Comune di FRAMURA
(Provincia di La Spezia)

Lavori di messa in sicurezza e consolidamento delle aree costiere in loc. Ciamia e Torsei

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA

R04

Genova, 15 maggio 2017

703PD_rev.00

STUDIOELB INGEGNERI ASSOCIATI
Ing. Ernesto La Barbera - Ing. Riccardo Giammarini - Ing. Andrea Deprati
Ing. Simona Carrega - Ing. Michela La Barbera - Ing. Mauro Scaglione
Corso Torino 17/6 sc. A - 16129 GENOVA GE Tel. 010.5740568 - Fax 010.4211059
e-mail: inge@studioelb.it - PEC: studio@pec.studioelb.it - C.F. e P. IVA: 01933110999

SOMMARIO

1. PREMESSA 2

2. INDAGINI E STUDI CONDOTTI 2

2.1 CAMPAGNE DI INDAGINE BATIMETRICA 2
2.2 INDAGINI GEOLOGICHE 2
2.4 STUDIO METEOMARINO 4
2.4.1 Clima al largo 4
2.4.2 Valori estremi al largo 4
2.4.3 Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda 6
2.4.4 Clima a costa 7
2.4.5 Variazioni del livello marino 8

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO 10

3.1 LOC. TORSEI 10
3.2 LOC. CIAMIA 11

4. DETERMINAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO 12

4.1 LOC. TORSEI 13
4.2 LOC. CIAMIA 14

5. DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA SCOGLIERA 15

5.2 LOC. TORSEI 17
5.3 LOC. CIAMIA 18

6. CONSIDERAZIONI SULL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO IN LOC. TORSEI 19

1. PREMESSA

Il presente documento è allegato al progetto di "Messa in sicurezza e consolidamento delle aree costiere in loc. Ciamia e Torsei".

In esso sono riportati gli esiti delle indagini e studi eseguiti e sono riportati i calcoli per la verifica della configurazione progettuale.

2. INDAGINI E STUDI CONDOTTI

Nell'ambito della redazione del presente progetto sono stati acquisiti tutti i dati a disposizione, con particolare riferimento a studi precedenti, immagini fotografiche e rilievi batimetrici e topografici. In particolare si citano i seguenti studi/indagini:

2.1 Campagne di indagine batimetrica

Sono state eseguiti, nel corso degli anni, diversi rilievi batimetrici che hanno consentito di sviluppare successive progettazioni relative al sito in questione:

- Anno 2002: Rilievo batimetrico e terrestre eseguito nell'ambito del progetto "DOCUP Liguria 2000-2006 Asse 2 - Risanamento e miglioramento del sistema ambientale Misura 2.5 : gestione patrimonio costiero - Litorale di Framura loc. Torsei: opere di protezione della spiaggia esistente e della linea ferroviaria"
- Anni 2005-2007: Rilievi batimetrici e terrestri eseguiti nell'ambito del monitoraggio dell'intervento di cui sopra:
  - 1a campagna di monitoraggio: Maggio 2005;
  - 2a campagna di monitoraggio: Settembre 2005;
  - 3a campagna di monitoraggio: Settembre 2006;
  - 4a campagna di monitoraggio: Settembre 2007;
- Anno 2008: rilievi batimetrici eseguiti da Co.l.mar. s.r.l. di La Spezia nell'ambito del progetto redatto dallo Studio Catalano di Vasto (CH) per RFI nel 2008 e relativo agli "Interventi di ripristino/ Risagomatura, o nuova realizzazione delle opere di difesa dal mare di alcuni tratti delle linee ferroviarie Genova – Ventimiglia e Genova – La Spezia nel compartimento di Genova – 5.A Framura (SP) – Stazione, Km 60+380/400 – Km 60+450/470 – Km 60+530/545"

2.2 Indagini geologiche

Nell'ambito dei lavori del "DOCUP Liguria 2000-2006 Asse 2 - Risanamento e miglioramento del sistema ambientale Misura 2.5 : gestione patrimonio costiero - Litorale di Framura loc. Torsei: opere di protezione della spiaggia esistente e della linea ferroviaria" è stata eseguita una campagna di indagine geologica finalizzata sia alla caratterizzazione geologica del sito oggetto di intervento, sia alla individuazione di siti di estrazione aventi caratteristiche fisiche chimiche idonee nonché compatibili con i materiali già presenti nel sito.

La campagna di indagini geologiche è stata condotta dal dott. Geol. Enrico Pesenti con studio in Genova.

Dall'apposito elaborato del progetto definitivo di detti interventi ("R05 – Relazione geologica"), si evince che sull'area costiera in esame insiste un versante modellato nei basalti della zona del Bracco, localmente a contatto con oficalciti del tipo "Rosso Levanto".

Si tratta di roccia a struttura massiccia e con peso specifico elevato, generalmente molto resistente all'erosione marina, eccezione fatta per le zone di fratturazione "in grande" che, sotto azione del moto ondoso, diventano gradualmente direzioni di separazione preferenziale.

I depositi di spiaggia, nell'ambito di quello che allora rimaneva della spiaggia attuale, racchiusa tra due speroni di roccia basaltica, erano costituiti da materiale a granulometria da sabbiosa a ghiaiosa, e di composizione prevalentemente basaltica ed oficalcitica, che rispecchia la composizione litopetrografica del bacino a monte, corrispondente pertanto ai minerali dei basalti e delle brecce oficalcitiche/serpentinose.

Per quanto ha riguardato la ricerca delle cave per l'estrazione dei materiali necessari ai lavori in progetto, all'epoca era stata individuata una cava di recente autorizzazione, sita nel comune di Framura, in località Monte S.Agata. Tale cava denominata "Prae" coltiva una roccia eruttiva denominata gabbro, caratterizzata da elevato peso specifico ed elevata resistenza e durezza, perfettamente idonea per l'utilizzo per scogliere marittime. Inoltre dal punto di vista mineralogico il gabbro è costituito dagli stessi minerali principali del basalto: pirosseno e plagioclasio. Esso fornisce pertanto, per lenta alterazione superficiale in posto o a seguito di procedimento artificiale di macinazione in frantoio, materiali granulari medio-fini piuttosto omogenei ai materiali derivanti dai basalti per analoghi processi, salvo una durezza ancora maggiore, e una maggior resistenza al logoramento, presente solo nei derivati gabbrici. La roccia considerata è quindi anche idonea a fornire i materiali sciolti necessari per il ripascimento dell'area in esame.

