COMUNE DI FRAMURA
Regione Liguria

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE E PROTEZIONE DEL LITORALE PRESSO LA SPIAGGIA DI FORNACI

PROGETTO DEFINITIVO

LOTTO 1

R9 - RELAZIONE STRUTTURALE

PROGETTO: ROMANO ASSOCIATI – ALBENGA – viale Martiri della Libertà 68A/6
Ing. Luca Romano – civile edile - strutturista – specialista strutture c.a. e c.a.p.

DATA: 09 ottobre 2020
REVISIONE: 0.0
FILE: FORNACI_Relazione strutturale.doc



INDICE

1 PREMESSE 3
2 INQUADRAMENTO 4
3 INTERVENTI DA REALIZZARE 6
3.1 REALIZZAZIONE DI SECCHE ARTIFICIALI SEMI-AFFIORANTI 7
3.2 RIPASCIMENTO STRUTTURALE 8
3.3 MODELLAZIONE NUMERICA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA 9
4 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE STRUTTURALI 11
4.1 GENERALITA' E SCELTA TIPOLOGIA STRUTTURALE 11
4.2 DIMENSIONAMENTO 12
4.3 CONDIZIONI METEOMARINE DI PROGETTO 13
4.4 MATERIALI DI PROGETTO 14
4.5 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA MANTELLATA 15

1 PREMESSE

La presente relazione illustra il dimensionamento strutturale effettuato per la realizzazione delle due secche artificiali semi affioranti a protezione della spiaggia Fornaci in Comune di Framura.

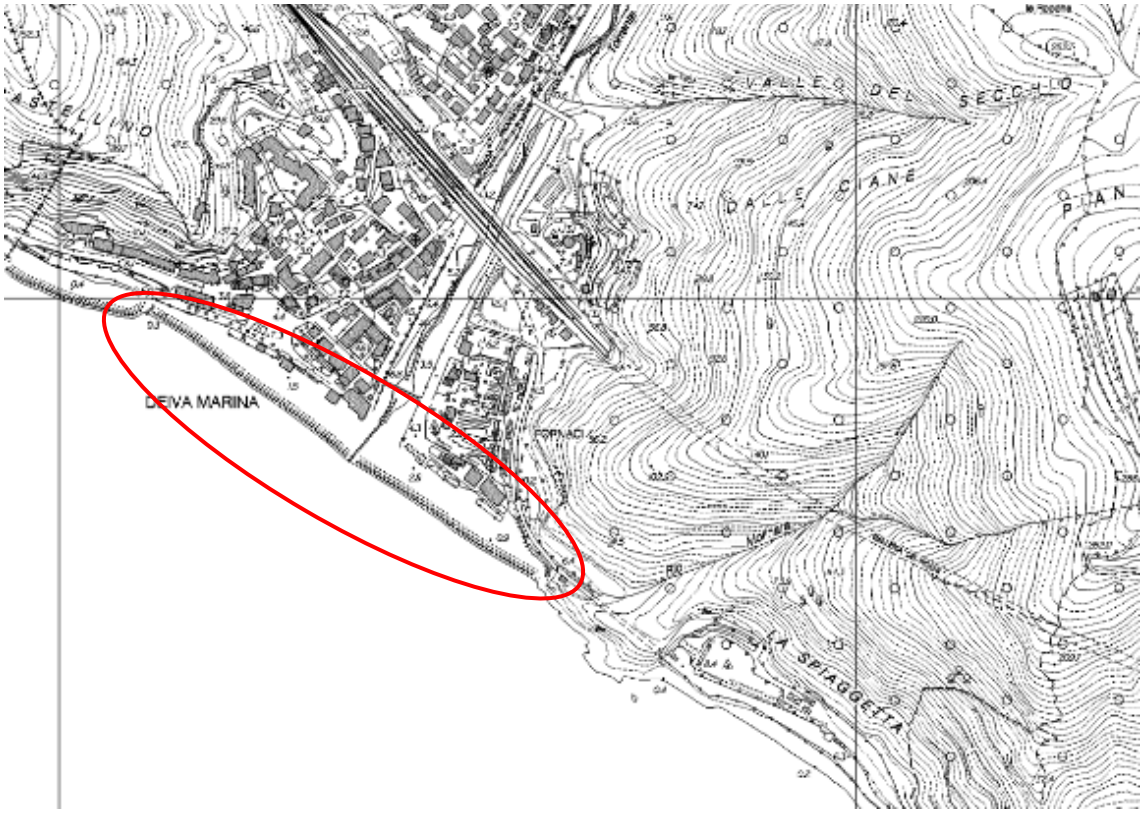
In seguito all'eccezionale mareggiata che ha colpito con insistenza la costa ligure il 29 Ottobre 2018, il Comune di Framura sta intervenendo sul litorale con un programma di ripristino della fascia costiera. Le finalità è quella di rigenerare ciò che è andato distrutto e di rafforzare le misure di protezione per la messa in sicurezza delle spiagge e delle infrastrutture che corrono accanto la costa.

