COMUNE DI MONTEROSSO AL MARE (SP)

Progetto:

INTERVENTI DI INTEGRAZIONE DELLE SCOGLIERE DI PROTEZIONE DELL'ABITATO DI FEGINA E DEL CENTRO STORICO DI MONTEROSSO AL MARE (SP)

– 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:

COMUNE DI MONTEROSSO AL MARE
Ufficio Tecnico – Servizio LL.PP.
Piazza Garibaldi n. 35
19016 – Monterosso al Mare (SP)

Timbro e firma:



codice commessa:

MA2006

scale:

–

Tavola n°

A

revisioni:

Rev.2 – 11.11.2020

data:

Novembre 2020

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

INDICE

1 PREMESSA. 2

2 ELABORATI DEL PROGETTO DEFINITIVO. 2

3 DESCRIZIONE DEL PARAGGIO di MONTEROSSO 3

4 ASPETTI AMBIENTALI, GEOLOGICI E PAESAGGISTICI DEL SITO. 5

5 DESCRIZIONE E FINALITA' DEL PROGETTO 7

5.1 Soffolta a difesa della spiaggia di Fegina. 7
5.2 Scogliera davanti al Centro Storico. 8
5.3 Altri interventi per la difesa e la riqualificazione della baia del Centro storico. 10

6 CLIMA METEOMARINO DEL PARAGGIO. 10

6.1 Il Piano di Tutela dell'Ambito Marino e Costiero (PTAMC) 10
6.2 Settore di traversia e fetch efficace 10
6.3 Il clima ondoso al largo 11
6.4 Propagazione sotto costa 13

7 VERIFICHE DI STABILITA' DEGLI SCOGLI 15

7.1 Formula di Iribarren 16
7.2 Formula di Hudson 17
7.3 Formula di Van der Meer 18
7.4 Confronto dei risultati 19

8 VERIFICA DELLA EFFICACIA DELLE OPERE MARITTIME 20

8.1 Verifica dell'effetto dissipativo della scogliera sommersa di Fegina. 21
8.2 Verifica dell'effetto dissipativo della scogliera sommersa davanti al Centro storico. 21

1 PREMESSA.

La presente relazione tecnica accompagna il progetto definitivo degli **INTERVENTI DI INTEGRAZIONE DELLE SCOGLIERE A PROTEZIONE DELL'ABITATO DI FEGINA E DEL CENTRO STORICO DI MONTEROSSO AL MARE (SP)**, attraverso la provvista e posa in opera di massi ciclopici di idonea categoria.

Tali interventi sono stati finanziati 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.

Il Comune di Monterosso ha ricevuto un contributo finalizzato appunto al ripristino dei danni sulle scogliere poste a difesa dell'abitato, pari a 300.000 euro.

Il sottoscritto è stato incaricato dalla Amministrazione Comunale con Determinazione n. 76 del 24.08.2020, della redazione del progettazione completa, del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione e della direzione lavori.

Insieme al sottoscritto, con Determinazione n. 90 del 24.09.2020 sono stati incaricati anche la dott.ssa Archeologa Valentina Brodasca, il dott. geol. Michele Malfatti e il dott. biol. Andrea Molinari per lo svolgimento delle attività professionali a corredo del progetto.

Il presente documento contiene l'inquadramento del sito, l'illustrazione dello stato di fatto, la descrizione degli interventi previsti, il dimensionamento delle opere relative all'intervento finanziato.

In particolare con questo intervento si realizzerà una riparazione della scogliera sommersa presente davanti alla spiaggia di Fegina, danneggiata dalle ultime mareggiate e si opererà una modifica della scogliera emersa posta davanti alla spiaggia del Capoluogo, creando una secca dissipatrice a bassa sommergenza, migliorando in modo sostanziale l'aspetto paesaggistico del paraggio.

Si specifica che questo secondo intervento costituisce un'opera propedeutica ad altre iniziative volte alla sistemazione complessiva della baia del Capoluogo, che aumentino la resilienza dell'arenile e delle strutture a tergo: si eseguirà a tal proposito uno studio meteomarino di dettaglio che analizzi lo stato del mare, la propagazione del moto ondoso verso riva, la dinamica delle correnti e la stabilità dell'arenile, sia analizzando lo stato attuale, per individuare le specifiche criticità, sia proponendo diverse soluzioni di progetto che prendano in considerazione un'ottimale conformazione morfologica e planimetrica della barriera dissipatrice, la creazione di un eventuale pennello a levante e un ripascimento della spiaggia.

2 ELABORATI DEL PROGETTO DEFINITIVO.

Fanno parte del progetto esecutivo dell'intervento di cui trattasi i seguenti documenti:

A - Relazione tecnica generale

B - Relazione paesaggistica semplificata

C - Relazione geologica (a firma dott. geol. Michele Malfatti)

D - Relazione bio-naturalistica (a firma dott. biol. Andrea Molinari)

E - Verifica Preventiva di Interesse Archeologico (a firma dott. archeol. Valentina Brodasca)

F - Relazione di assoggettamento a screening

G - Prime indicazioni sulla sicurezza

H - Disciplinare descrittivo e prestazionale

I - Computo metrico estimativo

L - Elenco prezzi unitari

M - Analisi nuovi prezzi

N - Quadro economico

ed elaborati grafici:

1 - Paraggio di Fegina: planimetria di stato attuale

2 - Paraggio di Fegina: sezioni di stato attuale

3 - Paraggio di Fegina: planimetria di progetto

4 - Paraggio di Fegina: sezioni di progetto

5 - Paraggio del Centro Storico: planimetria di stato attuale

6 - Paraggio del Centro Storico: sezioni di stato attuale

7 - Paraggio del Centro Storico: planimetria di progetto

8 - Paraggio del Centro Storico: sezioni di progetto.

3 DESCRIZIONE DEL PARAGGIO DI MONTEROSSO.

Il paraggio di Monterosso si sviluppa per circa 3,3 km tra Punta Mesco a ponente e Punta Corone a levante.

La baia si apre a sud-est, essendo in gran parte protetta a ponente dal promontorio di Punta Mesco; il margine orientale del promontorio è costituito da un versante roccioso interessato da numerosi dissesti franosi che contribuiscono alla alimentazione delle spiagge poste al piede.

La porzione rivolta a sud della baia è suddivisa in tre settori: il primo alla foce del rio di Fegina, delimitato da un terrapieno adibito a parcheggio, il secondo compreso tra il terrapieno e la rocca dove sorge il Convento dei Cappuccini ed il terzo davanti al centro storico.

Ognuno di questi settori presenta tratti di litorale, solo in parte alimentati da altrettanti corsi d'acqua (rio di Fegina, rio delle Rocche e rio Pastanelli), che vengono periodicamente sostenuti con ripascimenti. L'unico tratto di costa alta rocciosa è quello sottostante il promontorio dei Cappuccini, in parte protetto con scogliere radenti.