L'intervento di protezione della spiaggia eseguito nell'ambito del DOCUP suddetto e tutti gli interventi di ripascimento eseguiti dal 2005 ad oggi sono stati effettuati con l'utilizzo di materiali provenienti proprio da tale cava.

2.3 Indagini archeologiche

Su specifica richiesta da parte della Soprintendenza ai beni archeologici, espressa nell'ambito del procedimento concertativo di approvazione del progetto "DOCUP Liguria 2000-2006 Asse 2 - Risanamento e miglioramento del sistema ambientale Misura 2.5 : gestione patrimonio costiero - Litorale di Framura loc. Torsei: opere di protezione della spiaggia esistente e della linea ferroviaria", sono state condotte specifiche indagini di campo, mirate all'accertamento dell'eventuale presenza di reperti di interesse archeologico all'interno dell'area interessata dal progetto.

Vista la conformazione a stretta ansa dell'area, fu deciso - di comune accordo con la Soprintendenza - di posizionare il cavo guida dotato di etichette numerate secondo un particolare percorso che, aggirando i punti più accidentati costituiti da scogli affioranti, coprisse in maniera soddisfacente tutta l'area; in questa area di studio il cavo guida utilizzato aveva una estensione totale pari a circa 300 metri. Durante le prospezioni sono stati rilevati alcuni laterizi di origine recente (detriti di costruzioni edili).

Sono poi state effettuate le riprese mediante telecamera digitale a colori scafandrata, effettuate da un subacqueo.

Tutto il percorso effettuato dal subacqueo con telecamera è stato georeferenziato mediante un sistema GPS di ultima generazione per la successiva sovrapposizione con le opere in progetto.

Una volta terminato il lavoro, le riprese sono state analizzate a terra e non è emersa la presenza nell'area di alcun resto o struttura di interesse archeologico.

A seguito delle risultanze delle indagini, la Soprintendenza ai Beni Archeologici della Liguria aveva espresso parere favorevole all'esecuzione delle opere di difesa della baia.

Tali opere interessavano la baia di Torsei, pressoché nelle stesse aree interessate dalle presenti opere di difesa e riqualificazione.

2.4 Studio meteomarino

Nel corso degli anni sono stati eseguiti diversi studi meteomarini del litorale di Framura, finalizzati alla progettazione delle diverse opere di difesa costiera eseguite.

Nell'ambito dei lavori del "DOCUP Liguria 2000-2006 Asse 2 - Risanamento e miglioramento del sistema ambientale Misura 2.5 : gestione patrimonio costiero - Litorale di Framura loc. Torsei: opere di protezione della spiaggia esistente e della linea ferroviaria" è stata eseguito apposto studio meteomarino finalizzato all'evoluzione della spiaggia.

Nell'ambito degli "Interventi di ripristino/risagomatura, o nuova realizzazione delle opere di difesa dal mare di alcuni tratti delle linee ferroviarie Genova – Ventimiglia e Genova – La Spezia nel compartimento di Genova – 5.A Framura (SP) – Stazione, Km 60+380/400 – Km 60+450/470 – Km 60+530/545" redatto per RFI è stato eseguito dallo Studio Catalano nel 2008 un nuovo studio meteomarino, finalizzato maggiormente alle opere di difesa.

Per congruenza con la progettazione eseguita per RFI, nell'ambito del presente progetto si fa riferimento per le grandezze meteomarine appunto a questi ultimi studi di cui si riportano i dati principali nei paragrafi successivi del presente capitolo.

2.4.1 Clima al largo

Dal suddetto studio è emerso che:

- *gli eventi con altezza d'onda significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 50 % (corrispondente ad una durata media annua di circa 6.0 mesi) e provengono per circa l'80% dal settore compreso tra 180° e 310° N;*
- *per eventi con Hs > 3.0 m gli stati di mare sono concentrati su un settore compreso tra 160° e 260° N con una frequenza pari al 1.39 % (circa 5,1 giorni l'anno);*
- *gli eventi con Hs > 5.0 m (eventi estremi) provengono principalmente dal settore di ostro-libeccio (compreso tra 180° e 240° N) con una frequenza pari a circa lo 0.04 % (corrispondente ad una durata di circa 3 ore l'anno);*
- *le altezze d'onda massime registrate all'interno del settore di traversia principale risultano talvolta superiori a 6.0 m e provengono esclusivamente dalla direzione 190°N e dal ristretto settore compreso tra 220°÷230°N (libeccio).*

2.4.2 Valori estremi al largo

Considerate le caratteristiche di esposizione dell'area in studio, sono state studiate le distribuzioni delle altezze d'onda significative corrispondenti a due settori di provenienza: principale da 270° a 190° N e secondario da 190° N a 150° N**.**

I risultati sono riportati nella tabelle che seguono (attinte dalla suddetta "Relazione idraulica-marittima" redatta dallo Studio Catalano nell'ambito del progetto RFI):

Analisi degli eventi estremi al largo di Framura
Settore di traversia: 150° - 190° Nord

Numero anni: 14.12 — Media (m): 2.67
Numero delle mareggiate: 39 — Deviazione Standard (m): 0.794
Soglia di riferimento (POT) m >2.00 — Numero di eventi sopra POT 39

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
6.14	25.29	2.53	0.86	2.10	0.43
4.21	9.08	2.49	0.81	2.10	0.42
3.88	5.53	2.43	0.76	2.10	0.41
3.76	3.98	2.42	0.72	2.09	0.40
3.43	3.11	2.41	0.69	2.09	0.39
3.40	2.55	2.32	0.66	2.09	0.38
3.19	2.16	2.31	0.63	2.08	0.37
3.10	1.87	2.31	0.60		
3.10	1.65	2.30	0.58		
2.99	1.48	2.21	0.55		
2.76	1.34	2.21	0.53		
2.65	1.23	2.20	0.51		
2.63	1.13	2.17	0.50		
2.55	1.04	2.10	0.48		
2.54	0.97	2.10	0.46		
2.54	0.91	2.10	0.45		

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	3.8	0.6	3.8	0.9
10	4.2	0.7	4.5	1.2
25	4.7	0.9	5.3	1.7
50	5.1	1.1	6.0	2.1
100	5.5	1.3	6.7	2.6
A	0.679		0.362	
B	2.46		2.808	
r	0.988		0.963	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5	4.1	1.0	4.0	0.9	4.0	0.6
10	4.7	1.4	4.5	1.2	4.4	0.8
25	5.5	1.9	5.1	1.7	4.9	1.1
50	6.1	2.4	5.6	2.1	5.2	1.3
100	6.7	2.9	6.1	2.5	5.6	1.6
A	0.705		1.328		2.332	
B	2.341		1.606		0.515	
r	0.984		0.994		0.998	

Tabella 4.1.1 – Framura – Traversia Secondaria (Settore 150°- 190°Nord): valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per diverse leggi di regressione.