In merito al presente progetto, gli interventi riguardano opere di sistemazione e protezione del litorale, con la realizzazione di opere di difesa costiera sommerse artificiali e il ripascimento strutturale della spiaggia in località Fornaci duramente coinvolta dall'evento eccezionale sopracitato.

Queste tipologie di intervento risultano fondamentali per garantire il ripristino e la fruizione, soprattutto durante la stagione balneare, delle aree del litorale del comune di Framura e del Comune di Deiva Marina; data la conformazione della costa ligure, questi tratti costieri risultano pienamente esposti alle mareggiate sempre più frequenti provenienti dal Libeccio e sono quindi bisognose di opere di protezione e continui interventi di manutenzione.

2 INQUADRAMENTO

L'area oggetto di intervento, rappresentata nella foto satellitare, è ubicata presso la spiaggia di località Fornaci.



Carta tecnica regionale

L'area è caratterizzata dalla presenza degli insediamenti della località Fornaci di Framura e di Deiva Marina, e dalle attrezzature delle attività presenti sulla spiaggia nel periodo estivo.

La spiaggia di Deiva-Fornaci ha una morfologia molto particolare, quasi unica in Liguria, perché non è propriamente una spiaggia a tasca, racchiusa tra due promontori, ma è quasi aggettante rispetto alla costa alta che la delimita a ponente e a levante. La sua falcatura, infatti, non ha la tipica forma arcuata concava ma presenta un assetto planimetrico pressoché rettilineo se non debolmente convesso. Questa particolarità è dovuta essenzialmente al notevole trasporto solido del torrente Castagnola, che nel tempo ha completamente saturato il vecchio golfo fino a superarne i limiti laterali. A quel punto i sedimenti trasportati dal torrente vengono presi in carico dalle ondazioni e formano una spiaggia sottomarina che viene modellata in senso prevalentemente trasversale dal mare dominante di libeccio. Anche la morfologia della spiaggia sottomarina evidenzia questo fatto con isobate essenzialmente parallele alla linea di riva ed alla direzione del tratto di costa.



Ortofoto satellitare

3 INTERVENTI DA REALIZZARE

Alla luce di quanto sopra si può cercare di ipotizzare la tendenza evolutiva del paraggio costiero di Deiva considerando i seguenti elementi:

- La spiaggia emersa mantiene sostanzialmente lo stesso assetto da quasi 200 anni, tolte le oscillazioni periodiche dovute alla prevalenza di un particolare clima ondoso. Questo assetto è dovuto ad una serie di fattori:
    - L'ampiezza della spiaggia è tale da permettere una completa dissipazione del moto ondoso durante le mareggiate senza indurre fenomeni rilevanti di riflessione:
    - Non sono presenti opere trasversali né longitudinali che inducano fenomeni importanti di riflessione del moto ondoso o fenomeni artificiali di rip current;
    - L'alimentazione di materiale grossolano da parte del torrente Castagnola risulta sufficiente a compensare in parte le perdite verso il largo dei sedimenti.
- La spiaggia sommersa mostra un trend evolutivo tendente all'erosione con volumi tutto sommato ridotti anche se non trascurabili. Continuando tale trend però è probabile che il sistema si avvicini pericolosamente al punto di non ritorno, a causa dell'aumento di pendenza della spiaggia sommersa che riduce la dissipazione dell'energia del moto ondoso

Considerando lo stato dei luoghi, i vincoli naturali e quelli antropologici, nei capitoli seguenti saranno illustrati gli interventi di riduzione del rischio:

- Realizzazione di opere di difesa a mare che constatano in due "secche" artificiali a pelo libro dell'acqua, poste alle basi dei promontori che racchiudono la spiaggia (a ponente e a levante). Tali secche sono chiuse a terra da "puntelli" di scogliera per il contenimento e protezione del ripascimento dell'arenile.
- Ripascimento della spiaggia

Si tratta di opere importanti, con notevole impatto sui luoghi e con un impegno di spesa rilevante, ma tali da risolvere in maniera definitiva le criticità attualmente esistenti: erosione costiera e protezione dal frangimento delle onde degli edifici e delle opere infrastrutturali prossimi alla spiaggia.

Le considerazioni a valle degli eventi e degli interventi tampone, portano a evidenziare la necessità di realizzare interventi più importanti atti ad aumentare la resilienza dell'area, alzando la soglia critica del periodo di ritorno dell'evento.

