ITEC engineering

COMUNE DI GENOVA

aster
AZIENDA SERVIZI TERRITORIALI GENOVA S.P.A.

Committente:
ASTER Genova SpA
Via XX Settembre 15
16122 - Genova

Titolo:
PROGETTO DI RIPRISTINO DEL PENNELLO E DELLA SCOGLIERA DI DIFESA A MARE DELL'AREA DI GENOVA QUINTO

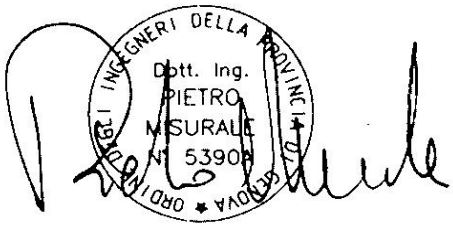
Livello di Progetto:
Esecutivo

Oggetto:
RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO

Codice Progetto:
P017-21

Nome File:
P017-21-E-RE-GEN-001-A

Firme:



Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	PRIMA EMISSIONE	DR	25/11/21	PM	26/11/21

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA
efca
FIDIC
apave certification
ISO 9001 N° SC 10-2588/IAF 34
ISO 14001 N° SCA 19-3491/IAF 34
ISO 45001 N° SCS 20-336/IAF 34

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690
www.itec-engineering.it

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

INDICE

1 PREMESSA. 2

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 3

2.1 IL LITORALE TRA QUINTO E NERVI. 3
2.2 VINCOLI TERRITORIALI, PAESAGGISTICI E NATURALISTICI 3

3 INDAGINI E RILIEVI 6

3.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEL SITO 6
3.1.1 Scogliera sottostante l'area antistante la Chiesa di Sant'Erasmo 6
3.1.2 Pennello in massi con forma a Y 7

4 INTERVENTI DI RIPRISTINO PREVISTI 9

4.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO 9
4.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO 9
4.2.1 Scogliera di Sant'Erasmo. 9
4.2.2 Ripristino del pennello a Y 11

5 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO 14

5.1 SETTORI DI TRAVERSIA 14
5.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO 14
5.3 PROPAGAZIONE DELL'ONDAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA 15
5.3.1 Processo di shoaling 16
5.3.2 Processo di saturazione 16
5.3.3 Determinazione dell'onda di progetto 17
5.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL PIEDE DELL'OPERA 17
5.5 LIVELLO DEL MARE 18

6 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA FRANGIFLUTTI 20

6.1 ONDA DI PROGETTO 20
6.2 CALCOLO DEI MASSI 20

1 PREMESSA.

La presente relazione è redatta su incarico di A.S.TER. Genova S.p.A. a corredo del progetto esecutivo dell'*Intervento di ripristino del pennello e della scogliera di difesa a mare dell'area di Genova Quinto*, nel levante genovese, che sono state danneggiate dalla violentissima mareggiata del 29-30 ottobre 2018.

L'ambito di intervento è in particolare quello dell'area di Sant'Erasmo, costituita da un grande piazzale che sorge su una scogliera calcarea che aggetta in mare (per questo fortemente esposta) e del vicino pennello in massi a forma di Y, che protegge le due piccole spiagge di Quinto.

Le recenti mareggiate hanno disarticolato le opere di difesa a mare, che necessitano di interventi di ripristino e potenziamento, utilizzando massi naturali di III e IV categoria.

Il presente progetto, finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile a seguito dei danni occorsi sulla costa ligure per la mareggiata del 29-30 ottobre 2018, attraverso l'Ordinanza del Commissario Delegato della Protezione Civile n. 558 del 15 novembre 2018, prevede di impiegare mezzi marittimi (pontone dotato di gru) per salpare i massi dispersi sul fondale e ricostituire l'opera di difesa marittima e di integrare e potenziare la barriera frangiflutti con posa di nuovi massi di adeguata pezzatura (IV categoria).

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 IL LITORALE TRA QUINTO E NERVI.

Il litorale tra Genova Quinto e Nervi è caratterizzato in gran parte da costa alta e rocciosa, con piccole spiagge in ghiaia che interrompono la continuità delle scogliere in calcari, sulle quali passa la S.S. n. 1 Aurelia e su cui sono impostate numerose costruzioni e fabbricati.

