COMUNE DI GENOVA (GE)

Progetto:

INTERVENTI DI RIPRISTINO DEI PENNELLI A DIFESA DELLA SPIAGGIA DI MURCAROLO, A GENOVA QUINTO

– progetto esecutivo –

Titolo:

RELAZIONE TECNICA

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 SpA
Via XX Settembre n. 15
16121 – Genova (GE)

R.U.P. Dott.ssa Geol. Giacomina Andreola

Timbro e firma:



codice commessa:

MA2016

scale:

–

revisioni:

–

Tavola n°

A

data:

15 nov. 2021

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

INDICE

1 PREMESSA....2
2 ELEMENTI DEL PROGETTO....2
3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE....2
3.1 IL LITORALE TRA QUINTO E NERVI....2
3.2 VINCOLI TERRITORIALI, PAESAGGISTICI E NATURALISTICI....3
4 INDAGINI E RILIEVI....5
4.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEL SITO....7
5 INTERVENTI DI RIPRISTINO PREVISTI....8
5.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO....8
5.2 ANDAMENTO STORICO DELLA LINEA DI COSTA....9
5.3 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO....10
6 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO....12
6.1 SETTORI DI TRAVERSIA....12
6.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO....12
6.3 PROPAGAZIONE DELL'ONDAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA....13
6.3.1 Processo di shoaling....14
6.3.2 Processo di saturazione....14
6.3.3 Determinazione dell'onda di progetto....14
6.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDA AL PIEDE DELL'OPERA....15
6.5 LIVELLO DEL MARE....16
7 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA FRANGIFLUTTI....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-esecutivo dell'**INTERVENTO DI RIPRISTINO DEI PENNELLI A DIFESA DELLA SPIAGGIA DI MURCAROLO, A GENOVA QUINTO,** nel levante genovese, che sono state in parte danneggiate dalla violentissima mareggiata del 29-30 ottobre 2018.

La piccola spiaggia di Murcarolo è delimitata a nord dalla S.S. n. 1 Aurelia e ad est e ovest da scogliere calcaree sulle quali sono impostate costruzioni e fabbricati.

Sul lati della spiaggia, a protezione della stessa e delle scogliere, sono stati posti massi naturali di diverse dimensioni, con funzione di barriera frangiflutti. Nel corso delle intense mareggiate degli ultimi anni gran parte di tali scogli sono stati movimentati dalle onde e trascinati a ridosso della scogliera o ribaltati indietro dalle onde riflesse e dalla risacca.

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 un mezzo marittimo (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 ELEMENTI DEL PROGETTO

Il progetto si compone dei seguenti elaborati scritti:

A – Relazione tecnica descrittiva
B – Piano di manutenzione dell'opera
C - Cronoprogrammma
D – Computo metrico estimativo
E – Elenco prezzi unitari
F – Analisi nuovi prezzi
G – Quadro tecnico economico

e grafici :

1 – Planimetria di rilevo dello stato attuale
2 – Sezioni di stato attuale
3 – Planimetria dello stato di progetto
4 – Sezioni di stato di progetto.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

3.1 IL LITORALE TRA QUINTO E NERVI.

Il litorale tra Genova Quinto e Nervi è caratterizzato per la maggior 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 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, che attraversa il quartiere poco più a monte rispetto alla strada statale 1 Via Aurelia.

La fascia costiera si estende ai piedi delle pendici del monte Fasce e del monte Moro. Da questi 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).

3.2 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.

La zona 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 in virtù dell'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, senza modifica o ampliamento planimetrico o altimetrico delle opere di difesa.

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.