La spiaggia di Fegina è in parte protetta da una scogliera sommersa che si stacca da un pennello in massi radicato sul terrapieno adibito a parcheggio e compiendo un lungo arco si raccorda ad un massiccio roccione al limite orientale della spiaggia.

La spiaggia antistante il centro storico (Tragagià) è difesa da una scogliera in massi emergente posa a circa 100 metri da riva.

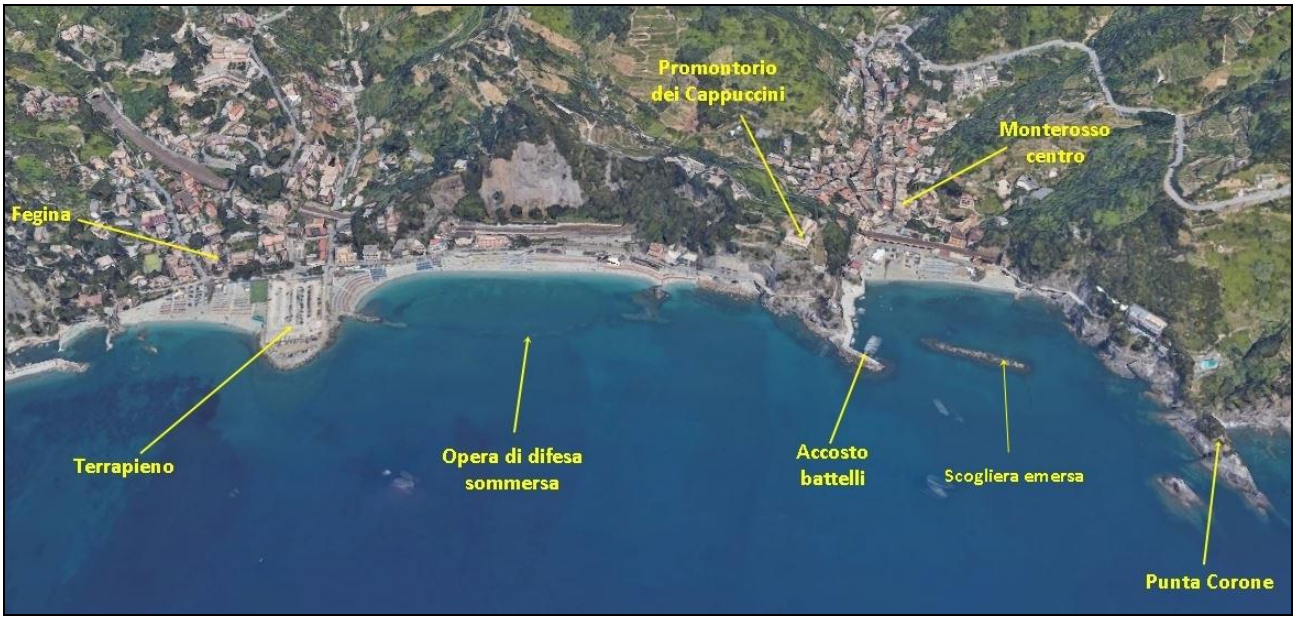


FIGURA 1 - *Visione d'insieme della baia di Monterosso.*

Le mareggiate dell'ottobre 2018 hanno causato forti danni ad entrambe le opere marittime, provocando dei cedimenti alle strutture, abbassando la quota di sommità delle dighe sommerse e disperdendo parte dei massi da quella emersa, lasciando non pochi varchi.

Non si sono eseguiti rilievi batimetrici di dettaglio, ma l'esame dei rilievi eseguiti circa 10 anni orsono confrontati con l'osservazione dello stato di fatto attuale rende evidente le criticità strutturali, per le quali è necessario un intervento di integrazione, riparazione e ricarica con le risorse finanziarie disponibili.

Le ispezioni subacquee eseguite recentemente (mese di ottobre 2020) nell'ambito delle verifiche archeologiche e delle indagini biologiche marine hanno confermato lo stato di ammaloramento delle difese frangiflutti, sia di quelle sommerse sia di quelle emerse.



FIGURA 2 - *La scogliera sommersa davanti alla spiaggia di Fegina; sono evidenti i tratti in cui l'opera marittima sembra del tutto assente o totalmente affondata.*



FIGURA 3 - *La scogliera emersa davanti alla spiaggia di Tragagià (centro storico) presenta anch'essa numerosi varchi che ne riducono l'efficacia.*

4 ASPETTI AMBIENTALI, GEOLOGICI E PAESAGGISTICI DEL SITO.

Il sito di intervento è interessato dalla presenza di un SIC marino codificato con il n. IT 1344270 (Fondali Punta Mesco - Riomaggiore), che abbraccia l'intero promontorio di Punta Mesco a ponente del piccolo golfo e riprende a levante seguendo tutta la costiera delle Cinque Terre sino a Riomaggiore.



FIGURA 4 - *Il paraggio di Monterosso con la mappatura dei SIC terrestri (colore bruno) e marini (azzurro).*

Monterosso inoltre appartiene al Parco Nazionale delle Cinqueterre (zona C).

Per tale ragione si è incaricato un professionista biologo che indagasse lo stato dei fondali antistanti il paraggio di Monterosso e verificasse la presenza di habitat delicati che potessero subire impatti dagli interventi in progetto.

Il dott. Andrea Molinari ha effettuato attenti sopralluoghi sul posto, eseguendo diverse ispezioni subacquee sia in prossimità della barriera sommersa antistante Fegina sia davanti al Centro storico. Si rimanda alla *Relazione tecnica-naturalistica sui bassi fondali prospicienti il Comune di Monterosso al Mare* per i necessari approfondimenti (doc. D).

Non si sono rilevate criticità di sorta in quanto *la presenza di habitat di pregio nelle zone limitrofe alle scogliere e la presenza di Posidonia oceanica non è presente nè in località Fegina nè in località Capoluogo, confermando quanto riportato dalle cartografie della Regione Liguria. Non è stato rilevato il prato di Cymodocea nodosa insediato sulla matte morta di posidonia come invece riportato dalla cartografia regionale in località Fegina*.

Dal punto di vista paesaggistico il paraggio di Monterosso è vincolato con un D.M. n. 070423 del 03.08.1959, comprende la *Zona costiera dei Comuni di Deiva, Framura, Bonassola, Levanto, Monterosso, Vernazza, Riomaggiore, La Spezia, Portovenere (parzialmente revocato per il Comune di La Spezia dal Decreto 070588)*, come bellezze di insieme.

Ai sensi dell'art. 142 del D.Lgs 42/2004 inoltre tutta la costa è tutelata in quanto *territorio costiero*.

Si veda in proposito la relazione paesaggistica in forma semplificata (doc. B). Gli interventi previsti ricadono nella casistica di quelli per i quali è prevista la procedura di autorizzazione semplificata (All. B del D.P.R. n. 31 del 13.02.2017):

B.42 interventi di ripascimento circoscritti di tratti di arenile in erosione, manutenzione di dune artificiali in funzione antierosiva, ripristino di opere di difesa esistenti sulla costa.