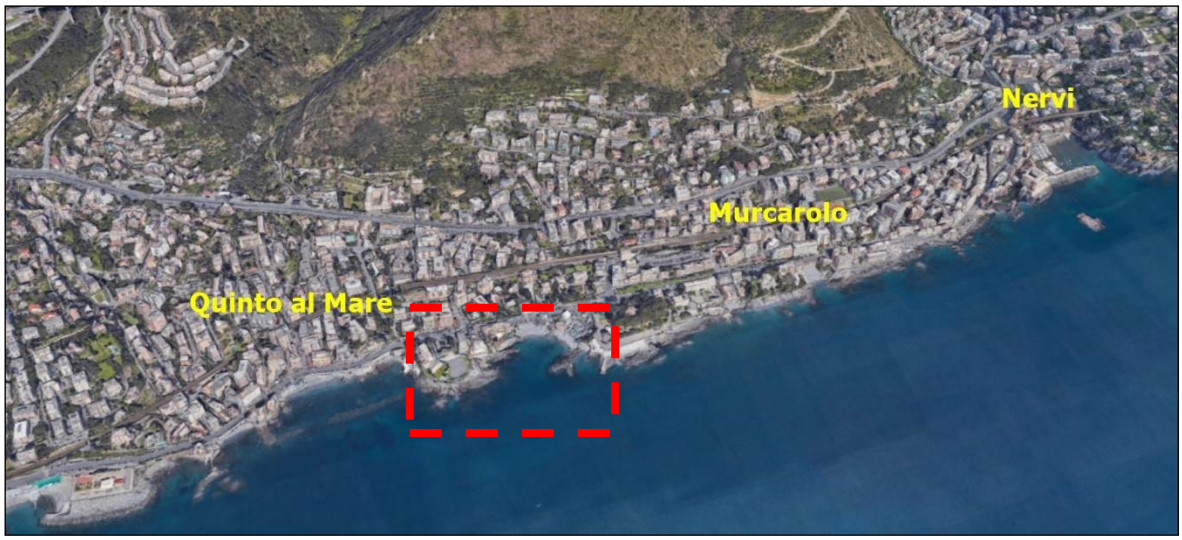


Figura 1 - Tratto costiero tra Genova Quinto e Nervi

Il toponimo Quinto al mare deriva dalla sua collocazione al quinto miglio da Genova lungo la via medioevale, chiamata oggi "via Antica Romana", che portava verso la riviera di levante e la Toscana e che attraversa il quartiere poco più a monte rispetto alla SS 1 Aurelia.

La fascia costiera si estende ai piedi delle pendici del monte Fasce e del monte Moro da cui scendono alcuni piccoli corsi d'acqua, brevi e acclivi, tra cui il rio Bagnara, il rio San Pietro e il rio Murcarolo. Le vallette a monte sono attraversate dai viadotti dell'autostrada A12.

Le piccole spiagge presenti in questo tratto sono di natura artificiale, create e mantenute con ripascimento strutturali periodici. Tutto il paraggio è esposto a tutti i settori di traversia, in particolare ai mari provenienti dalla direzione di libeccio (210°N).

2.2 VINCOLI TERRITORIALI, PAESAGGISTICI E NATURALISTICI

Il sito oggetto di intervento ricade in una zona del litorale di levante di Genova che presenta aspetti paesaggistici rilevanti in quanto ricade nella "*Fascia costiera fino a quota 100 m dal torrente Nervi al torrente Sturla nel Comune di Genova - Quarto e Quinto*", vincolata dal Decreto Ministeriale del 11/12/1954. Trattandosi di "territorio costiero" la fascia litoranea in oggetto è comunque vincolata paesaggisticamente dall'art. 142 del D.Lgs. 42/2004.

L'intervento in oggetto prevede solamente un ripristino di opere esistenti e la ricollocazione di scogliere che sono state danneggiate dalle recenti mareggiate, con modesti ampliamenti

delle opere di difesa, finalizzati unicamente alla salvaguardia delle spiagge, delle infrastrutture, dei fabbricati e delle attività sportive presenti in loco.

Saranno utilizzati solo materiali naturali, con caratteristiche litografiche e cromatiche del tutto analoghe a quelle delle opere esistenti e delle formazioni rocciose in sito (Calcari di Monte Antola), in modo da inserirsi in maniera ottimale nell'ambiente.



Figura 2 - Estratto cartografia vincoli paesaggistici, architettonici e archeologici Liguria

Sotto il profilo ambientale l'area marina antistante l'area di Quinto è interessata da un Sito di Interesse Comunitario (SIC) identificato con il codice IT1332576, relativo ai "Fondali tra Boccadasse e Nervi". Tuttavia si segnala che la perimetrazione del SIC resta a notevole distanza dal sito di intervento (circa 200 metri) e quindi non si ritiene che gli interventi in progetto abbiano interferenza con tale ambito tutelato.



Figura 3 - Mappatura del SIC IT 1332576 "Fondali tra Boccadasse e Nervi"

Consultando infine il geoportale della Regione Liguria e in particolare la cartografia relativa all'Atlante degli Habitat marini, nella sua versione più recente, elaborata nel 2020, si evidenzia la presenza di due fasce:

- AF: Insieme dei popolamenti algali fotofili infralitorali di substrato duro
- POS-ROC: Posidonia oceanica tra e su roccia.