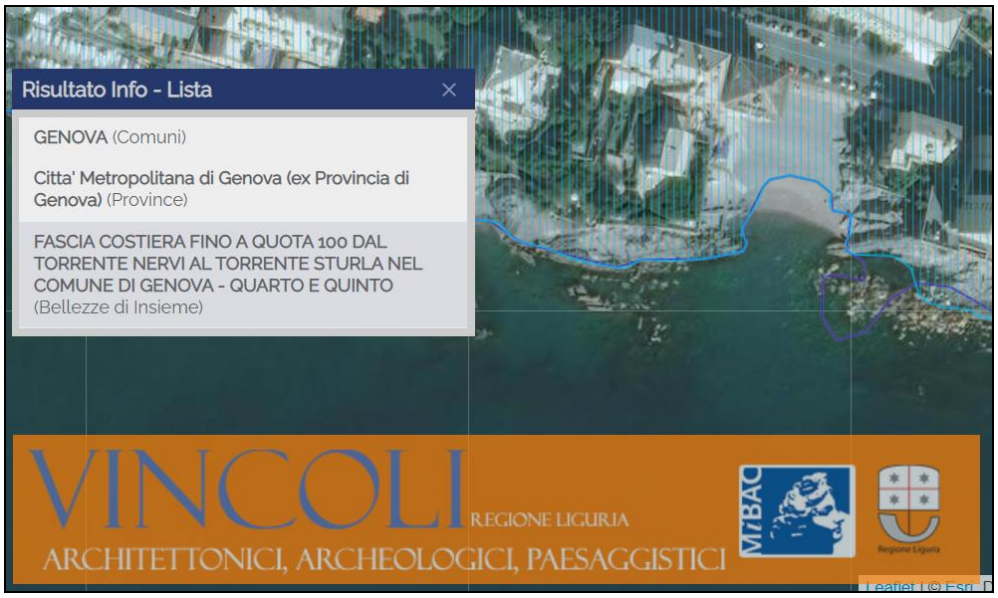


Figura 2 - Estratto della cartografia dei vincoli paesaggistici, architettonici e archeologici della Liguria.

Sotto il profilo ambientale l'area marina antistante la spiaggia di Murcarolo 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 180 metri) e quindi non si ritiene che gli interventi in progetto abbiano interferenza con tale ambito tutelato.



Figura 3 - Mappatura del Sito di Interesse Comunitario 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.

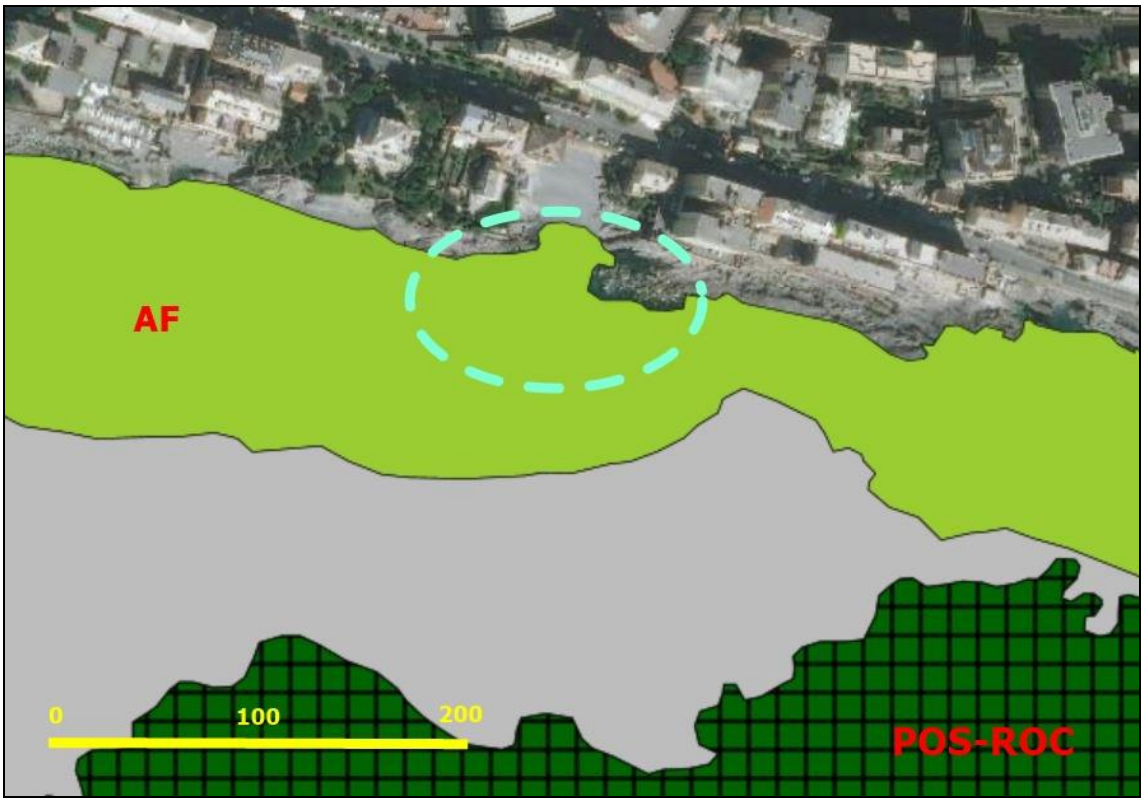


Figura 4 - Atlante degli habitat marini.

Come risulta dalla figura riportata tuttavia il posidonieto (zona di maggiore tutela) è posto a significativa distanza dalla zona di intervento: circa 250 m a largo, su profondità superiori a 12 metri.

4 INDAGINI E RILIEVI

Il litorale antistante la spiaggia di Murcarolo è stato attentamente rilevato e esaminato: si è commissionato un rilievo batimetrico ad una ditta specializzata ([1]), che ha eseguito un'indagine su un ampio areale come indicato in figura (circa 150 metri di estensione e 60 metri di profondità a partire dalla linea di riva sino alla batimetrica -8 m), comprendendo anche il rilievo della spiaggia emersa.