Per gli aspetti geologici si è incaricato il dott. Michele Malfatti, che ha eseguito approfondite indagini sul sito, corredando le analisi documentali con sopralluoghi in sito e indagini geognostiche (prove sismiche HVSR mediante tromografo digitale ad altissima sensibilità, che ha permesso di acquisire informazioni sulla stratigrafia dei terreni. Le prove sono state seguite sulla spiaggia antistante il Centro Storico.

La relazione geologica è riportata nel doc. C allegato al progetto. Ad essa si rimanda per ogni approfondimento. Dalle conclusioni della relazione si evince la piena fattibilità dell'intervento.

Si sono infine eseguite attente indagini sulla presenza di emergenze archeologiche, ottemperando all'art. 25 del D.Lgs. 50/2016 e redigendo la Verifica Preventiva di Interesse Archeologico. Per tale attività è stata incaricata la dott.ssa archeol. Valentina Brodasca, che ha condotto attente indagini bibliografiche sul sito di Monterosso alla ricerca di documenti storici e ha inoltre effettuato accurate ispezioni subacquee nelle acque antistanti le zone di intervento per verificare e ricercare la eventuale presenza di emergenze archeologiche di rilievo.

Nella sua relazione (doc. E) la dott.ssa Brodasca ritiene che il grado di potenziale archeologico dell'area interessata dall'opera, ovvero il livello di probabilità che in essa sia conservata una stratificazione archeologica, possa essere considerato di livello basso.

5 DESCRIZIONE E FINALITA' DEL PROGETTO.

Il presente progetto definitivo si concentra sugli interventi di riparazione e manutenzione della scogliera soffolta posta davanti alla spiaggia di Fegina, tra il terrapieno del parcheggio e il grande scoglio alla base della Rocca dei Cappuccini (vedi figura 5) e di quella emersa posta davanti al Centro Storico, operando su questa una modifica morfologica ottenuta abbassando la cresta della scogliera e portandola sotto il livello del mare in modo da creare una struttura dissipatrice a bassa sommergenza (-1,00 m) che consente di migliorare paesaggisticamente il sito e al tempo stesso di proteggere in modo efficace la spiaggia; questo intervento sarà propedeutico ad un opera di riqualificazione della baia che dovrà essere analizzata con studi meteomarini di dettaglio.

5.1 Soffolta a difesa della spiaggia di Fegina.

La **soffolta davanti alla spiaggia di Fegina** si sviluppa per circa 320 metri su una batimetrica di circa -7,00 metri, ad una distanza variabile tra 75 e 100 m da riva. E' formata da massi naturali disposti su una sezione trapezia che nella sua sagoma originale si innalzava almeno sino a quota -3,00 - 3,50 m s.l.m.

Oggi tale opera presenta diversi punti in cui sono evidenti varchi e brecce di notevole ampiezza e altri in cui non vi è più alcuna traccia dell'opera marittima. Nella tavola 1 che illustra lo stato attuale sono ben rimarcati tali tratti.

L'intervento in oggetto si pone lo scopo di rimediare - almeno in parte - a tali carenze. Si realizzeranno quindi ripristini di scogliera soprattutto nei tratti dove l'andamento altimetrico del profilo presenta maggiori cedimenti. L'obiettivo è quello di realizzare una sagoma della scogliera che raggiunga la quota di sommità di -4,00 m s.l.m. con paramenti inclinati lato mare e lato terra con pendenza 2 su 3.

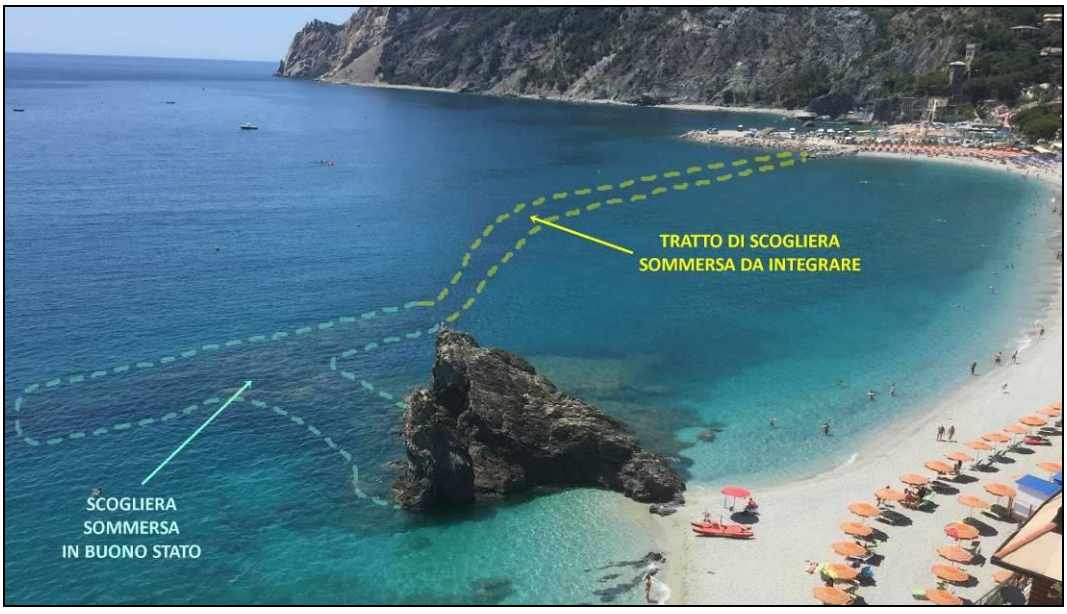


FIGURA 5 ***- Vista generale dell'area di intervento con le scogliere davanti alla spiaggia di Fegina.***

La scogliera verrà realizzata impiegando massi di IV categoria di peso medio pari a circa 8-9 tonnellate, che verranno trasportati via mare con un pontone e posizionati in loco, uno per uno, con apposito macchinario presente sul pontone (gru con braccio e benna a polipo).

Per assicurare una migliore aggregazione degli elementi lapidei e una maggiore densità all''opera soffolta si prevede di intasare i vuoti tra i massi ciclopici con tout-venant di cava, di pezzatura compresa indicativamente tra i 50 e 150 mm, in misura di circa il 5% del volume dei massi (vedi figura 6). Ciò permetterà di ottenere una migliore compattezza dell'opera, una maggiore stabilità e un effetto dissipativo più efficace nei confronti dell'onda incidente.

Complessivamente si prevede di posare circa 2.700 tonnellate di nuovi massi di IV categoria e circa 75 mc di tout-venant.

