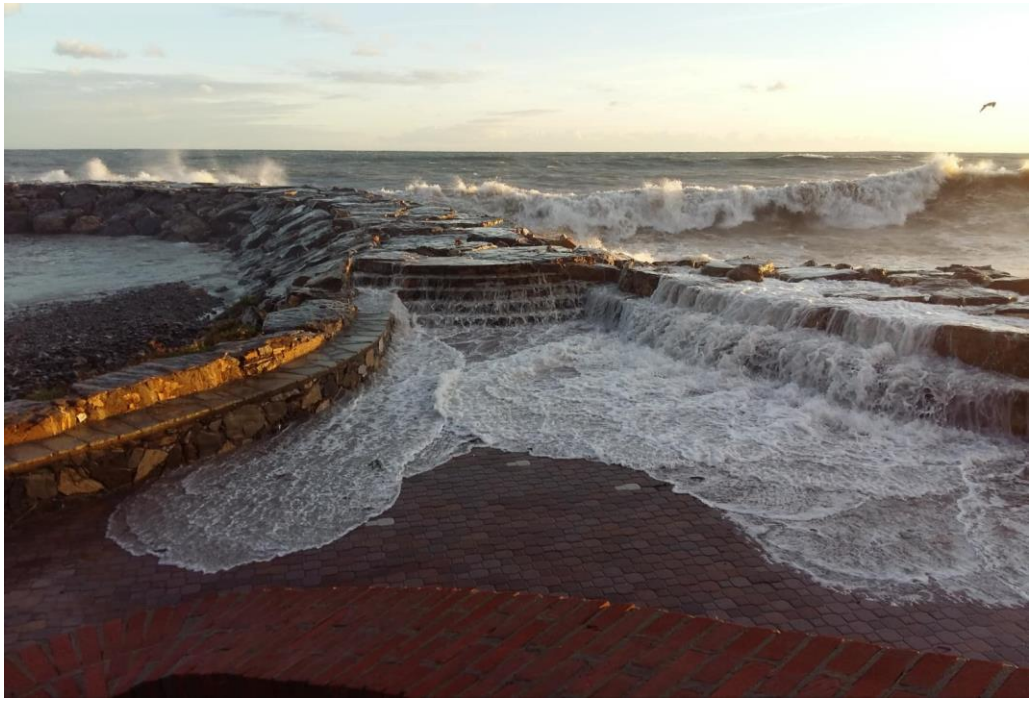


SOLUZIONE OTTOBRE 2020	PROGETTO DEFINITIVO



STUDIOGAGGERO

SAVONA – VIA PIA 130 R – FAX 019/8386702 – TEL 019/829463
CELL. 335/303133 – E-MAIL ing.gaggero@libero.it

El. A

COMUNE DI IMPERIA

PIANO DEGLI INTERVENTI A VALERE SULLE RISORSE DI CUI ALL'ART. 1 COMMA 1028 DELLA LEGGE 30 DICEMBRE 2018, N. 145. ANNUALITÀ 2020.
BORGO FOCE – COD 505 + 1273

COMPENDIO RELAZIONI

NP 2186-B/1

Ottobre 2020

NP 2186-B/1 Imperia

Dott. ing. Paolo GAGGERO
C.F. GGGPLA49H27I480F
Collaboratore Dott. Ing. Luca Rossi



NP 2186 – B/1

COMUNE DI IMPERIA



PIANO DEGLI INTERVENTI A VALERE SULLE RISORSE DI CUI ALL'ART. 1 COMMA 1028 DELLA LEGGE 30 DICEMBRE 2018, N. 145. ANNUALITÀ 2020.
BORGO FOCE
COD 505 + 1273

SOLUZIONE OTTOBRE 2020

El. A: COMPENDIO RELAZIONI

Ottobre 2020

Dott. Ing. Paolo Gaggero
Collaboratore Dott. Ing. Luca Rossi

INDICE

1. PREMESSE 4
2. CONTESTO GENERALE 5
3. DINAMICA COSTIERA 10
4. ESAME DELLE ALTERNATIVE DI INTERVENTO 13
5. SCELTA PROPOSTA 15
6. EFFETTI DI MITIGAZIONE 20
6.1 PREMESSE 20
6.2 CONFIGURAZIONE ATTUALE – CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE 21
6.2.1 APPROCCIO PER IL CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE PER OPERE A SCOGLIERA 22
6.3 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO – CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE 23
7. DIMENSIONAMENTO DEI MASSI 26
8. STABILITA' DEL MATERIALE DI APPORTO 28
9. CONCLUSIONI 33
10. CRONOPROGRAMMA 34
11. COSTO DELL'INTERVENTO 35

ELABORATI SCRITTI

El. A	Compendio relazioni
El. B	Computo metrico estimativo
El. C	Quadro economico
El. D	Elenco ed analisi prezzi
El. E	Relazione paesaggistica
El. F	Studio preliminare ambientale
El. G	Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici
El. H	Prime indicazioni e disposizioni per la stesura dei piani di sicurezza
El. I	Cronoprogramma

ELABORATI GRAFICI

Tav. 01	Inquadramento cartografico
Tav. 02	Fotogrammi satellitari e documentazione fotografica
Tav. 03	Stato attuale: Planimetria e sezioni generali
Tav. 04	Progetto: Planimetria e sezioni particolari diga
Tav. 05	Progetto: Sezioni generali e di ripascimento
Tav. 06	Raffronto: Planimetria e sezioni generali

1. PREMESSE

Nell’ambito delle esigenze conseguenti alla mareggiata del 29-30 ottobre 2018 il Comune ha, dal primo momento, indicato la necessità di intervento sulla diga longitudinale di Borgo Foce, la cui presenza e configurazione non è stata sufficiente a difendere le strutture ed infrastrutture urbane (residenze, attività dei servizi al pubblico, passeggiata, ricovero a terra di imbarcazioni) che hanno subito gravi danni, con pericolo evidente per la pubblica incolumità.

In esito alle complesse procedure di finanziamento collegate alla OCDPC 558/2018 l’intervento in Borgo Foce, ripetutamente indicato dal Comune come priorità per le azioni urgenti nell’anno 2020, è stato ricompreso nell’ordinanza del Commissario per l’emergenza n° 8 del febbraio 2020 e confermato dalla Protezione Civile Nazionale.

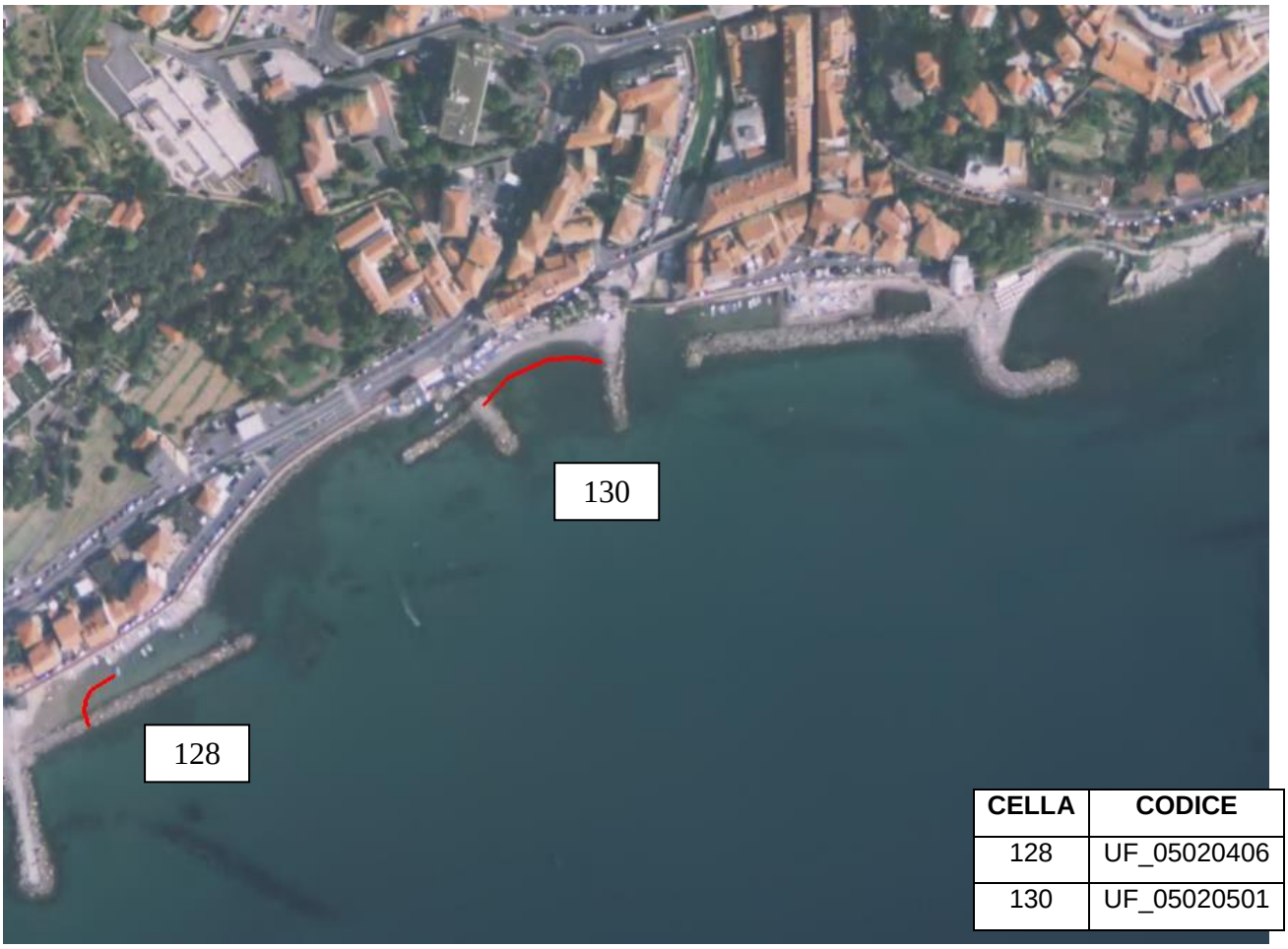
Nelle pagine seguenti vengono illustrate le problematiche ed individuata la soluzione che ci è apparsa la più vantaggiosa sotto i profili tecnico – economici.