Per il rilievo in mare si è utilizzata una strumentazione single-beam, eseguendo diverse passate sia in direzione est-ovest sia in direzione nord-sud, arrivando a costruire un piano quotato con linee isobatimetriche a scansione di 1 metro..

Il rilievo a terra della spiaggia e delle scogliere laterali è stato condotto con impiego di un drone attrezzato con strumentazione di rilievo topografico. Il drone ha permesso anche di scattare ortofoto con notevole risoluzione, che sono state utilizzate come sfondo per la rappresentazione dello stato attuale.

1 Flyview srl di Alessandro Scannapieco.

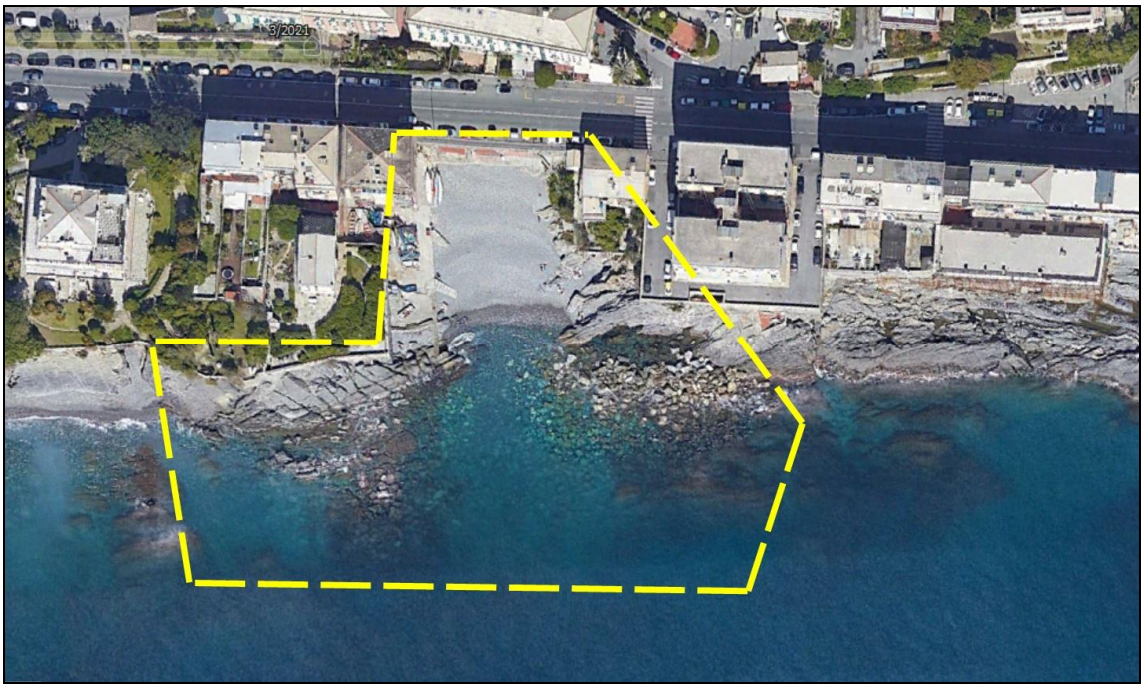


Figura 5 - Area rilevata davanti alla spiaggia di Murcarolo.