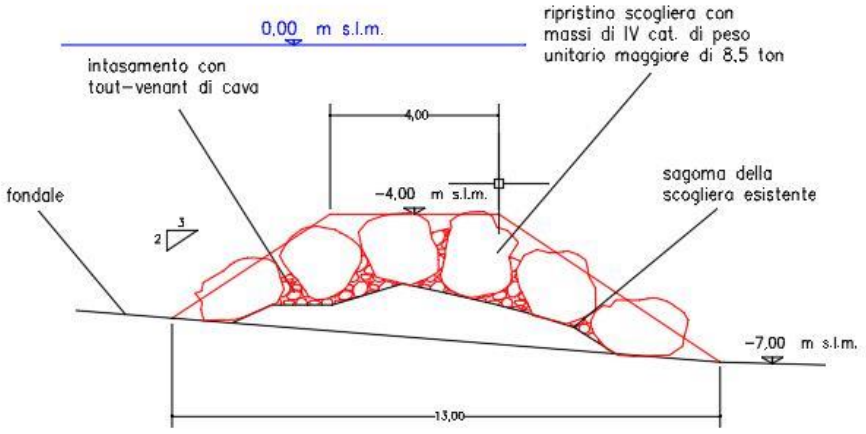


FIGURA 6 - *Sezione tipo dell'intervento di ripristino della scogliera sommersa di Fegina.*

5.2 Scogliera davanti al Centro Storico.

Per quanto riguarda la **scogliera emersa davanti alla spiaggia di Tragagià** si intende migliorare la funzionalità e ridurre l'impatto paesaggistico dell'opera di difesa modificandone la sagoma: in occasione delle mareggiate di maggiore intensità le onde più alte si abbattono sulla scogliera e - sia per la presenza di larghi varchi aperti sia per la limitata quota di sommità (mediamente poco più di un metro) - la scavalcano, procedendo verso riva con una minima dissipazione energetica.

Le onde provenienti dalla direzione di 220°, ovvero quelle pressoché ortogonali all'opera di difesa, arrivano in prossimità del manufatto con un'altezza pari a circa 2,90 m (per il tempo di ritorno di 1 anno) sino a 3,50 m (per le onde decennali), ben superiore a quella della sommità della scogliera; Le onde 50ennali arrivano a ridosso dell'opera con un'altezza di circa 3,90 m; l'opera emersa compie comunque un'azione di frangimento e dissipazione, ma non abbastanza efficace per ridurre l'energia dell'onda trasmessa.

Nelle analisi compiute negli studi allegati al PTAMC 17 si evidenzia come la profondità della spiaggia sia appena sufficiente a dissipare le onde con cadenza annuale, mentre è del tutto inadeguata per gli eventi meteomarini 50-ennali, generando una fascia di pericolosità costiera che si estende anche alle are urbanizzate retrostanti (vedi figura 7).

Il progetto prevede di abbassare la quota della scogliera semi-emersa portandola a -1,00 m e allargare il piano superiore, sino a 25 metri, in modo da costringere le onde - anche quelle di maggiore altezza - a frangersi e a perdere gran parte della propria energia, sfruttando sia l'effetto del basso fondale della secca sia quello della sua estensione trasversale.

Per ottenere questo risultato si sfrutteranno una parte dei massi della parte superiore della scogliera, salpandoli con un pontone e li si sposterà sul lato verso terra. Prima di compiere tale operazione si dovrà creare un imbasamento di pietrame (spessore 50 cm con pezzatura 5-50 kg),

che svolga funzioni di appoggio dei massi ciclopici sul fondale sabbioso; i nuovi massi avranno pezzatura analoga a quelli impiegati a Fegina, quindi di IV categoria con peso unitario pari a 8-9 tonnellate.

Si fornirà un quantitativo aggiuntivo complessivamente pari a circa 600 tonnellate di massi.



***FIGURA 7** - Fasce dinamiche A e B del paraggio di Monterosso (estratto dalla relazione sul paraggio nel PTAMC 17).*

Nella figura 8 è riportata una sezione tipo della scogliera del Centro con la sovrapposizione dell'intervento in progetto.

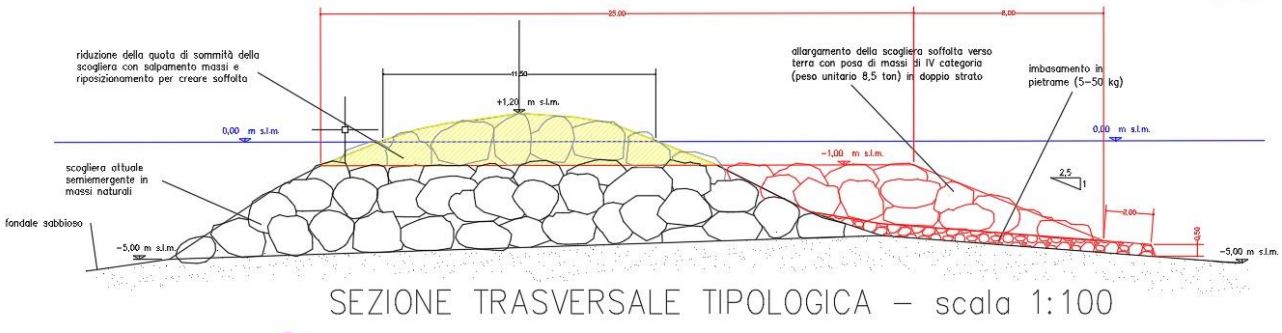


***FIGURA 8 -** Sezione trasversale della scogliera emersa davanti al Centro storico.*

Tale modifica della opera marittima è peraltro prevista anche tra gli interventi raccomandati nel PTAMC 17, che spiega come l'obiettivo di riequilibrio della spiaggia del Centro storico "*possa essere perseguito attraverso lo smantellamento della barriera parallela riutilizzando la gran parte dei massi per costruire una struttura dissipativa semi-sommersa in scogliera all'estremo di levante della spiaggia*

(grosso modo davanti alla spiaggia Tragagià) in modo da ridurre le capacità di trasporto del moto ondoso senza costituire elementi riflettenti e lasciando il materiale che costituisce la spiaggia libero di depositarsi dietro la struttura a mo' di tombolo".

5.3 Altri interventi per la difesa e la riqualificazione della baia del Centro storico.

La spiaggia di Tragagià merita di essere protetta e riqualificata. Il moto ondoso di maggiore intensità (settore di traversia compreso tra 150 e 240°) tende a depauperare la porzione di levante della spiaggia , anche per l'effetto riflettente operato dalla scogliera di Punta Corone e accumula i sedimenti a ridosso del molo di attracco vaporetti sul limite di ponente.

L'effetto di apporto di materiale dal corso del canale Pastanelli è stato stimato in circa 400 mc/anno, ma tale contributo è di tipo impulsivo in ragione del carattere segnatamente torrentizio del corso d'acqua e in ogni caso può essere considerato trascurabile nel bilancio sedimentario del paraggio, che risulta fortemente deficitario: si è stimato infatti che le perdite annue di materiale sabbioso ammontano a circa 3.500 mc.

Occorre pertanto programmare e progettare interventi di difesa che perseguano l'obiettivo di riqualificare paesaggisticamente la baia e dare stabilità alla falce di arenile. Per fare ciò si dovranno compiere approfonditi studi meteomarini che tengano conto degli effetti del moto ondoso con le diverse direzioni di provenienza, della morfologia dei fondali, della conformazione e della tessitura della spiaggia emersa, degli effetti di bordo (scogliera a levante e banchinamenti a ponente) e della dinamica sedimentaria.

