INTEGRAZIONE ALLO STUDIO MODELLISTICO COSTIERO

Valutazione delle configurazioni che hanno condotto allo scenario di progetto

Prot.2026-0357192

PAOLO
GAGGERO
10.08.2026
18:18:45
GMT+02:00

Redatto: Dott. Luigi Mucerino & Dott.ssa Giorgia Poddi

07 Agosto 2026

GEOSCAPE
SOC. COOP.

Geoscape Società Cooperativa

Sede legale Via Varese 2 - CAP 16122 (GE)
PEC: geoscape@pec.geoscape.it - Mail: info@geoscape.it
P.IVA: 02594600997

Premessa e finalità dell'integrazione

La presente relazione presenta il compendio modellistico che ha condotto gradualmente alla definizione dello scenario progettuale.

Il tema è stato scelto con azioni progressive di ripascimento e piattaforme isola sino al raggiungimento di risultati soddisfacenti a risolvere il tema di uno dei più importanti siti urbani.

Lo studio modellistico, in precedenza rapidamente testato per valutare le diverse soluzioni, viene approfondito e discusso nel testo.

La presente relazione è redatta quale approfondimento modellistico dello studio costiero per il tratto di litorale di Borgo Peri.

L'integrazione prende in esame due differenti assetti: una prima configurazione costituita dal ripascimento associato a una singola isola artificiale distaccata e una seconda configurazione caratterizzata dal solo ripascimento. Le due ipotesi sono state analizzate nell'ambito del medesimo tratto costiero, mantenendo come elemento centrale della valutazione la risposta della fascia di battigia e della zona immediatamente antistante la spiaggia.

La presente relazione considera esclusivamente il mare di Libeccio, in quanto mare dominante. Tale direzione viene pertanto assunta come scenario dominante e utilizzata quale condizione di riferimento per il confronto tra le due alternative e quella di progetto. La scelta consente di rendere l'analisi maggiormente focalizzata sugli effetti che le differenti geometrie producono sulla propagazione del moto ondoso e sull'organizzazione del campo di corrente.

L'obiettivo è stato e resta quello di isolare il contributo delle diverse soluzioni e fornire un quadro comparativo utile alla scelta progettuale. La lettura dei risultati è quindi condotta con particolare attenzione a: trasformazione dell'altezza d'onda verso riva, distribuzione spaziale dei gradienti energetici, deviazione delle correnti in prossimità delle opere, continuità del campo idrodinamico e possibili implicazioni sulla stabilità del materiale di ripascimento.

Richiamo allo studio modellistico precedente

Lo studio originario ha analizzato il comportamento idrodinamico del litorale nello stato attuale e in una configurazione progettuale articolata, mediante simulazioni 2DH sviluppate con XBeach. In quella fase sono stati considerati tre scenari di moto ondoso estremo, riferiti a Libeccio, Scirocco e Mezzogiorno, con tempo di ritorno cinquantennale, verificando sia la propagazione dell'onda sia l'evoluzione del campo delle correnti superficiali.

Per lo stato attuale, le simulazioni di Libeccio hanno evidenziato condizioni energetiche rilevanti in prossimità della costa. Nel settore di ponente, le opere soffolte esistenti producevano una riduzione dell'altezza d'onda, senza tuttavia annullare la propagazione del moto ondoso verso l'area retrostante. Nel settore di levante la dissipazione risultava più graduale, con altezze ancora significative in prossimità della linea di costa. Il campo di corrente mostrava inoltre flussi in uscita dalla cella litoranea e correnti offshore intense, elementi potenzialmente favorevoli alla dispersione del sedimento.

La configurazione progettuale precedentemente studiata introduceva, oltre al ripascimento, un sistema di più isole artificiali e modifiche delle opere trasversali. Tale assetto determinava una sostanziale attenuazione del moto ondoso e una riduzione dell'intensità delle correnti nella zona protetta, ma non consentiva di distinguere in modo univoco il contributo del solo intervento morbido da quello delle strutture distaccate.

Le simulazioni rispondono precisamente a questa esigenza di separazione degli effetti. La soluzione con solo ripascimento costituisce il riferimento per valutare la capacità della geometria di spiaggia di dissipare l'energia incidente senza l'ausilio di opere offshore; la soluzione con una sola isola permette invece di misurare, in termini spaziali, il beneficio aggiuntivo e le modificazioni locali introdotte dalla presenza di un elemento rigido distaccato.

