione del fronte d'onda incidente, sia per la improvvisa e brusca variazione alla morfologia del fondo, sia per la sua estensione trasversale (larghezza in testa 5,00 metri e larghezza al fondo 20 metri).

A partire dall'altezza dell'onda a monte della soffolta H_m, è stata modellata la trasmissione in corrispondenza dell'opera di difesa determinando l'altezza dell'onda trasmessa a valle della stessa.

La valutazione quantitativa del fenomeno è fornita dal coefficiente di trasmissione:

$$K_t = \frac{H_{tr}}{H_{si}}$$

dove K_t è il coefficiente di trasmissione, H_{tr} è l'altezza dell'onda trasmessa e H_{si} è l'altezza dell'onda incidente a monte della soffolta.

Per la determinazione di K_t è stata utilizzata la recente formulazione proposta da Van der Meer (Van der Meer et al., 2005) ottenuta sulla base di studi effettuati su un numero molto elevato di dati rilevati nel corso di esperimenti su strutture a cresta bassa parzialmente sommerse o completamente sommerse.

Per le strutture permeabili, parzialmente o completamente sommerse, valgono le seguenti relazioni:

$$\begin{cases} per\ \frac{B}{H_{si}} < 10: K_t = -0.4\ \frac{R_c}{H_{si}} + \left[1 - e^{-0.5\xi_p}\right] * c * \left(\frac{B}{H_{si}}\right)^{-0.31} \\ per\ \frac{B}{H_{si}} > 10: K_t = -0.35\ \frac{R_c}{H_{si}} + 0.51\left[1 - e^{-0.41\xi_p}\right] * c * \left(\frac{B}{H_{si}}\right)^{-0.65} \\ con\ K_{t,min} = 0.05\ e\ K_{t,max} = -0.006\ \frac{B}{H_{si}} + 0.93 \end{cases}$$

dove B è la larghezza della testa, R_c è la sommergenza della barriera, H_{si} è l'altezza dell'onda incidente a monte della soffolta, ξ_p è l'indice di frangimento e c è un coefficiente pari a 0,64 per le strutture permeabili in massi.

L'indice di frangimento ξ_p è definito come il rapporto adimensionale tra la pendenza della struttura e la ripidità dell'onda:

$$\xi_p = \frac{tg(\alpha)}{\sqrt{2\pi \frac{H_{si}}{L_{si}}}}$$

dove α è l'inclinazione del paramento della struttura, H_{si} è l'altezza dell'onda incidente a monte della soffolta, L_{si} è la lunghezza dell'onda incidente a monte della soffolta.

Tempo di ritorno dell'onda incidente	*[anno]*	**1**	**5**	**10**	**20**	**50**	**75**
profondità fondale monte soffolta	[m]	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
innalzamento mare (storm-surge)	[m]	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
altezza onda a monte soffolta	[m]	2,17	3,57	4,22	4,82	5,46	5,46
lunghezza d'onda a monte soffolta	[m]	45,18	68,46	78,58	88,91	102,73	112,96
celerità a monte soffolta	[m/s]	5,43	6,65	7,13	7,59	8,15	8,76
sommergenza della soffolta	[m]	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00
sommergenza + innalz. mare	[m]	-2,52	-2,52	-2,52	-2,52	-2,52	-2,52
larghezza testa soffolta	[m]	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
ripidità onda a piè d'opera	[-]	0,048	0,052	0,054	0,054	0,053	0,048
coefficiente di trasmissione	[-]	0,572	0,539	0,526	0,518	0,519	0,545
altezza d'onda trasmessa	[m]	1,24	1,92	2,22	2,50	2,84	2,98

Tabella VI – Effetto dissipativo della barriera sommersa.

Risulta quindi che per quasi tutte le ondazioni l'abbattimento della altezza d'onda è di circa il 50%; poiché l'energia è proporzionale al quadrato dell'altezza d'onda, ciò significa una riduzione dell'energia incidente del 75 % circa.

7 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA SOMMERSA

7.1 ONDA DI PROGETTO

Il calcolo dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento della barriera sommersa è stato eseguito secondo i criteri indicati 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 minima di vita *Tv* per l'opera a progetto, quella corrispondente ad un'opera strategica quale una struttura a difesa di una costruzione civile con livello di sicurezza pari a 1, ossia 50 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dell'opera *Pf* è stata assunta quella corrispondente al danneggiamento incipiente come consigliato per le 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 e il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5), ossia *Pf* = 0,50.

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15

Tabella VII

La combinazione del tempo di vita dell'opera *Tv* e della probabilità di danneggiamento *Pf* determina il tempo di ritorno dell'evento di T_{rp}:

$$T_{rp} = \frac{T_v}{-\ln(1-P_f)} = 72 \text{ anni}$$

Ai fini dei calcoli è stato quindi assunto, cautelativamente, un tempo di ritorno dell'onda di progetto pari a 75 anni.

7.2 CALCOLO DEI MASSI

Si riporta di seguito il calcolo di dimensionamento preliminare dei massi della scogliera.

