REGIONE LIGURIA

COMUNE DI ALASSIO

Proponente:
CONSORZIO ADELASIA

INTERVENTI DI PROTEZIONE COSTIERA LUNGO IL LITORALE DEL COMUNE DI ALASSIO (SV)

PROGETTO DEFINITIVO GENERALE E DI I° STRALCIO SPERIMENTALE

C. PROGETTO DEFINITIVO GENERALE E DI I° STRALCIO

MODELLO IDRODINAMICO

progettazione: Studio RINALDO

ing. Daniele Rinaldo
n. 1886 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Venezia

Venezia, giugno 2014

PARTE C:

Relazione modello idrodinamico

C.1 Griglia computazionali e batimetrie modello idrodinamico costiero
C.2 Configurazioni di studio
C.3 Configurazione generale Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.1 Altezza d'onda stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.2 Frangimento stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.3 Energia del moto ondoso stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.4 Trasporto solido stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.5 Erosioni e depositi stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.6 Sezione 1 stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.
- C.3.7 Sezione 2 stato di fatto e Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m.

C.4 Configurazione generale Tecnoreef® a -2.80 m s.m.m.
- C.4.1 Altezza d'onda stato di fatto e Tecnoreef® a -2.80 m s.m.m.
- C.4.2 Erosioni e depositi stato di fatto e Tecnoreef® a -2.80 m s.m.m.

C.5 Configurazione primo stralcio sperimentale
- C.5.1 Altezza d'onda stato di fatto e di progetto
- C.5.2 Erosioni e depositi stato di fatto e di progetto

INDICE

1 PREMESSE 2

2 CONSIDERAZIONI GENERALI 3

3 APPROCCIO METODOLOGICO 3

3.1 Modello di dettaglio della costa per la simulazione delle mareggiate di progetto 3

3.2 La suite modellistica Delft3D 4

3.2.1 Il modello XBeach 4

4 ELEMENTI DEL MODELLO 5

4.1 Domini di calcolo e griglie computazionali 5

4.1.1 Modello idrodinamico 5

4.2 Altimetrie e batimetrie associate alle griglie 6

4.3 Configurazioni di studio 6

4.4 Scenari di simulazione e condizioni al contorno 6

4.4.1 Escursione di marea 7

4.4.2 Caratterizzazione della sabbia 7

5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI 7

5.1 Configurazione generale con Tecnoreef® posati a -2.20 m s.m.m. 7

5.2 Configurazione generale con Tecnoreef® posati a -2.80 m s.m.m. 9

5.3 Primo stralcio sperimentale con Tecnoreef® posati a -2.80 m s.m.m. 9

6 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE SULLA MODELLISTICA APPLICATA 10

C – RELAZIONE IDRAULICA RELATIVA ALLA MODELLISTICA APPLICATA

1 PREMESSE

Oggetto della presente relazione è la descrizione dei risultati dell'analisi meteomarina posta a base della progettazione in titolo, con particolare riferimento a:

- gli effetti sul litorale della configurazione generale di progetto;
- le applicazioni relative al solo primo stralcio esecutivo.

Pur demandando alla lettura del seguito della presente relazione i necessari dovuti approfondimenti, sin d'ora si vuole evidenziare come, qui di seguito, non ci si sia limitati alla sola analisi della soluzione progettuale proposta, ma si sia voluto anche valutare il confronto con altri tipi di interventi, quale il ripascimento manutentivo.

Pur dovendo rimandare alla conferenza di servizi per qualche integrazione a commento dei risultati qui ottenuti, appare opportuno e necessario premettere quello che può essere ritenuto il risultato centrale delle analisi proposte.

È stata condotta un'analisi morfologica sul medio periodo, per un tempo stimabile dell'ordine di un anno, del litorale di Alassio nelle seguenti configurazioni:

- lo stato di fatto;
- lo stato di riforma con la posa dei moduli Tecnoreef®, aventi sommità a circa -1 m dal medio mare;
- un possibile stato di riforma con un ripascimento artificiale dell'arenile stimabile dell'ordine di 50 m³ al metro lineare di spiaggia.

I risultati delle applicazioni, prodotti nella tavola C.6 e qui in Figura 1, inducono le considerazioni di seguito descritte.

- Il ripascimento artificiale si dimostra essere un palliativo, che consente di affrontare magari la stagione turistica, ma non garantisce in alcun modo la stabilità dei risultati. È evidente infatti come la sabbia riportata sull'arenile tenda a erodersi progressivamente e a spostarsi verso il largo venendo, presumibilmente, portata al di fuori della zona dei frangenti e quindi persa al trasporto solido litoraneo. La configurazione iniziale con ripascimento è indicata con il colore verde tratteggiato, mentre quella finale è marcata con il colore verde continuo;
- lo stato di fatto iniziale è indicato con il colore nero, avendo evidenziato la relativa evoluzione finale con il segno marcato in blu;
- con il colore rosso è indicato lo stato finale del litorale in presenza dei moduli Tecnoreef®.

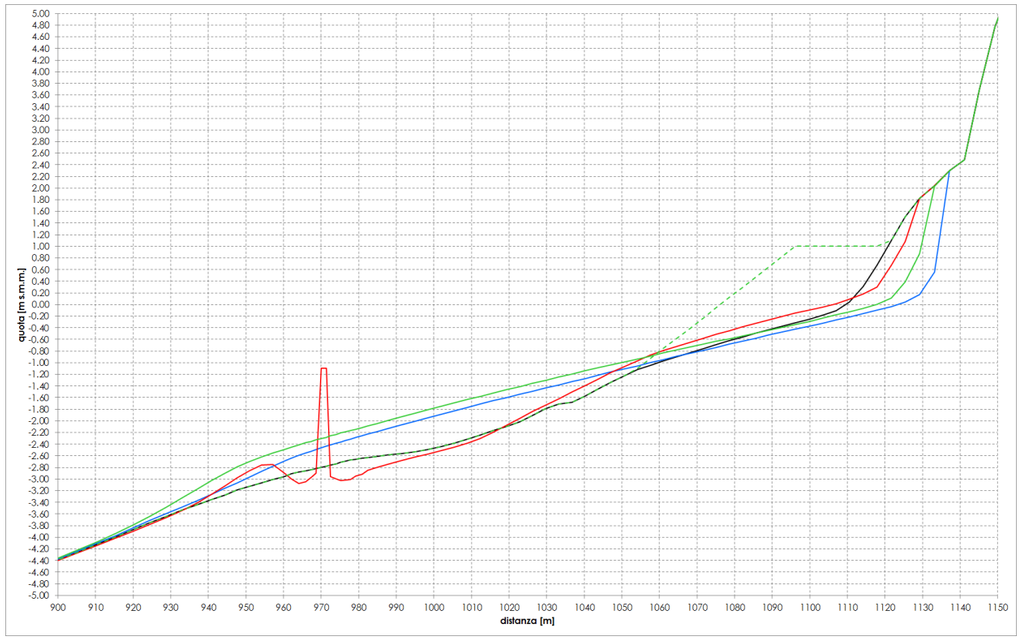


Figura 1: confronto risultati analisi a medio periodo

L'efficacia dei moduli appare evidente da due considerazioni.