2. CONTESTO GENERALE

Il tratto di litorale in oggetto prende il nome di Borgo Foce dall'esistenza, al suo interno, della foce del torrente Caramagna.
Il litorale ha un andamento concavo leggermente inclinato a circa 60° N e quindi esposto alle mareggiate provenienti dal 2° e 3° quadrante; queste ultime lo raggiungono comunque frontalmente dopo la rotazione rifrattiva, e le creste d'onda giungono generalmente parallele all'opera di difesa esistente.



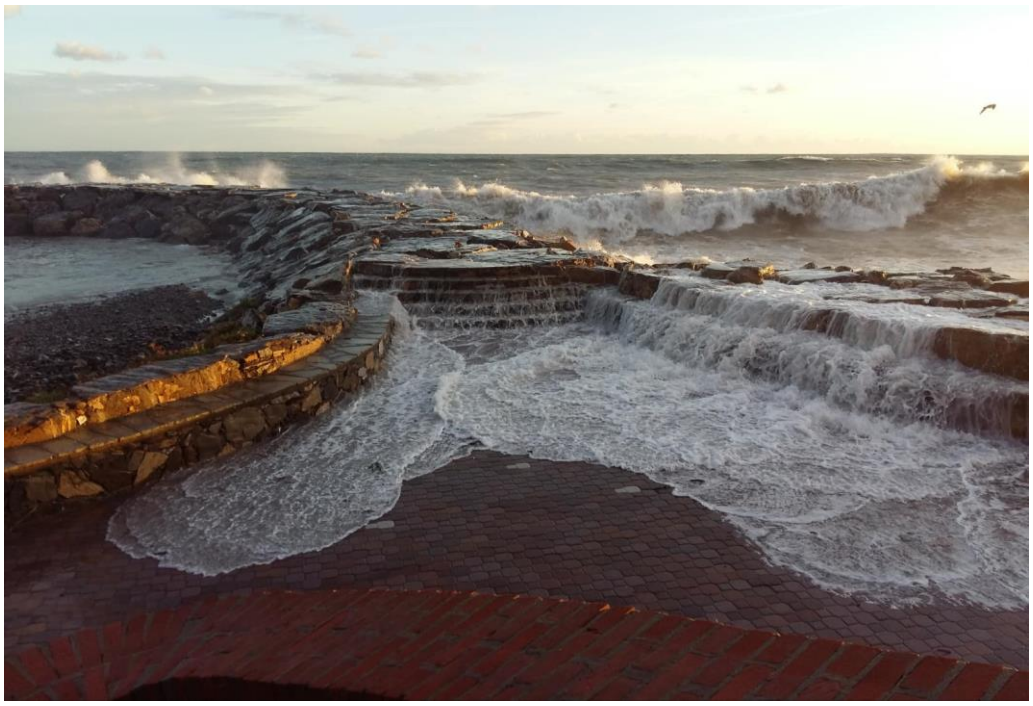
Il tratto di litorale è limitato a ponente dal lungo pennello di Borgo Prino ed a levante dell'opera a "granchio" che la separa a levante dalla spiaggia denominata Foce Beach e dal promontorio roccioso su cui si snoda la passeggiata Moriani.
Il litorale, sul cui bordo si sviluppano i percorsi carrabili e pedonali che separano il mare dalle abitazioni ed esercizi pubblici retrostanti, è disordinatamente protetto da un sistema di opere longitudinali e trasversali evidentemente realizzate senza un disegno complessivo.
All'interno del suddetto litorale sono indicate due celle litorali corrispondenti a spiagge libere contenute entro le opere di difesa



CELLA	CODICE
128	UF_05020406
130	UF_05020501

L’immagine azimutale del contesto evidenzia una certa simmetria, con due dighe parallele appoggiate ciascuna, con configurazione opposta, ad opere trasversali. La parte centrale della falcata è invece attrezzata con opere distribuite su tre allineamenti, di cui non si comprende del tutto la genesi (probabilmente i due elementi trasversali sono sorti a delimitazione e contenimento della spiaggia mentre la corta diga longitudinale vale a difesa degli usi del litorale).

Le due dighe in “*contrariè*” si sviluppano similmente per circa 140 ml (diga di ponente) e 150 ml (diga di levante). Peraltro la diga di ponente è molto più distanziata dal parapetto stradale rispetto a quella di levante che, conseguentemente, difende con ridotta efficacia il litorale.





punto di presa

In conseguenza della minore distanza dalle strutture urbane, mentre alla radice della diga di ponente è presente una spiaggia libera (ove i documenti regionali indicano la cella litoranea), l'ambiente racchiuso dalla diga di levante è acquitrinoso e maleodorante, al punto da suggerire la realizzazione, in epoca imprecisata, di due tubazioni trasversali per agevolare il ricambio d'acqua, protette con griglie metalliche



Inoltre, mentre la diga di ponente non ha subito danneggiamenti durante la mareggiata 2018, quella di levante è stata aperta in più punti, probabilmente per l'azione più

importante del moto ondoso riflesso con diverso effetto risonante dalle strutture urbane molto vicine.

Le seguenti immagini ritraggono un particolare dello stato della diga, ulteriori fotogrammi sono riportati all'interno della Tav.02, cui si rimanda.





Ed ancora la diga di ponente difende un sistema di piastre per imbarcazioni alate ed un percorso stradale a quote elevate rispetto al mare ed alla berma, mentre quella di levante deve proteggere un sistema urbano molto articolato anche con presenza di pubblici esercizi, passeggiate, giardini pubblici ed edifici residenziali a quota circa pari all'altezza in berma della stessa opera di difesa.

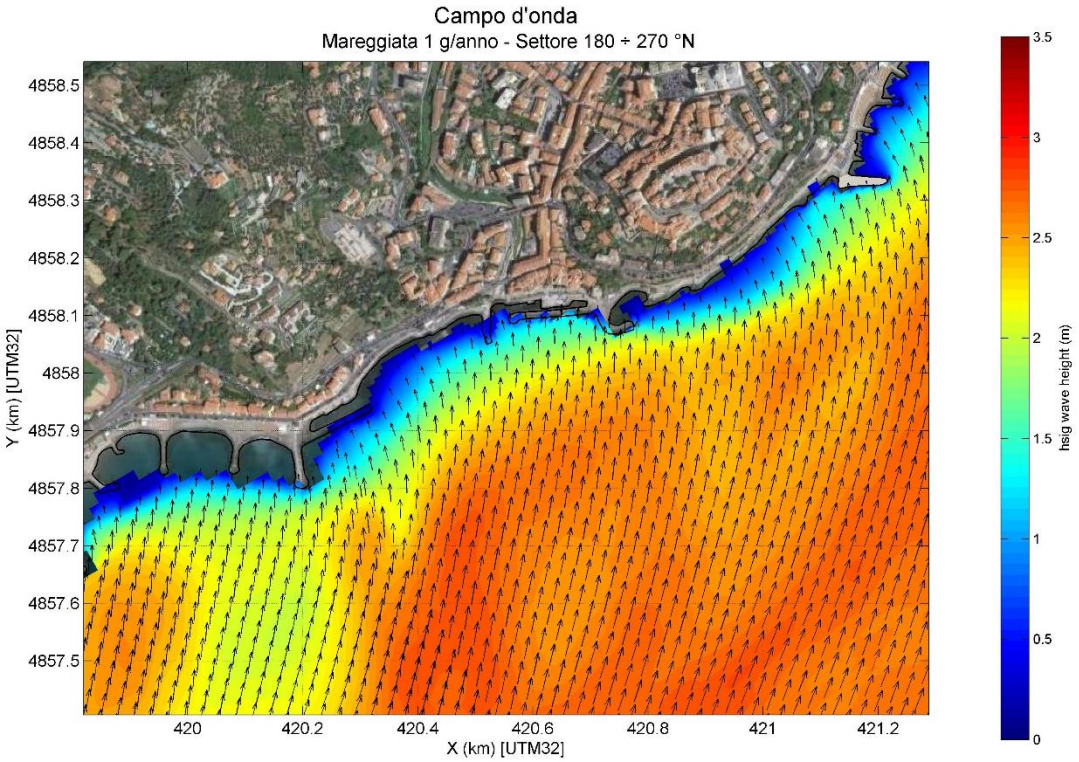
Appare quindi evidente come i due sistemi, apparentemente simili, siano gravati da problemi molto più pesanti in quello di levante, ed è chiara la motivazione che ha indotto l'Amministrazione Comunale ad indicarla nelle massime priorità di intervento.

Riteniamo opportuno rilevare anche che il Piano di Bacino dei torrenti Impero ed Caramagna, mentre evidenzia criticità gravi ed interventi (anche in parte realizzati) per i tratti del t. Caramagna a monte della foce, per quest'ultima, pur caratterizzata da un alveo cementato, non segnala problematiche idraulico-strutturali e soprattutto non suggerisce modifiche delle opere di contorno a mare della foce.