L'importanza dell'intervento ha richiesto uno studio specialistico ed una modellazione per lo studio di dettaglio finalizzato all'individuazione degli interventi proposti: dimensionamento delle opere e giustificazione delle dimensioni (lunghezza e sommergenza); individuazione e giustificazione dei quantitativi, nonché della granulometria del ripascimento (profilo di stabilità della spiaggia e nuovo assetto dell'arenile in progetto); modalità realizzative.

L'attività di studio e modellazione numerica a supporto della progettazione degli interventi di difesa costiera è stata redatta dalla società specializzata DHI s.r.l.

Nel seguito si riporta la descrizione degli interventi a progetto e si evidenziano le conclusioni dello studio di modellazione specialistica.

3.1 REALIZZAZIONE DI SECCHE ARTIFICIALI SEMI-AFFIORANTI

Per ridurre il fenomeno di erosione della costa da parte di forti eventi marini come quelli avvenuti, si andranno a realizzare due cosiddette “secche” artificiali semi affioranti sul pelo libero dell’acqua, ai limiti estremi del golfo naturale della spiaggia di Deiva-Fornaci.

Esse constano di due secche artificiali, ampiezza berma 17,00 m, lunghezza berma 27.00 m con pendenza scarpata 3/1, fondata su profondità variabile da – 2.00 m a -6.00 m, costituita da nucleo in scapoli, massi di terza e quarta categoria disposti “alla rinfusa”, accostati ad un puntello di scogliera emersa che chiude il profilo della scogliera stessa e costituisce supporto e contenimento del nuovo profilo di spiaggia a progetto.

L’effetto di queste due secche è stato studiato e modellato nell’ambito di un incarico di studio specialistico, per ottenere un profilo di spiaggia stabile ed un suo incremento per ottenere una profondità complessiva di 70 metri circa.

Nell’immagine che segue si schematizza l’intervento:



3.2 RIPASCIMENTO STRUTTURALE

Con la realizzazione delle opere di difesa costiera descritte precedentemente si potrà realizzare un ripascimento strutturale dell'intera spiaggia.
L'intervento complessivo prevede il deposito di una quantità di circa 110.000 mc di materiale litoide adeguato per il paraggio in cui si trova la spiaggia (ghiaia, pietrisco e sabbie grossolane di cave di granulometria selezionata – pezzatura indicativa 4/8 8/16 16/32).
L'attuale lotto prevede la realizzazione di circa 27.500 mc di tale ripascimento (25%).

Questa revisione del progetto è indirizzata al primo lotto di lavorazioni finanziata, pari a 2,5 milioni di euro a Quadro Economico.

Questo attuale primo lotto prevede la realizzazione di entrambe le secche ed il 25% del ripascimento totale previsto a progetto completo.

Nell'immagine che segue si schematizza l'intervento:



Il materiale dovrà essere reperito da cave locali autorizzate, dove la principale è individuata in:

- "Cave di Frisolino S.r.l." in frazione Frisolino a Ne (GE)
- "Cave di Prae" a Framura-Castagnola

3.3 MODELLAZIONE NUMERICA A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI DIFESA COSTIERA

L'attività di studio e modellazione numerica a supporto della progettazione degli interventi di difesa costiera è stata redatta dalla società specializzata DHI s.r.l. nel seguito si evidenziano le conclusioni dello studio di modellazione specialistica.

Lo studio ha previsto l'esecuzione di una serie di attività modellistiche a supporto della progettazione degli interventi volti al ripascimento strutturale della spiaggia di Deiva Marina – Framura loc. Fornaci.

La soluzione progettuale richiesta dal Comune di Framura consiste in un ripascimento strutturale dell'arenile e nella realizzazione di due secche semisommerse alle due estremità della spiaggia a protezione del ripascimento stesso (coerentemente con le "misure di intervento" indicate nel Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero (PTAMC), Ambito costiero 16, recentemente pubblicato dalla Regione Liguria [1]).

Le attività rispondono alle specifiche richieste di Regione Liguria nell'ambito della procedura autorizzativa dell'intervento e sono state predisposte in collaborazione e a supporto dei tecnici incaricati dal Comune di Framura per la redazione del progetto.

Mediante l'utilizzo del database di ricostruzione delle condizioni di vento e onda nel Mar Mediterraneo (MWM - Mediterranean Wind Wave Model), si è proceduto alla caratterizzazione del clima ondoso al largo, all'analisi degli eventi estremi per assegnati tempi di ritorno ed alla propagazione dell'intera serie quarantennale verso riva (predisposta con il modello MIKE 21 SW).

La disponibilità della serie di moto ondoso sottocosta ha permesso la selezione di una serie di eventi d'onda, variabili per altezza, direzione di provenienza e frequenza di accadimento, ben rappresentativi del clima ondoso locale.