Analisi degli eventi estremi al largo di Framura
Settore di traversia: 190° - 270° Nord

Numero anni: 14.12 — Media (m): 4.111
Numero delle mareggiate: 299 — Deviazione Standard (m): 0.546
Soglia di riferimento (POT) m >3.50 — Numero di eventi sopra POT 80

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)	Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)
6.12	25.25	4.34	0.85	4.04	0.43	3.86	0.29	3.69	0.22
6.09	9.06	4.32	0.81	4.03	0.42	3.86	0.29	3.68	0.22
5.53	5.52	4.31	0.76	4.02	0.41	3.85	0.28	3.67	0.21
5.28	3.97	4.28	0.72	4.02	0.40	3.85	0.27	3.64	0.21
5.20	3.10	4.24	0.69	4.01	0.39	3.81	0.27	3.64	0.21
4.97	2.54	4.21	0.66	4.00	0.38	3.80	0.26	3.64	0.20
4.94	2.16	4.20	0.63	3.99	0.37	3.80	0.26	3.63	0.20
4.90	1.87	4.19	0.60	3.97	0.36	3.78	0.25	3.63	0.20
4.80	1.65	4.17	0.58	3.96	0.35	3.78	0.25	3.61	0.19
4.80	1.48	4.16	0.55	3.96	0.34	3.77	0.25	3.61	0.19
4.71	1.34	4.16	0.53	3.95	0.33	3.76	0.24	3.58	0.19
4.69	1.22	4.13	0.51	3.93	0.32	3.76	0.24	3.55	0.19
4.67	1.13	4.13	0.50	3.93	0.32	3.75	0.23	3.53	0.18
4.54	1.04	4.10	0.48	3.89	0.31	3.70	0.23	3.52	0.18
4.48	0.97	4.06	0.46	3.88	0.30	3.70	0.23	3.51	0.18
4.48	0.91	4.06	0.45	3.88	0.30	3.69	0.22	3.50	0.18

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
Anni	Hs(m)	c.l.(m)	Hs(m)	c.l.(m)
5	5.4	0.5	5.3	0.5
10	5.8	0.7	5.7	0.6
25	6.3	0.9	6.2	0.8
50	6.6	1.0	6.6	1.0
100	7.0	1.2	7.0	1.2
A	0.364		0.288	
B	2.325		2.188	
r	0.971		0.922	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
anni	Hs(m)	c.l.(m)	Hs(m)	c.l.(m)	Hs(m)	c.l.(m)
5	5.4	0.5	5.5	0.5	5.5	0.5
10	5.8	0.7	5.9	0.7	5.9	0.6
25	6.3	0.9	6.3	0.9	6.3	0.8
50	6.7	1.1	6.7	1.1	6.6	0.9
100	7.1	1.3	7.0	1.3	6.9	1.1
A	0.468		0.708		0.996	
B	2.062		1.884		1.646	
r	0.961		0.978		0.973	

Tabella 4.1.2 – Framura - Traversia Principale (Settore 190°-270°Nord): valori dell'altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per diverse leggi di regressione.

2.4.3 Correlazione tra l'altezza ed il periodo d'onda

Al fine di individuare la legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde Tp e l'altezza d'onda significativa Hs si è fatto riferimento alla seguente relazione (Mathiesen et al., 1994) utilizzata anche nell'Atlante delle Onde Italiane:

$$T_P = a \times (Hs)^{b}$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati dall'analisi di correlazione statistica dei dati registrati dalla boa ondametrica di La Spezia.

Tale correlazione è riportata nella figura seguente, estrapolata dalla Relazione Idraulica marittima redatta dallo Studio Catalano:

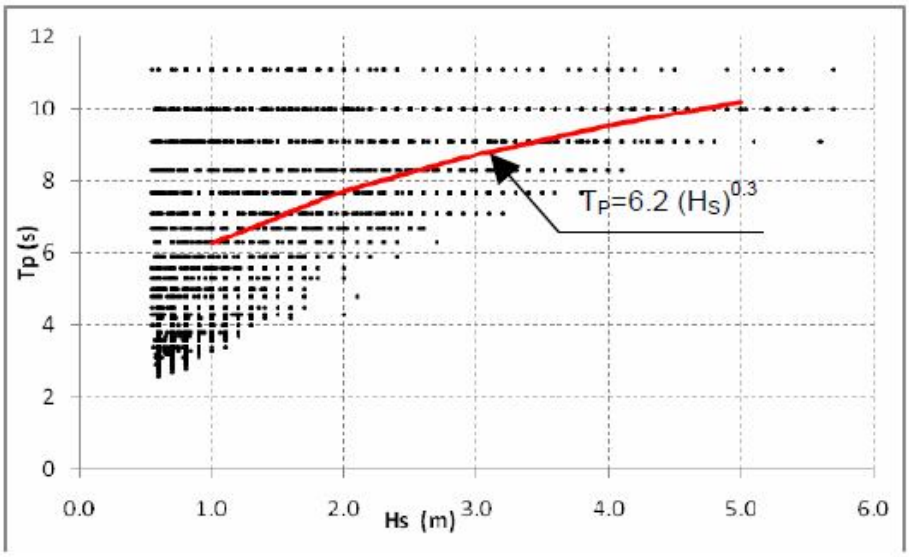


Figura 3.1.3 – Correlazione statistica tra periodo di picco ed altezza d'onda significativa.

2.4.4 Clima a costa

Per definire le condizioni di moto ondoso, che caratterizzano il sito interessato dagli interventi di difesa costiera finalizzati alla protezione e messa in sicurezza dei due tratti ferroviari ubicati in prossimità della stazione di Framura, nell'ambito della suddetta relazione è stato effettuato uno studio di propagazione del moto ondoso ricostruito al largo in due punti sotto costa (profondità pari a circa 10 m): F1 in corrispondenza delle spiagge di Arena- La Vallà, F2 tra la baia di Torsei e il porticciolo Ciamia.

Nella propagazione dal largo verso le acque meno profonde le onde subiscono delle trasformazioni dovute all'effetto del fondo (praticamente quando la profondità dell'acqua diventa circa metà della lunghezza d'onda).

Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti, che "collegano" il mare aperto alla zona di intervento, nello studio suddetto è stato ritenuto, che data la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche, essi siano costituiti in modo dominante dalla rifrazione e dallo shoaling e che possano essere ritenuti trascurabili i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna). Per quanto riguarda i processi dissipativi (attrito sul fondo e frangimento), è stato ritenuto che la loro importanza diventa rilevante solo su fondali aventi profondità inferiori a 10÷15 m. Sulla base delle considerazioni appena effettuate è applicato il modello numerico di propagazione inversa spettrale MEROPE, con condizioni al contorno al largo espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente.

Per il punto F2, di interesse per la progettazione in esame, si è evidenziata un'attenuazione più marcata per le altezze d'onda provenienti dai settori di scirocco-ostro e di ponente-maestrale rispetto a quelle provenienti dal settore di libeccio; è stato, inoltre, sottolineato come nel caso in esame gli effetti dissipativi dovuti alla rifrazione ad allo shoaling, risultano tanto meno evidenti quanto più gli eventi di moto ondoso risultano associati a associati a bassi valori del periodo d'onda.

In dettaglio lo studio per il clima ondoso in detto punto osserva che:

- gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono circa il 46% (corrispondente ad una durata media annua di circa 5.5 mesi) e risultano tutti concentrati all'interno di un settore compreso tra 150° e 290° N (scirocco÷ponente);
- gli eventi con Hs > 3.0 m (eventi estremi) provengono tutti dal settore 190°÷240°N con una frequenza pari a circa lo 1.0% (corrispondente ad una durata di circa 3.5 giorni l'anno);
- le altezze d'onda massime raggiungibili risultano talvolta superiori a 5.5 m e sono racchiuse tra le direzioni 200°N e 230°N (settore di libeccio);
- le onde provenienti dal settore di libeccio non subiscono sostanziali rotazioni nella loro propagazione verso costa e l'attenuazione media dell'altezza è inferiore al 10%.

2.4.5 Variazioni del livello marino

Le variazioni del livello marino sono dovute a cause diverse; le principali sono marea, effetto barico, sovralzo da vento, variazioni stagionali e a lungo termine. Tali variazioni nel Mar Ligure sono abbastanza modeste.

Nel studio redatto per RFI di cui sopra, è stato calcolato il massimo sovralzo lungo la costa sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino, ma considerando che, in generale, non si verifica la piena concomitanza per i sovralzi di carattere meteorologico ed astronomico. E' stata pertanto assunta cautelativamente una riduzione del 35% per il dislivello massimo generato contemporaneamente dal sovralzo meteorologico e da quello astronomico.

La marea astronomica è componente oscillatoria meglio conosciuta. Nello studio in esame si è fatto riferimento ai dati del porto di La Spezia. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa 0.20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello assoluto pari a circa 0,40 m). Nelle fasi di quadratura l'escursione è al massimo limitata a ±0.15 m s.l.m. L'oscillazione di marea media assunta (dislivello tra il minimo ed il massimo livello diurno) è risultato di 0.30 m.

Gli effetti meteorologici sono costituiti dal sovralzo barico e dal sovralzo da venti: considerando i massimi e minimi di pressione barici nella zona in esame è stato estrapolato un sovralzo massimo pari a +0.38 m ed un abbassamento massimo del livello marino pari a -0.31 m. L'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa è stato definito in funzione dell'estensione della piattaforma continentale. Il calcolo del sovralzo di vento è stato effettuato con la nota relazione implicita:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D-d-S)} \ln\left(\frac{D}{d+S}\right)$$

ponendo:
- D=200 m - la profondità limite assunta per la piattaforma continentale;
- Lp=10000 m - l'estensione della piattaforma continentale;
- d=10.0 m - la profondità ove si calcola il sovralzo;
- g=9.81 m/s^2;
- kp=3 × 10^{-6};
- U=20 m/s la velocità del vento persistente in condizioni estreme

Alla profondità di 10 m tale relazione ha fornito un valore pari a circa 0.02 m; che nello studio è stato poi assunto pari al massimo lungo che si ha lungo la linea di riva (d=0.5 m) e risulta pari a 0.04 m.

Sono state, infine considerate altre piccolissime oscillazioni stagionali dovute a differenze di densità (max 5 cm, min -3 cm) e variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo (da 5 cm a 30 cm nei prossimi 50 anni).

L'innalzamento massimo del livello marino è stato quindi assunto, dallo Studio Catalano, pari a:

sovralzo $_{max}$ = +0.05m+(+0.04m+0.38m+0.20m) × 0.75 = 0.45 m (0.75 m tra 50 anni).

I massimi abbassamenti sono stati assunti, invece, pari a:

abbassamento $_{max}$= -0.03m+(-0.31m -0.20m)x0.75 = -0.40 m (-0.10 m tra 50 anni).

I livelli di wave set down (abbassamento marino nella zona di frangimento delle onde) e wave set-up (successivo innalzamento verso riva) nella zona più prossima alla riva sono stati calcolati con le seguenti formule:

− $h_b = -(1/16)\gamma^2 \cdot H_b$ = -0.25 m s.l.m.

− $h_s = (5/16)\gamma^2 \cdot H_b$ = +1.27 m s.l.m.

dove:

− H_b è stata assunta pari a 6.7 m (altezza dell'onda significativa al frangimento cui corrisponde un tempo di ritorno pari a TR = 50 anni);

− γ è l'indice di frangimento esprimente il rapporto tra l'altezza dell'onda frangente e la profondità d a cui si realizza il frangimento (si è soliti assumere γ = 0.78).