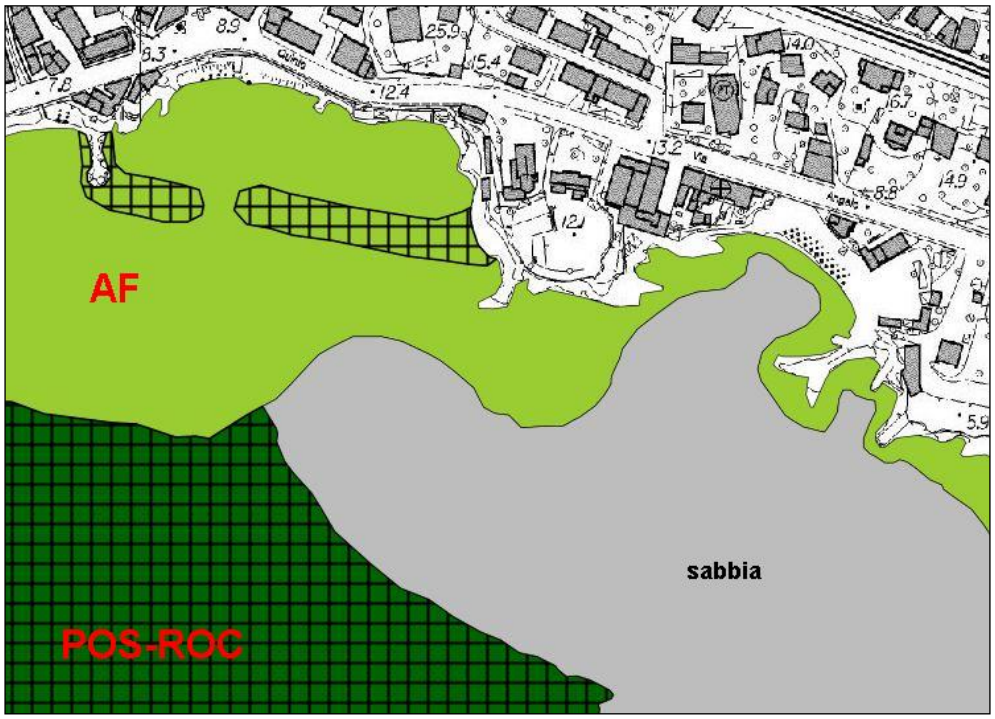


Figura 4 - Atlante degli habitat marini

Come risulta dalla figura riportata tuttavia il posidonieto (zona di maggiore tutela) è posto a significativa distanza dalla zona di intervento: circa 200 m a largo, su profondità superiori a 12 metri.

3 INDAGINI E RILIEVI

ASTER ha commissionato, e messo a disposizione della scrivente, un rilievo batimetrico eseguito con sistema *multi-beam*, dei fondali antistanti il pennello e la scogliera sottostante il piazzale dell'ex tiro al piccione, al fine di disporre di uno strumento adeguato alla progettazione degli interventi di ripristino e potenziamento delle opere a mare a difesa delle strutture e infrastrutture esistenti.

In aggiunta ai rilievi batimetrici sono state effettuate riprese fotografiche aeree eseguite tramite drone attrezzato con telecamera ad alta definizione.