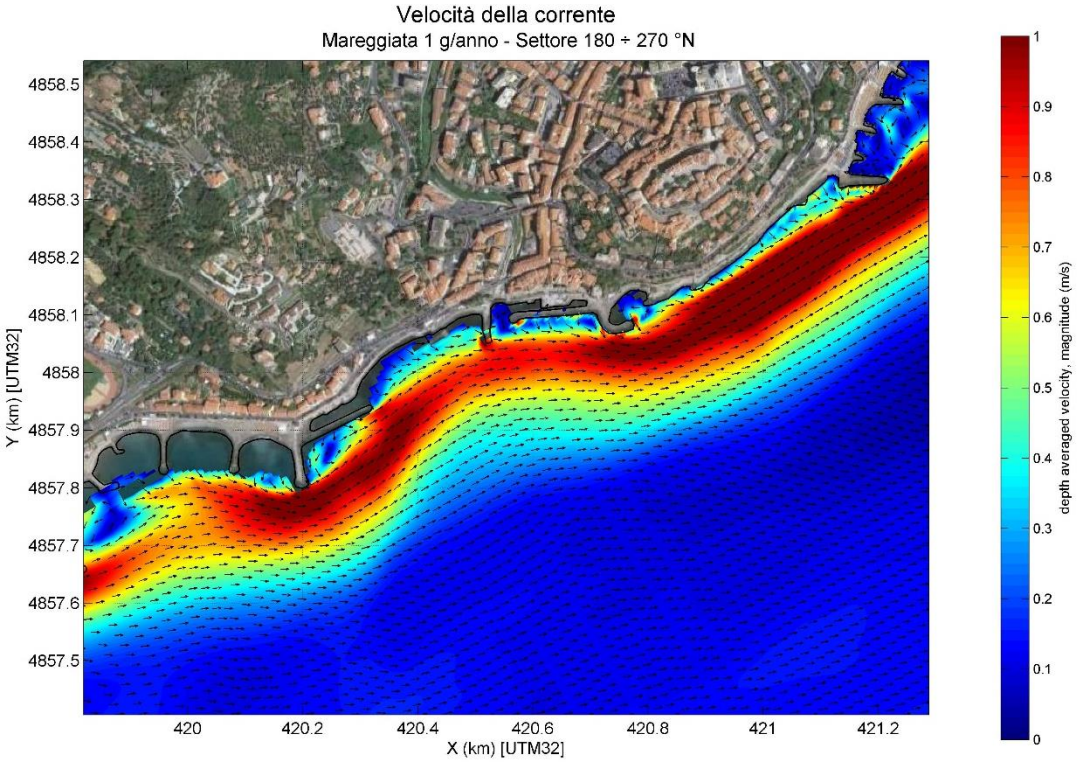
3. DINAMICA COSTIERA

La morfologia del sistema difensivo, ed in particolare del disegno planimetrico delle opere di difesa esistenti, rende con evidenza la mutua indipendenza degli effetti delle varie opere che, pur disordinatamente, difendono la costa.

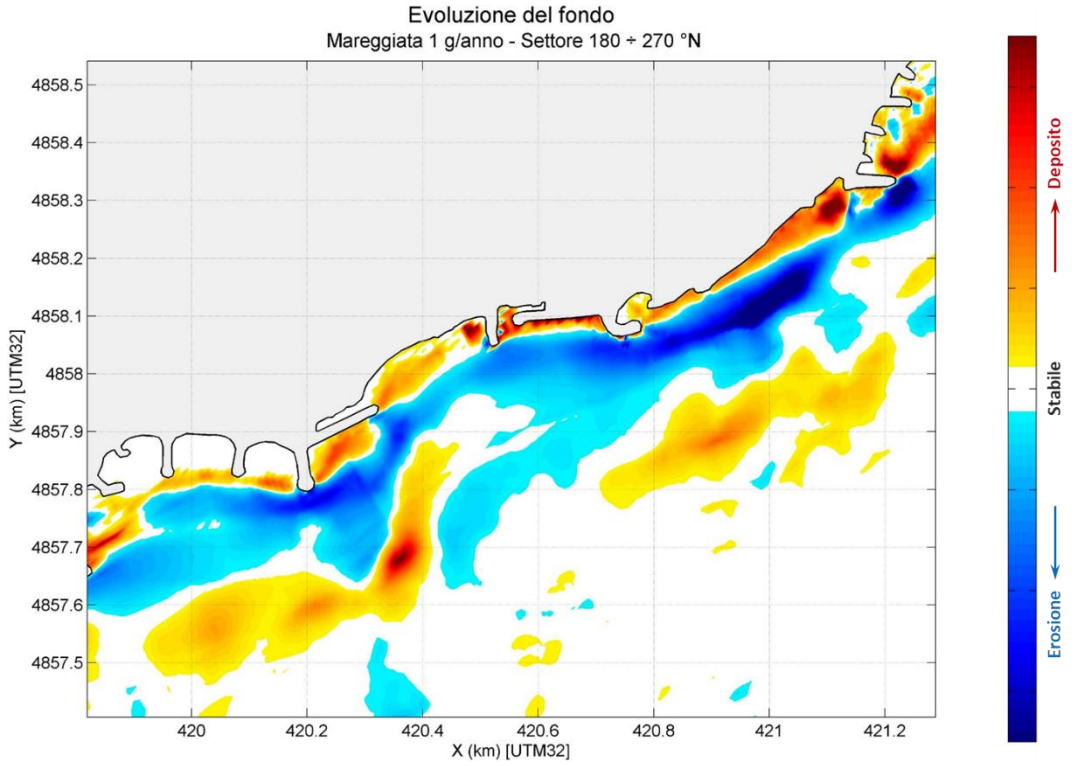
Abbiamo voluto testare i moti litoranei utilizzando il modello realizzato per la progettazione degli interventi su Porto Maurizio e Borgo Marina; ed in particolare sono stati sviluppati i campi d'onda, di velocità ed evoluzione del fondo per agitazioni provenienti dal settore più critico 180°-270° N.



Campo d'onda. Caratteristiche al largo: H_S = 3.37 m, T_P= 8.5 s, Dir = 215°N, U_w= 10.8 m/s.



Campo di velocità. Caratteristiche onda al largo: H_S = 3.37 m, T_P= 8.5 s, Dir = 215°N, U_w= 10.8 m/s.



Evoluzione del fondo. Caratteristiche onda al largo: H_S = 3.37 m, T_P= 8.5 s, Dir = 215°N, U_w= 10.8 m/s.

Il test è effettuato sullo stato di fatto, che mette in risalto come il campo relativo alla diga ed allo spazio compreso tra la stessa e la linea parallela passante per le opere trasversali

a lei latistanti abbia un comportamento uniforme, indipendentemente dalla morfologia della diga che non interviene nei processi litoranei del paraggio, governati dalle sporgenze del molo focivo destro del t. Caramagna e dal “granchio” che racchiude la spiaggia dello stabilimento “Foce Beach”.

4. ESAME DELLE ALTERNATIVE DI INTERVENTO

Per risolvere il tema collegato con le problematiche indicate nei paragrafi precedenti sono state individuate ed analizzate alcune differenti soluzioni, valutate sotto i profili tecnico – economici, per giungere alla scelta proposta:

A) **INCREMENTO DELLE DIFESE CON INNALZAMENTO DEL PARAPETTO STRADALE**. È ovviamente la soluzione paesisticamente più importante, che irrigidisce il contesto urbano e non risolve affatto i problemi di invasione delle acque durante le tempeste di mare e di vento. Riportiamo a titolo di esempio l'immagine di quanto accade ad Imperia a Borgo Peri dove esiste un muro alto (sotto strada) che ferma il moto ondoso



B) **SCOGLIERA RADENTE**. Un'eventuale scogliera radente potrebbe essere:

- sostitutiva della diga: l'ampiezza di berma dovrebbe essere molto estesa, dell'ordine dei 10 ml, con effetti paesistici inaccettabili, per una soluzione che conseguentemente dovrebbe essere estesa a tutta la falcatura argomentata nei precedenti paragrafi. Inoltre verrebbe completamente perso il sistema di alaggio delle piccole imbarcazioni;
- aggiuntiva alla diga: se già il sistema difensivo è stato definito disordinato, un'ulteriore opera così massiccia graverebbe ancor più il contesto ;

C) **INNALZAMENTO DELLA BERMA**. L'attuale altezza della diga (circa 2 ml sul l.m.m.) è compatibile con la quota urbana variabile intorno ai 2 m per quanto riguarda le

visuali verso mare, che non sono interrotte neppure dal “granchio” posizionato più al largo. Un innalzamento muterebbe con profili negativi lo scenario, occludendone l’orizzonte.



D) **ALLARGAMENTO DELLA BERMA**. L’ordine di grandezza dell’eventuale allargamento è di circa 10 ml. L’opera indubbiamente appesantirebbe ancor più l’irrigidimento del litorale, con problemi paesistici non indifferenti. Inoltre le disponibilità finanziarie non sono sufficienti ad impiego delle necessarie quantità di massi di nuovo apporto.