Pertanto è possibile:

- valutare l'efficacia autonoma del ripascimento nei confronti del Libeccio;
- individuare l'eventuale incremento di protezione associato alla singola isola;
- verificare se il beneficio dell'isola sia localizzato o esteso all'intera cella;
- considerare gli effetti della struttura sulla regolarità del campo di corrente.

Impostazione della modellistica costiera

Nello studio di riferimento è stato impiegato XBeach (eXtreme Beach), modello numerico open-source sviluppato da Deltares e ampiamente utilizzato per l'analisi dei processi idro-morfodinamici in ambiente costiero.

Il modello consente di rappresentare la propagazione delle onde, le variazioni indotte dalla batimetria, i processi di rifrazione e frangimento e la generazione delle correnti costiere. In configurazione 2DH la soluzione viene sviluppata sul piano orizzontale, rendendo possibile l'analisi della distribuzione spaziale dei parametri idrodinamici e delle principali zone di convergenza e divergenza del flusso.

Per il tratto di Imperia la griglia di calcolo è stata strutturata con maggiore risoluzione nella surf zone, dove si concentrano le trasformazioni più rilevanti per la valutazione progettuale. Nel precedente studio sono state utilizzate maglie dell'ordine di 2,5 x 5 m nella fascia di maggiore interesse e di 5 x 5 m nel settore più esterno. L'estensione del dominio è stata definita in modo da includere la spiaggia, le opere di difesa, i promontori e le strutture portuali che possono influenzare la propagazione del moto ondoso.

La presente integrazione considera esclusivamente il moto ondoso proveniente da Libeccio, assunto come condizione dominante per la verifica delle ipotesi progettuali. Il precedente studio aveva già evidenziato, per questa direzione, una significativa sollecitazione della costa e la formazione di correnti direzionali e di uscita capaci di condizionare la stabilità della fascia di spiaggia.

I parametri meteomarini di riferimento sono quelli riportati nel quadro di input dello studio precedente per il Libeccio cinquantennale. La condizione al largo è caratterizzata da un'altezza d'onda spettrale pari a 6,7 m, periodo di picco pari a 11 s e direzione di provenienza pari a 220°N. La simulazione è riferita a un evento estremo con tempo di ritorno di 50 anni.

H0 [m]	Tp [s]	Direzione [°N]	Periodo di ritorno
6,7	11	220 - Libeccio	50 anni

Tabella 1 - Parametri del moto ondoso di Libeccio utilizzati come riferimento nell'analisi.

La durata numerica dell'evento viene mantenuta coerente con l'impostazione dello studio di riferimento, nel quale è stato simulato uno sviluppo prolungato del moto ondoso per consentire la completa organizzazione del campo idrodinamico. L'analisi non è pertanto rivolta alla ricostruzione di una singola mareggiata storica, ma alla verifica comparativa delle configurazioni in una condizione estrema e progettualmente cautelativa.

La scelta di utilizzare un'unica direzione di riferimento migliora la leggibilità del confronto: eventuali differenze tra le tavole non sono legate a variazioni dell'input meteomarino, ma alla diversa interazione tra il Libeccio, la nuova linea di riva e la presenza o assenza dell'isola artificiale.

Configurazioni progettuali

Le simulazioni sono state sviluppate per due assetti progettuali che condividono l'intervento di ripascimento ma differiscono per la presenza di una singola opera distaccata. La linea di riva di progetto è rappresentata nelle tavole mediante una traccia gialla, mentre la configurazione attuale è riportata in blu. Il confronto geometrico consente di riconoscere l'avanzamento della spiaggia e la conseguente modifica della fascia a bassa profondità.

Ipotesi 1 - ripascimento e singola isola

L'Ipotesi 1 associa al ripascimento una sola isola artificiale localizzata nel settore centrale della cella. La struttura agisce come elemento di schermatura locale rispetto al moto ondoso incidente e introduce una discontinuità nel campo di propagazione, con deviazione dei fronti d'onda e riorganizzazione dei vettori di corrente in corrispondenza dei suoi margini.

Ipotesi 2 - solo ripascimento

L'Ipotesi 2 mantiene la medesima logica di avanzamento della linea di riva ma non prevede opere distaccate. Essa rappresenta pertanto la soluzione più semplice e permette di verificare quanto della riduzione energetica sia ottenibile esclusivamente attraverso la nuova morfologia di spiaggia e l'aumento della fascia a ridotta profondità.