- È significativa la riduzione dell'arretramento della linea di riva, durante le mareggiate analizzate con la presenza dei moduli protettivi, rispetto alla configurazione dello stato di fatto e del solo ripascimento;
- Il mantenimento della sabbia asportata dalla battigia a ridosso della linea di riva, in una posizione utile per il successivo riporto sull'arenile per effetto delle onde ripascitive. È noto infatti come al termine delle mareggiate si instauri un regime di onde lunghe, che tendono a riportare sull'arenile la sabbia movimentata durante le mareggiate, ovviamente a condizione che questa sia ancora disponibile per il relativo trasporto, senza cioè che sia stata trasportata verso il largo, oltre la zona dei frangenti.

2 CONSIDERAZIONI GENERALI

Il presente studio modellistico si pone a completamento delle analisi prodotte e presentate in sede di progetto preliminare, con la finalità di fornire indicazioni di elevato dettaglio in merito alle caratteristiche idrodinamiche in condizioni di mareggiata, ponendosi quindi come strumento a supporto della progettazione e della definizione della configurazione di progetto ottimale per ridurre gli effetti del moto ondoso incidente sul litorale di Alassio.

Le soluzioni progettuali prese in considerazione, motivate dalla necessità di minimizzare l'impatto ambientale dell'intervento, prevedono la posa in opera di moduli prefabbricati Tecnoreef®, di uso ormai consolidato per la protezione costiera ed il ripopolamento ittico.

Riprendendo l'analisi storica dell'evoluzione del litorale, ben analizzata nella pubblicazione "*Le spiagge della Liguria occidentale, analisi evolutiva*" redatta da Regione Liguria e Università degli Studi di Genova, si premette che gli effetti delle mareggiate, in particolare quelle di Scirocco che incidono frontalmente sulla costa, possono essere ad Alassio molto gravi sulla spiaggia, con arretramenti della linea di riva fino a 20 ÷ 30 m, e affioramenti locali del substrato di ciottoli sotto la sabbia erosa dal moto ondoso. A prescindere dalla naturale evoluzione di lungo periodo del litorale, fenomeni di tale gravità in seguito ad eventi estremi comportano una sempre minore fruibilità delle spiagge e danni sempre più ingenti sulle attività ricreativo-turistiche, ed aumentano molto il rischio per strade, edifici, e aree pubbliche in prossimità dell'arenile.



Figura 2: mareggiata di giugno 2012

Le strutture risultano infatti maggiormente esposte all'attacco del moto ondoso a causa della progressiva scomparsa del naturale declivio in sabbia su cui dovrebbe la dissipazione, per attrito e frangimento, delle onde incidenti.

In Figura 2 è riportata una fotografia significativa degli effetti sulla spiaggia di ponente della mareggiata di giugno 2012, che ha provocato gravi danni a tutta la riviera ligure.

Il golfo di Alassio risulta aperto verso sud-est, esposto principalmente ai venti di Scirocco, ma influiscono notevolmente sull'idrodinamica costiera anche i settori di Grecale e di Libeccio. Quest'ultimo settore di traversia è quello che dispone del massimo fetch geografico, pari a circa 950 km nel Mediterraneo occidentale, ma anche il fetch per il settore di Scirocco è molto esteso nel mar Tirreno, anche se con interruzioni dovute alla presenza di numerose isole. La falcatura del litorale di Alassio si sviluppa in direzione SSO – NNE con discreta curvatura, secondo una direzione media di circa 36° rispetto al nord. La spiaggia, distinta nelle porzioni di Ponente e di Levante dal pontile "Mario Bestoso", ha un'estesa complessiva di circa 3300 m.

Protezione ai venti laterali è dovuta principalmente ai promontori di Capo Mele, a sud-est della limitrofa Laigueglia, e di Capo Santa Croce a nord-ovest.

3 APPROCCIO METODOLOGICO

Nell'ambito del progettazione definitiva degli interventi di protezione del litorale di Alassio, l'obiettivo della modellazione matematica è duplice:

1. confrontare diverse configurazioni di progetto con lo stato di fatto dell'ambito di studio, in modo da individuare la configurazione ottimale;
2. verificare gli effetti di diverse mareggiate di progetto sulla configurazione scelta, per fornire una valutazione qualitativa e quantitativa dei fenomeni di evoluzione morfologica in seguito ad eventi estremi.

Per conseguire questo duplice scopo, le simulazioni numeriche sono state condotte secondo diverse fasi, descritte nei seguenti punti.

3.1 Modello di dettaglio della costa per la simulazione delle mareggiate di progetto

Per valutare nel dettaglio gli effetti delle mareggiate di progetto sulla scelta viene studiata la propagazione e la trasformazione del moto ondoso per eventi di elevata durata ed intensità, includendo anche l'evoluzione morfologica della spiaggia.

Gli spettri di moto ondoso sono stati applicati come condizioni al contorno per il modello

XBeach, in grado di valutare la propagazione e la trasformazione dell'energia del moto ondoso e l'evoluzione morfodinamica di breve periodo.
Sono state condotte in particolare due simulazioni rappresentative di mareggiate provenienti dal settore di Scirocco, per il quale si registrano storicamente gli effetti più gravosi per l'erosione della spiaggia.