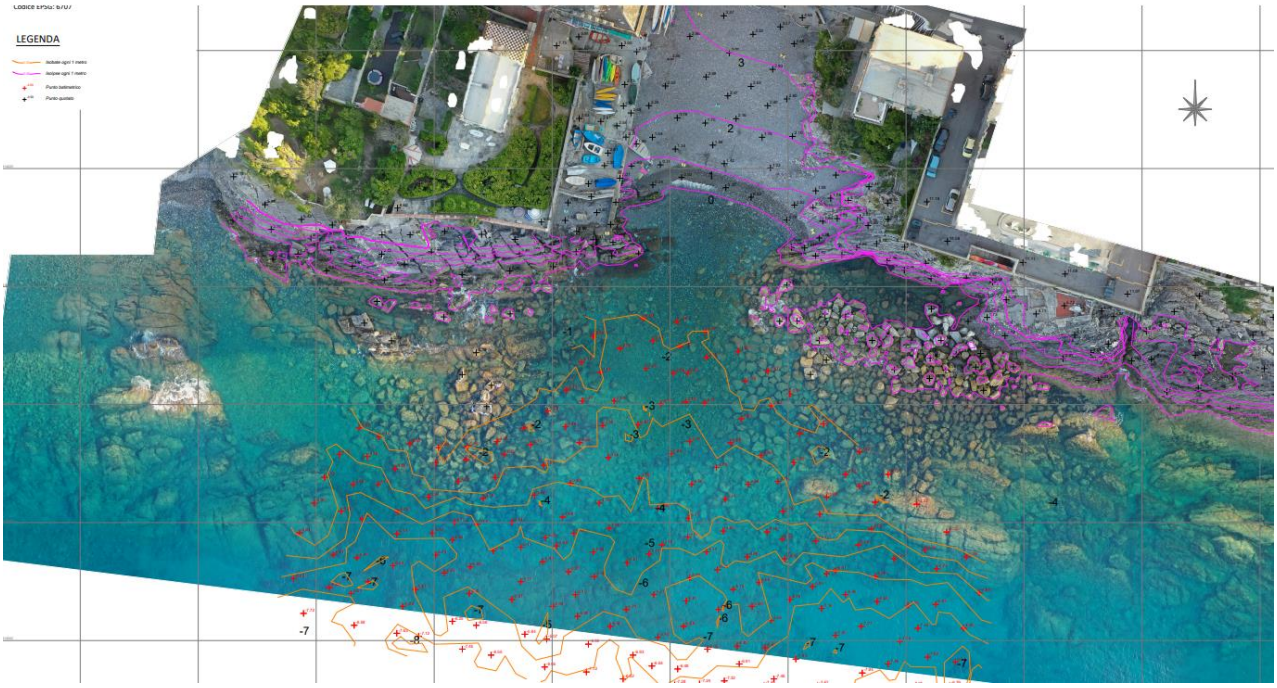


Figura 6 - Rilievo dei fondali con le curve isobatimetriche sino alla profondità di -8 m.

I dati rilevati nella campagna batimetrica sono stati utilizzati per la definizione morfologica dei fondali e delle scogliere emerse e semi sommerse: la restituzione del rilievo in 3D ha infatti permesso il tracciamento di alcune sezioni ritenute significative, disposte sia ortogonalmente alla costa sia parallelamente ad essa.

Nella tavole 1 e 2 sono riportate rispettivamente la planimetria dello stato di fatto rilevato a agosto 2021, con i punti battuti in mare e a terra e cinque sezioni trasversali.

4.1 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DEL SITO

La spiaggia di Murcarolo è inserita tra due propaggini rocciose che si estendono verso mare lasciando un breve tratto di costa bassa sulla quale è presente una limitato arenile in ghiaia, che si sviluppa per circa 30 metri in larghezza e per 35 metri circa in profondità.

La testa della spiaggia, a ridosso del muraglione che sostiene l'Aurelia, è a quota +3,50 metri circa; la spiaggia emersa ha una pendenza modesta nel primo tratto a monte (5% circa) e più accentuata in prossimità della battigia. Sul limite nord-ovest della spiaggia sfocia il rio Murcarolo, che sottopassa l'Aurelia con un voltino.

Il margine occidentale della spiaggia è parzialmente occupato da una zona cementata adibita a rimessaggio imbarcazioni, al di sopra della quale sorgono residenze private; sul lato opposto la spiaggia è delimitata da una scogliera calcarea che si innalza per diversi metri sorreggendo muri di confine di proprietà private e di un condominio.



Figura 7 - La spiaggia di Murcarolo vista da levante.

La spiaggia è ridossata rispetto alle due scogliere e si trova in zona abbastanza protetta; su entrambi i lati, al fine di dare difesa all'arenile soprattutto dai mari di libeccio e scirocco, sono state realizzate barriere frangiflutti in massi.

Tali opere, per effetto delle ripetute mareggiate degli ultimi anni, oggi risultano parzialmente inefficienti: molti scogli sono stati sospinti verso riva e altri sono stati rovesciati verso mare dalle onde di risacca, riflesse dalla falesia.



Figura 8 - La spiaggia di Murcarolo vista da ponente.



Figura 9 - Particolare della scogliera frangiflutti di levante, danneggiata dalle recenti mareggiate.

5 INTERVENTI DI RIPRISTINO PREVISTI

5.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO

L'intervento in oggetto è finalizzato al ripristino delle opere di difesa disposte lateralmente alla spiaggia di Murcarolo: entrambe sono costituite da barriere di massi naturali poste a breve distanza dal piede della scogliera con funzione di frangiflutti.

La finalità è quella di difendere la spiaggia soprattutto dalle ondazioni oblique, ossia quelle provenienti dalle direzioni di 150° (scirocco) e di 210° (libeccio).

5.2 ANDAMENTO STORICO DELLA LINEA DI COSTA.

E' interessante notare l'evoluzione della linea di costa e in particolare della spiaggia di Murcarolo a partire dagli anni del dopoguerra sino ad oggi.