In quest'ottica quindi l'intervento di modifica della scogliera emersa davanti alla spiaggia di Tragagià è da intendersi solo come fase propedeutica ad altri interventi che saranno progettati alla luce delle suddette analisi.

6 CLIMA METEOMARINO DEL PARAGGIO.

6.1 Il Piano di Tutela dell'Ambito Marino e Costiero (PTAMC)

Per la determinazione delle caratteristiche meteomarine del paraggio di Monterosso, indispensabili alla valutazione del clima ondoso e al dimensionamento delle opere in progetto, si sono assunte molte informazioni e dati dal Piano di Tutela dell'Ambito Marino e Costiero ed in particolare all'Ambito Costiero 16-17-18 che la Regione Liguria ha predisposto e recentemente adottato con DGR 216 del 17 marzo 2020.

In tale Piano sono analizzate le varie caratteristiche ambientali, geografiche, socio-economiche, marittime e geologiche della costa ligure di levante, nel tratto compreso tra Punta Baffe (che separa Riva Trigoso da Moneglia) e il torrente Parmignola che segna il confine tra Liguria e Toscana.

6.2 Settore di traversia e fetch efficace

Il paraggio di Monterosso si trova un una baia abbastanza riparata dal lato di ponente dalla presenza di punta Mesco, mentre da levante la costa ha un andamento orientato sui 150-160°N che la rende del tutto protetta dai mari di scirocco.

Il settore di traversia è aperto quindi tra 150 e 240 ° N.

La misura del clima ondoso al largo è legata soprattutto all'estensione del braccio di mare sul quale può soffiare il vento per formare le onde: tale grandezza è nota come il "*fetch geografico*" e si misura in km o miglia nautiche.

Ciò che però è maggiormente utile stimare è il "*fetch efficace*", che rappresenta è definito come la porzione di mare che, sotto l'azione diretta del vento, costituisce l'area di generazione dell'evento di moto ondoso, tenendo debito conto delle lunghezze associate a direzioni laterali rispetto a quella principale e quindi anche della larghezza dell'area di generazione.

Il braccio di mare che fronteggia il paraggio di Monterosso ha lunghezze di fetch geografico variabili tra 750 e 800 km, nel tratto di traversia principale compreso tra l'Isola d'Elba e Capo Corso, arrivando sino alla costa siciliana e tunisina.

Tuttavia la presenza delle isole dell'arcipelago toscano e la stessa isola di Corsica riducono il fetch geografico: utilizzando il metodo proposto da Saville, riportato nello Shore Protection Manual, si ottengono i seguenti risultati : il fetch efficace per la direzione principale del settore di traversia (da 210 a 230° N) si riduca da 500 km a circa 300 km.

Nella figura 9 si rappresentano i fetch geografici e quelli efficaci del sito in cui è posta la boa ondametrica di La Spezia. Il clima al largo dell'Ambito 17 in cui ricade il paraggio di Monterosso ha le medesime esposizioni e pertanto può essere assimilato a tale valutazione.

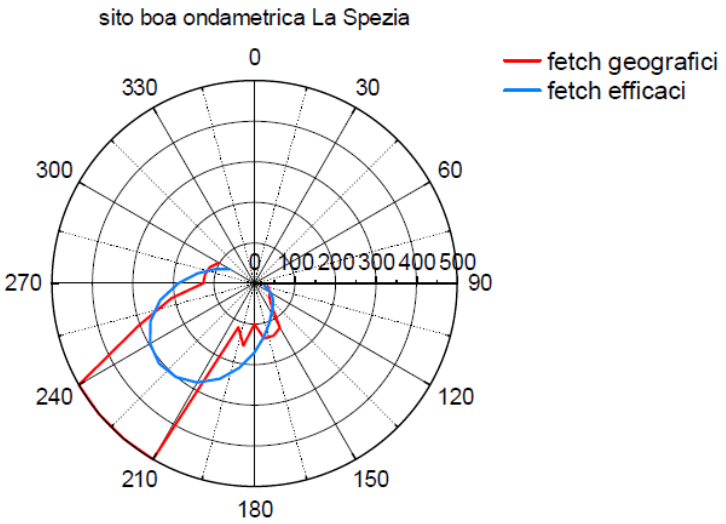


FIGURA 9 - *Confronto tra i fetch geografici ed efficaci in corrispondenza della boa ondametrica di La Spezia; i medesimi dati possono essere assunti per il paraggio di Monterosso.*

6.3 Il clima ondoso al largo

La valutazione del clima ondoso al largo è stata effettuata nel PTAMC utilizzando i dati rilevati dalla boa ondametrica R.O.N. presente al largo del golfo di La Spezia, che rileva i dati di onda (altezza d'onda e periodo medio) con le relative direzioni di provenienza, a partire dal 1989; si hanno quindi a disposizione un numero di anni sufficiente a elaborare una analisi statistica di buona attendibilità.

Per il paraggio di Monterosso, che fa parte dell'Ambito 17, i dati elaborati dalle rilevazioni della boa possono essere assunti come rappresentativi, senza bisogno di trasposizione geografica.

Si sono pertanto suddivisi i dati rilevati per classi di altezza d'onda significativa e per varie direzioni di provenienza, giungendo a stabilire che per l'ambito 17 gli stati di mare più frequenti sono quelli che provengono dal settore di traversia di sud-ovest, compreso tra 210 e 240°N e le onde più elevate si hanno per i settori compresi tra 210 e 260° N (vedi figura 10).

Per gli Ambiti 17 e 18, rappresentati dai dati misurati dalla boa ondametrica della Spezia, tenendo conto dell'esposizione degli ambiti e dei valori ottenuti dall'analisi statistica, si è scelta la direzione di 220°N per i mari da Libeccio, da cui risultavano valori di Hs e Tp più alti, rappresentativa del settore di traversia principale; la direzione 160°N per il settore secondario da Scirocco; la direzione 180°N per il settore da mezzogiorno meno significativo.

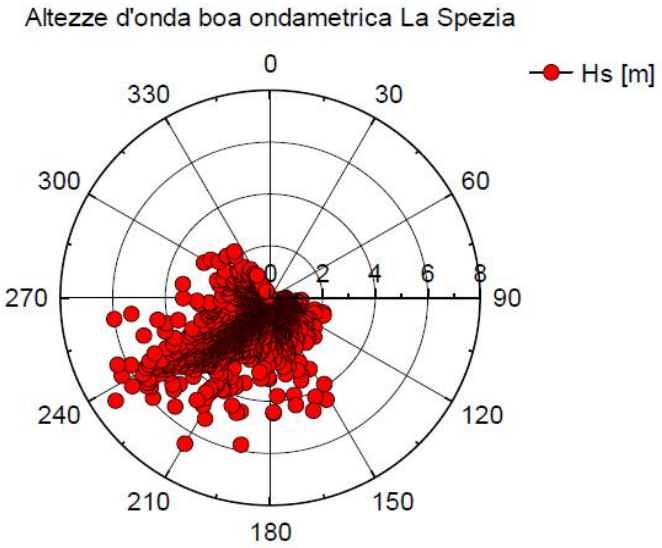


FIGURA 10 *- Distribuzione dei valori delle altezze d'onda significativa derivanti dalla analisi statistica della boa ondametrica di La Spezia; i medesimi dati possono essere assunti anche per il paraggio di Monterosso (Ambito 17).*

Nella tabella seguente si sono indicati i valori di altezza d'onda e periodo di picco associati ai periodi di ritorno per le varie direzioni di provenienza tra 160° e 220°N.