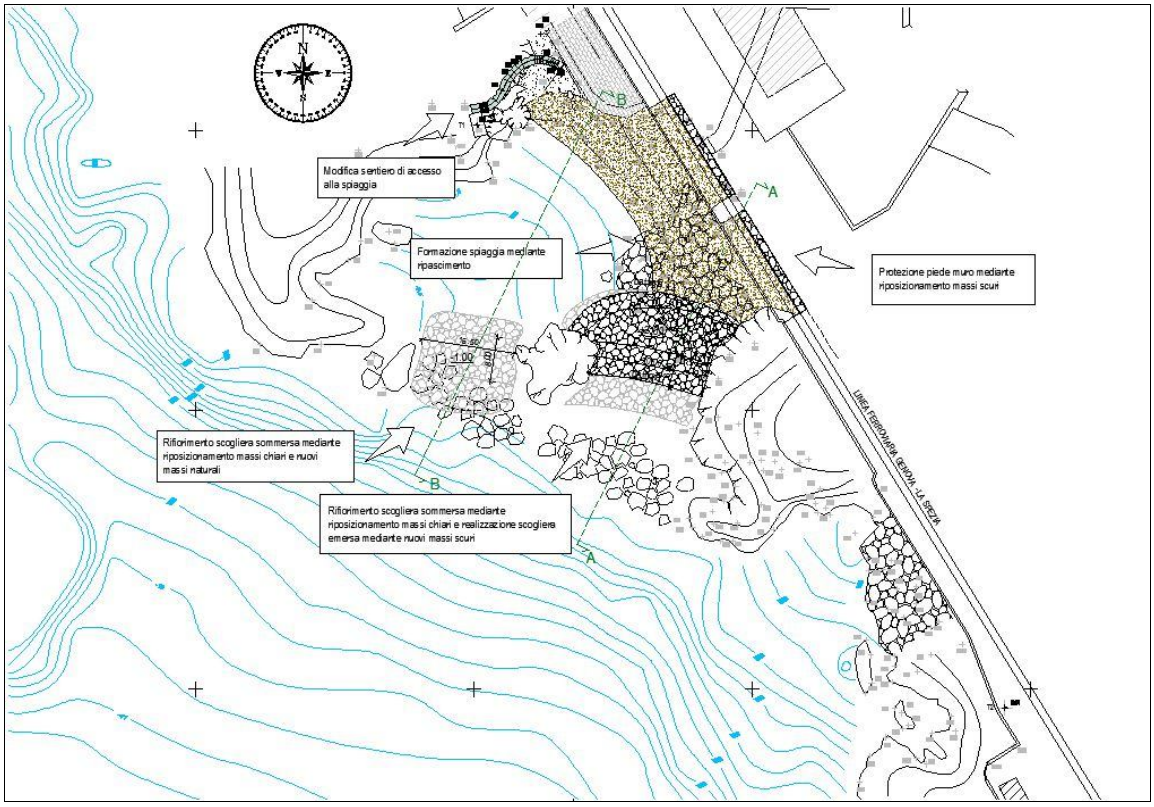
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO

3.1 Loc. Torsei

Come descritto nella relazione generale di progetto, il presente intervento ha come finalità la riqualificazione della spiaggia per permetterne una migliore fruizione e un migliore inserimento paesaggistico, oltre che il mantenimento delle funzioni di difesa della linea ferroviaria delle opere di difesa.

L'intervento prevede sinteticamente le seguenti opere:

- realizzazione di una scogliera emersa a protezione dell'imboccatura di levante della baia, realizzata previo il salpamento di quella esistente e la sua riconfigurazione in posizione più a largo. Detta scogliera, come mostrato nei disegni riportati di seguito, avrà una configurazione del tutto analoga a quella attualmente esistente, con berma di circa 8 m di lunghezza posta a quota + 2 m s.l.m.m. , e sarà in parte costituita dagli stessi massi naturali già presenti, salpati e ricollocati al piede, oltre che da nuovi massi naturali. La scarpata lato mare, a favore di stabilità, sarà resa più dolce con una pendenza media pari a 1 su 3;
- rifiorimento della scogliera sommersa a protezione dell'imboccatura di ponente della baia, realizzata mediante il ricollocamento dei massi salpati e mediante nuovi massi naturali: la quota di sommità è prevista a -1 m s.l.m. come nel progetto delle opere di protezione finanziato con i fondi DOCUP Liguria 2000-2006;
- mantenimento di una piccola scogliera radente al piede del muraglione ferroviario mediante riposizionamento dei massi di colore scuro già presenti in loco;
- rinforzo ed ampliamento a ponente della spiaggia emersa e sommersa mediante la provvista e posa, tramite il tombino del Rio Anzo, di 800 t di frantumato di cava di pezzature nel range 10÷100 mm.



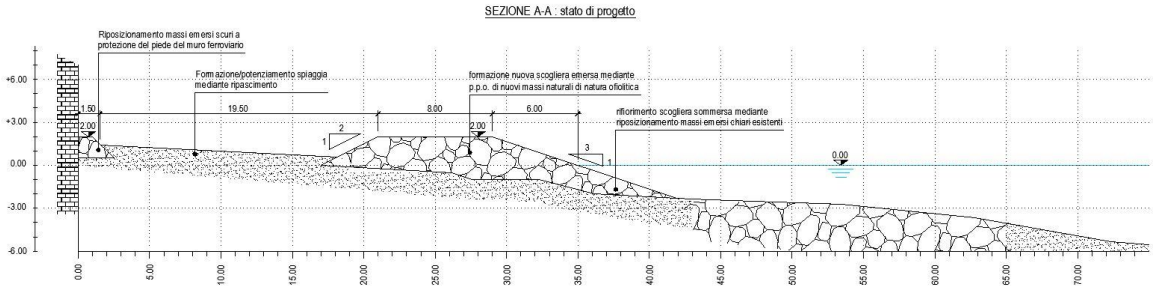


Figure 3.1 - 3.2 : Loc. Torsei – Configurazione di progetto : planimetria e sezione tipo

3.2 Loc. Ciamia

Per quanto riguarda gli interventi in loc. Ciamia, essi consistono nel rifiorimento della scogliera a difesa del muro paraonde, per consolidarla e mantenerne le funzioni di difesa del retrostante approdo. Detto rifiorimento è previsto mediante la provvista e posa via mare di circa 800 t di massi naturali, posti prevalentemente nella zona del piede immerso.