3.2 La suite modellistica Delft3D

Delft3D è una suite modellistica completamente integrata sviluppata dall'Istituto nazionale ed internazionale per le questioni deltizie Deltares di Delft (Olanda) per l'approccio multidisciplinare alla modellazione tridimensionale di ambienti costieri, fluviali e di transizione. Mediante questa suite è possibile simulare flussi idrodinamici, il trasporto di sedimenti, il moto ondoso, l'evoluzione morfologica e la qualità dell'acqua. Il modello Delft3D, di cui lo scrivente è in possesso di regolare e piena licenza d'uso, è costituito da diversi moduli, i quali possono lavorare all'interno di una comune interfaccia, interagendo tra loro anche in modo accoppiato.
Fondamentale per la simulazione dell'idrodinamica costiera in condizioni meteomarine estreme è stato il modello numerico XBeach, sviluppato dall'Istituto per l'Educazione Idrica Unesco-IHE, il centro di ricerca Deltares e l'Università Tecnologica di Delft, con lo scopo di supportare lo studio dell'evoluzione naturale delle coste, interfacciabile ed accoppiabile con i moduli della suite Delft3D.

3.2.1 Il modello XBeach

Il modello numerico XBeach è stato sviluppato grazie alla collaborazione tra l'Istituto per l'Educazione Idrica Unesco-IHE, il centro di ricerca Deltares e l'Università Tecnologica di Delft, con lo scopo di supportare lo studio dell'evoluzione naturale delle coste in seguito a mareggiate e condizioni meteomarine di particolare gravità, risolvendo le equazioni che governano la propagazione delle onde corte, il moto ondoso in acque basse, il trasporto di sedimenti e l'evoluzione morfologica dei fondali.
L'analisi degli effetti di una tempesta su ambienti costieri con notevole variabilità, dovuta a cause antropogeniche o a cause naturali, richiede necessariamente uno strumento di predizione bidimensionale, basato su processi. Il software XBeach costituisce un ambiente di calcolo robusto e flessibile in cui effettuare la modellazione dei fenomeni costieri di erosione delle dune, di inondazione, di trasporto solido, di propagazione delle onde lunghe e dei gruppi di onde corte verso la costa.
Questo modello si basa su un risolutore del bilancio di azione d'onda, dipendente dal tempo, che determina la rifrazione delle onde vicino alla costa e consente di calcolare la variazione dell'azione d'onda nello spazio, nel tempo e nello spettro direzionale, permettendo così di simulare la propagazione e la dissipazione dei gruppi d'onda.
Le equazioni dinamiche per le onde lunghe in acque basse vengono risolte numericamente dal modello introducendo come termini forzanti gli sforzi indotti dalle onde, calcolati come derivate parziali del tensore di *radiation stress*, a sua volta correlato all'azione d'onda dipendente dal tempo e dall'inclinazione delle onde incidenti. Tali equazioni, integrate sulla verticale, consentono la determinazione delle caratteristiche bidimensionali dell'idrodinamica e del moto ondoso. Aspetto innovativo di questo modello è la modellazione di *onde infra-gravitazionali*, di natura intermedia tra le onde corte da vento e le onde lunghe, generate dalla propagazione e dall'inviluppo dei gruppi d'onda verso riva. Tali onde di bassa frequenza, caratterizzate a periodi dell'ordine del minuto, vengono considerate dominanti nel corso di mareggiate intense.
L'approccio del modello consente anche di calcolare le correnti litoranee e di ritorno, che rivestono grande importanza nell'ambito della dinamica costiera, e la loro interazione con il moto ondoso incidente. Il trasporto solido delle particelle di sabbia è dunque risolto attraverso l'equazione di avvezione – diffusione integrata sulla verticale, in dipendenza della concentrazione di sedimenti, del coefficiente di diffusione e della concentrazione di equilibrio calcolata secondo la formulazione di *Soulsby – van Rijn* funzione delle velocità orbitali.
Altra caratteristica del modello, indispensabile per la corretta modellazione di ambienti costieri antropizzati in cui siano presenti opere di difesa, è la possibilità di introdurre celle non-erodibili, che rappresentino schematicamente le strutture rigide in prossimità della spiaggia.
Il modello XBeach permette quindi di simulare un'ampia gamma di fenomeni che caratterizzano l'idrodinamica costiera:

- l'inviluppo, propagazione e deformazione delle onde corte verso costa;
- la rifrazione delle onde;
- la dissipazione delle onde e dei gruppi d'onda;
- il frangimento delle onde;
- la formazione di correnti litoranee, verso riva e di ritorno;
- l'interazione tra moto ondoso e correnti costiere;

- il flusso sotterraneo all'interno delle spiagge;
- il trasporto, al fondo ed in sospensione, l'erosione ed il deposito dei sedimenti;
- l'evoluzione morfodinamica delle spiagge e dei fondali;
- l'erosione delle dune costiere;
- i fenomeni di inondazione ed il crollo di strutture di protezione dal moto ondoso.

Il modello, validato per una serie di casi studio analitici, di laboratorio e reali, può essere utilizzato per simulazioni su piccola scala, per porzioni di costa di dimensioni confrontabili con quelle degli interventi progettuali, ma anche all'interno di modellazioni su scala maggiore, in cui le condizioni al contorno siano calcolate da un modello come D-Waves che tenga conto del vento, del moto ondoso al largo e della marea.

4 ELEMENTI DEL MODELLO

4.1 Domini di calcolo e griglie computazionali

4.1.1 Modello idrodinamico

Per i modelli di dettaglio del litorale di Alassio, è stata prodotta la griglia computazionale rappresentata nell'elaborato C.1, riprodotto in Figura 3.

In particolare la griglia, rappresentata nella parte sinistra della tavola, è stata utilizzata per il modello *XBeach* per il calcolo dell'evoluzione morfodinamica. La griglia è costituita da 87'680 celle, ed interessa una superficie totale di circa 487 ha, con un'estesa di 4000 m in direzione parallela alla riva, ed una larghezza massima di 1300 m circa in direzione trasversale. Peculiarità per questa griglia è la diversa risoluzione ottenuta nelle diverse zone: come si nota nei dettagli rappresentati, si ha infatti una dimensione minima delle celle, in direzione perpendicolare alla costa, pari a circa 1 m nella zona di posa dei moduli Tecnoreef® (per la cui descrizione si rimanda alla documentazione della parte A).