Periodo di ritorno T [anni]	dir 160°		dir 180°		dir 220°	
	H_{m0T} [m]	T_P [s]	H_{m0T} [m]	T_P [s]	H_{m0T} [m]	T_P [s]
1	2,4	6,9	2,0	6,3	5,1	10,2
2	3,1	7,9	2,7	7,5	5,7	10,7
5	3,8	8,7	3,4	8,3	6,4	11,4
10	4,2	9,3	3,8	8,8	6,9	11,8
20	4,7	9,8	4,2	9,3	7,4	12,3
30	5,0	10,1	4,5	9,5	7,7	12,5
50	5,3	10,4	4,8	9,8	8,1	12,9
100	5,7	10,8	5,2	10,3	8,6	13,3

Secondo quanto raccomandato nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione di dighe marittime" (Documento approvato dalla Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 23 settembre 1994 n. 156) si può assumere un livello di sicurezza 1 (che si riferisce a opere ed installazioni di interesse locale, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di

danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori, etc. ...) e una durata di vita dell'opera di 25-30 anni.

In definitiva, quindi, per la progettazione dell'opera di difesa marittima in oggetto, si è scelto di assumere un tempo di ritorno dell'onda di progetto pari a 50 anni.

La direzione di provenienza che sviluppa le onde di maggiore altezza è quella di 220°N.

Risultano quindi i seguenti dati i:

direzione di provenienza dominante	α = 220°N
altezza d'onda al largo	Ho = 8,10 m.
periodo di picco	Tp = 12,85 s
Lunghezza d'onda a largo	Lp = 257,8 m

6.4 Propagazione sotto costa

Il calcolo della propagazione di tali eventi verso la costa tiene conto di diversi effetti, tra i quali la conformazione e la ripidità dei fondali (*shoaling*), l'orientazione dei fronti d'onda rispetto alle linee isobatimetriche (rifrazione), la presenza di coste alte (scogliere) o basse (spiagge).

Nell'ambito del citato PTAMC si è sviluppato un modello di propagazione dall'onda al largo, facendo uso del modulo di calcolo MIKE 21 SW, procedendo dapprima su larga scala e poi implementando i dati con maggiore dettaglio per poter simulare le dinamiche costiere dei singoli paraggi.

Si è pertanto arrivati a stimare le caratteristiche del moto ondoso alla profondità di -15 metri per i tempi di ritorno di 1, 50 e 100 anni e per le direzioni di 160-180-220°N. Nella seguente tabella si riportano i dati ottenuti per il paraggio di Monterosso zona Fegina (cod. AM17-28) e per quello di Monterosso centro (cod. AM17-27).

Fegina AM17-28			160°N	180°N	220°N
Tr = 1 anno	Hs	m	2.10	1.80	2.90
	Tp	s	6.90	6.30	10.1
	L	m	165.7	179.7	197.7
Tr = 50 anni	Hs	m	4.10	4.10	5.10
	Tp	s	10.2	9.70	12.7
	L	m	174.0	182.6	200.3
Tr = 100 anni	Hs	m	4.40	4.50	5.40
	Tp	s	10.6	10.2	13.0
	L	m	175.0	183.2	200.3

Monterosso centro AM17-27			160°N	180°N	220°N
Tr = 1 anno	Hs	m	2.10	1.80	4.00

	Tp	s	6.90	6.30	10.0
	L	m	165.2	180.1	203.3
Tr = 50 anni	Hs	m	4.10	4.20	6.60
	Tp	s	10.2	9.70	12.6
	L	m	173.7	183.2	204.3
Tr = 100 anni	Hs	m	4.30	4.60	7.00
	Tp	s	10.6	10.2	13.0
	L	m	174.7	183.9	204.3

Si osserva come dalla lettura delle tabelle di calcolo nel documento "Relazione sulla propagazione del moto ondoso dal largo verso la costa" del PTAMC in questione il paraggio di "Monterosso centro (cod. AM17-27) presenti valori di altezza d'onda più elevati di quelli per il settore di Fegina (soprattutto dalle direzioni con angolazioni maggiori di 200 °N), che risulta - come già evidenziato - più ridossato e protetto dal promontorio di Punta Mesco.

Il decremento dell'ondazione sottocosta risulta percentualmente molto più rilevante (quasi doppia) per il settore di Fegina rispetto a Monterosso centro.

I valori massimi, come già detto sono quelli provenienti dalla direzione di 220°N e sono quelli che verranno assunti per il dimensionamento delle opere in progetto per il tempo di ritorno di 50 anni.

Si è determinata l'altezza d'onda sino al piede dell'opera in progetto, pari a -7,00 m s.l.m. che è pressoché analogo per le due opere. Considerato il breve intervallo spaziale tra le due batimetriche di -15 e -7 m (circa 220 metri) e la regolarità dell'andamento planimetrico delle stesse si è fatto uso del modello di calcolo semplificato messo a punto da Resio, che stima la altezza d'onda ad una data profondità d in funzione del rapporto tra le lunghezze d'onda e l'altezza d'onda al largo, secondo la relazione :