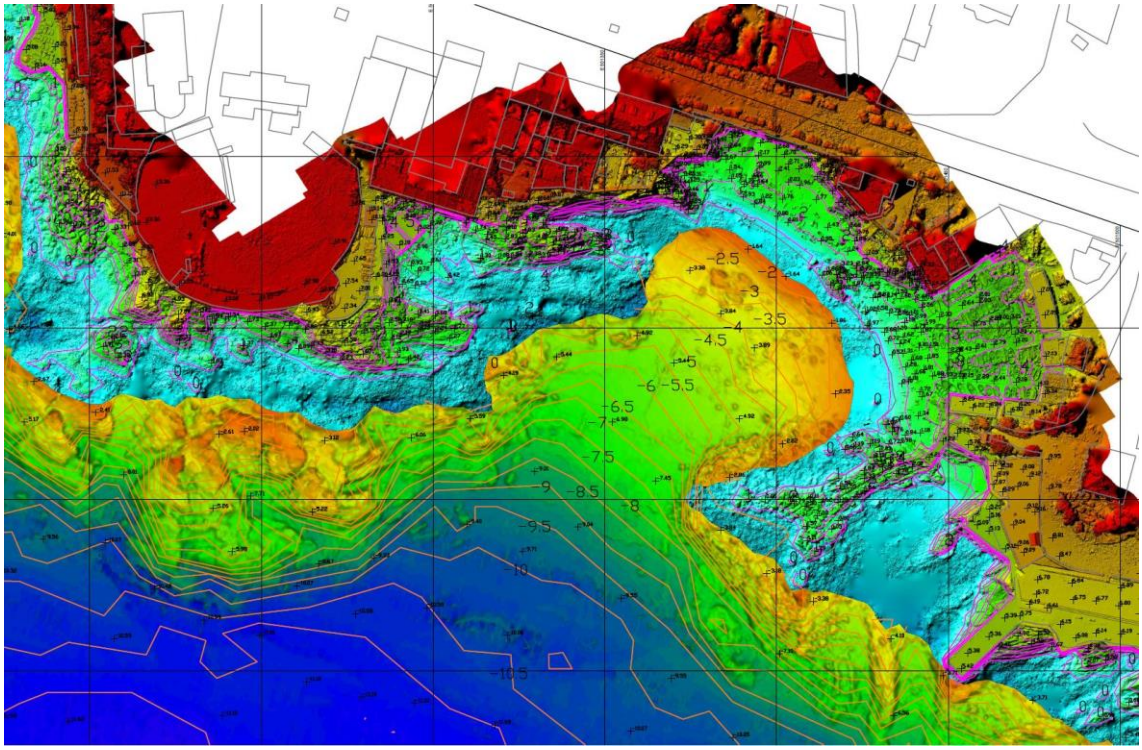


Figura 5 - Rilievi batimetrici e fotografici eseguiti sul litorale di Genova Quinto (Fly View)

Il risultato, visibile nella figura, è estremamente dettagliato e rappresentativo: sulla base di tale indagine sono state estratte diverse sezioni trasversali che hanno permesso di individuare la tipologia ottimale del progetto di difesa e di dimensionare la sagoma dell'opera marittima.

3.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEL SITO

3.1.1 Scogliera sottostante l'area antistante la Chiesa di Sant'Erasmo

La scogliera sottostante il piazzale antistante la Chiesa di Sant'Erasmo (ex tiro al piccione) è formata da roccia calcarea, molto solida e compatta. Ha una morfologia estremamente acclive, soprattutto nella parte più elevata, mentre nella porzione basale (da quota +2.5/+3.0 m sino al piede) presenta prominenze e dorsi che si allungano verso il fondale, lasciando spazi intermedi in cui si incunea il mare.

La scogliera arriva sino a quota +7/+8 m circa e sulla sua sommità è presente un grande piazzale, nato come batteria di difesa antisbarco realizzata tra il 1943 e il 1944, sui cui lati sono ancora presenti due bunker che erano armati con artiglieria pesante per proteggere la citta di Genova dai bombardamenti navali.



Figura 6 - Scogliera e piazzale visti dal mare (è visibile il bunker sul lato Est)

Dopo la guerra la struttura fu reimpiegata come area di tiro al volo, prima al piccione e poi al piattello. Oggi è un'area aperta, data parzialmente in concessione alla parrocchia di Sant'Erasmo e in parte ad associazioni sportive (Polisportiva Quinto).

In occasione di mareggiate di forte intensità, come quelle verificatesi negli anni 2018 e 2019, la scogliera è stata aggredita dai marosi: la sua morfologia ha facilitato la risalita delle onde anche a grande altezza, esaltando l'effetto di run-up lungo la parete rocciosa, sino ad arrivare all'intradosso della struttura del piazzale, che nella parte frontale presenta una mensola aggettante.

3.1.2 Pennello in massi con forma a Y

Il pennello con sagoma a Y posto a levante della scogliera è stato realizzato decenni fa in prosecuzione di una formazione rocciosa calcarea che si estende in mare in direzione Sud-Ovest per circa 30 m. Si sono accostati massi naturali intorno al dorso roccioso e sulla testa, sino a formare una caratteristica forma a Y con due rami che si biforcano in direzione Sud ed Est.

La ragione di tale forma sta nella protezione delle due piccole spiagge che sorgono alla radice del pennello. Effettivamente la realizzazione del ramo verso Ovest, aggiunto all'inizio degli anni 2000, dopo la mareggiata del novembre 2000, ha di fatto protetto l'arenile di ponente.

Le mareggiate del 2018 e del 2019 hanno arrecato forti danni alle strutture e disarticolato soprattutto le parti emerse.

Nella figura seguente è riportato uno scatto estratto da un video raccolto in rete ([1]) relativo alla mareggiata del 8 novembre 2019.



Figura 7 - Il litorale di Quinto durante la mareggiata del novembre 2019 (vista da levante)

Si nota come il pennello di massi in primo piano venga facilmente scavalcato dalle onde e la scogliera di Sant'Erasmo sullo sfondo sia battuta dai marosi sino a considerevole altezza.

[1] www.youtube.it – Mareggiata Genova Quinto 2019.

4 INTERVENTI DI RIPRISTINO PREVISTI

4.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO

L'intervento in oggetto è finalizzato al ripristino delle opere di difesa dell'area di Sant'Erasmo a Genova Quinto che sono state danneggiate dalle mareggiate del 2018 e 2019.