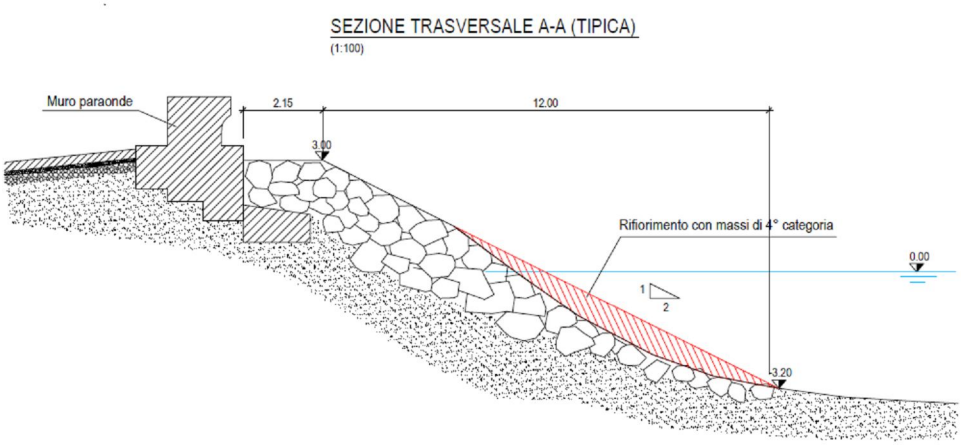


Figura 3.2: Loc. Ciamia – Cnfigurazione di progetto

4. DETERMINAZIONE DELL'ONDA DI PROGETTO

Per determinare le caratteristiche di progetto dell'onda da utilizzare come input nel calcolo di un'opera marittima si deve valutarne la durata di vita presunta, in relazione al progetto in cui è inserita, tenuto conto delle sue caratteristiche funzionali. Occorre valutare, inoltre, il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

Le "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 forniscono criteri e valori di riferimento.

Con riferimento alle tabelle di cui alle suddette istruzioni riportate nel seguito occorre dapprima definire la durata minima di vita dell'opera Tv e quindi identificare la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera stessa Pf .

Tabella 1. Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo (T_V).

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili commerciali o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc…

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, 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 o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Tabella 2. Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera (P_f).

Danneggiamento incipiente		
	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Per quanto riguarda la probabilità di accadimento dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni/modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale. Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed, il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore rispettivamente di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

La combinazione del tempo di vita dell'opera e della probabilità di danneggiamento determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto Trp secondo la relazione:

$$Trp = Tv / [- \ln(1-Pf)]$$

In relazione a questo tempo di ritorno, dalla statistica degli eventi estremi, si desume l'onda di progetto e il periodo di questa.

4.1 Loc. Torsei

Per le scogliere in località Torsei, si assume come durata di vita minima Tv per l'opera a progetto la vita minima per un'infrastruttura ad uso generale con livello di sicurezza richiesto pari a 1, ossia 25 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dell'opera si assume la probabilità di danneggiamento incipiente come consigliato per strutture flessibili (le opere in esame non sono soggette a collasso strutturale immediato) con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa, ossia Pf bassa pari a 0,50.

Ne consegue che il tempo di ritorno risulta pari a 21 anni; cautelativamente per i calcoli progetto si assume tempo di ritorno pari a 50 anni (valore che di fatto corrisponde ad una ripercussione economica medio bassa).

L'onda da utilizzare per le verifiche risulta quindi l'onda con tempo di ritorno 50 anni, proveniente dalla direzione di massimo contenuto energetico, ossia dal settore compreso tra 190° N e 220° N , calcolata al piede della scogliere .

Su tali fondali le altezze d'onda estreme hanno subito il frangimento e si presentano con altezza che è la massima ammissibile per la profondità considerata.

Per valutare l'altezza d'onda significativa al frangimento si possono utilizzare diverse formulazioni, che forniscono risultati non molto difformi tra loro. Per onde irregolari, in analogia al progetto RFI, può essere utilizzata l'espressione di Kamphuis:

$$H_{sb} = 0.56 \times \exp(3.5 \times m) \times h_b$$

in cui:

m = pendenza del fondale antistante le scogliere = 0.10

h_b = profondità al piede delle scogliere + sopraelevazione del livello medio marino (par. 2.4.4) = 4.0+0.5 = 4.5 m.

Si è assunta cautelativamente la profondità al piede della scogliera sommersa. Si assume cautelativamente anche per la scogliera di levante la profondità al piede di 4 m, ossia la profondità al piede all'ingresso della baia.

Le caratteristiche dell'onda di progetto risultano, quindi:

H_{sb} = 3.6 m - T_s = 10.97 s

4.2 Loc. Ciamia

Per la scogliera di difesa dell'approdo di Ciamia, si assume come durata di vita minima Tv per l'opera a progetto la vita minima per un'infrastruttura ad uso generale con livello di sicurezza richiesto pari a 1, ossia 15 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dell'opera si assume la probabilità di danneggiamento incipiente come consigliato per strutture flessibili (le opere in esame non sono soggette a collasso strutturale immediato) con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa, ossia Pf bassa pari a 0,50.

Ne consegue che il tempo di ritorno risulta pari a 21 anni; cautelativamente per i calcoli progetto si assume tempo di ritorno pari a 25 anni.

L'onda da utilizzare per le verifiche risulta quindi l'onda con tempo di ritorno 25 anni, proveniente dalla direzione di massimo contenuto energetico, ossia dal settore compreso tra 190° N e 220° N , calcolata al piede della scogliera.

Anche su tali fondali le altezze d'onda estreme hanno subito il frangimento e si presentano con altezza che è la massima ammissibile per la profondità considerata.

Non avendo informazioni aggiornate di dettaglio sui fondali, in questo caso quale onda di progetto viene assunta l'onda frangente su una profondità di 3.5 m, oltre alla sopraelevazione del livello medio marino, calcolata con la formula della cosiddetta "onda solitaria" : Hs = 0.78 h .

Le caratteristiche dell'onda di progetto risultano, quindi:

H_{sb} = 3.12 m - T_s = 10.77 s

5. DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA SCOGLIERA

Per il dimensionamento dei massi della mantellata delle scogliere emerse si è utilizzata la nota formula di Van Der Meer, riportata di seguito, che rispetto alla formula di Hudson permette di tener conto dell'azione di onde irregolari e gli effetti della variabilità del periodo.

5.1 Formula di Van Der Meer per scogliere emerse

Per onda frangente tipo plunging ($\xi_m \leq 2.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n\,50}} = 6.2\,P^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{-0.5}$$

Per onda frangente tipo surging ($\xi_m \geq 3.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta\, D_{n\,50}} = 1.0\,P^{-0.13}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\sqrt{\cot\alpha}\;\xi_m^{P}$$

Per onde con frangimento intermedio ($2{,}5 < \xi_m < 3.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n\,50}} = \min\left(6.2\,P^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\xi_m^{-0.5};\,1.0\,P^{-0.13}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\sqrt{\cot\alpha}\;\xi_m^{P}\right)$$

in cui:

H_s = altezza d'onda significativa al piede delle opere =Hs_b

ξ_m = parametro di surf o numero di Iribarren per il periodo medio $\quad \xi_m = \dfrac{\tan\alpha}{\sqrt{\dfrac{2\pi H_S}{g T_m^2}}}$

T_m = periodo d'onda medio (s)

α = pendenza della mantellata (°)

$\Delta = (\gamma_m/\gamma_w - 1)$ = massa relativa del masso

γ_w = peso specifico dell'acqua marina (1030 Kg/m³)

γ_m= peso specifico del masso (2650 Kg/ m³)

D_{n50}= diametro nominale del masso, $D_{n50} = (W_{50}/\gamma_m)^{1/3}$ (m)

W50= valore del peso corrispondente al 50% nella curva di distribuzione (kg)

P = coefficiente di permeabilità della struttura

S = livello di danneggiamento ammesso, $S = A/(Dn50)^2$ (crf. tabella seguente)

A = area erosa nella sezione

N = numero di onde (tipicamente tra 1000 e 5000).