Tali onde rappresentative sono state simulate in dettaglio con un sistema modellistico integrato bidimensionale onda-corrente, con l'utilizzo del codice di calcolo MIKE 21 SW-HD, che ha permesso di ricostruire l'andamento del moto ondoso e della circolazione nella zona di interesse sia nello stato attuale, sia in relazione allo stato di progetto.

Le simulazioni modellistiche hanno permesso l'ottimizzazione della forma delle secche semisommerse previste al fine di escludere l'insorgenza di correnti di ritorno (rip currents), potenzialmente in grado di determinare la perdita di sedimento verso gli alti fondali.

Le simulazioni sono state predisposte sia per la configurazione finale (realizzazione delle secche e del ripascimento strutturale), sia per una configurazione intermedia caratterizzata dalla sola presenza delle secche e (cautelativamente) assenza di ripascimento.

Successivamente è stato applicato il modulo MIKE 21 SM, in grado di simulare l'evoluzione della linea di riva a medio-lungo termine, che ha permesso di confrontare le tendenze evolutive attuali e quelle di progetto, nelle due configurazioni analizzate.

I risultati hanno evidenziato che in assenza di ripascimento ed opere strutturali il tratto di costa oggetto di studio presenta una lieve tendenza all'arretramento.

L'arretramento massimo (circa 7 - 8m in 5 anni) si verifica nei tratti a ponente ed a levante del torrente Castagnola a circa 150 m dall'asse fluviale.

Piuttosto stabile risulta invece la linea di riva in corrispondenza della foce (anche grazie al contributo di materiale sedimentario proveniente dal fiume) ed in prossimità del limite di ponente e levante dell'arenile.

La realizzazione delle secche di progetto (fase 1) anche in assenza ripascimento determina, seppur in maniera limitata, un minor arretramento della linea di riva rispetto alla configurazione attuale.

Si sottolinea, tuttavia, come la funzione primaria delle due secche sia permettere la realizzazione di un rilevante intervento di ripascimento strutturale con avanzamento medio dell'ordine dei 25 m, che non sarebbe possibile senza un ulteriore "confinamento" della spiaggia di Deiva – Framura Fornaci.

L'evoluzione della linea di riva a seguito della realizzazione delle opere e del ripascimento strutturale presenta ancora una tendenza all'arretramento (di ordine di grandezza simile all'attuale) ma garantisce il mantenimento nel tempo di una profondità di spiaggia decisamente più ampia rispetto alla condizione attuale.

In ultimo è stata effettuata una valutazione della risalita del moto ondoso (wave run-up) sull'arenile in concomitanza di stati di mare estremi (caratterizzati indicativamente da un tempo di ritorno TR pari a 50 anni).

L'analisi ha evidenziato una riduzione di 0.8 – 1.1 m della risalita attesa dell'onda ad intervento in progetto ultimato.

4 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE STRUTTURALI

4.1 GENERALITA' E SCELTA TIPOLOGIA STRUTTURALE

Dopo aver definito la tipologia strutturale dell'opera, sono state definite le sollecitazioni di progetto e le caratteristiche dei materiali da costruzione.

Si è quindi effettuato il predimensionamento strutturale dell'opera, nonché le verifiche previste per la particolare tipologia strutturale del manufatto.

Le due cosiddette "secche" artificiali sono semi affioranti sul pelo libero dell'acqua, ai limiti estremi del golfo naturale della spiaggia di Deiva-Fornaci.

Esse constano di due secche artificiali, ampiezza berma 17,00 m, lunghezza berma 27.00 m con pendenza scarpata 3/1, fondata su profondità variabile da – 2.00 m a -6.00 m, costituita da nucleo in scapoli, massi di terza e quarta categoria disposti "alla rinfusa", accostati ad un puntello di scogliera emersa che chiude il profilo della scogliera stessa e costituisce supporto e contenimento del nuovo profilo di spiaggia a progetto.

I fattori che inducono alla scelta della tipologia strutturale sono numerosi e dipendono principalmente: dalla tipologia di sollecitazione alla quale si prevede risulti soggetta durante l'esercizio (onde frangenti o non frangenti), dalla funzione prevista dell'opera, dalle caratteristiche del fondale, dal terreno di fondazione, dalla reperibilità dei materiali, dal sistema e dall'attrezzatura previsti per la costruzione.

Si è ritenuta opportuna la scelta di un'opera a scogliera, meglio rispondente alle sollecitazioni dinamiche.