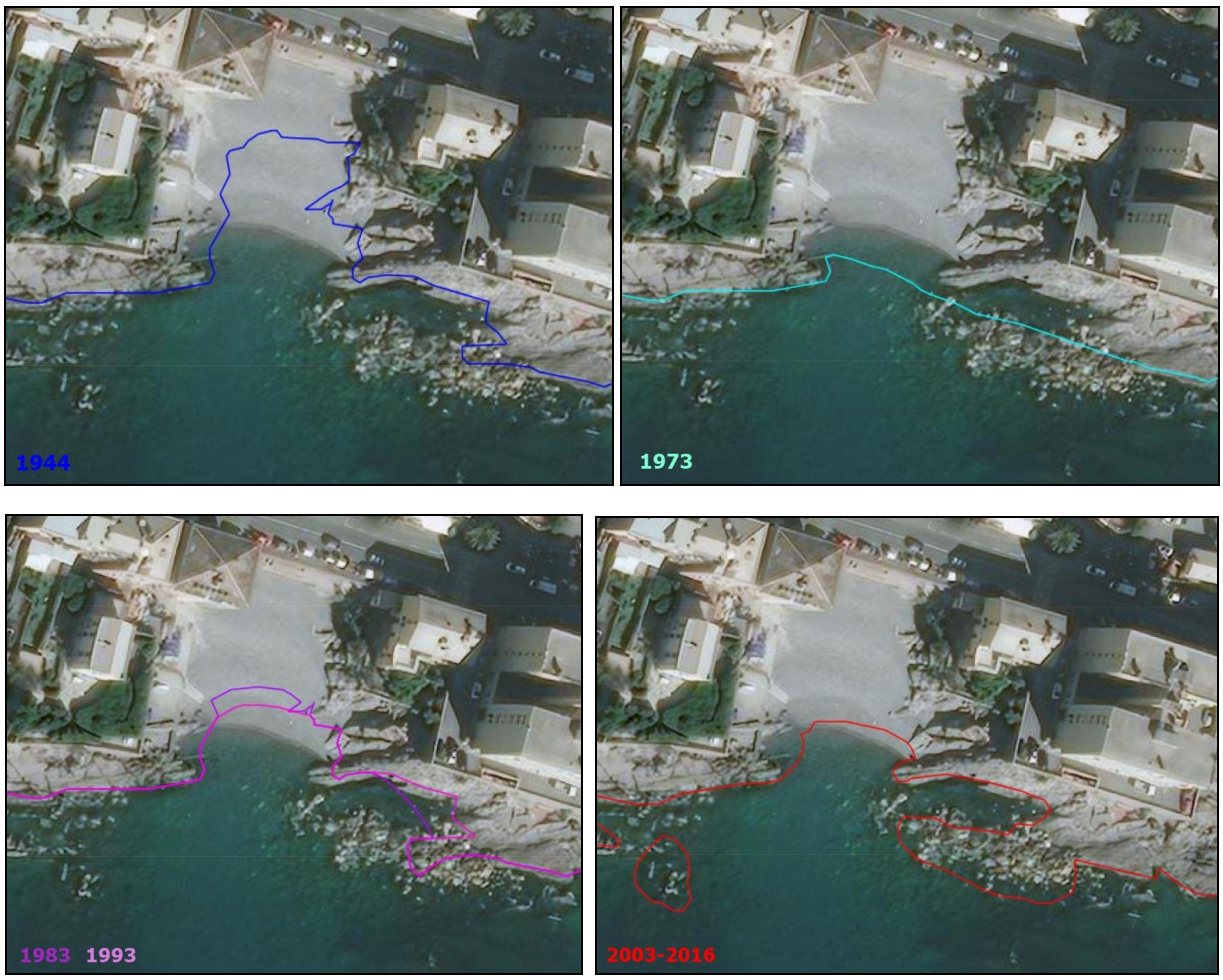


Figura 10 – Ortofoto del sito con la evoluzione della spiaggia tra il 1944 e il 2016.

Negli anni '40 la spiaggia era molto meno profonda, quasi la metà di oggi: non possedeva alcuna difesa laterale e, pur essendo così chiusa e apparentemente protetta, evidentemente i mari dei settori di provenienza più angolati riuscivano a penetrare e, riflessi dal muraglione dell'Aurelia, allontanavano i sedimenti, depauperando l'arenile.

Lo scenario registrato nel 1973 vede aumentare molto la spiaggia, ancora senza protezioni laterali, probabilmente per effetto di importanti ripascimento dovuti a sversamenti di materiale residuo di smarino di infrastrutture litoranee.