Nella tabella seguente 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

LIVELLI DI DANNO PER MANTELLATE IN DOPPIO STRATO IN FUNZIONE DELLA PENDENZA

La verifica è stata condotta per indice di danneggiamento S=2, corrispondente a danno iniziale.

Si riportano di seguito le tabelle di calcolo relative alle verifiche eseguite sia per la scogliera emersa in loc. Torsei, sia per la scogliera del porticciolo Ciamia. Come onde di progetto sono state assunte le onde frangenti come definite al paragrafo precedente, e cioè quelle limitata dal fondale al piede delle opere.

5.2 Loc. Torsei

Dati

$\rho 0$ =	1.030,00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2.650,00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1,57		$\rho / \rho 0$ - 1
p*=	0,50		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	3,00		pendenza mantellata (1 su ...)
tg (α) =	0,33		1 / pendenza della mantellata
h =	4,00	m	profondità al piede + sopraelevazione l.m.m.
H_s =	3,60	m	H onda significativa
g =	9,81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	11,75	s	periodo di picco
T_s=	10,97	s	periodo significativo
T_m =	9,14	s	periodo medio
$L_{0\,m}$	130,43	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**2,006**		parametro di Iribarren
ξ mc =	2,887		parametro di Iribarren critico
S =	2,00		livello di danneggiamento
N =	4.000,00		numero onde presenti nella mareggiata (da 3000 a 5000)
Pers =	10,16	ore	durata della mareggiata
R_c=	1,00	m	altezza della mantellata sul l.m.m. - sopraelevazione l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m $\leq 2,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	**1,94**	frangimento tipo plunging
$2,5 \leq \xi$ m $\leq 3,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	--	-
ξ m $\geq 3,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	**--**	-
Ns = Hs/(D*Dn50)=		***1,94***	

D_{n50}	**1,18**	**m**	**diametro nominale medio**
W_{50}	**4.376**	**kg**	**peso medio del singolo masso di progetto**

DIMENSIONAMENTO DELLE MANTELLATA - FORMULA DI VAN DER MEER CON S=2

Dai calcoli sopra esposti risulta che per garantire la stabilità della scogliera sarebbero sufficienti massi di III categoria (fino a 7 t). A favore di stabilità, anche a causa dei fenomeni turbolenti osservati negli anni nella baia, difficilmente modellabili, verranno utilizzati oltre ai massi presenti in loco massi di IV categoria oltre le 7 t.

Per la scogliera sommersa, nella parte ovest della baia, a favore di sicurezza, verranno utilizzati massi della stessa tipologia di quelli da utilizzare per la scogliera emersa, prediligendo quelli già in loco che per ragioni cromatiche si prevede di spostare dalle parti emerse alle parti sommerse.

5.3 Loc. Ciamia

Dati

$\rho 0$ =	1 030.00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2 650.00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1.57		$\rho / \rho 0$ - 1
p*=	0.50		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	2.00		pendenza mantellata (1 su …)
tg (α) =	0.50		1 / pendenza della mantellata
h =	4.00	m	profondità al piede + sopraelevazione l.m.m.
H_s =	3.12	m	H onda significativa
g =	9.81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	11.53	s	periodo di picco
T_s=	10.77	s	periodo significativo
T_m =	8.98	s	periodo medio
$L_{0\,m}$	125.71	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**3.174**		parametro di Iribarren
ξ mc =	3.536		parametro di Iribarren critico
S =	2.00		livello di danneggiamento
N =	4 000.00		numero onde presenti nella mareggiata (da 3000 a 5000)
Pers =	9.97	ore	durata della mareggiata
R_c=	2.50	m	altezza della mantellata sul l.m.m. - sopraelevazione l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m $\leq 2,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	--	-
$2,5 \leq \xi$ m $\leq 3,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	1.38	frangimento intermedio plunging/surging
ξ m $\geq 3,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	--	-
	Ns = Hs/(Δ*Dn50)=	***1.38***	

D_{n50}	**1.44**	**m**	**diametro nominale medio**
W_{50}	**7 841**	**kg**	**peso medio del singolo masso di progetto**

Dai calcoli sopra esposti per il rifiorimento della scogliera in esame occorrono massi compresi tra le 6 e le 10 t circa (0.75 e 1.25 volte il peso medio calcolato con la formula in esame). Per il rifiorimento, su tutto il tratto, è, quindi, previsto l'utilizzo di massi di IV categoria, posizionando quelli di maggiori dimensioni nei tratti maggiormente esposti al moto ondoso.

6. CONSIDERAZIONI SULL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO IN LOC. TORSEI

Come emerge dagli elaborati grafici e dalla documentazione fotografica allegata alla Relazione generale, la baia di Torsei ha un'orografia piuttosto complessa, con la presenza di scogliere naturali ed artificiali, sia sommerse che emerse e di scogli affioranti.

Questa conformazione rende molto difficile la modellazione delle condizioni meteomarine e della dinamica dei sedimenti all'interno della baia stessa.

Nel corso degli anni a seconda dell'intensità e della direzione delle mareggiate si è potuto osservare un continuo movimento dei sedimenti.

Il presente intervento, come anticipato, ha come finalità la riqualificazione della spiaggia per permetterne una migliore fruizione e un migliore inserimento paesaggistico, oltre che il mantenimento delle funzioni di difesa della linea ferroviaria; prevede, pertanto, una riorganizzazione delle opere di difesa della baia che è frutto di un compromesso tra gli obiettivi di difesa e di fruibilità dell'area, in base a considerazioni più qualitative che quantitative.

L'applicazione di formule empiriche generalizzate o di modelli matematici localizzati, infatti, sono interpretate come indicative del comportamento delle difese nell'area.