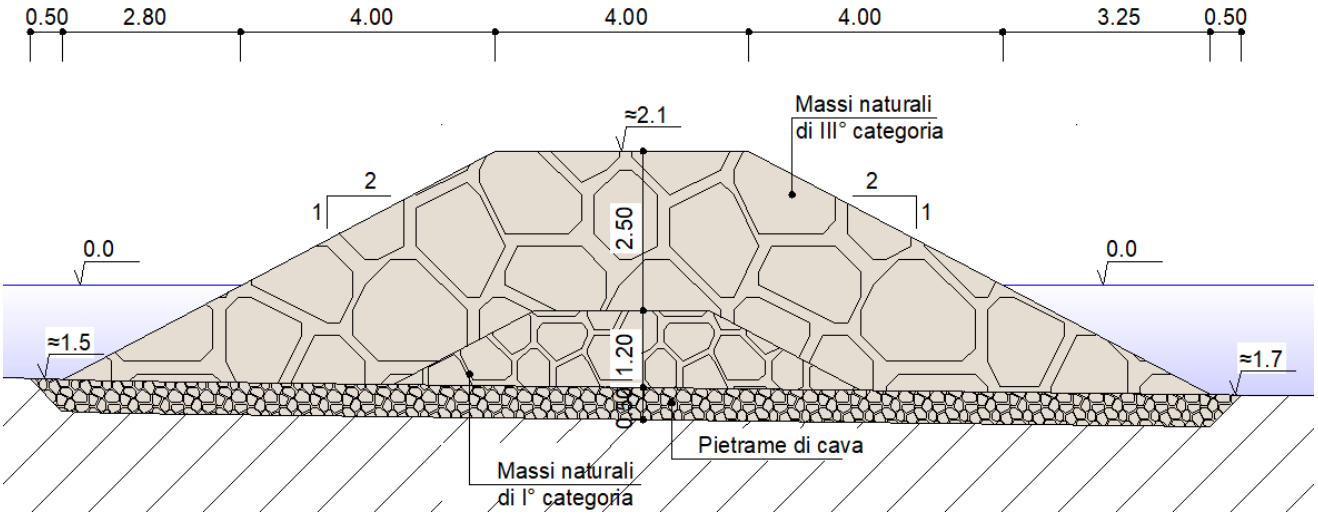
E) **DIGA SUFFOLTA DI MAGGIOR AMPIEZZA**. Rispetto alla soluzione D viene migliorato il tema paesistico. Peraltro i costi sarebbero ancora maggiori perché l’ampiezza dovrebbe ulteriormente crescere, complicando inoltre i temi di sicurezza per la nautica minore ivi localizzata.

5. SCELTA PROPOSTA

I termini tecnici, paesistici ed economici inducono ad una diversa soluzione, proposta nel progetto e rappresentata nella seguente immagine:



La sezione tipologica dell'opera è caratterizzata da un piano di berma di larghezza 4.0 ml, posto a 2.1 m.s.l.m.m. Le scarpate sono previste con una pendenza pari a 2/1.



La mantellata è prevista in massi naturali di III° categoria, spessore medio 2.50 ml, caratterizzati da un peso oltre le 3.0 ton fino a circa 50 ml dal raccordo sul pennello esistente; quest'ultimo tratto, in esito alla maggiore profondità del fondale, dovrà essere caratterizzato da massi naturali di III° categoria con un peso di almeno 6.50 ton.

Il nucleo è previsto in massi naturali di I° categoria. L'impronta dell'opera di difesa a progetto che risulta esterna alla esistente, sarà caratterizzata da uno strato di imbasamento in tout venant, di spessore medio 50 cm. Gran parte del materiale è ricavato dal salpamento dell'esistente.

La soluzione si fonda sulle seguenti motivazioni:

- pur senza modificare il sistema originale di difesa, il disegno dell'opera ripercorre i temi ricorrenti della zona, affidati ad elementi curvilinei intrecciati;



- non viene modificato il rapporto tra le opere di difesa insistenti alla foce del torrente Caramagna;
- non viene alzato il livello della berma: il suo allontanamento è pari a quello del "granchio" esistente, che, come precedentemente documentato, non oscura l'orizzonte;



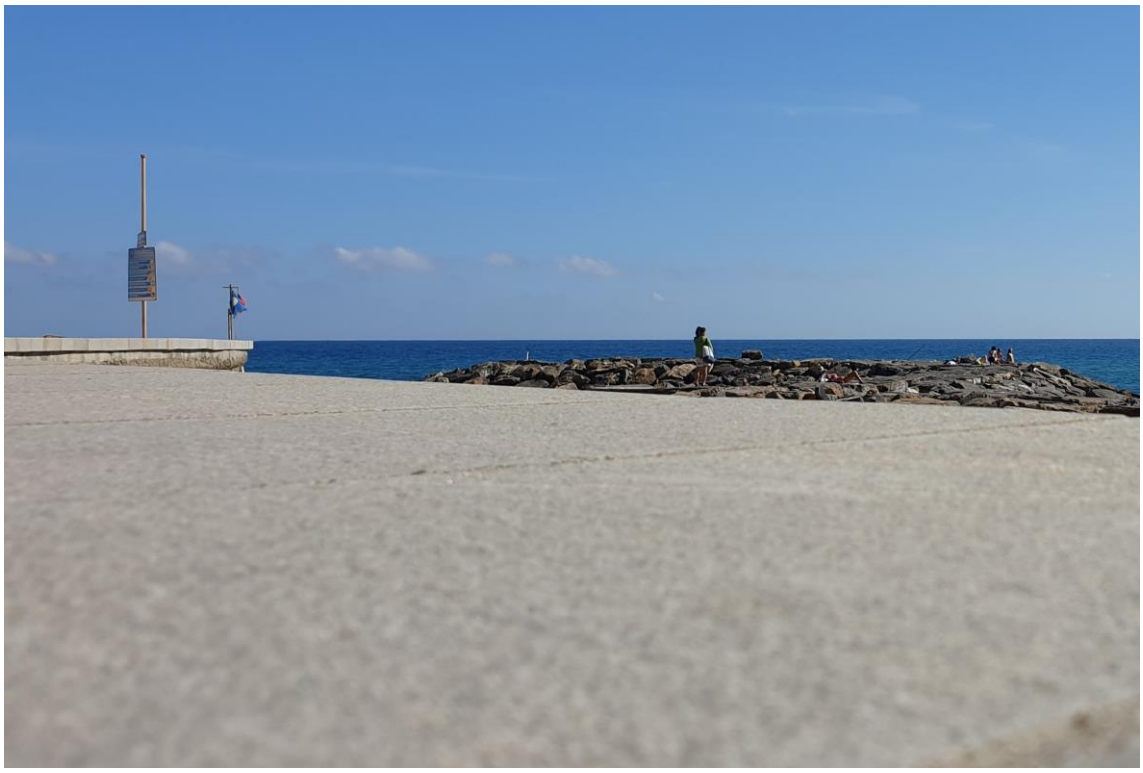
- allontanamento della struttura del litorale urbano, idonea a ridurre in termini davvero significativi, anche se non eliminare, la possibilità di tracimazione (vedi paragrafo 6);
- mantenimento della quota in elevazione della struttura rispetto al l.m.m.

  La nuova posizione è la stessa del "granchio" di difesa della spiaggia "Foce Beach". I fotogrammi di stato attuale dimostrano che quella posizione e l'altezza

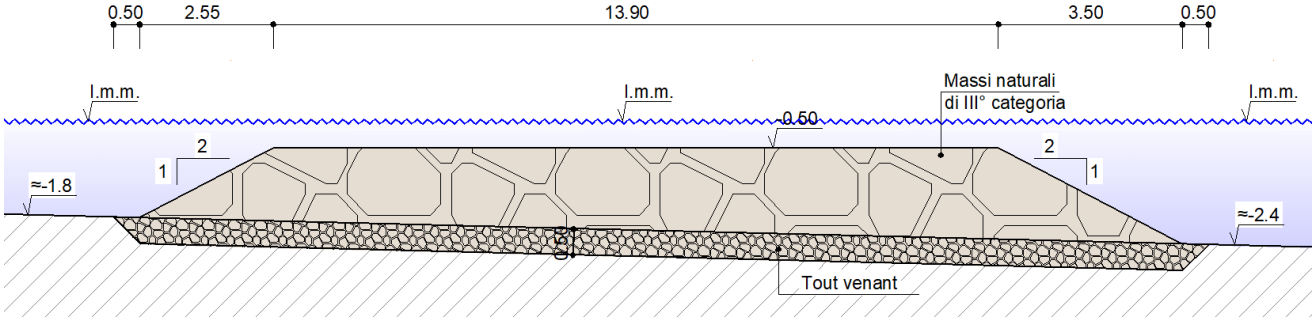
dell’opera (anch’essa a circa 2.00 ml sul l.m.m.) permettono la visuale dell’orizzonte



Per maggiore sicurezza sono stati scattati fotogrammi con l’obiettivo appoggiato sul muro/seduta del litorale.



- ricambio idrico dello specchio acqueo che separa la diga dal litorale assicurato da un limitato ma comunque ampio (circa 10.0 ml) tratto di abbassamento della berma emersa in berma sommersa, reso possibile dalla maggiore distanza dell’opera dal litorale e dall’ampiezza dello specchio acqueo in cui l’onda residua (più alta di quella passante sulla soglia emersa) si abbassa aprendosi lateralmente; la sezione tipologica risulta pertanto la seguente



caratterizzata da una berma posta a quota -0.50 m.s.l.m.m. di larghezza circa 14.0 ml, scarpate a pendenza 2/1;

- conservazione dell'attuale configurazione nell'intorno della foce del t. Caramagna;
- possibilità di ulteriore miglioramento del contesto in termini di difesa e di utilizzo, mediante versamento nello specchio di sabbie e ghiaie. Il monitoraggio del nuovo sistema difensivo può rivelare idoneità del sito per utilizzi balneari con spiaggia libera, similmente a quanto esistente nel sistema speculare a ponente. Ove la qualità delle acque non risultasse normalmente idonea, la spiaggia può essere utilizzata per alaggio delle imbarcazioni (soprattutto in periodo estivo). In ambedue i casi riteniamo opportuno versare materiale di granulometria media D_{50}=30/50 mm di ghiaia possibilmente marina (a forma piatta e non sferica) tipica di situazioni similari.
- Fornitura e posa in opera di circa 900 mc di ghiaia di mare, con ipotesi di prelievo dalla barra di foce del Torrente Impero o del Torrente Prino, preventivamente analizzati e sottoposti a parere del competente dipartimento ARPAL. In caso negativo saranno utilizzate ghiaie di cava terrestre o di fiume(D_{50} = 15/30).