$$H = Ho \cdot (L_P / L_{Po})^{0,75}$$

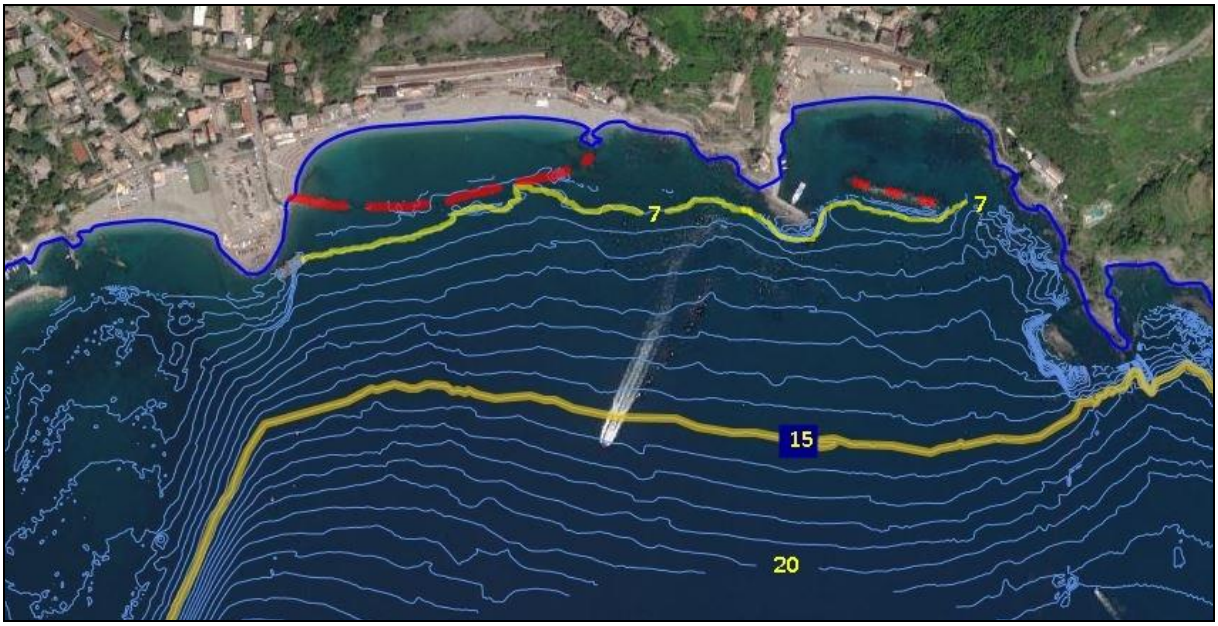


FIGURA 11 - *Andamento delle linee isobatimetriche davanti al paraggio di Monterosso.*

Si ottengono quindi i seguenti valori per la direzione di provenienza di 220° e il tempo di ritorno di progetto di 50 anni, utilizzando i dati - più cautelativi - della stazione di Monterosso Centro (AM17-27):

	H (m)	T (s)	L (m)
Largo	8.10	12.85	257.6
d = - 15 m	6.60	12.60	204.3
d = - 7 m	4.08	8.39	103.4

Si assume quindi una altezza d'onda di progetto di 4.10 m, associata ad un tempo di ritorno di 50 anni.

7 VERIFICHE DI STABILITA' DEGLI SCOGLI

Determinata l'altezza d'onda di progetto assunta a base dei calcoli per il dimensionamento dell'opera, ovvero quella più prudenziale associata alla direzione di 220°N per un tempo di ritorno di 50 anni:

Hs = 4.10 m

è possibile stimare, con formule empiriche, il peso medio dei massi costituenti la barriera che possono essere considerati stabili.

Le formule di seguito impiegate sono state approntate per il dimensionamento dei frangiflutti emersi, che sicuramente sono soggetti ad azioni dinamiche delle onde più punitive di quanto non

sia un'opera sommersa. La scogliera di massi naturali avrà un angolo di inclinazione non superiore a 2 su 3 (circa 33°) e sarà costituita da massi naturali sovrapposti a quelli esistenti.

Per la stima del peso dei massi da porre in opera si sono usate le formule empiriche di Iribarren, Hudson e Van der Meer

7.1 Formula di Iribarren

La formulazione proposta da Iribarren è fondata sul criterio d'equilibrio del singolo masso della mantellata di peso P:

$$P = \frac{N * H * \gamma_m}{(f\cos\alpha - \sin\alpha)^3 * \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1\right)^3}$$

dove:

- H = altezza d'onda di progetto sulla profondità di 7 metri;
- α = angolo che la scarpata forma con l'orizzontale;
- γ_m = peso specifico dei massi costituenti la mantellata;
- γ_a = peso specifico dell'acqua di mare;
- N = coefficiente di forma dei massi
- *f* = coefficiente di attrito tra i massi

Per i valori del peso specifico si è assunto:

γ_m = 2,60 t/mc;

γ_a = 1,03 t/mc.

Iribarren ha fornito inoltre, per diversi tipi di massi, i valori N e *f*:

Massi naturali	*f*=2.38	*N*=0.43
Massi artificiali (parallelepipedi)	*f*=2.84	*N*=0.43
Tetrapodi	*f*=3.47	*N*=656

I risultati sono sintetizzati nella seguente tabella:

α [°]	H [m]	γ_m [t/mc]	γ_a [t/mc]	N [-]	f [-]	P [t]	D [m]
33	3.00	2.60	1.03	0.43	2.38	7.51	1.77

Applicando la relazione di **Iribarren** il peso dei massi naturali da utilizzare per la mantellata risulta pari a circa **7,50 t**.

Tale formulazione risulta molto sensibile all'altezza d'onda e all'angolo d'inclinazione della mantellata rispetto all'orizzontale che compaiono alla terza potenza, ma prescinde dalla durata della mareggiata e dal periodo dell'onda.

7.2 *Formula di Hudson*

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.

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

dove:

H = onda di progetto sulla profondità di 7 metri;
α = angolo che la scarpata forma con l'orizzontale (cotg α = scarpa della mantellata);
γ_m = peso specifico dei massi costituenti la mantellata;
γ_a = peso specifico dell'acqua di mare;
K_D = coefficiente che sintetizza le caratteristiche relative a forma, angolo di attrito interno ed indice dei vuoti degli elementi che costituiscono la mantellata.

Il coefficiente K_D è tabellato nello Shore Protection Manual ed 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	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	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
Tetrapodi e quadripodi	H/H_D	1.00	1.09	1.17	1.24	1.32	1.41	1.50
	K_D	8.3	10.8	13.4	15.9	19.2	23.4	27.8
Tribar	H/H_D	1.00	1.11	1.25	1.36	1.5	1.59	1.64
	K_D	10.4	14.2	19.4	26.2	35.2	41.8	45.9

Considerando un danneggiamento, corrispondente ad una situazione di perdita molto limitata e facilmente riparabile degli elementi (0-5%), ed una scogliera realizzata in massi naturali (K_D=4), si ottiene che il peso dei massi naturali da utilizzare per la mantellata è pari a circa **8.40 t:**

γ_m [t/m³]	γ_a [t/m³]	H_6 [m]	α [°]	K_D [-]	P [t]	D [m]
2.60	1.03	4.10	33	4.00	**8.43**	**1.84**

7.3 Formula di Van der Meer

La formula di Van der Meer, rispetto a quella di Hudson, permette di tener conto dell'azione di onde irregolari e degli effetti legati alla variabilità del periodo introducendo il parametro di frangimento medio:

$$\xi_m = \frac{\tan\alpha}{\sqrt[2]{\frac{H}{L_0}}}$$

dove:

H = onda stimata sulla profondità di 7 metri;
α = angolo che la scarpata forma con l'orizzontale (cotg α = scarpa della mantellata);
L_0 = larghezza dell'onda al largo relativa al periodo medio T_m delle onde.