La finalità è duplice: difendere la scogliera di Sant'Erasmo e le strutture su di essa presenti e ripristinare il pennello a Y che protegge le spiagge di levante.

Il paraggio risulta fortemente esposto a tutte le direzioni comprese tra 150 e 210°N, in particolare alle mareggiate di scirocco e libeccio.

4.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO

4.2.1 Scogliera di Sant'Erasmo.

Per proteggere la scogliera e la struttura soprastante è necessario realizzare un'opera dissipativa al piede: per uniformarsi ad altri interventi di difesa a mare realizzati nel medesimo contesto (ad esempio sul lato occidentale del sito) si è progettata una barriera frangiflutti radente che si estenda al piede della scogliera, avanzando di circa 15-20 metri e innalzandosi sino a quota + 2,00 m rispetto al livello di medio mare. Il paramento frontale sarà inclinato con pendenza 1 su 2.

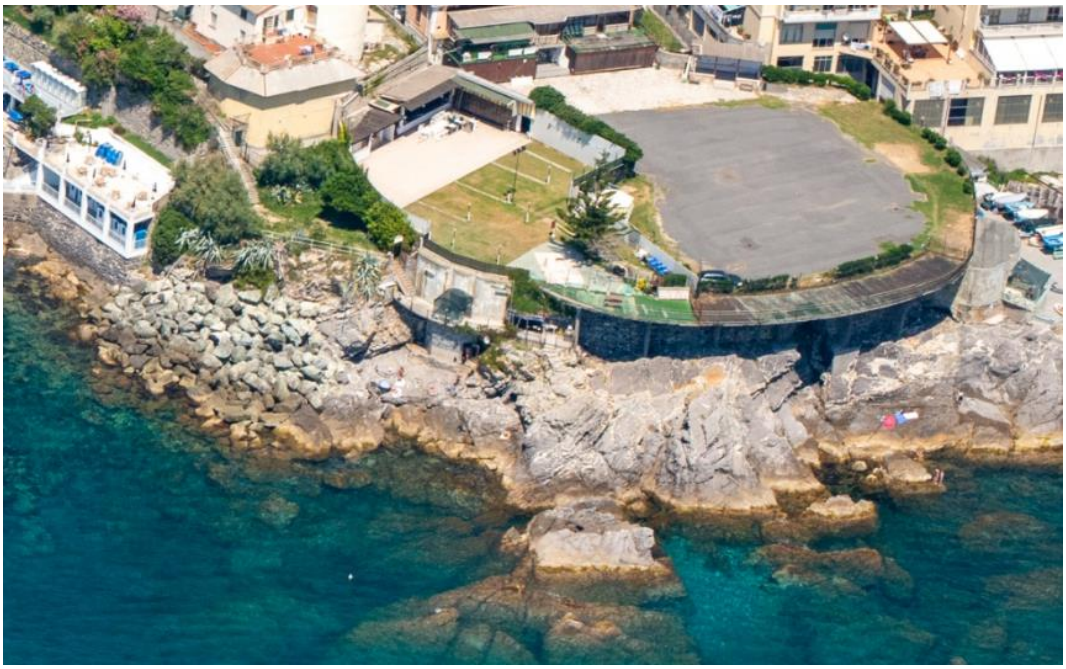


Figura 8 - Vista mare della scogliera che nella zona Ovest è stata difesa con barriera in massi

La struttura di difesa sarà sagomata in modo da costituire una difesa continua e avvolgente della scogliera, interrompendosi dove esistono già dorsi rocciosi emergenti e adattandosi alla morfologia della scogliera stessa.