Tale arricchimento venne gradualmente a perdersi negli anni successivi, tra il 1983 e il 1993.

All'inizio degli anni '90 il Genio Civile Opere Marittime, per proteggere la spiaggia che presentava evidenti problemi di arretramento per erosione, realizzò due pennelli, uno a ponente disposto ortogonale alla costa e l'altro a levante, sviluppato su un orientamento NE-SW.

Le intense mareggiate del dicembre 1999 e novembre 2000 crearono forti squilibri alle opere marittime, che necessitarono di nuovi interventi di rifiorimento, eseguiti nel 2006.

Tali opere hanno permesso di mantenere la spiaggia sostanzialmente stabile, ma hanno bisogno di nuovi interventi di ripristino, dopo la mareggiata del ottobre 2018.

5.3 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO

Occorre anzitutto recuperare buona parte dei massi che sono stati movimentati dalle mareggiate disarticolando le scogliere frangiflutti su entrambi i lati della spiaggia.

In una **prima fase** quindi si opererà con un pontone di stazza limitata, che abbia un pescaggio non eccessivo per potersi avvicinare alla costa, che possa salpare i massi ribaltati, riportandoli nella sede originale, accorpandoli e riunendoli.

Dalle riprese fotografiche eseguite nel corso dei rilievi e dai sopralluoghi eseguiti si è osservato che la maggior parte dei massi appartengono alla III categoria, con peso indicativo tra 1 e 3 tonnellate.

In una **seconda fase** si potranno aggiungere massi di IV categoria, disponendoli sul lato esterno delle scogliere frangiflutti, per assicurarne una maggiore protezione. Anche in questo caso si prevede l'impiego di un pontone di stazza ridotta che abbia una portata massima in coperta di 250 tonnellate; si prevedono quindi solo un paio di viaggi.

Sul lato di levante si provvederà a ricostruire il pennello parallelo alla falesia, portandolo ad una quota emergente di +2.00 m, per una lunghezza di circa 30 metri. Sul lato di ponente invece l'opera di difesa sarà costituito da un pennello disposto ortogonalmente alla scogliera, che si estende per circa 16 metri in direzione sud.

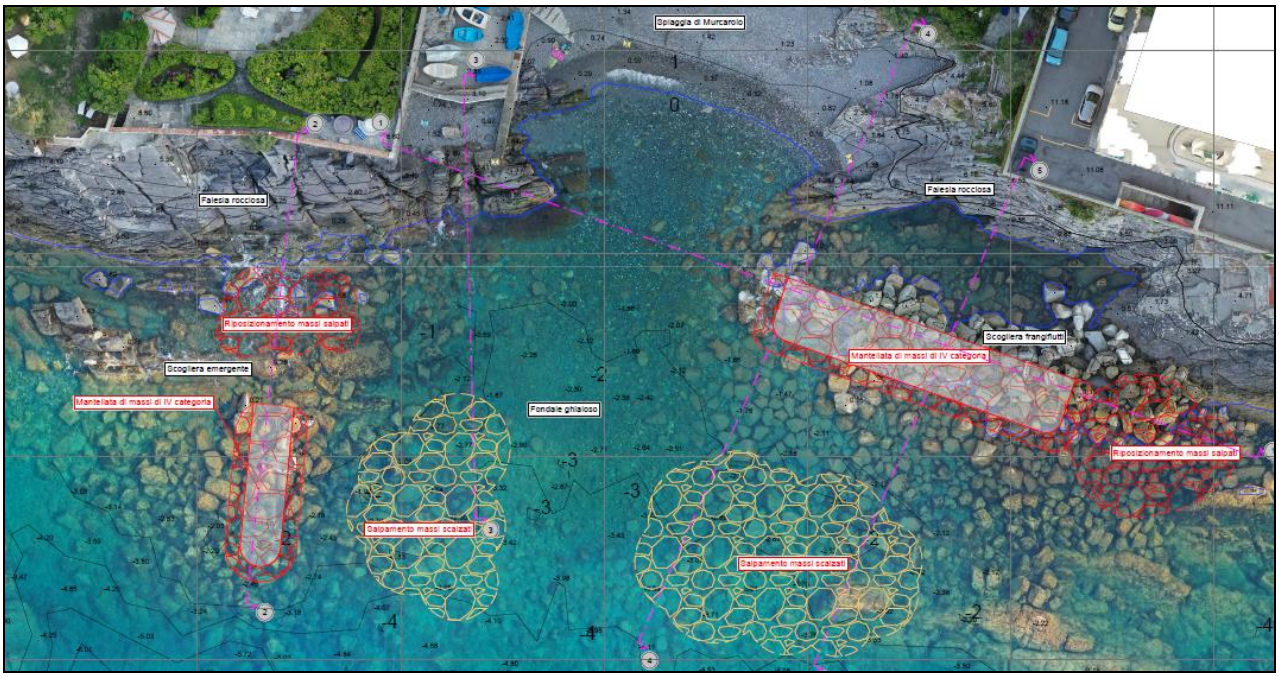


Figura 11 - Vista complessiva degli interventi sulle scogliere a difesa della spiaggia di Murcarolo.