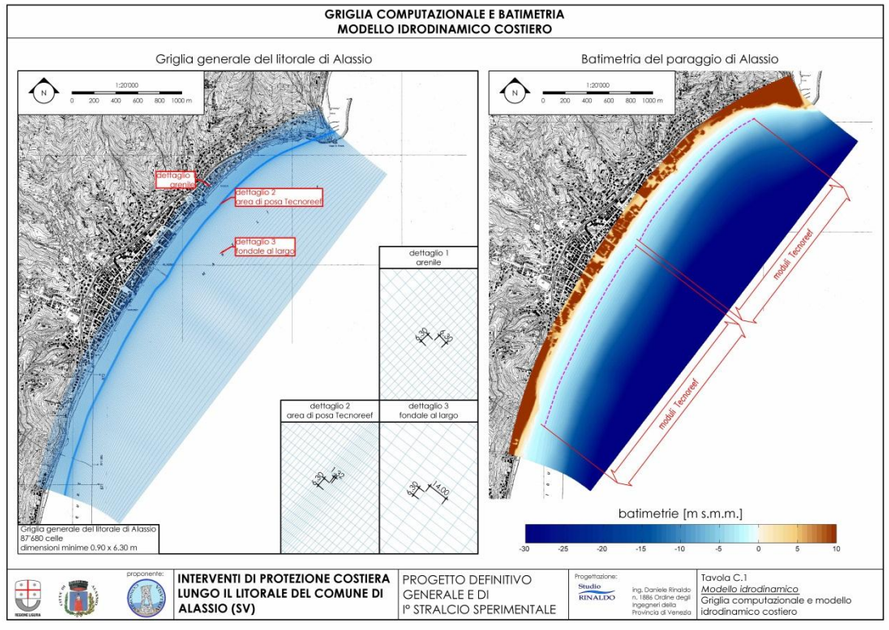


Figura 3: griglie computazionali modello idrodinamico di dettaglio

In corrispondenza alla spiaggia invece le celle hanno lato minimo di circa 3 m, mentre al largo,

dove il dettaglio richiesto è minore, la dimensione trasversale aumenta fino a circa 14 m. La dimensione delle celle in direzione parallela alla costa è invece quasi costante, pari a circa 6 m in tutto il dominio, in modo da consentire una buona discretizzazione delle caratteristiche della spiaggia e degli interventi di progetto.

4.2 Altimetrie e batimetrie associate alle griglie

Alla suddetta griglia è associata la batimetria rappresentata nella parte destra della tavola C.1, ottenuta dal rilievo topo-batimetrico effettuato contestualmente al presente progetto definitivo nell'aprile 2013, contenuto nella parte D allegata.

Come indicato dalla scala cromatica di rappresentazione, le massime profondità raggiunte al largo nel dominio sono di circa -30 m s.m.m. È indicata in planimetria anche la traccia della zona di posa prevista per i moduli Tecnoreef®, considerata alle profondità di -2.20 m s.m.m. e di -2.80 m s.m.m.

Il molo Bestoso non è stato incluso nella descrizione modellistica, in quanto si considera che la presenza delle pile in acqua non influisca significativamente nella caratterizzazione idro-morfodinamica della spiaggia. Tali pile sono comunque presenti sia nello stato di fatto che nella prevista configurazione di riforma, quindi è possibile prevedere che eventuali effetti, non presi in considerazione nel modello, siano confrontabili nell'analisi del comportamento ante operam e post operam.

Gli edifici, i camminamenti e le altre strutture in corrispondenza della spiaggia sono invece stati inclusi nella modellazione, introdotti come elementi non erodibili nell'analisi morfodinamica. Allo stesso modo, per le configurazioni di progetto, anche le strutture Tecnoreef® sono state descritte come non erodibili.

4.3 Configurazioni di studio

Come premesso, fondamentale ai fini delle scelte progettuali è la simulazione degli effetti idrodinamici dovuti alla presenza delle opere di progetto, ed in particolare il confronto fra lo stato attuale del litorale e due differenti configurazioni di riforma.

Nella tavola C.2, riprodotta in Figura 4, sono rappresentate le diverse configurazioni prese in esame nella prima fase di modellazione. In particolare, sono rappresentate le mappe cromatiche delle batimetrie relative a ciascuna configurazione, e per maggiore chiarezza, le posizioni di posa dei moduli Tecnoreef® sono indicate da linee colorate in rosso.

Ciò che distingue le due alternative progettuali è la profondità di posa dei moduli Tecnoreef®: nel primo caso, i moduli sono accostati secondo una linea, senza interruzioni di continuità, sulla quota batimetrica costante di -2.20 m s.m.m., nel secondo invece i moduli sono posati con schema analogo sulla quota batimetrica di -2.80 m s.m.m.

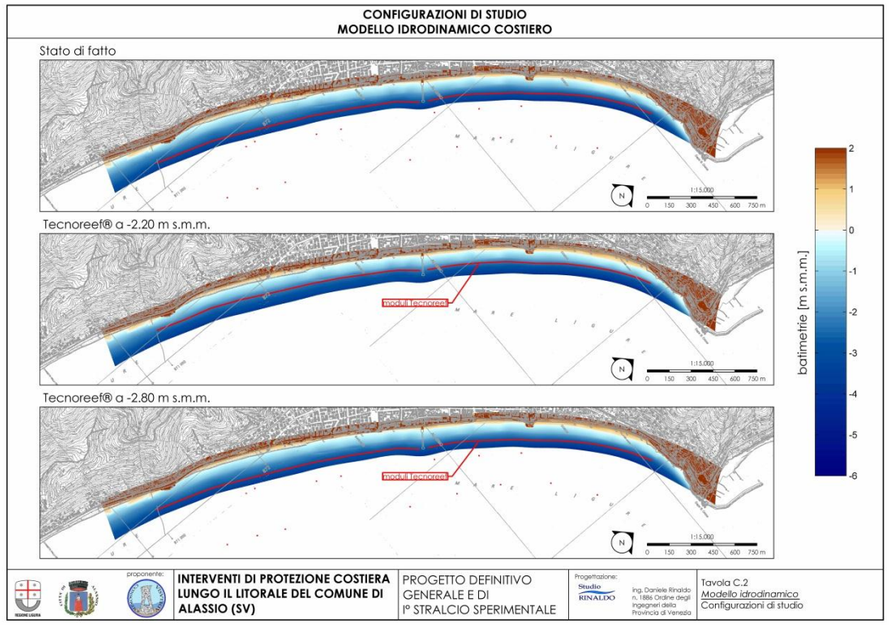


Figura 4: configurazioni di studio

4.4 Scenari di simulazione e condizioni al contorno

Nel capitolo successivo è contenuta l'analisi dei risultati ottenuti mediante le modellazioni matematiche finora presentate.