  Come evidente dalle valutazioni tecniche del paragrafo successivo, **LO SPECCHIO ACQUEO NON PUÓ ESSERE DESTINATO AD ORMEGGI DI TIPO PORTUALE, NEPPURE "ALLA RUOTA";**
- costo dell'opera, realizzata mediante salpamenti e fornitura di ulteriori massi naturali, proporzionato con le disponibilità finanziarie attuali.

Riteniamo inoltre che la configurazione generale del sito, le linee di collegamento scelte con le opere latistanti, l'andamento curvilineo in simmetria con il "granchio" esistente ed il suo collegamento con la parte preesistente gravante nelle pertinenze della foce del t. Caramagna possono essere apprezzate come un miglioramento paesistico del

contesto, attualmente caratterizzato da opere di natura morfologica confliggente, raccordate con angoli retti ove, oltretutto, si concentra l'energia delle onde incidenti, con i risultati evidenti nel fotogramma inserito in copertina.

Si segnale che il "Piano dei Lidi" recentemente approvato dall'Amministrazione Comunale adotta le forme proposte dal progetto, ripetute anche simmetricamente nel sistema di ponente (vedi capitolo 2).

6. EFFETTI DI MITIGAZIONE

Riportiamo nel seguito ulteriori valutazioni di idraulica marittima con l'obiettivo di chiarire gli effetti dell'opera progettata nei confronti del moto ondoso incidente, attualmente causa delle forti criticità lamentate.

6.1 PREMESSE

In primo luogo, vanno individuate le criticità ed i fenomeni responsabili di tali criticità. Le mareggiate di forte intensità, anche non estreme, determinano una importante tracimazione della scogliera, tanto vicina alla riva da comportarsi quasi come una difesa radente. La ricaduta dei frangenti investe sia lo scalo di alaggio che il retrostante lungomare.

La potenziale soluzione individuata consiste nell'allontanamento della scogliera dalla riva, in modo da creare un sufficiente bacino di dissipazione.

A quest'ultima è aggiunta la realizzazione di una spiaggia di ghiaia, che, come descritto in precedenza, può essere destinata a libera balneazione o alaggio estivo delle piccole imbarcazioni, in rapporto alla normale qualità delle acque opportunamente monitorate.

Nello specifico, lo spostamento della barriera verso il largo ha il vantaggio di ridurre significativamente la portata di tracimazione sulle infrastrutture retrostanti (piazzale di ricovero imbarcazioni, strada litoranea e abitato).

La configurazione attuale delle opere di difesa infatti è tale per cui le mareggiate estreme incidenti sul litorale impattano sulla scogliera generando portate di tracimazione consistenti, con valori ben superiori ai limiti indicati in letteratura come "accettabili" in relazione alla sicurezza strutturale e funzionale. Le portate tracimanti la barriera, considerata la prossimità delle stessa alla linea di costa, non subiscono significative attenuazioni e investono direttamente le infrastrutture retrostanti.

La soluzione progettuale proposta, con spostamento verso il largo della barriera frangiflutti, ha quindi come obiettivo quello di ridurre l'impatto delle mareggiate sul litorale, limitando la portata di tracimazione a valori compatibili con la sicurezza strutturale delle opere. Vedremo nel seguito che sarà infatti comunque necessario interdire il transito di pedoni e veicoli sulla strada litoranea e sulla passeggiata nel caso di mareggiate eccezionali.

È evidente che per mettere completamente in sicurezza il lungomare sono necessari ulteriori interventi, rispetto ai quali la riconfigurazione della barriera frangiflutti costituisce un prerequisito.

Peraltro abbiamo esaminato nel paragrafo 4 interventi anche sulla parte delle strutture urbane (in particolare la realizzazione di un parapetto o più alto muro paraonde) che non si confanno con lo scenario globale del sito, caratterizzato da un'importante qualità paesistica. Pertanto, considerate le caratteristiche infrastrutturali (derivate da scelte rivelatesi errate) ormai consolidate, gli interventi possono solo mirare alla mitigazione degli eventi di mareggiata.

Per dare evidenza dell'efficacia della soluzione progettuale proposta si è proceduto al calcolo della portata media di tracimazione, sia con riferimento alla configurazione attuale delle opere di difesa che alla configurazione progettuale proposta, limitata allo spostamento della barriera frangiflutti.

6.2 CONFIGURAZIONE ATTUALE – CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE

Il calcolo della portata di tracimazione in configurazione attuale è stato condotto considerando la metodologia proposta nello EurOtop Manual (2018) per opere a scogliera in massi naturali; l'approccio di calcolo è descritto nel successivo paragrafo 6.2.1.

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla sezione tipologica della barriera frangiflutti, caratterizzata da una quota di coronamento di +2.10 m s.m.m., una pendenza della scarpata esterna di 2:1 e una mantellata in doppio strato di massi naturali.

Essendo l'opera realizzata in zona frangente, l'altezza d'onda risulta limitata dal fondale; per fondali a debole pendenza, a favore di sicurezza, si può assumere che essa coincida con l'altezza d'onda frangente, assunta pari a 0.78 volte la profondità (d) al piede dell'opera. Nel calcolo è stato considerato un sovralzo del livello medio del mare di +0.70 m s.m.m..

Per quanto riguarda il periodo di picco da associare nel calcolo all'altezza d'onda di progetto, si è fatto riferimento ai dati relativi al clima ondoso al largo del paraggio. Nel caso specifico, con riferimento ad un tempo di ritorno di progetto di 70 anni (considerato per il dimensionamento delle opere) e al settore principale di provenienza delle mareggiate (Libeccio), è stato considerato un valore del periodo di picco di 10.8 s.

I risultati del calcolo sono riportati nella successiva Tabella 1.1; per la profondità al piede dell'opera è stato considerato il massimo valore desunto dai dati batimetrici disponibili, pari a -2.50 m s.m.m.. La portata di tracimazione risulta superiore a 100 l/s/m, ben oltre il limite definito in letteratura per la sicurezza funzionale dell'opera (pari a 50 l/s/m).

DATI DI INPUT						*COEFFICIENTI*			*CALCOLO*
***d* (m s.m.m.)**	***Sovralzo* (m s.m.m.).**	***H* (m)**	***Tp* (s)**	***Pend. scarp.***	***Quota cor.* (m s.m.m.)**	γ_f	γ_b	γ_β	***q* (l/s/m)**
-2.50	+0.70	2.50	10.8	2:1	+2.10	0.40	1.00	1.00	**129.1**

Tabella 1.1 –CONFIGURAZIONE ATTUALE - Calcolo della portata di tracimazione

6.2.1 APPROCCIO PER IL CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE PER OPERE A SCOGLIERA

La metodologia utilizzata consente di valutare la portata media di tracimazione in funzione dei parametri caratteristici dell'onda incidente, della tipologia e della geometria della mantellata; in particolare, vengono considerati:

- tipo e disposizione degli elementi utilizzati per la mantellata;
- quota del coronamento;
- altezza d'onda della mareggiata;
- direzione di incidenza dell'onda rispetto alla normale al paramento (β).

La portata media di tracimazione q, espressa in metri cubi al secondo per metro di sviluppo del coronamento [m³/s/m], è stata calcolata con riferimento al "design and assessment approach" (approccio di progetto) utilizzando la seguente espressione:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{mo}^3}} = 0.1035\exp\left[-\left(1.35\cdot\frac{R_c}{H_{m0}\cdot\ \gamma_f\cdot\gamma_\beta}\right)^{1.3}\right]$$

dove

- H_{m0} rappresenta l'altezza significativa al piede dell'opera [m];
- R_C rappresenta la quota del coronamento rispetto al livello del mare incrementato del setup [m];
- γ_f rappresenta il coefficiente che tiene conto della scabrezza della mantellata [-];
- γ_β rappresenta il coefficiente che tiene conto dell'incidenza della direzione media di propagazione rispetto alla normale al paramento [-].

Il valore del fattore di riduzione γ_f per mantellate in massi naturali costituite, come nel caso in esame, da doppio strato e nucleo permeabile è pari a 0.40.

Il coefficiente γ_β, che tiene conto dell'inclinazione dell'onda rispetto al paramento dell'opera, può essere ricavato con le seguenti espressioni:

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0063|\beta| \qquad for\ 0° \leq |\beta| \leq 80°$$

per $|\beta| > 80^\circ$ può essere utilizzato il valore $\beta = 80^\circ$.

6.3 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO – CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE

In configurazione di progetto, la barriera frangiflutti viene spostata verso il largo e di conseguenza le mareggiate incidenti, per effetto della scogliera, raggiungono il piazzale retrostante parzialmente attenuate.

Per il calcolo della portata di tracimazione si è proceduto come di seguito indicato:

1. determinazione dell'altezza d'onda trasmessa oltre la barriera;
2. calcolo della portata di tracimazione, con riferimento alla tipologia strutturale del piazzale (opera a parete verticale) e considerando come input l'onda trasmessa.

L'onda trasmessa oltre la barriera frangiflutti è stata calcolata considerando l'approccio semplificato descritto nel Rock Manual (CIRIA C683, 2008).