L'espressione più largamente utilizzata per determinare il peso degli elementi della mantellata è quella di **Hudson**, ricavata in base ad un grande numero di risultati sperimentali.

$$P = \frac{\gamma_m * H^3}{K_D * \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1\right)^3 * \cot\alpha}$$

dove:

- H = onda di progetto (assunta nel caso in esame pari a quella 75-ennale)
- α = angolo che la scarpata forma con l'orizzontale (cotg α = scarpa della mantellata)

- γ_m = peso specifico dei massi costituenti la mantellata (2,65 t/m^3)
- γ_a = peso specifico dell'acqua di mare (1,03 t/m^3)
- K_D = coefficiente che sintetizza le caratteristiche relative a forma, angolo di attrito interno e indice dei vuoti degli elementi che costituiscono la mantellata

Il coefficiente K_D è tabellato nello Shore Protection Manual e in numerose pubblicazioni in letteratura in funzione della tipologia di elemento e della percentuale di danneggiamento:

Tipo di elemento		**Percentuale di danneggiamento (D)**						
		0÷5	5÷10	10÷15	15÷20	20÷30	30÷40	40÷50
Massi naturali (a spigoli arrotondati)	$H/H_{D=0}$	1,00	1,08	1,14	1,2	1,29	1,41	1,54
	K_D	2,4	3,0	3,6	4,1	5,1	6,7	8,7
Massi naturali (a spigoli vivi)	$H/H_{D=0}$	1,00	1,08	1,19	1,27	1,37	1,47	1,57
	K_D	4,0	4,9	6,6	8,0	10,0	12,4	15,0

Tabella IX – Percentuale di danneggiamento della mantellata di scogli naturali

Considerando un "danneggiamento nullo", corrispondente ad una situazione di perdita molto limitata e facilmente riparabile degli elementi (1÷5 %), ed una scogliera realizzata in massi naturali a spigoli vivi disposti in doppio strato e con l'accortezza di porre i massi con il lato più lungo parallelo al piano della mantellata si può maggiorare il coefficiente K_D sino a 5,8 (vedi tabella X).

Esempi di valori consigliati del coefficiente K_D per determinare il peso degli elementi di mantellata.(1)

Elemento	n (3)	Posa in opera	Criterio di "non danneggiamento" con limitata tracimazione				
			Sezione corrente K_D (2)		Testata K_D		Scarpa
			Onda frangente	Onda non frangente	Onda frangente	Onda non frangente	Cot α
Masso naturale							
arrotondato	2	alla rinfusa	*1.2*	2.4	*1.1*	1.9	da 1,5 a 3,0 (5)
arrotondato	>3	alla rinfusa (4)	*1.6* (4)	3.2	*1.4* (4)	*2.3*	
a spigoli vivi	2	alla rinfusa	2.0	4.0	*1.9* *1.6* 1.3	3.2 2.8 2.3	1,5 2.0 3.0
a spigoli vivi	>3	alla rinfusa	*2.2*	*4.5*	*2.1*	*4.2*	(5)
a spigoli vivi	2	speciale (6)	5.8	7.0	*5.3*	6,4	(5)
Parallelepipedo (7)	2	speciale (1)	7.0-20.0	*8.5-24.0*	--	--	

(1) AVVERTENZA: i valori di k_D scritti in *italico* non sono stati prodotti da apposite prove di laboratorio e, pertanto, sono riportati solo per consentire una progettazione preliminare dell'opera.
(2) Per pendenze comprese tra 1/1.5 a 1/5.
(3) n è il numero di elementi compresi nello spessore della mantellata (numero di strati).
(4) Non è consigliato l'uso di un singolo strato nelle mantellate di massi naturali sottoposte a onde frangenti. Nel caso di onde non frangenti, è ammissibile il singolo strato solo nel caso di una attenta posa in opera dei massi.
(5) Nelle more dell'acquisizione di più dettagliate informazioni sulla variazione del coefficente k_D con la pendenza, l'uso del k_D dovrebbe essere limitato a pendenze comprese tra 1/1.5 a 1/3. Alcune prove su elementi di mantellata in testata mostrano una relazione funzionale tra k_D e pendenza.
(6) Speciale posa in opera con l'asse maggiore del masso posto normalmente al piano della mantellata.
(7) Massi sagomati con forma parallelepipeda quando la maggiore dimensione lineare è circa 3 volte più grande della piccola (Markle e Davidson, 1979).
(8) I valori si riferiscono al criterio di "non danneggiamento" (spostamenti e oscillazioni dei massi < 5%); se non si tollera l'oscillazione dei dolos (<2%) occorre ridurre il k_D del 50% (Zwamborn e Van Niekerk, 1982).
(9) La stabilità del dolos su pendenze superiori a 1/2 dovrebbe essere indagata con apposite prove su modello in funzione delle locali condizioni al contorno.

Tabella X – Valori di K_D consigliati per vari tipi di mantellata di scogli naturali.

Nel nostro caso, tenuto conto anche del fatto che la barriera si trova completamente sommersa si è assunto un valore del KD pari a 5,5 (5% in meno del valore tabellato).

Il peso medio dei massi della mantellata pertanto risulta pari a circa 10 tonnellate

γ_m [t/m³]	γ_a [t/m³]	$H_{1/10}$ [m]	α [°]	K_D [-]	P [t]	D [m]
2,65	1,03	5,46	33,70	5,50	10,26	1,70

Tabella XI

Detto P il peso medio risultante, il peso minimo e quello massimo devono essere pari a 0,75 P e 1,25 P:

Pmin = 7,70 t Pmax = 12,80 t,

con la raccomandazione che almeno il 50% in peso di materiale abbia un peso superiore a P.