Le condizioni di vento disponibili ai fini delle simulazioni sono relative alle stazioni mareografiche di Imperia (lontana circa 20 km) e di La Spezia (lontana circa 130 km), quindi è possibile che siano state trascurate importanti variazioni del vento in prossimità di Alassio, di cui tuttavia non si hanno informazioni. Si sceglie quindi di produrre una simulazione relativa a condizioni estreme con tempo di ritorno elevato, a titolo di verifica dell'efficacia dell'opera nella riduzione dei processi erosivi.

La mareggiata estrema presa in considerazione è stata definita con riferimento alla "Analisi

statistica degli eventi estremi di moto ondoso" contenuta nella Relazione sul clima ondoso al largo, nel Piano di Tutela dell'ambiente marino e costiero redatto dalla Regione Liguria. Si è scelto dunque di applicare, al contorno dei modello idrodinamico di dettaglio, un'altezza d'onda significativa corrispondente a circa 3.8 m, valore che per La Spezia è caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni, dal settore di traversia di Scirocco. Al fine di applicare tale valore in maniera più coerente con il caso di Alassio, a questa altezza d'onda è stata associata una direzione di provenienza di 135°N, frontale alla direzione media della costa. La durata della simulazione morfodinamica effettuata è minore delle precedenti, pari a 3 ore.

Per l'analisi degli effetti sulla configurazione di progetto in cui i moduli Tecnoreef® sono posati sulla quota di -2.80 m s.m.m. è invece stata presa in considerazione una diversa mareggiata di Scirocco, con direzione principale di provenienza pari a 126°N, caratterizzata da un'altezza d'onda al largo pari a 3.10 m, e durata molto maggiore della precedente, di circa 43 ore.

4.4.1 Escursione di marea

L'escursione di marea è stata considerata trascurabile ai fini della simulazione degli eventi di mareggiata.

4.4.2 Caratterizzazione della sabbia

Per la caratterizzazione delle sabbie, da introdurre come parametro per il modello morfodinamico costiero, sono stati considerati i seguenti valori:

$$D_{50} = 257\ \mu m$$
$$D_{90} = 335\ \mu m$$
$$\rho_s = 2650\ kg/m^3$$

5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

5.1 Configurazione generale con Tecnoreef® posati a -2.20 m s.m.m.

Per la mareggiata estrema è stata effettuata solamente la modellazione idro-morfodinamica con il modulo XBeach, a scopo di verifica del funzionamento della configurazione progettuale lineare scelta nelle precedenti fasi.

Si desidera ricordare che lo spettro ondoso imposto al largo ha altezza caratteristica *Hrms* pari a 2.70 m, periodo di riferimento di 6 s, e direzione di provenienza di 135°N, frontale alla costa, con durata totale della simulazione pari a 3 ore.

Notevole è l'efficienza dimostrata in questa fase dalla fila di moduli Tecnoreef® introdotta schematicamente nella modellazione. Il moto ondoso, rappresentato nella tavola C.3.1 riprodotta in Figura 5, si riduce per naturale attrito con il fondale e per frangimento delle onde più ripide più lontano dalla costa, a partire da profondità di circa -5 m s.m.m., e raggiunge la zona di posa dei Tecnoreef® con altezza di circa 1 m.

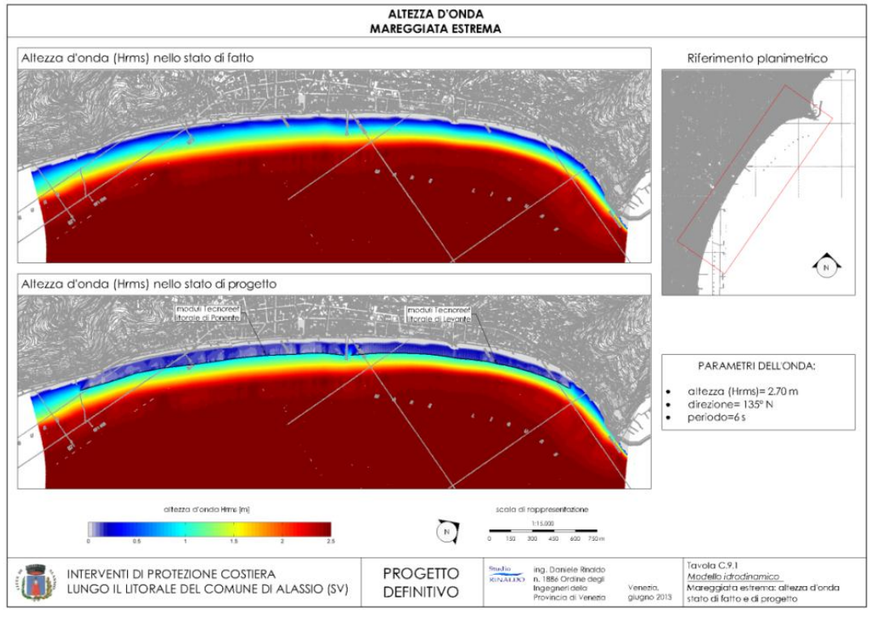


Figura 5: configurazione generale Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m. – altezza d'onda

Nel superamento della barriera la dissipazione è molto forte, anche a causa dell'abbassamento del livello medio del mare verso riva. Questo può essere dovuto alla propagazione verso riva di onde cnoidali molto deformate, con creste brevi e cavi molto allungati, alle quali corrisponde un

livello medio inferiore a quello medio.

Nella tavola C.3.2, riportata in Figura 6, è rappresentata la distribuzione spaziale delle onde frangenti, espresse come frazione del totale, molto diversa nelle due configurazioni: si nota infatti che i moduli Tecnoreef® impongono il frangimento di buona parte delle onde, riducendo fortemente la *surf zone* nello specchio acqueo verso riva.