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla sezione tipologica della barriera frangiflutti, che rimane sostanzialmente invariata rispetto allo stato attuale: quota di coronamento di +2.10 m s.m.m., pendenza della scarpata esterna di 2:1 e mantellata in doppio strato di massi naturali.

Anche in questo caso, a favore di sicurezza si è assunto che l'altezza d'onda di progetto coincida con l'altezza d'onda frangente, assunta pari a circa 0.78 per la profondità (d) al piede dell'opera. Nel calcolo è stato considerato un sovralzo del livello medio del mare di +0.70 m s.m.m.; il periodo di picco è stato assunto pari a 10.8 s (mareggiata TR 70 anni da Libeccio)

I risultati del calcolo sono riportati nella successiva Tabella 2.1; per la profondità al piede dell'opera è stato considerato il massimo valore desunto dai dati batimetrici disponibili, pari a -3.50 m s.m.m.. Considerando il valore del coefficiente di trasmissione (0.33), si ottiene un'altezza d'onda trasmessa di 1.09 m circa.

Il calcolo della portata di tracimazione in configurazione di progetto è stato condotto considerando la metodologia proposta nello EurOtop Manual (2018) per opere a parete verticale; l'approccio di calcolo è descritto nel successivo paragrafo 2.1.

Il calcolo è stato condotto considerando che il muro di sponda del piazzale si trovi ad una quota di circa +2.15 m s.m.m.; a favore di sicurezza, si tratta della quota più bassa rilevata. Nel calcolo è stato considerato un sovralzo del livello medio del mare di +0.70 m s.m.m..

I risultati sono riportati nella successiva Tabella 2.2: la portata di tracimazione risulta pari a circa 4 l/s/m, con una significativa riduzione rispetto al valore calcolato con riferimento alla configurazione attuale. In questo caso viene garantita la sicurezza strutturale dell'opera (q < 50 l/s/m), ma, in caso di mareggiate eccezionali, dovrà comunque essere interdetto il transito di persone e veicoli sul piazzale e sul lungomare.

DATI DI INPUT				*CALCOLO*	
d ***(m s.m.m.)***	***Sovralzo*** ***(m s.m.m.).***	***H*** ***(m)***	***Quota cor.*** ***(m s.m.m.)***	***C_t*** ***(l/s/m)***	***H_t*** ***(m)***
-3.50	+0.70	3.28	+2.10	**0.33**	**1.09**

Tabella 2.1 –CONFIGURAZIONE DI PROGETTO - Calcolo della trasmissione

DATI DI INPUT		*CALCOLO*
H ***(m)***	***Quota cor.*** ***(m s.m.m.)***	***q*** ***(l/s/m)***
1.09	+2.15	**4.10**

Tabella 2.2 –CONFIGURAZIONE DI PROGETTO - Calcolo della portata di tracimazione

6.3.1. APPROCCIO PER IL CALCOLO DELLA TRASMISSIONE PER SCOGLIERE A CRESTA BASSA

Le formulazioni adottate per il calcolo della trasmissione, proposte nel CIRIA (metodo semplificato), forniscono il valore del coefficiente di trasmissione in funzione del rapporto tra altezza del coronamento (R_c) e altezza d'onda (H_s):

$$-2.00 < \frac{R_c}{H_s} < -1.13 \quad \rightarrow \quad C_t = 0.80$$

$$-1.13 < \frac{R_c}{H_s} < 1.2 \quad \rightarrow \quad C_t = 0.46 - 0.3R_c/H_s$$

$$1.2 < \frac{R_c}{H_s} < 2.0 \quad \rightarrow \quad C_t = 0.10$$

6.3.2. APPROCCIO PER IL CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE PER OPERE A PARETE VERTICALE

La metodologia utilizzata consente di valutare la portata media di tracimazione in funzione dei parametri caratteristici dell'onda incidente e della geometria dell'opera. Nel caso specifico, si è per semplicità ipotizzato che si tratti di opera a parete verticale che non risente dell'influenza del fondale (l'onda è sostanzialmente limitata dalla presenza della barriera frangiflutti) e priva di berma di protezione al piede in massi. La portata media di tracimazione q [m³/s/m], è stata calcolata con riferimento al "design and assessment approach" (approccio di progetto) utilizzando la seguente espressione:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{mo}^3}} = 0.054\exp\left[-\left(2.12 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{1.3}\right]$$

dove:

- H_{m0} rappresenta l'altezza significativa al piede dell'opera [m];
- R_C rappresenta la quota del coronamento rispetto al livello del mare incrementato del setup [m].

Pertanto al soluzione proposta:

- è preferita rispetto alle varie alternative indicate ai paragrafi precedenti poiché :
  - dal punto di vista strutturale è capace di mitigare sostanzialmente l'impatto delle mareggiate sul litorale, limitando la portata di tracimazione a valori compatibili con la sicurezza strutturale e funzionale del contesto (attuale 129.1 l/sec. m; con soluzione proposta 4.1 l/sec. m.)
  - dal punto di vista ambientale non interferisce con ambienti bionaturalistici di interesse e rispetta le caratteristiche del paesaggio (forme, dimensioni, visuali sull'orizzonte) garantisce un ricambio idrico con recupero possibile di spiagge anche balneari.

7. DIMENSIONAMENTO DEI MASSI

La determinazione del peso del singolo elemento costituente la mantellata è condotta con la collaudata espressione di Hudson (1959), largamente diffusa in letteratura, ricavata in base ad un gran numero di risultati sperimentali.

La formulazione risulta la seguente:

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (\gamma/\gamma_w - 1)^3 \cdot \cot\theta}$$

In cui :

γ = densità del materiale costituente la mantellata (2 600 kg/mc)

γ_W = densità dell'acqua di mare (1 030 kg/mc)

H = Altezza dell'onda di calcolo (3.28 m, vedi paragrafi precedenti)

K_D = E' un coefficiente di stabilità in funzione della forma dei massi, della scabrezza superficiale della mantellata, del grado di ammorsamento dei massi, dell'ubicazione della sezione allo studio (2).

θ = Angolo che la scarpata forma con l'orizzontale (Pendenza 2/1 -> $\cot\theta$ = 2)

Applicando la formulazione di Hudson, in funzione della profondità al piede dell'opera, si ottiene W= 6.48 ton, pertanto ogni singolo elemento dovrà essere caratterizzato da un tonnellaggio pari ad almeno 6.50 ton.

	altezza d' onda incidente														
pendenza	*1.5*	*1.75*	*2*	*2.25*	*2.5*	*2.75*	*3*	*3.25*	*3.5*	*3.75*	*4*	*4.25*	*4.5*	*4.75*	*5*
1/1	1.24	1.97	2.94	4.18	5.74	7.63	9.91	12.60	15.74	19.36	23.49	28.18	33.45	39.34	45.88
1.5/1	0.83	1.31	1.96	2.79	3.82	5.09	6.61	8.40	10.49	12.91	15.66	18.79	22.30	26.23	30.59
2/1	0.62	0.98	1.47	2.09	2.87	3.82	4.96	6.30	7.87	9.68	11.75	14.09	16.72	19.67	22.94
2.5/1	0.50	0.79	1.17	1.67	2.29	3.05	3.96	5.04	6.30	7.74	9.40	11.27	13.38	15.74	18.35
3/1	0.41	0.66	0.98	1.39	1.91	2.54	3.30	4.20	5.25	6.45	7.83	9.39	11.15	13.11	15.29
3.5/1	0.35	0.56	0.84	1.19	1.64	2.18	2.83	3.60	4.50	5.53	6.71	8.05	9.56	11.24	13.11
4/1	0.31	0.49	0.73	1.05	1.43	1.91	2.48	3.15	3.93	4.84	5.87	7.04	8.36	9.84	11.47
4.5/1	0.28	0.44	0.65	0.93	1.27	1.70	2.20	2.80	3.50	4.30	5.22	6.26	7.43	8.74	10.20
5/1	0.25	0.39	0.59	0.84	1.15	1.53	1.98	2.52	3.15	3.87	4.70	5.64	6.69	7.87	9.18

Lo spessore di copertura può essere determinato tramite la seguente formula:

$$r = nK_{\Delta}\left(\frac{W}{W_r}\right)^{1/3}$$

Dove:

- r è lo spessore dello strato;
- n è il numero di massi della mantellata compresi nello spessore (2);
- W è il peso dei singoli elementi (valore compreso tra 3.0 e 6.50 ton, in esito al materiale presente in sito ed al materiale da approvvigionare);
- Wr è il peso specifico (2.6 ton/mc);
- K_{Δ} è il coefficiente di strato, che per massi naturali a spigoli vivi disposti alla rinfusa assume il valore di 1.00.

In esito a quanto riportato, lo spessore di copertura per un doppio strato di massi naturali di peso pari a circa 6.50 ton (nuovo apporto), risulta pari a

n	K_{Δ}	**W**	**Wr**	**r**
[-]	[-]	[ton]	[ton]	[m]
2	1	6.50	2.60	**2.71**

mentre lo spessore di copertura per un doppio strato di massi con tonnellaggio pari a 3.00 ton (minimo della III° categoria) è

n	K_{Δ}	**W**	**Wr**	**r**
[-]	[-]	[ton]	[ton]	[m]
2	1	3.00	2.60	**2.09**

Pertanto, per una mantellata costituita da doppio strato di massi (esistenti e di apporto), lo spessore medio risulta pari:

$$\frac{2.71+2.09}{2} = 2.40 \text{ arrotondato a } \mathbf{2.50\ ml}$$

8. STABILITA’ DEL MATERIALE DI APPORTO

La matrice granulometrica del lembo di arenile esistente a tergo della diga emersa, in aderenza alla passeggiata litoranea, presenta un’accentuata variabilità, come è possibile osservare nei seguenti fotogrammi.