La sezione tipo trasversale delle opere, infatti, cambia repentinamente e più volte in neanche 70 m di apertura della baia.

Per valutare, anche se con i limiti sopra riportati, la risposta delle opere previste in termini di tracimazione al confronto con le opere esistenti è stata condotta una verifica di massima con le formule proposte da Van der Meer nell'ambito della pubblicazione "Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes".

La formula generale per $\xi_0 < 5$ risulta:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan\alpha}} \gamma_b \xi_0 \exp\left(-4.3 \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\xi_0 \gamma_b \gamma_\beta \gamma_v \gamma_f} \right)$$

con massimo dato dall'espressione:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.3 \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta} \right)$$

dove:

q = portata media tracimante (mc/s/m)

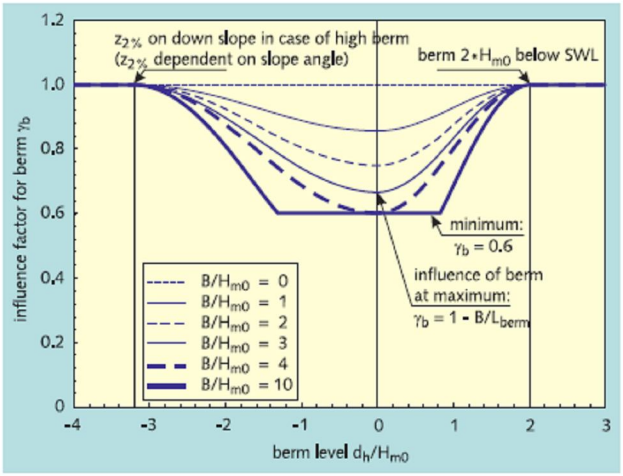
$H_s=H_{m0}$= altezza significativa dell'onda al piede dell'opera;

ξ_0 = parametro di frangimento = tan α/radq(2π H_s/gT_s^2);

R_c = altezza libera della sommità del muro rispetto al livello di quiete

tan α = pendenza della mantellata della mantellata

γ_b = parametro riduttivo dipendente dalla presenza di una berma orizzontale nell'ambito della mantellata calcolato in base alla posizione della berma sul livello del mare e della lunghezza della berma in rapporto all'altezza d'onda H_s secondo l'abaco tratto dal "Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes" (per pendenze 1:3) e riportato di seguito:



γ_f = parametro riduttivo dipendente dalla "scabrezza" della scogliera

- nel caso di mantellata costituita da una doppia fila di massi naturali $\gamma_f = 0{,}55$

γ_β = parametro riduttivo dipendente dall'obliquità dell'onda incidente calcolabile con le seguenti formule:

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0033 * \beta \qquad (0° \le \beta \le 80°)$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0033 * 80 \qquad (\beta \ge 80°)$$

Assumendo un attacco frontale $\gamma_\beta = 1$

γ_v = parametro riduttivo dipendente dall'obliquità del paramento del muro paraonde calcolabile con la seguente formula:

$$\gamma_\beta = 1.35 - 0.0078 * a_{wall}$$

Con a_{wall} pendenza del muro in gradi (compresa tra 45° per pendenza 1:1 e 90° per muro verticale).

Tale formula è stata applicata alla sezione A-A disegnata in corrispondenza della nuova scogliera emersa, sia nello stato attuale sia nello stato di progetto, con onda di progetto 50-ennale calcolata all'ingresso della baia, come descritto al paragrafo 4.1.

CALCOLO DELLA TRACIMAZIONE (Van der Meer -TAW 2002) TR 50 ANNI

Note:

Onda di riferimento :	**3,60**	m	onda con TR 50 anni frangente su	4,00 m
Sopraelevazione medio mare:	**0,50**	m	---> Hs = onda frangente su	4,50 m

STATO ATTUALE - SEZIONE A-A		
Hs	3,60	m
Rc	1,50	m
Ts0	10,97	s
g	9,81	m/s^2
B emersa	8,00	m
db emersa	-1,50	m
B emersa/Hs	2,22	m
db emersa/Hs	-0,42	m
gb	0,74	
g b	1,00	
gf	0,55	
av	1,00	
gv	1,34	
cotg a	2,70	
tan a	0,37	
s0	0,02	
x0	2,68	
q	**0,75**	**mc/s/m**
q	**749,19**	**l/s/m**

STATO DI PROGETTO: PENDENZA 1:3 - Q berma 2,00 m s.l.m.		
Hs	3,60	m
Rc	1,50	m
Ts0	10,97	s
g	9,81	m/s^2
B emersa	8,00	m
db emersa	-1,50	m
B emersa/Hs	2,22	m
db emersa/Hs	-0,42	m
gb	0,74	
g b	1,00	
gf	0,55	
av	1,00	
gv	1,34	
cotg a	3,00	
tan a	0,33	
s0	0,02	
x0	2,41	
q	**0,75**	**mc/s/m**
q	**749,19**	**l/s/m**

Occorre innanzitutto premettere che le formule presenti in letteratura derivano da prove sperimentali effettuate in vari laboratori, per lo più su modello fisico bidimensionale e correlate a specifici casi esaminati: per tale motivo è molto difficile che rappresentino fedelmente il fenomeno che si riscontra al vero, soprattutto in situazioni molto complesse e a sezione variabile, come il caso in esame.

I valori medi della portata di tracimazione sono, inoltre, calcolati con formule empiriche generalizzate e conseguenti semplificazioni sull'influenza delle combinazioni dei diversi fattori (presenza di più berme, rugosità differenti…).

Premesso, quanto sopra, si può, tuttavia, osservare che la portata tracimante a tergo della scogliera nella configurazione di progetto è del tutto analoga a quella tracimante nello stato attuale. Ciò deriva dal fatto che la nuova scogliera, anche se circa 10 m più a mare di quella attuale, è di forma e scabrezza analoga a quella esistente, solo con una pendenza della scarpata leggermente più dolce a favore di stabilità.

Tale posizione spostata verso mare di circa 10 m permette che si realizzi di fatto una sorta di "vasca di laminazione" dell'energia ondosa, tra la scogliera e il muro ferroviario, decisamente più ampia che rispetto al caso attuale: considerando, tuttavia, le condizioni ondose osservate nel corso degli anni, nonostante il previsto allontanamento dell'azione ondosa dal muro ferroviario, si prevede a presidio dello stesso una piccola scogliera radente a difesa del piede.

La nuova configurazione, come ogni opera di difesa costiera dovrà essere attentamente monitorata e manutenuta nel corso degli anni.