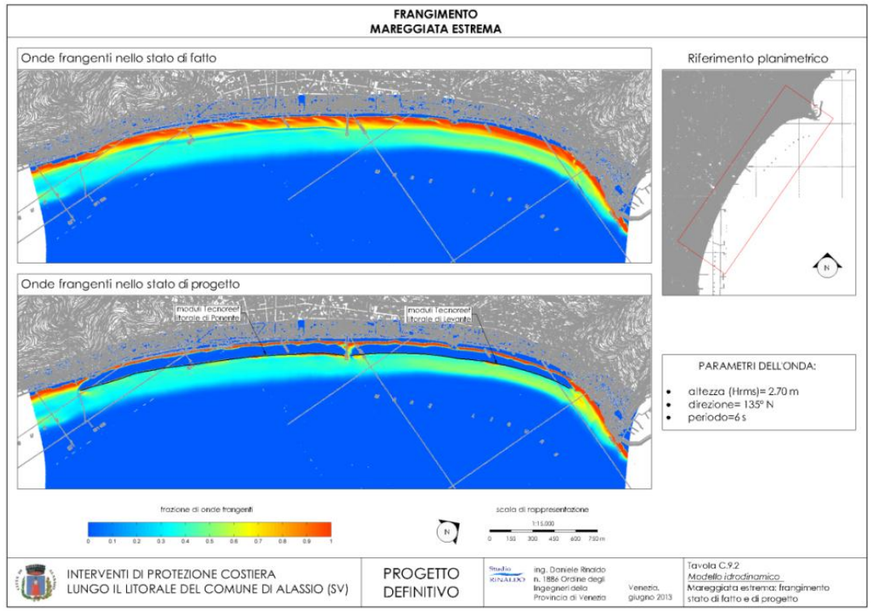


Figura 6: configurazione generale Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m. – onde frangenti

La distribuzione delle erosioni e dei depositi dopo le 3 ore di simulazione è nettamente differente da quanto osservato per le precedenti mareggiate di progetto. Dalla tavola C.3.5, in Figura 7, si osservano aree di erosione e di sedimentazione molto più estese, corrispondenti alla zona dei frangenti, con variazioni delle quote di fondo di maggiore entità. Si noti tuttavia che l'evoluzione morfologica avviene principalmente davanti alla barriera soffolta, verso il largo, mentre le modificazioni verso riva sono molto ridotte nello stato di fatto e quasi nulle nella prevista configurazione di progetto. I volumi movimentati, calcolati con riferimento all'area di calcolo già descritta in precedenza, sono limitati: circa 3000 m³ erosi nello stato di fatto, con una perdita netta di 700 m³, e circa 1300 m³ erosi nello stato di progetto, con inversione di tendenza ed accumulo di 215 m³.

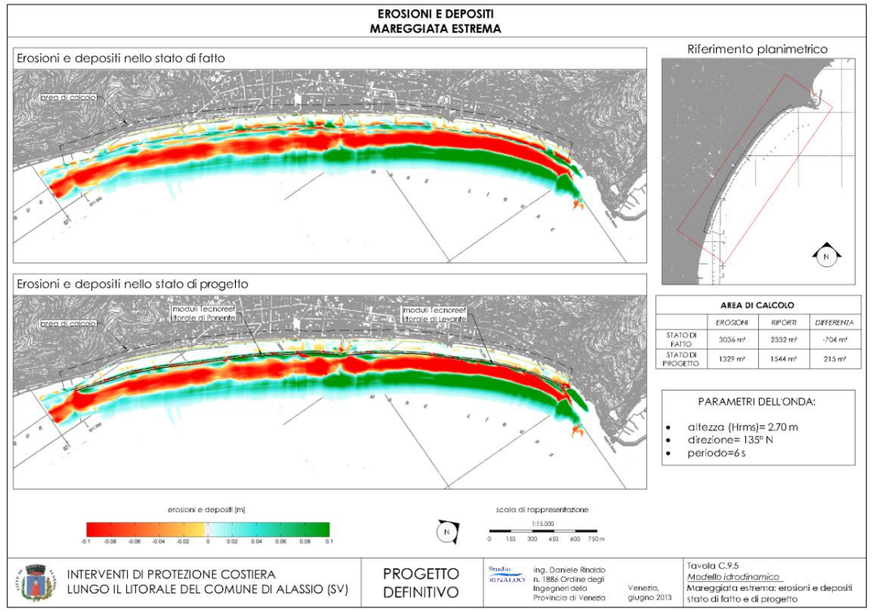


Figura 7: configurazione generale Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m. – erosioni e depositi

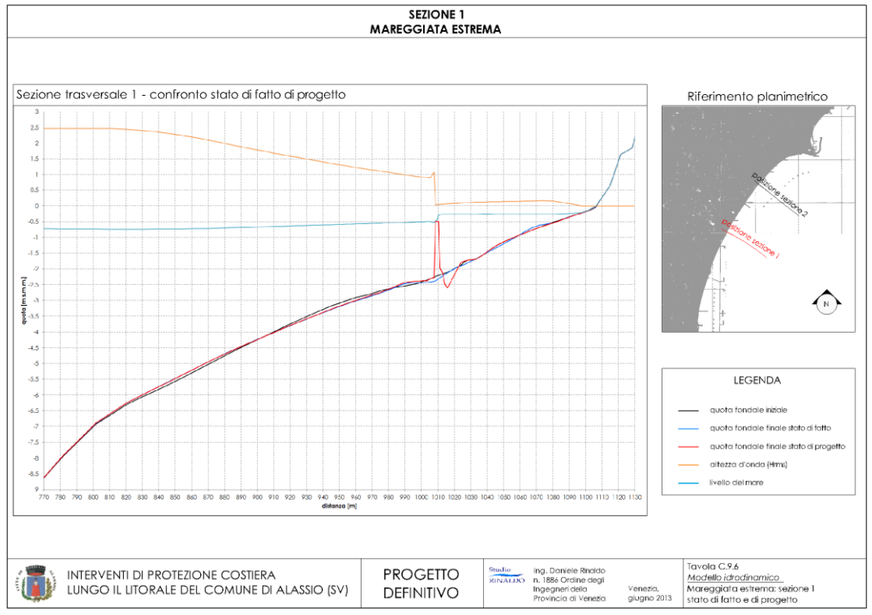


Figura 8: configurazione generale Tecnoreef® a -2.20 m s.m.m. – sezione 1

Le suddette caratteristiche dell'evoluzione litoranea sono osservabili anche nel confronto fra i profili trasversali, riportati nelle successive tavole C.3.6 (Figura 8) e C.3.7, in cui sono rappresentati i fondali fino alla quota di – 9 m s.m.m. poiché la zona attiva si estende fino a queste profondità. Si riconosce quindi che il profilo finale nelle previste condizioni di riforma rimane quasi coincidente con quello iniziale in tutta la fascia onshore rispetto ai moduli Tecnoreef®, esclusa una zona di erosione localizzata immediatamente dietro l'opera. I profili finali tendono invece a coincidere tra loro verso il largo, con evoluzione analoga rispetto al profilo iniziale.