Nella sezione tipica delle scogliere si rinvengono normalmente, al di sopra del fondale naturale:

- Un nucleo centrale, a forma di trapezio regolare o irregolare, cioè con diverse pendenze dei paramenti o con paramenti interrotti da berme, generalmente in pietrame o tout-venant;

- Un rivestimento (mantellata) destinato ad assorbire le azioni del moto ondoso, costituiti da massi naturali di ingente peso (anche diverse tonnellate a pezzo);

- Uno o più strati di transizione (filtro) fra il nucleo ed il rivestimento, composti da massi di pezzatura intermedia, che assolve il compito di evitare lo spostamento verso l'esterno del materiale del nucleo durante il riflusso dell'onda;

- Un coronamento, che può comprendere o meno un massiccio di calcestruzzo e un muro paraonde, disposto a quota tale da evitare o ridurre la tracimazione dell'opera.

Nel caso specifico, in virtù di considerazioni di carattere ambientale e dovendo provvedere sostanzialmente al contenimento del trasporto solido, l'opera si prevede semi affiorante, a pelo del livello medio mare.

Un'opera siffatta è identificabile come frangiflutto a cresta bassa, quindi si prescinde dal prevedere la sovrastruttura di coronamento, la cui funzione principale è quella di impedire la tracimazione della diga durante gli eventi più gravosi.

Tali scogliere possono essere fondate direttamente sui fondali naturali oppure possono comprendere una fondazione.

Le diverse parti della diga devono essere progettate in modo da assolvere alle funzioni appena descritte, assicurando in ogni caso la stabilità delle varie parti e garantendone l'operatività.

4.2 DIMENSIONAMENTO

Vanno pertanto eseguite opportune verifiche di stabilità, che, con riguardo particolare per i frangiflutti a cresta bassa, riguardano:

1) Il contenimento dello spostamento dei massi della mantellata per effetto delle onde incidenti e la resistenza di questi alle sollecitazioni a cui vengono sottoposti;

2) Il contenimento della perdita dei massi dallo strato sottostante la mantellata e del materiale fine del nucleo;

3) La stabilità del paramento interno alle sollecitazioni indotte dalla tracimazione;

4) La rottura o cedimento della fondazione;

Il procedimento di verifica è stato così articolato:

- Individuazione delle condizioni meteomarine di progetto;

- Scelta dei materiali costituenti l'opera, eseguita al fine di garantire caratteristiche meccaniche compatibili con le sollecitazioni;

- Predimensionamento della mantellata, effettuato in modo da assicurare il contenimento dello spostamento dei massi della mantellata per effetto delle onde incidenti;

- Verifica della perdita di massi dallo strato sottostante al fine di valutare la necessità di strati intermedi di filtro.

4.3 CONDIZIONI METEOMARINE DI PROGETTO

Per il dimensionamento strutturale della scogliera si è fatto riferimento ai risultati dello studio meteomarino redatto dalla società specializzata DHI s.r.l.

Lo studio ha previsto l'esecuzione di una serie di attività modellistiche a supporto della progettazione degli interventi volti al ripascimento strutturale della spiaggia di Deiva Marina – Framura loc. Fornaci.

Per la determinazione dell'onda di progetto si rimanda allo studio specialistico allegato.

Le opere oggetto della verifica sono opere di difesa costiera di interesse locale non rigide e manutenibili.

E' stata assunta, quindi, come onda di progetto l'onda corrispondente allo stato di mare più gravoso per il paraggio con T= 50 anni fornita dallo studio meteomarino di DHI s.r.l.

di cui al paragrafo 8 estratta sulla profondità di circa 4,3 m nell'area antistante il campo sportivo (punto di coordinate 538614,4m E, 4898599,9m N).

Tale onda presenta le seguenti caratteristiche:

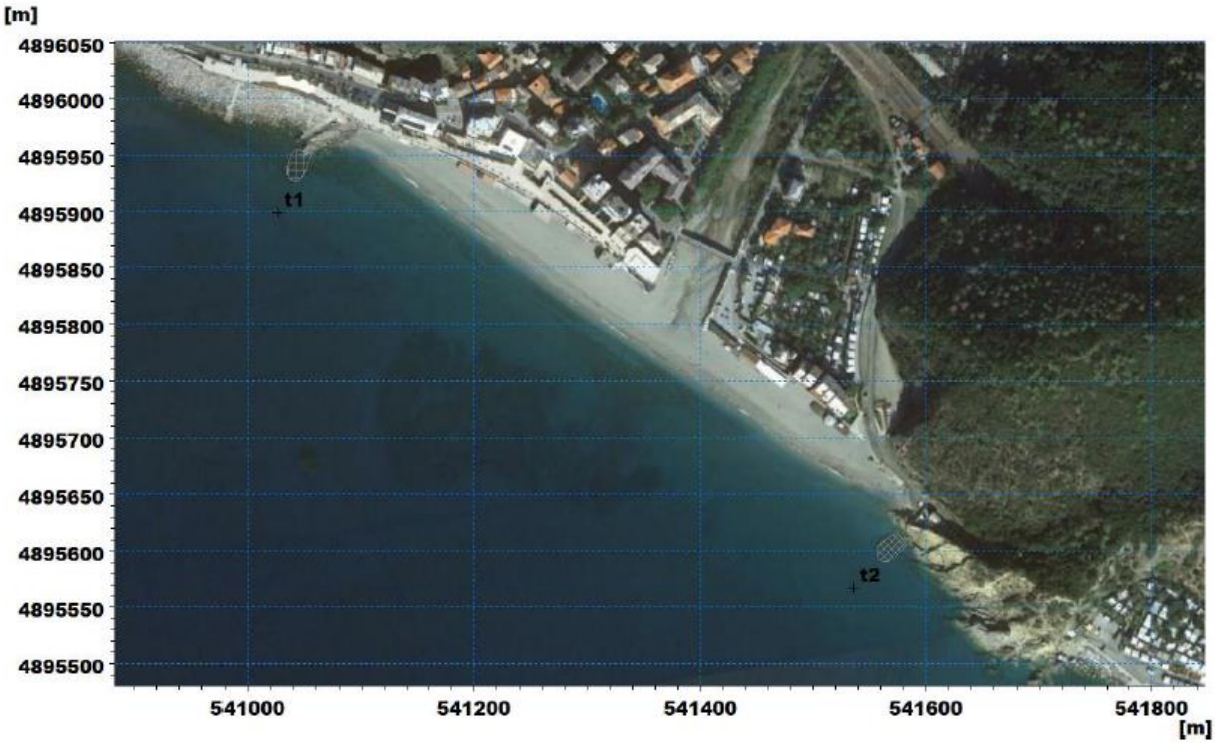


Figura 5-7 Ubicazione punti di estrazione t1 e t2 in prossimità delle opere di protezione del ripascimento strutturale in progetto

Si è quindi proceduto con l'estrazione delle caratteristiche dell'onda estrema con tempo di ritorno 50 anni a supporto della progettazione e del dimensionamento delle opere di protezione del ripascimento strutturale in progetto, risultate:

- Hs=5.3 m nel punto T1 di coordinate (541026m E, 4895899m N) e profondità pari a 7.0 m, in prossimità dell'opera in progetto a ponente;
- Hs=4.7 m nel punto di coordinate (541536m E, 4895567m N) e profondità pari a 6.2 m, in prossimità dell'opera in progetto a levante.

4.4 MATERIALI DI PROGETTO

La scelta dei massi richiede specifiche tecniche precise, per questo si riportano brevemente le prescrizioni normative nei riguardi dei massi naturali.

“I massi devono rispondere ai requisiti essenziali di buona qualità, compattezza e durabilità. Devono essere esenti da fratture e piani di sfaldamento e resistenti all'azione dell'acqua e del gelo.

Prove specifiche sono richieste per definire i parametri idraulici e strutturali di accettabilità.”

Si ricordano le prescrizioni per le seguenti grandezze:

- Peso dell'unità di volume (con valore non inferiore a 2600 kg/m3);

- Imbibizione (con valore inferiore al 3%);

- Abrasione (con valore inferiore a 25%- LAV);

- Forma compatta, per cui la dimensione maggiore deve essere inferiore a 2 volte quella minore;

- Resistenza a compressione semplice non inferiore a 30 kN / m^2.”

Verranno utilizzati massi di pezzatura compresa tra 0,75 e 1,25 volte il peso del masso di progetto.

4.5 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA MANTELLATA

Il dimensionamento strutturale è stato effettuato a mezzo delle formule per la verifica di stabilità della mantellata proposte dalle norme.

E' stata adoperata la formula di Hudson, la quale correla la massa di stabilità dell'elemento della mantellata alle caratteristiche geometriche del manufatto, alle caratteristiche fisiche del materiale e all'altezza d'onda di progetto:

$$M = \frac{\delta_c \cdot H^3}{K_D \cdot \Delta^3 \cdot cotg(\alpha)}$$

nella quale:

M = massa dell'elemento della mantellata

Δ = rapporto di densità:

$$\Delta = \frac{\delta_c}{\delta_w} - 1$$

δ_c = densità del materiale

δ_w = densità dell'acqua

α = angolo formato dalla scarpata con l'orizzontale

H = Altezza d'onda di progetto

K_D = coefficiente scelto in funzione del grado di danneggiamento (movimento degli elementi).

La scelta di K_D è variabile a seconda del tipo di elemento, del numero di strati previsti per la mantellata, della tipologia d'onda incidente ossia già frangente o frangente in virtù della presenza dell'opera.

Nel seguito si riportano le specifiche per l'applicazione del metodo.