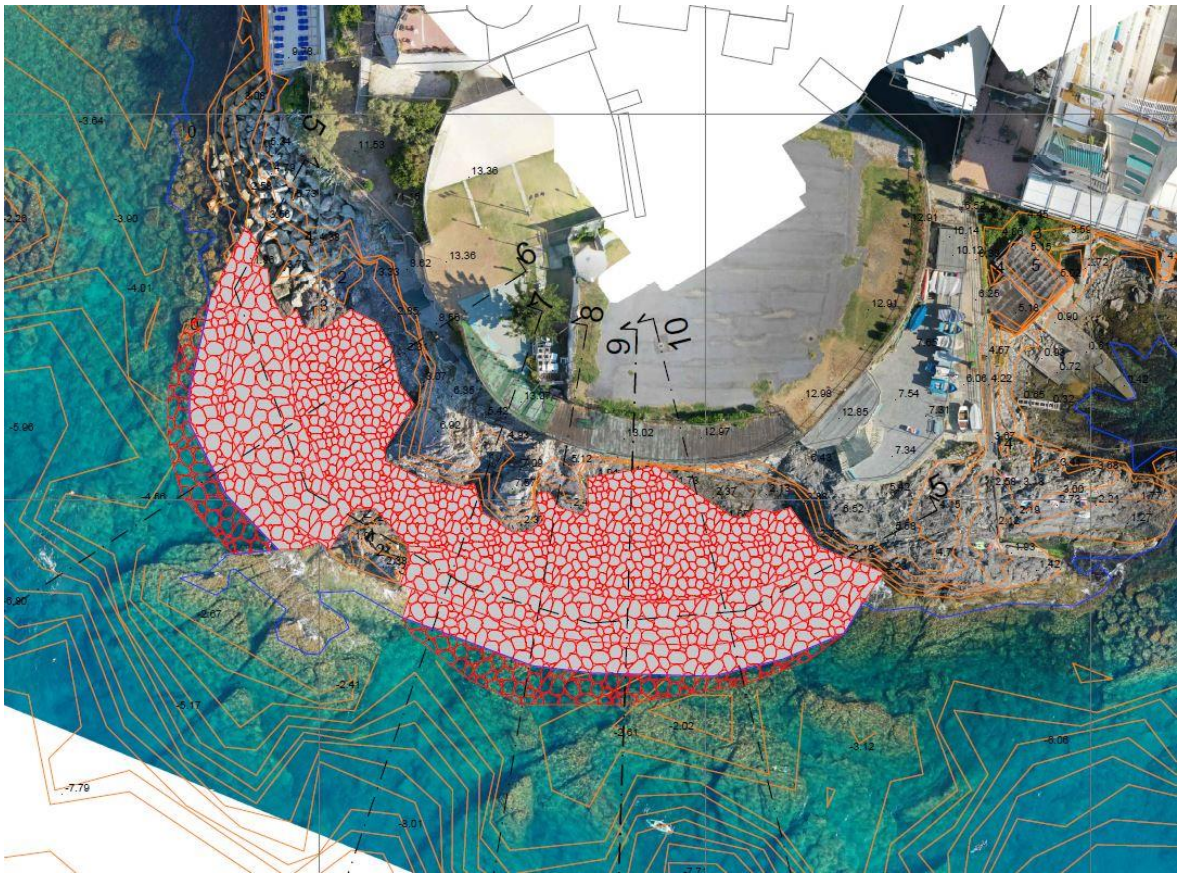


Figura 9 - Planimetria degli interventi previsti di difesa della scogliera.

Sulla parte più avanzata dell'opera marittima verranno posati massi di IV categoria, su doppio strato, appoggiati direttamente sul fondo roccioso e disposti in modo da realizzare un fronte irregolare, che garantisca una efficace dissipazione energetica al fronte d'onda.

Si dovrà evitare quindi la posa di massi squadrati, posati a formare una mantellata con inclinazione regolare e con spazi intermedi ridotti, preferendo invece massi a spigoli vivi, con elevato indice dei vuoti (30% circa).

I massi naturali dovranno avere peso elevato, colore grigio e caratteristiche litografiche omogenee alle formazioni rocciose nelle quali verranno ad inserirsi, in modo da minimizzare l'impatto paesaggistico.

A tale scopo sono state individuate cave di prestito nell'Alto Piemonte, in provincia di Verbania, dove sono presenti formazioni di ortogneiss con elevate qualità petrografiche (alta durezza e compattezza e peso specifico pari a 2,7 t/mc).

Nella porzione più arretrata dell'opera marittima, a ridosso della parete rocciosa, si disporranno massi naturali di III categoria, di peso unitario compreso tra 3 e 7 tonnellate.

Le modalità di posa e le caratteristiche dei massi saranno come sopra indicato.

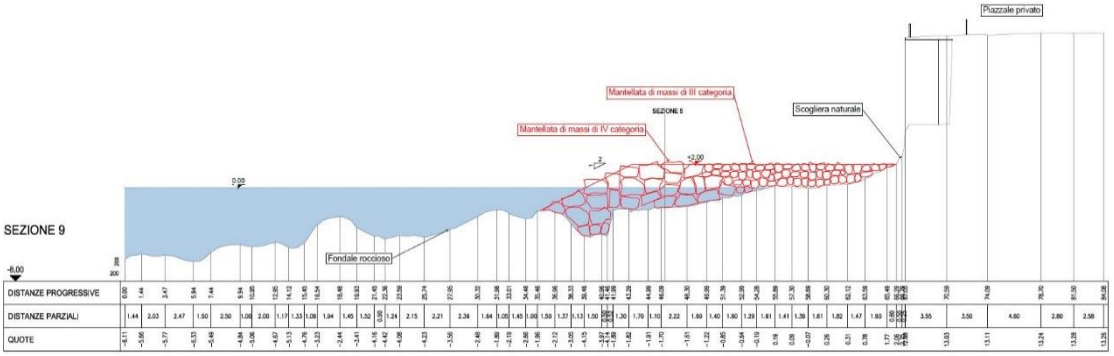


Figura 10 – Sezione tipologica dell'opera di difesa frangiflutti dell'area di Sant'Erasmo.