5.2 Configurazione generale con Tecnoreef® posati a -2.80 m s.m.m.

Per la simulazione morfodinamica operata su questa configurazione vengono riportati, in sintesi, i risultati relativi all'altezza d'onda ed all'evoluzione del fondale in seguito alla suddetta mareggiata di Scirocco con altezza d'onda Hs al largo pari a 3.10 m.

In particolare, nella tavola C.4.1 riportata in Figura 9 è rappresentato, in analogia a quanto fatto per la precedente simulazione, il confronto fra i risultati per lo stato di fatto e per la prospettata configurazione di riforma.

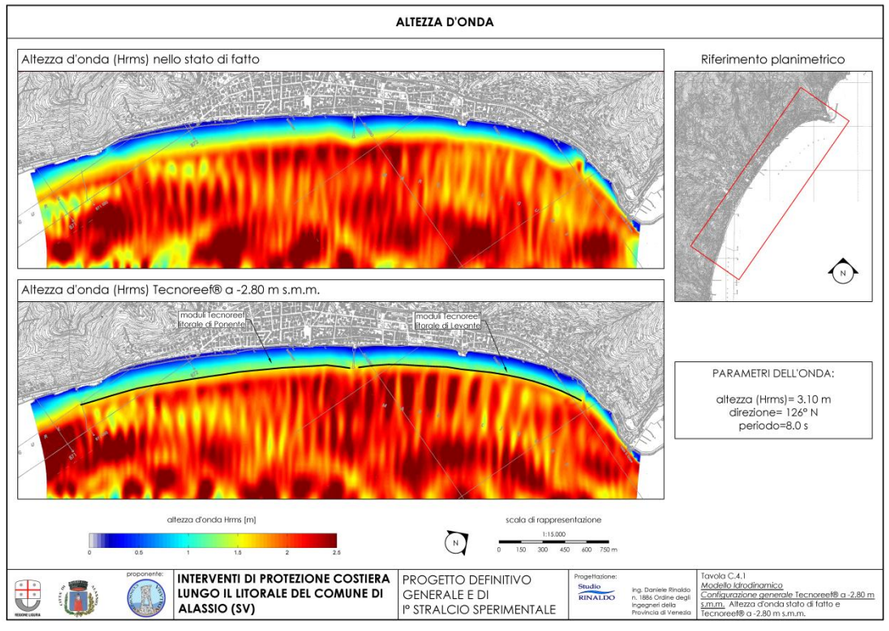


Figura 9: configurazione generale Tecnoreef® a -2.80 m s.m.m. – altezze d'onda

Come si osserva, la linea di posa dei moduli Tecnoreef® è più lontana dalla costa, a circa 150 m da essa, e l'effetto di dissipazione del moto ondoso è apprezzabile in particolare lungo il litorale di levante. Si notino infatti le variazioni cromatiche che indicano il passaggio dall'altezza d'onda di circa 1.60 m davanti ai moduli, ad una altezza d'onda ridotta di circa 1.40 m alle spalle di essi.

Elementi di maggiore interesse sono contenuti nella tavola C.4.2, in cui sono rappresentate graficamente le variazioni morfologiche del fondale e della spiaggia in seguito alla suddetta mareggiata. Come si osserva in Figura 10 la presenza dei moduli Tecnoreef® ha effetti non trascurabili nella riduzione della capacità erosiva delle onde incidenti.

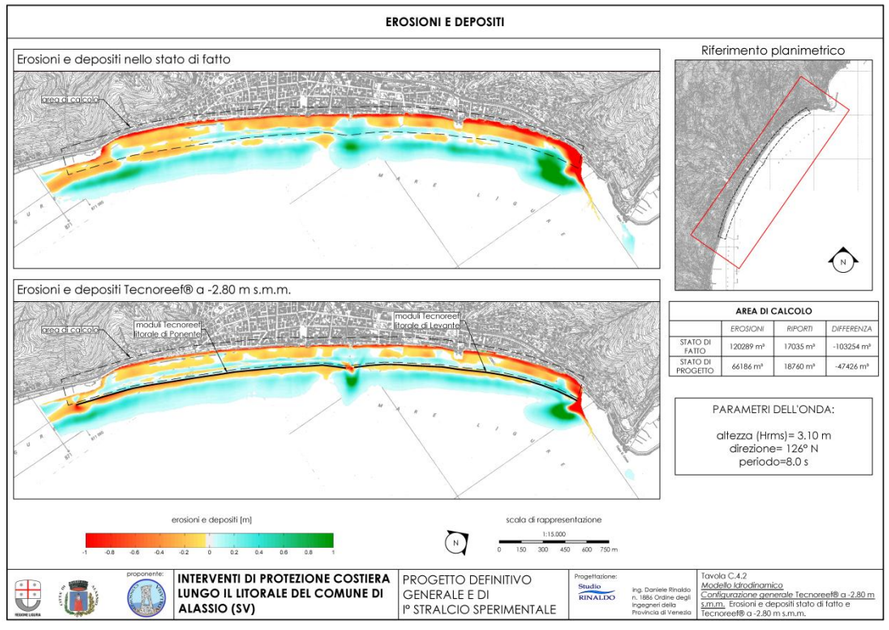


Figura 10: configurazione generale Tecnoreef® a -2.80 m s.m.m. – altezze d'onda

Si notano infatti ampie zone in cui la colorazione rossa caratteristica dell'erosione nello stato di fatto che sono invece azzurro-verdi per la configurazione generale di progetto, indice quindi di una inversione di tendenza, evidentemente causata dalla dissipazione localizzata dell'energia del moto ondoso.