In funzione del valore assunto da ξ_m, le formule di Van der Meer per massi naturali sono:

Per $\xi_m \leq 2.5$, onda frangente di tipo plunging:

$$\frac{H}{\Delta * D_{n50}} = 6.2\,(p^*)^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{-0.5} \quad per\ \xi_m \leq 2.5$$

Per $\xi_m \geq 3.5$, onda frangente di tipo surging:

$$\frac{H}{\Delta * D_{n50}} = (p^*)^{-0.13}(\cot\alpha)^{0.5}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{\,p^*} \quad per\ \xi_m \geq 3.5$$

Per $2.5 \leq \xi_m \leq 3.5$, onda con frangimento intermedio:

$$\frac{H}{\Delta * D_{n50}} = min\left(6.2\,(p^*)^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{-0.5};\ (p^*)^{-0.13}(\cot\alpha)^{0.5}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{\,p^*}\right)$$

dove:

- $\Delta = (\gamma_m/\ \gamma_a - 1)$ = massa relativa del masso;
- D_{n50} = diametro nominale del masso di peso mediano;
- S = livello di danneggiamento definito come rapporto A/D^2_{n50} con A area della sezione trasversale erosa dalla mareggiata;
- N = numero di onde presenti nella mareggiata;
- p^* = parametro indicatore della permeabilità della struttura.

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

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

La verifica è stata condotta per S=2 corrispondente a danno iniziale

α [°]	H [m]	T_m [s]	L_0 [m]	ξ_m [-]	γ_m [t/mc]	γ_a [t/mc]	p^* [-]	S [-]	N [-]	**D_{n50} [m]**	**P_{n50} [t]**
33	4.10	8.39	103.4	3.54	2.60	1.03	0.40	2.00	5000	**1.96**	**10.32**

In base a tali valori, risulta un peso medio (P_{50}) dei massi naturali da utilizzare per la mantellata pari a circa 10 **t.**

7.4 Confronto dei risultati

Nella seguente tabella sono posti a confronto i risultati ottenuti con le tre formulazioni proposte:

	Iribarren	Hudson	Van Der Meer
P [t]	7.51	8.43	10.32
D [m]	1.77	1.84	1.96

I risultati, pur provenendo da formulazioni empiriche diverse, risultano simili e comparabili tra loro.

A favore di sicurezza, ai fini del dimensionamento della mantellata, si è scelto quindi di utilizzare massi del peso di circa 8,5 tonnellate, appartenenti alla IV categoria, che risulta il valore medio tra quelli calcolati.

Da un punto di vista pratico è opportuno che il peso dei singoli scogli rientri all'interno del range di un 20-25% in più o in meno rispetto al valore di progetto; quindi la pezzatura degli scogli dovrà variare tra 7 e 10 tonnellate circa.

8 VERIFICA DELLA EFFICACIA DELLE OPERE MARITTIME.

Con alcune formule empiriche proposte da Van der Meer (Van der Meer et al., 2005), ottenute 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, è possibile valutare l'onda trasmessa a valle delle opere e quindi valutarne l'efficacia: tanto più ridotta risulterà l'altezza d'onda oltre l'ostacolo, tanto maggiore sarà l'azione dissipativa che potrà svolgere l'opera con conseguente minore impatto sulla spiaggia e le strutture a terra.

Partendo dalla altezza dell'onda a monte delle soffolte H_{SI} (la stessa altezza d'ona adottata per le verifiche di stabilità dei massi), è stata modellata la trasmissione in corrispondenza dell'opera di difesa determinando l'altezza dell'onda trasmessa a valle della stessa H_{tr}.

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).

Per le strutture permeabili, parzialmente o completamente sommerse (come nel nostro caso, essendo formate da massi naturali), valgono le seguenti relazioni:

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

dove B è la larghezza della testa della soffolta, 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:

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

dove α è l'inclinazione del paramento della struttura, rispettivamente a monte (α_m) e a valle (α_v) dell'opera, H_{SI} è l'altezza dell'onda incidente a monte della soffolta, L_{SI} è la lunghezza dell'onda incidente a monte della soffolta.

8.1 Verifica dell'effetto dissipativo della scogliera sommersa di Fegina.

La scogliera di Fegina ha una sommergenza limitata (-4.00 m con tratti a -2,50 verso levante) e soprattutto una estensione trasversale piuttosto contenuta (4-5 m in sommità). L'effetto dissipativo che ci si attende sul moto ondoso incidente pertanto non è rilevante.

La sua funzione principale sarà semmai quella di costituire un ostacolo alla perdita di sedimenti sottratti dall'arenile.

Dati quindi :

H_{SI} = 4,10

L_{SI} = 109,90 m

T_{SI} = 8,39 sec.

B = 4 m

$\alpha_m = 2/3 = 0,67$

$\alpha_v = 2/3 = 0,67$

c = 0,64

risulta:

ξ_p = 1,38

e il valore del coefficiente di trasmissione K_t risulta :

K_t = 0,71

La altezza d'onda trasmessa a valle dell'opera è pertanto pari a

H_{tr} = 2,92 m.

L'effetto dissipativo della scogliera sommersa è pertanto piuttosto modesto.

H_{SI}	T_{SI}	L_{SI}	K_t	H_{tr}	L_{tr}
4,10 m	8,39 s	109,90 m	0,71	2,92 m	92,90 m

8.2 Verifica dell'effetto dissipativo della scogliera sommersa davanti al Centro storico.

La scogliera sommersa che verrà realizzata davanti al Capoluogo sfrutterà soprattutto l'azione dissipativa dovuta alla sua bassa sommergenza (-1,00 m), alla significativa estensione trasversale (25 m) e alla scabrezza, garantita da scogli di grandi dimensioni.

Come già detto in precedenza tale disposizione plano-altimetrica sarà oggetto di successivi studi di dettaglio e potrà subire variazioni in funzione dei risultati ottenuti.

Dati quindi :

H_{SI} = 4,10

L_{SI} = 109,90 m

T_{SI} = 8,39 sec.

B = 25 m

$\alpha_m = 1/2 = 0{,}50$

$\alpha_v = 1/2{,}5 = 0{,}40$

$c = 0{,}64$

risulta:

$\xi_p = 1{,}03$

$B/H_{SI} = 6{,}10 < 10$

Quindi si applica la prima formula e risulta infine:

$K_t = 0{,}24$

La altezza d'onda trasmessa a valle dell'opera è pertanto pari a

$H_{tr} = 1{,}00$ m.

L'effetto dissipativo della scogliera sommersa è pertanto significativo.

H_{SI}	T_{SI}	L_{SI}	K_t	H_{tr}	L_{tr}
4,10 m	8,39 s	109,90 m	0,24	1,00 m	31,94 m

Per le onde di intensità minore, associate a tempi di ritorno di 1 o 10 anni, l'effetto è pressoché analogo: le onde di minore altezza subiscono una dissipazione percentualmente inferiore.

TR	H_{SI}	T_{SI}	L_{SI}	K_t	H_{tr}	L_{tr}
10 anni	3,49 m	7,75 s	93,78 m	0,25	0,89 m	28,30 m
1 anno	2,86 m	7,64 s	91,13 m	0,28	0,80 m	25,52 m