Criterio di non danneggiamento con limitata tracimazione							
Elemento	n (3)	Posa in opera	Sezione corrente		Testata		
			K_D (2)		K_D		Scarpa
			Onda frangente	Onda non frangente	Onda frangente	Onda non frangente	Cot α
Masso naturale arrotondato	2	alla rinfusa	*1,2*	2,4	*1,1*	1,9	da 1,5 a 3,0
arrotondato	>3	alla rinfusa (4)	*1,6* (4)	3,2	*1,4* (4)	*2,3*	
					1,9	3,2	1,5
a spigoli vivi	2	alla rintusa	2,0	4,0	*1,6*	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
a spigoli vivi	<3	alla rinfusa	*2,2*	*4,5*	*2,1*	*4,2*	(5)
a spigoli vivi	2	speciale (6)	5,8	7,0	*5,3*	6,4	(5)
Parallelepipedo (7)	2	speciale (1)	7,0-20,0	*8,5-24,0*	--	--	
Tetrapodo					*5,0*	6,0	1,5
e	2	alla rinfusa	7,0	8,0	*4,5*	5,5	2,0
Quadripodo					3,5	4,0	3,0
					8,3	9,0	1,5
Tribar	2	alla rinfusa	*9,0*	10,0	*7,8*	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	alla rinfusa	15,8 (8)	31,8 (8)	*8,0*	*16,0*	2,0 (9)
					7,0	*14,0*	3,0
Cubo modificato	2	alla rinfusa	*6,5*	7,5	--	*5,0*	(5)
Hexapod	2	alla rinfusa	*8,0*	9,5	*5,0*	*7,0*	(5)
Toskane	2	alla rinfusa	*11,0*	22,0	--	--	(5)
Masso naturale (KRR) assortiti	-	alla rinfusa	2,2	2,5	--	--	

Coefficiente di stabilità di Hudson (Istruzioni Tecniche per la progettazione di dighe marittime)

Si è, inoltre, assunta come pendenza della mantellata la pendenza 1 su 3 e permeabilità del, 37%.

Tipo di elemento	Numero di strati	Collocamento in opera	K_Δ	P
Massi naturali:				
a spigoli arrotondati	2	alla rinfusa	1.02	38
" " vivi	2	" "	1.00	37
" " "	≥3	" "	1.00	40
Cubo modificato	2	" "	1.10	47
Tetrapodo	2	" "	1.04	50
Quadripodo	2	" "	0.95	49
Esapodo	2	" "	1.15	47
Tribar	2	" "	1.02	54
Dolos	2	" "	0.94	56
Massi naturali	Granulometria assortita di spessore minimo $\geq 2\left(W_{50}/\gamma_c\right)^{1/3}$	" "	--	37

Tabella 3.5 – Coefficiente di forma – Fonte: "Istruzioni Tecniche Per La Progettazione Di Dighe Marittime"

Nel seguente foglio di calcolo si applica la formulazione ai nostri casi progettuali.

Secca di ponente (sito T_1 nella relazione DHI):

Dimensionamento scogliere - Formula di Hudson (Shore Protection Manual 1984)

DIMENSIONAMENTO OPERE A GETTATA: secca di ponente

(FORMULA DI HUDSON)

altezza onda di progetto:	5.30	m		
inclinazione scarpa mantellata:	18.4	°	1 su 3	
densità dei materiale:	2650	kg/m^3		
densità dell'acqua:	1023	kg/m^3		
K_D:	2.0			
numero strati della mantellata:	2			
Δ =	1.59		rapporto di densità:	$\Delta = \frac{\delta_c}{\delta_w} - 1$
cotg a=	3.00			

massa minima degli scogli per la stabilità della mantellata:

M= 16340 kg $M = \frac{\delta_c \cdot H^3}{K_D \cdot \Delta^3 \cdot cotg(\alpha)}$ (Formula di Hudson)

volume minimo massi: V= 6.17 m^3

dimensione media dei massi:

D_m= 2.3 m $D_m = 2 \cdot \sqrt[3]{3 \cdot \frac{M}{\delta_c}} \frac{1}{4\pi}$

coefficiente di forma mantellata (K_Δ): 1.00

spessore della mantellata necessario a garantire la stabilità: porosità della mantellata: 37 %

r= 3.67 m $r = nK_\Delta \left(\frac{M}{\delta_c}\right)^{\frac{1}{3}}$

larghezza minima del coronamento:

larghezza minima cresta:	B= 5.50	m		
larghezza cresta minima normalizzata:	B= 3.00	m	Nota: usare B > 3 m	
spessore dello strato di filtro:	s= 4.6	m	$s = n \cdot K_\Delta \cdot D_{50}$	

Riassumendo i risultati principali si è ottenuto:

- Peso medio del singolo masso: 16.3 ton
- Diametro nominale medio masso: 2.3 m
- Spessore della mantellata: 3.67 m
- Larghezza minima di cresta: >5.5 m
- Spessore dello strato di filtro: 4.6 m

Considerando che, nella buona pratica, vengono utilizzati massi di pezzatura compresa tra 0,75 e 1,25 volte il peso del masso di progetto (ossia massi di pezzatura compresa tra 12 t e 20 t circa) si assume l'utilizzo di massi di IV categoria (tra 12 e 20 t) per il 70% e di massi di III categoria per il 30% avendo cura di posizionare i massi di maggiori dimensioni nelle aree esterne maggiormente esposte come le testate e nelle zone maggiormente sollecitate dal moto ondoso, ossia intorno al livello del medio mare.