In aderenza al deposito piccole imbarcazioni, si possono trovare ciottoli e pietrame, mentre spostandosi verso levante la dimensione del materiale presente è assimilabile a ghiaia. Le operazioni a progetto prevedono l’apporto di ghiaia di mare, assimilabile ad un fuso granulometrico con D_{50} = 30/50.

La stabilità sui profili di spiaggia può essere valutata in prima approssimazione con l'applicazione della formula di DEAN

$$P=Ay^{2/3}$$

ove

P = profondità di equilibrio

y = distanza dalla linea di riva

A = coefficiente funzione del D_{50} materiale, A è valutato su campi dimensionali di D_{50}

$A=0,41*(D_{50})0.94$	per $D_{50}<0.4$
$A=0,23*(D_{50})0.32$	per $D_{50}<10$
$A=0,23*(D_{50})0.28$	per $10<=D_{50}<40$
$A=0,46*(D_{50})0.11$	per $D_{50}>=40$

Il volume di materiale di apporto previsto a progetto è pari a 900 mc.

L'estensione del tratto di arenile da ripascere è pari a circa 77 ml.

Pertanto

$$\frac{900 \text{ mc}}{77 \text{ ml}} \approx 11.70 \text{ mc/ml}$$

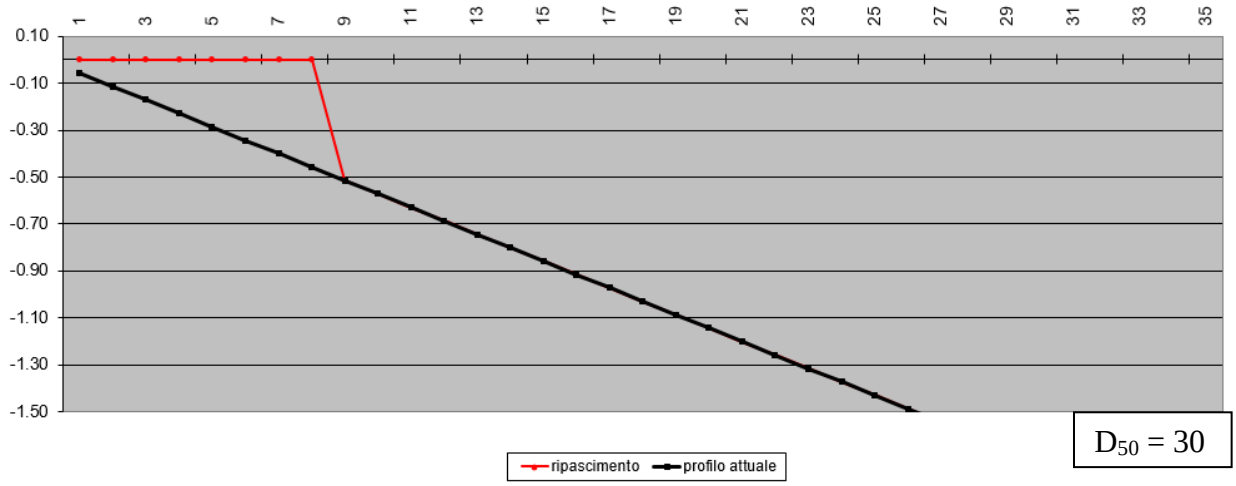
tenore assimilabile ad un ripascimento strutturale (apporto materiale > 10 mc/ml).

Un possibile profilo di ripascimento (D_{50}=30/50), caratterizzato da un tenore di ripascimento pari a circa 11.70 mc/ml con quota di spiaggia emersa linearmente crescente da 0.5 m a 1.0 m s.l.m.m., corrisponde ad un avanzamento della linea di battigia all'atto del versamento pari a circa

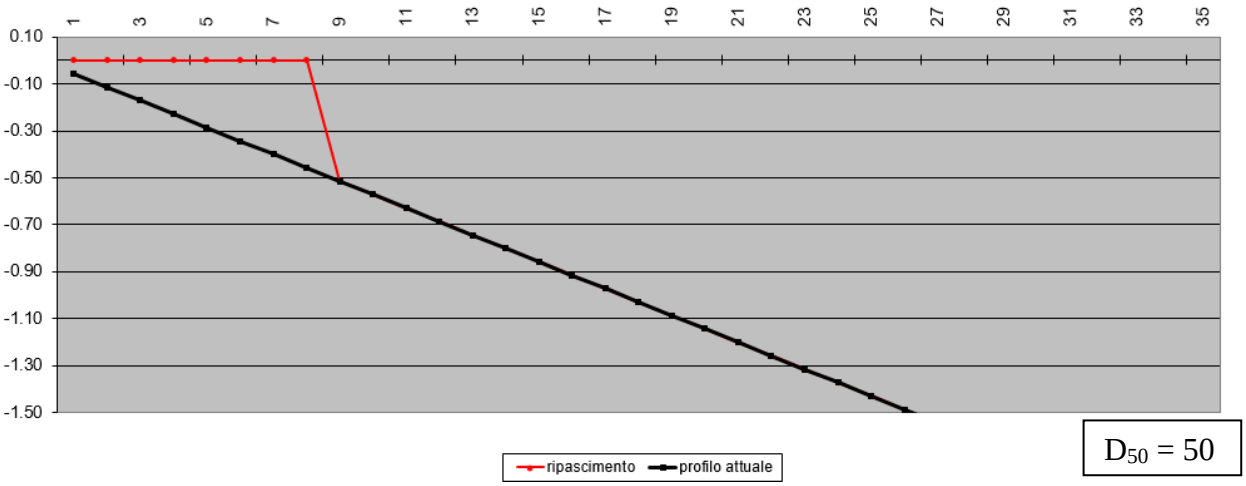
- 8 ml, nel tratto di ponente;
- 7 ml, nel tratto di levante.