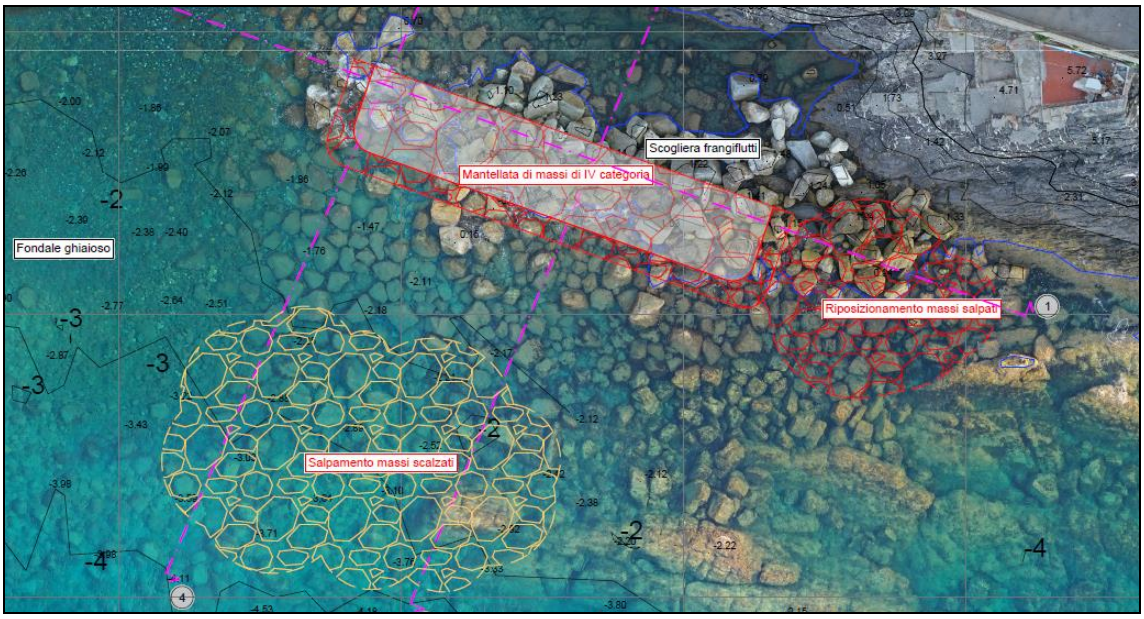


Figura 12 - Intervento di ripristino del pennello di levante.