Secca di levante (sito T_2 nella relazione DHI):

Dimensionamento scogliere - Formula di Hudson (Shore Protection Manual 1984)

DIMENSIONAMENTO OPERE A GETTATA: secca di levante

(FORMULA DI HUDSON)

altezza onda di progetto:	4.70	m		
inclinazione scarpa mantellata:	18.4	°	1 su 3	
densità dei materiale:	2650	kg/m^3		
densità dell'acqua:	1023	kg/m^3		
K_D:	2.0			
numero strati della mantellata:	2			
Δ =	1.59		rapporto di densità:	$\Delta = \frac{\delta_c}{\delta_w} - 1$
cotg a=	3.00			

massa minima degli scogli per la stabilità della mantellata:

M= 11395 kg $M = \frac{\delta_c \cdot H^3}{K_D \cdot \Delta^3 \cdot cotg(\alpha)}$ (Formula di Hudson)

volume minimo massi: V= 4.30 m^3

dimensione media dei massi:

D_m= 2.0 m $D_m = 2 \cdot \sqrt[3]{3 \cdot \frac{M}{\delta_c} \cdot \frac{1}{4\pi}}$

coefficiente di forma mantellata (K_Δ): 1.00

spessore della mantellata necessario a garantire la stabilità: porosità della mantellata: 37 %

r= 3.25 m $r = nK_\Delta \left(\frac{M}{\delta_c}\right)^{\frac{1}{3}}$

larghezza minima del coronamento:

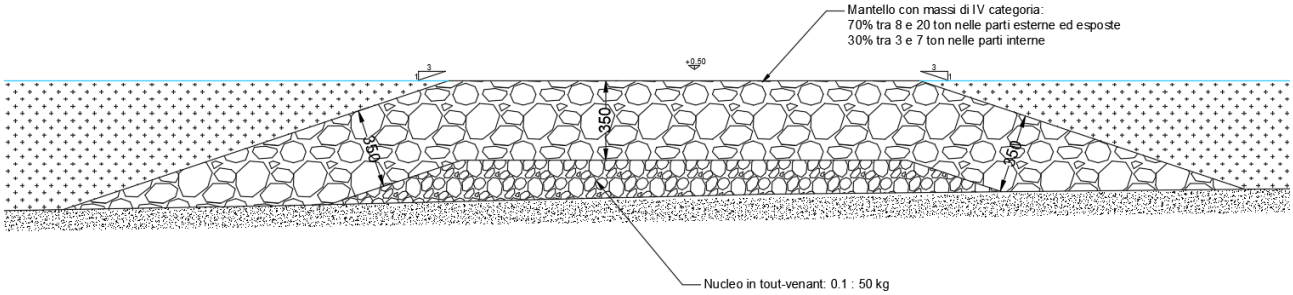
larghezza minima cresta:	B=	4.88	m	
larghezza cresta minima normalizzata:	B=	3.00	m	Nota: usare B > 3 m
spessore dello strato di filtro:	s=	4.0	m	$s = n \cdot K_\Delta \cdot D_{50}$

Riassumendo i risultati principali si è ottenuto:

- Peso medio del singolo masso: 11.4 ton
- Diametro nominale medio masso: 2.0 m
- Spessore della mantellata: 3.25 m
- Larghezza minima di cresta: >5 m
- Spessore dello strato di filtro: 4.0 m

Considerando che, nella buona pratica, vengono utilizzati massi di pezzatura compresa tra 0,75 e 1,25 volte il peso del masso di progetto (ossia massi di pezzatura compresa tra 8 t e 14 t circa) si assume l'utilizzo di massi di IV categoria (tra 8 e 14 t) per il 70% e di massi di III categoria per il 30% avendo cura di posizionare i massi di maggiori dimensioni nelle aree esterne maggiormente esposte come le testate e nelle zone maggiormente sollecitate dal moto ondoso, ossia intorno al livello del medio mare.

La sezione tipologica risultante ed assunta per l'opera in progetto è caratterizzata come da figura seguente:



Timbro e firma

Luca Romano
Ingegnere
n° 963
Ordine degli Ingegneri/A
Provincia di Savona