4.2.2 Ripristino del pennello a Y

Le mareggiate del 2018 e del 2019 hanno arrecato forti danni alle strutture e disarticolato soprattutto le parti emerse dell'opera di difesa.

Risulta quindi necessario ripristinare la forma e la robustezza dell'opera marittima, aggiungendo massi di IV categoria soprattutto sul fronte esterno e provvedendo alla fornitura di massi di III categoria per le porzioni più interne del corpo del pennello.

Si provvederà inoltre a salpare un certo numero di massi (stimato in circa 60-70 blocchi) che sono stati ribaltati dai marosi verso l'interno e che occupano il corridoio di uscita delle imbarcazioni, segnalato da gavitelli.

Tali massi verranno movimentati e disposti sul lato Nord del dorso roccioso che costituisce il tronco del pennello.

Non si supererà la quota di cresta attuale del pennello, pari a circa 2 m s.l.m.



Figura 11 - Intervento di ripristino del pennello di levante con forma a Y

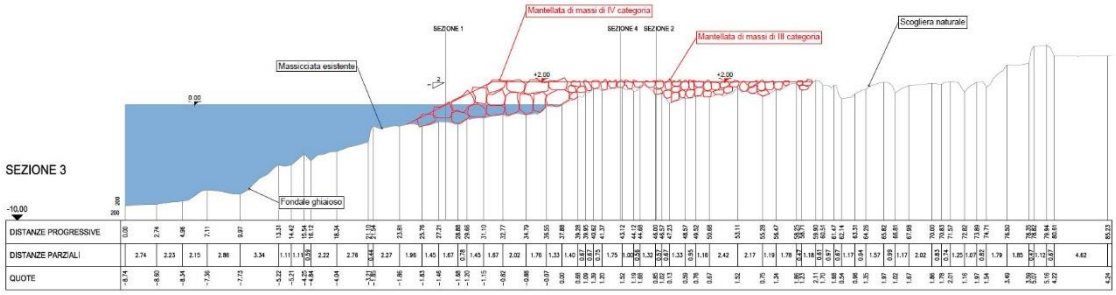


Figura 12 - Sezione tipologica del pennello in asse

L'intera opera verrà compiuta solamente tramite 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 litografiche non equiparabili alle formazioni calcaree in sito (Formazione dei Calcari di Monte Antola).

Le operazioni saranno svolte con il supporto di un sommozzatore che, con una imbarcazione di appoggio, verificherà i fondali prima del salpamento dei massi e della posa dei nuovi scogli, segnalando eventualmente la presenza di interferenze (condotte sottomarine) o rifiuti da rimuovere. A opera terminata il sommozzatore compirà ispezioni subacquee per verificare la corretta posa dei massi.

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.

5 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO

5.1 SETTORI DI TRAVERSIA

Il paraggio di Genova Quinto 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 di Quinto.

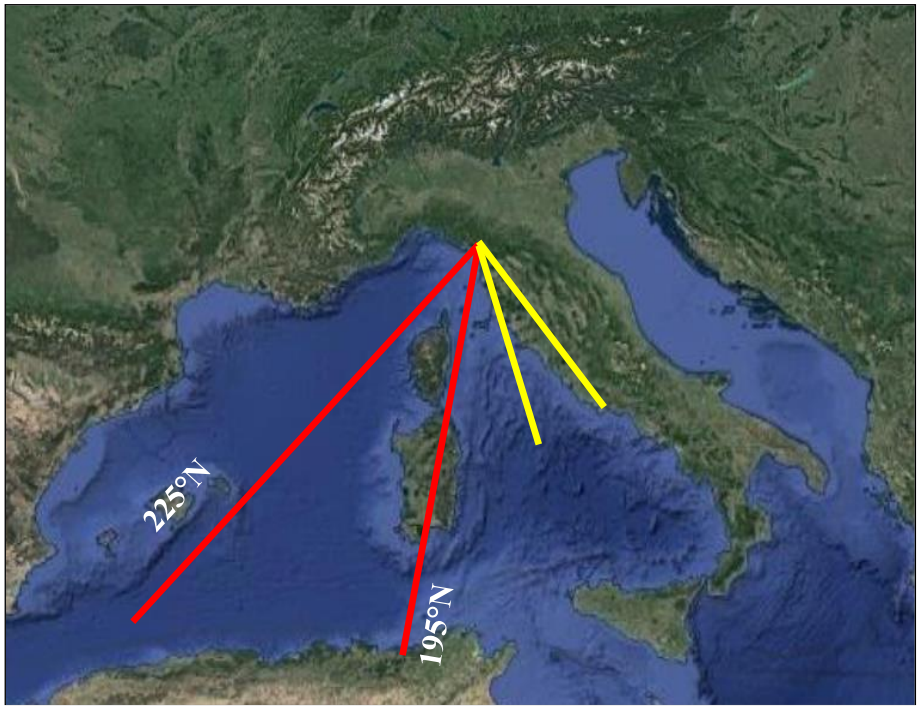


Figura 13 - Settori di traversia principale (rosso) e secondario (giallo)

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 *rifrazione*, 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[2]:

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

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.