I corrispondenti diagrammi di DEAN sono i seguenti

TRATTO DI PONENTE

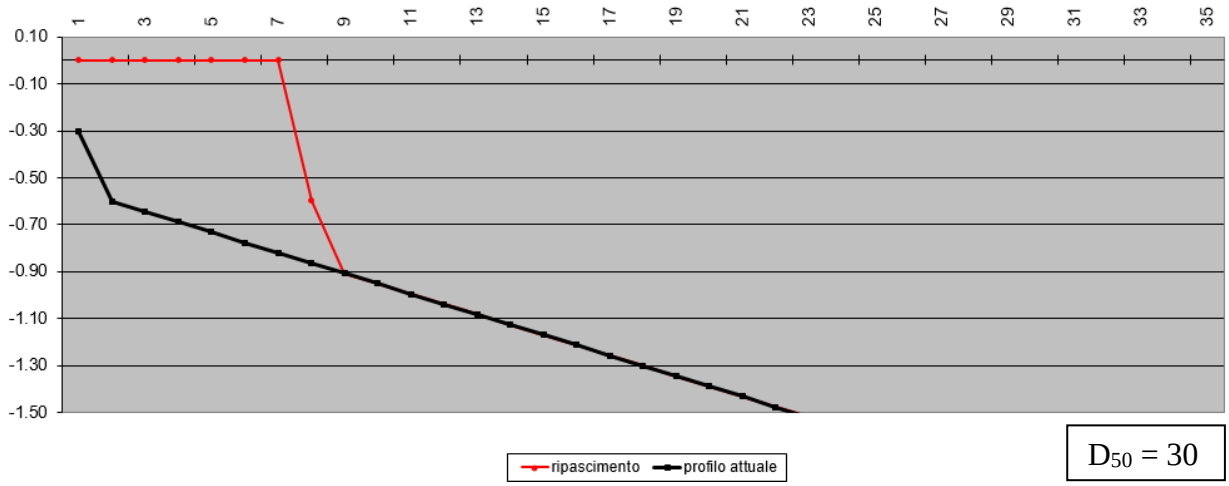


D_{50} = 30

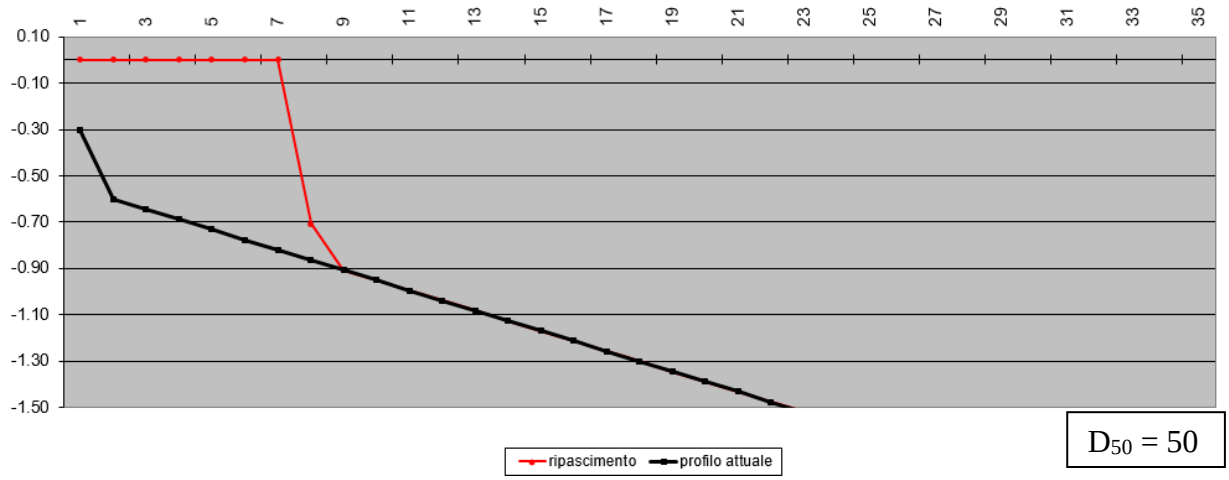


D_{50} = 50

TRATTO DI LEVANTE



D_{50} = 30



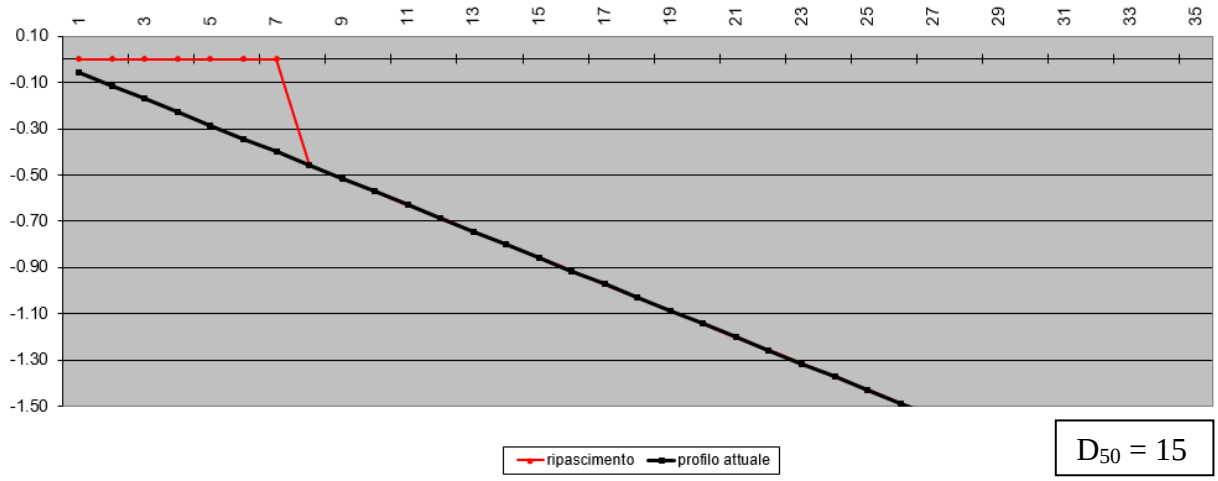
D_{50} = 50

A fronte di quanto osservato ed analizzato, Il profilo di ripascimento sommerso, in esito sia alla esigua profondità del fondale sia alla dimensione grossolana del materiale di apporto, risulta particolarmente stabile e tende a chiudersi sul profilo esistente già dopo pochi metri.

Nel caso in cui il materiale della barra di foce del Torrente Impero o del Torrente Prino non risultasse compatibile, si prevede di utilizzare ghiaie di cava terrestre o di fiume commercialmente definite 15/30 mm.

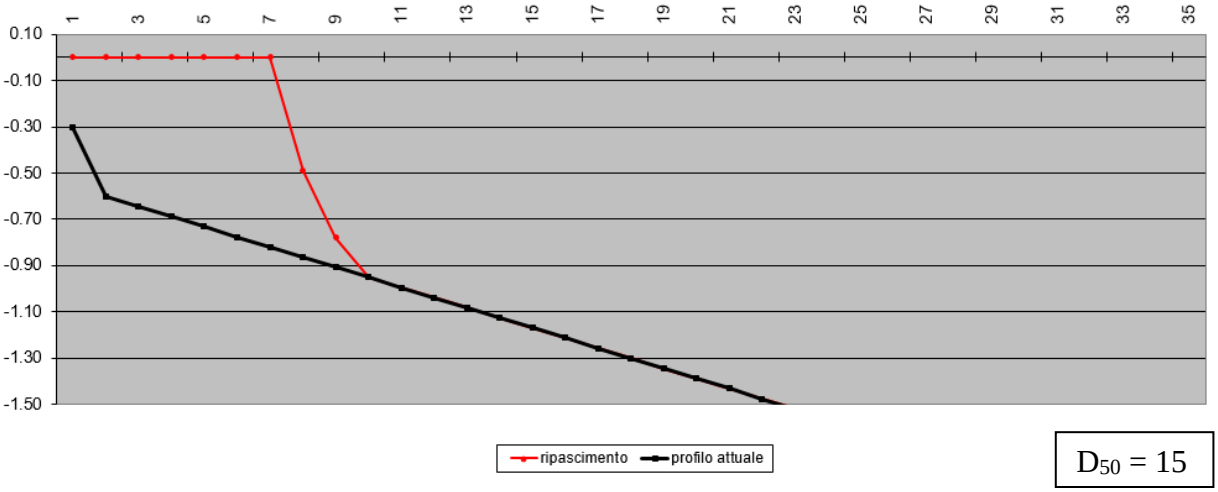
In tal caso, il diagramma di DEAN per il valore meno stabile di 15 mm risulta il seguente

TRATTO DI LEVANTE



D_{50} = 15

TRATTO DI PONENTE



D_{50} = 15

Come è possibile osservare, il profilo di spiaggia sommersa risulta particolarmente stabile anche sotto l'ipotesi di D_{50}= 15.

9. CONCLUSIONI

Il progetto, dopo aver esaminato la alternativa di intervento, indica le prerogative della proposta scelta sotto i profili strutturale ed ambientale:

- Strutturale:
    - è capace di mitigare sostanzialmente l'impatto delle mareggiate sul litorale, limitando la portata di tracimazione a valori compatibili con la sicurezza strutturale e funzionale del contesto (attuale 129.1 l/sec.m; con soluzione proposta 4.1 l/sec.m)
- Ambientale:
    - l'opera non interferisce con ambienti bionaturalistici di interesse (v. paragrafo 1.2) e rispetta le caratteristiche del paesaggio (forme, dimensioni, visuali sull'orizzonte), garantisce un ricambio idrico con recupero di spiagge anche balneari.

- La parte emersa della struttura è interrata per una decina di metri, e in quel tratto la berma sommersa (di ampiezza circa 14 ml) è prevista a quota -0.50 m.s.l.m.m. La configurazione è strutturalmente collaudata: sul tema, per quanto riguarda la esperienza di StudioGaggero, ricordiamo che a San Bartolomeo al Mare le dighe emerse realizzate dall'allora genio Civile OOMM, soggette a crolli e scivolamenti di massi sulle testate, sono state collegate con una struttura sommersa, che ha stabilizzato i varchi.
- Nella parte orientale dello specchio acqueo protetto della nuova configurazione della diga è prevista la fornitura e posa di 900 mc di ghiaia a formazione di una spiaggia, con finalità di:
    - diminuire ulteriormente l'energia dell'onda prima che raggiunga le strutture urbane;
    - formare un'area di agevole alaggio estivo per le piccole imbarcazioni o, in alternativa, in esito a monitoraggio ambientale delle acque, recuperare una spiaggia balneare simile a quella esistente e certificata all'interno della struttura speculare addossata al pennello di levante di Borgo Prino.

La ghiaia può essere prelevata dalla barra fociva del Torrente Impero o del Torrente Prino; ove la qualità del materiale, per il quale ARPAL potrebbe preventivamente imporre specifiche analisi, non risultasse idoneo, sarò utilizzata ghiaia di cava terrestre o di fiume, opportunamente analizzata e valutata da ARPAL

10. CRONOPROGRAMMA

I tempi realizzativi si possono stimare in 60 giorni naturali e consecutivi, così distribuiti:

	GIORNI											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Salpamento elementi lapidei – da terra												
FPO elementi lapidei - da mare												
Formazione spiaggia												
Sicurezza												

Il presente cronoprogramma tiene conto di un 20% di giornate con clima meteomarino sfavorevole. I giorni indicati sono da considerarsi naturali e consecutivi

Eventuali doppi turni necessari per il rispetto del cronoprogramma non comporteranno aggravi economici per l'Amministrazione.

11. COSTO DELL'INTERVENTO

A) LAVORI			
	Lavori soggetti a ribasso	€	302 102.80
	Sicurezza	€	4 758.20
	TOTALE LAVORI A)	**€**	**306 861.00**
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE			
B1	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto , ivi inclusi i rimborsi previa fattura	€	-
B2	Rilievi, accertamenti ed indagini	€	-
B3	Allacciamento ai pubblici servizi	€	-
B4	Imprevisti	€	565.09
B5	Acquisizione aree o immobili, servitù, occupazioni	€	-
B6	Accantonamenti	€	-
B7	Spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle conferenze di servizi, alla direzione lavori e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità	€	34 000.00
B8	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€	-
B9	Eventuali spese per commissioni giudicatrici	€	-
B10	Spese per pubblicità e, ove previsto, per opere artistiche	€	-
B11	Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche previste dal capitolato speciale d'appalto, collaudo tecnico amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi specialistici	€	-
B12	IVA sui lavori (10% di A))	€	30 686.10
B13	CNPAIA (4% di B7)	€	1 360.00
B14	IVA sui spese tecniche e CNPAIA (22% di B7+B13)	€	7 779.20
B15	Importo relativo all'incentivo di cui all'articolo 113 del 50/2016 nella misura corrispondente alle prestazioni che dovranno essere svolte dal personale dipendente	€	3 068.61
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE B)	**€**	**77 459.00**
A) LAVORI		€	306 861.00
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE		€	77 459.00
	TOTALE INTERVENTO	**€**	**384 320.00**