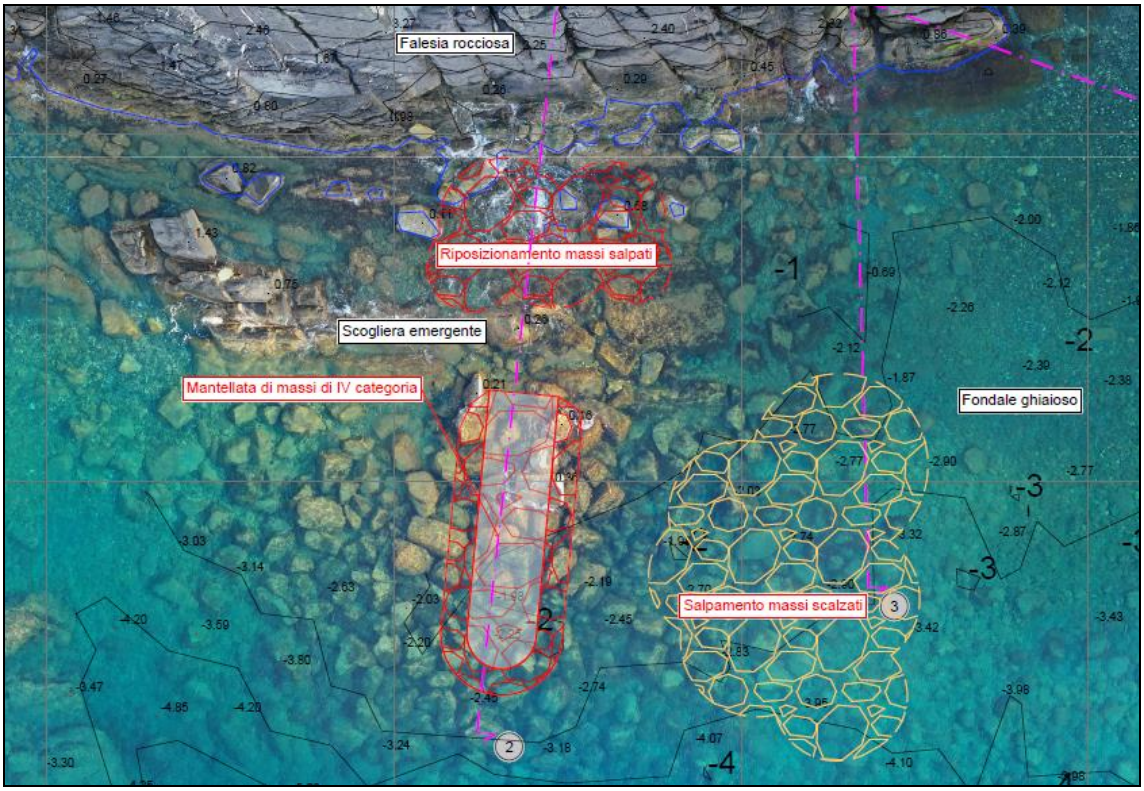


Figura 13 - Intervento di ripristino del pennello di ponente.

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 M.te 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.

6 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO

6.1 SETTORI DI TRAVERSIA

Il paraggio di Murcarolo 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.

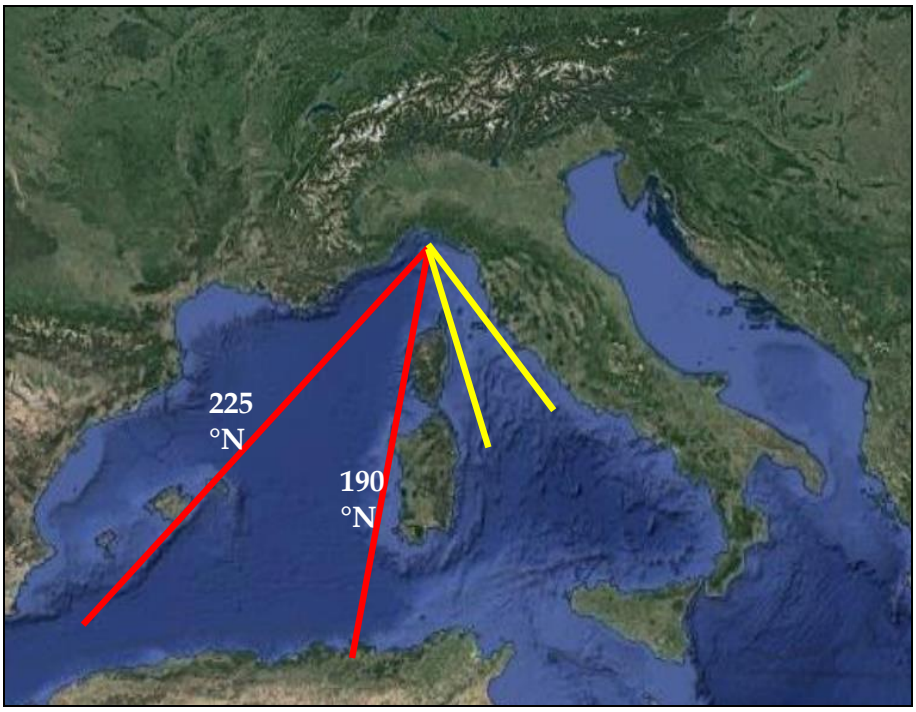


Figura 14 - Settori di traversia principale (rosso) e secondario (giallo) del paraggio di Quinto.

6.2 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.

6.3 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*.

6.3.1 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:

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

6.3.2 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.

6.3.3 Determinazione dell'onda di progetto

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

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

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

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 $\qquad L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot Th\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)$

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

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 $H_f = H_h$.

6.4 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 -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

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.

6.5 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 -3,52 m (somma di 3,00 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 -3,52 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	3,12 (*)
10	3,12 (*)
20	3,12 (*)
50	3,12 (*)
75	3,12 (*)

(*) onda frangente

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

7 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA FRANGIFLUTTI

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

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:

$H_{1/10} = 1{,}27\ H_S = 3{,}96$ m.

La mantellata è stata calcolata con una pendenza di 2 su 3.

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

γ_m [t/m³]	γ_a [t/m³]	H_S [m]	$H_{1/10}$ [m]	α [-]	K_D [-]	P [t]	D [m]
2,65	1,03	3,12	3,96	1 su 1,5	4,00	7,61	1,78

Tabella X

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

Pmin = 5,70 t Pmax = 9,50 t,

con la raccomandazione che almeno il 50% in peso di materiale abbia un peso superiore a 7 tonnellate.