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

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 $\qquad L = T \cdot \sqrt{g \cdot h}$

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

$K_s = \sqrt{\frac{2Ch^2(kh)}{2kh + Sh(2kh)}}$ $\qquad$ 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 ONDE 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 -4,00 m assunto come riferimento per la base delle scogliere di protezione esistenti.

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 -4 m**
T [anni]	h_f [m]	H_f [m]	L_f [m]	$H_{4,00}$ [m]
1	3,20	2,50	45,18	2,39
5	4,80	3,74	68,46	3,12 (*)
10	5,50	4,29	78,58	3,12 (*)
20	6,25	4,88	88,91	3,12 (*)
50	7,20	5,62	102,73	3,12 (*)
75	8,00	6,24	112,96	3,12 (*)

(*) onda frangente su fondale di -4.00 m.

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

Sul fondale di -4,00 m l'altezza dell'onda frangente è pari a 3,12 m circa, per cui le onde con tempi di ritorno inferiori a 10 anni arrivano al piede della scogliera non ancora fratte; proprio su queste onde quindi è particolarmente efficace la presenza della barriera frangiflutti 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, posto all'interno del bacino portuale, e pertanto in grado di tenere in considerazione i seguenti contributi alla composizione del livello superficiale:

- 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 IV - 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 -4,52 m (somma di 4,00 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 -4,52 m.

Periodo di ritorno **T anni]**	**Altezza d'onda su fondale di -(4,00 + 0,52) = - 4,52 m** **$H_{4,52}$ [m]**
1	2,34
5	3,52 (*)
10	3,52 (*)
20	3,52 (*)
50	3,52 (*)
75	3,52 (*)

(*) onda frangente su profondità di 4,52 m

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

6 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA FRANGIFLUTTI

6.1 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 VI

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.

6.2 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 (2,60 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	$H/H_{D=0}$	1,00	1,08	1,14	1,2	1,29	1,41	1,54
(a spigoli arrotondati)	K_D	2,4	3,0	3,6	4,1	5,1	6,7	8,7
Massi naturali	$H/H_{D=0}$	1,00	1,08	1,19	1,27	1,37	1,47	1,57
(a spigoli vivi)	K_D	4,0	4,9	6,6	8,0	10,0	12,4	15,0

Tabella VII – Percentuale di danneggiamento della mantellata di scogli naturali

Nel nostro caso, considerata una percentuale di danneggiamento nulla o trascurabile (0-5%) e tenuto conto della disposizione dei massi in doppio strato, si è assunto un valore del K_D pari a 4,0.

L'altezza d'onda incidente, associata alla direzione di provenienza di 210°, con un tempo di ritorno di 75 anni sulla profondità di 4 metri risulta pari a 3,12 (corrispondente all'onda frangente).

Per il dimensionamento della mantellata si è considerata prudenzialmente l'altezza d'onda media del decimo più elevato della serie di onde della mareggiata $H_{1/10}$, stimata pari a:

$$H_{1/10} = 1,27\ H_S = 1,27 \times 3,52 \approx 4,50 \text{ m.}$$

La mantellata di protezione lato mare di entrambe le opere (barriera frangiflutti sotto la scogliera e pennello a Y) è stata calcolata con una pendenza di 1 su 2.

Il peso medio dei massi pertanto risulta pari a circa 7,6 tonnellate, corrispondente alla IV categoria.

γ_m [t/m^3]	γ_a [t/m^3]	H_S [m]	$H_{1/10}$ [m]	α [-]	K_D [-]	P [t]	D [m]
2,60	1,03	3,52	4,50	1 su 2	4,00	8,20	1,82

Tabella VIII

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

Pmin = 6,15 t Pmax = 10,25 t

con la raccomandazione che almeno il 50% in peso di materiale abbia un peso superiore a 8 tonnellate.

Come si è spiegato nella parte descrittiva la porzione di mantellata più ridossata e interna e quindi meno esposta al moto ondoso diretto potrà essere realizzata con massi di III categoria, aventi peso unitario compreso tra 3 e 7 tonnellate.

La proporzione della fornitura complessiva di massi naturali dovrà comunque rispettare le seguenti quote, per entrambe le opere:

- Massi di IV categoria (50% con peso superiore a 8 t) in percentuale del 60%;
- Massi di III categoria con peso compreso tra 3 e 7 tonnellate circa in percentuale del 40%.