5.3 Primo stralcio sperimentale con Tecnoreef® posati a -2.80 m s.m.m.

Nelle tavole 2.5.1 e 2.5.2, sono infine rappresentati i risultati ottenuti nel caso in cui la

configurazione di progetto includa il solo primo stralcio del progetto generale, avente estesa totale di circa 500 m, e posizionato nel primo tratto ad ovest del molo Bestoso. Particolare attenzione viene posta, in merito a tale simulazione, nella valutazione degli effetti di bordo che si possono verificare nei tratti terminali dell'opera, che in questa configurazione non è continua per l'intera estensione della spiaggia.

Al fine di osservare con maggiore dettaglio i risultati grafici delle simulazioni, è proposto nelle suddette tavole un ingrandimento delle diverse mappe cromatiche, focalizzato nell'intorno dell'opera.

In particolare, nella tavola 2.5.2, riprodotta in Figura 11, si notano gli effetti della barriera, soprattutto in termini di diminuzione dell'erosione nella fascia costiera protetta dalla barriera stessa.

La maggiore erosione osservabile davanti alla barriera è in parte dovuta ad un limite della modellazione, che non consente di rappresentare correttamente la permeabilità dei moduli, che vengono invece schematizzati come elementi rigidi, parzialmente riflettenti.

Gli effetti di bordo, alle estremità dell'opera, risultano ridotti, con valori massimi dell'ordine di circa 0.20 m.

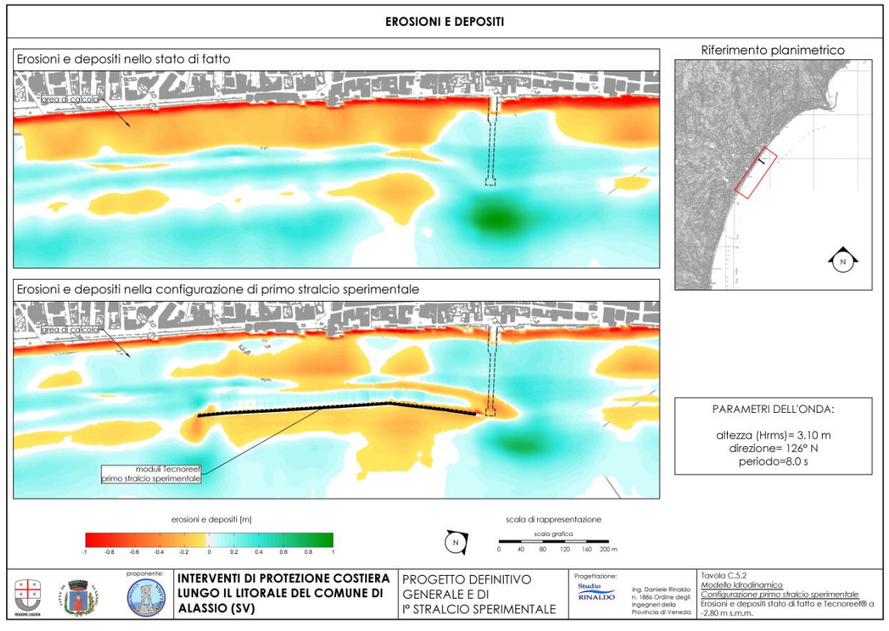


Figura 11: primo stralcio sperimentale - erosioni e depositi

6 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE SULLA MODELLISTICA APPLICATA

Lo studio modellistico esposto nella presente relazione ha avuto come oggetto la valutazione degli effetti di condizioni meteomarine estreme sul litorale di Alassio, molto sensibile alle violente mareggiate generate da venti di Scirocco e di Libeccio.

Nell'ambito del progettazione definitiva degli interventi di protezione del litorale di Alassio, l'obiettivo della modellazione matematica è stato duplice:

1. confrontare diverse configurazioni di progetto con lo stato di fatto dell'ambito di studio, in modo da individuare la configurazione ottimale;
2. verificare gli effetti di diverse mareggiate di progetto sulla configurazione scelta, per fornire una valutazione qualitativa e quantitativa dei fenomeni di evoluzione morfologica in seguito ad eventi estremi.

In particolare lo stato di fatto del litorale è stato posto a confronto con due configurazioni progettuali in cui una struttura di moduli prefabbricati Tecnoreef® è posta a protezione della riva, con la finalità di ridurre l'energia del moto ondoso incidente.

Per conseguire questo duplice scopo, le simulazioni numeriche sono state condotte secondo diverse fasi, partendo dalla modellazione meteomarina generale dell'intero Mar Ligure, per poi utilizzare gli spettri di moto ondoso calcolati in tale sede per modelli idrodinamici di dettaglio del paraggio di Alassio.

Per operare tale confronto sono stati utilizzati i software per l'idrodinamica marittima e costiera *D-Flow*, *D-Waves* e *XBeach*, grazie ai quali sono state simulate mareggiate storiche di Grecale, diScirocco e di Libeccio, scelte tra gli eventi più gravi degli ultimi anni, ed una mareggiata estrema, confrontabile con un evento con tempo di ritorno di 5 anni.

Per le configurazioni di progetto, sono state calcolate sensibili riduzioni dell'altezza d'onda e dell'energia specifica del moto ondoso per tutte le mareggiate considerate.

Sulla base dei risultati ottenuti per le analisi di breve e medio periodo effettuate mediante la simulazioni di eventi di mareggiata di notevole intensità, si dimostra l'efficacia della barriera in moduli Tecnoreef® nella protezione della costa dagli effetti erosivi del moto ondoso incidente.

Pur demandando ad ulteriori approfondimenti le valutazioni di dettaglio, è stata verificata la capacità di ridurre la capacità erosiva delle onde di mareggiata incidenti sul litorale, con l'effetto positivo di mantenere le sabbie movimentate nei pressi della linea di riva, in posizione consona al successivo riposizionamento da parte delle onde ripascitive in coda agli eventi di mareggiata.

Sono stati infine dimostrati anche gli aspetti positivi della soluzione progettuale a confronto con una configurazione alternativa, di solo ripascimento stagionale, in seguito ad una sequenza di mareggiate rappresentative dei fenomeni meteomarini estremi in un tempo di ritorno annuale.

Al fine di una quantificazione più accurata dell'evoluzione costiera di breve e medio periodo, rimane la necessità di una completa calibrazione dei modelli utilizzati in questa fase, ad operarsi esclusivamente in seguito ad un periodo di monitoraggio delle caratteristiche idro-morfodinamiche prese in considerazione, nel sito stesso oggetto di progettazione.