Ipotesi 1 - ripascimento e singola isola

La prima alternativa integra il ripascimento con una singola isola artificiale collocata al largo della porzione centrale della spiaggia. La linea di riva post-ripascimento evidenzia un avanzamento diffuso rispetto allo stato attuale, con maggiore superficie emersa nei settori occidentale.



Figura 2 - Ipotesi 1: linea di riva post-ripascimento e posizione della singola isola artificiale.

La posizione dell'isola è tale da intercettare una porzione del campo d'onda prima che questo raggiunga la fascia più interna della cella. La soluzione conserva tuttavia ampi varchi laterali, che permettono la propagazione e la riorganizzazione del flusso sui due lati dell'opera.

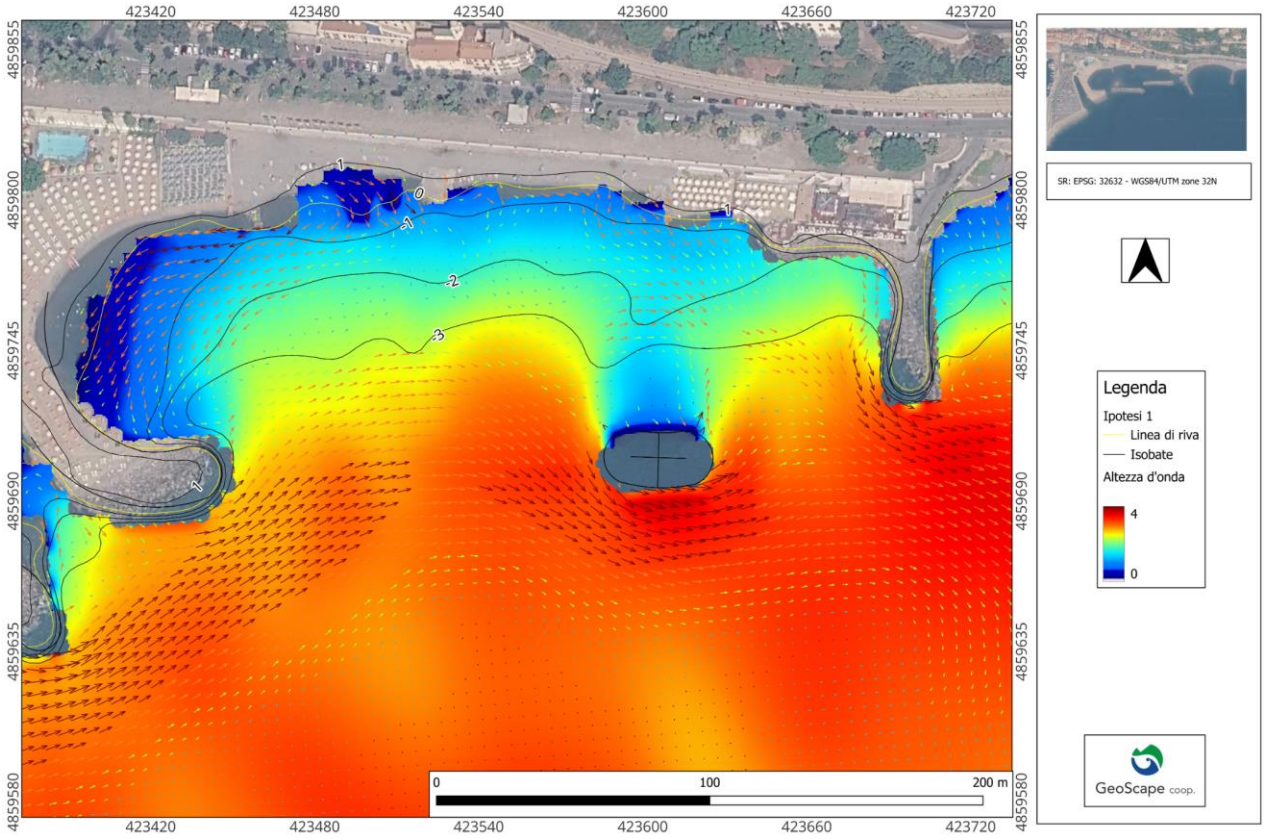


Figura 3 - Ipotesi 1: altezza d'onda significativa, isolinee batimetriche e campo vettoriale delle correnti per il Libeccio.

La Figura 3 evidenzia la progressiva diminuzione dell'altezza d'onda procedendo dal settore esterno verso la linea di riva. La presenza dell'isola introduce una perturbazione localizzata, riconoscibile nella zona retrostante la struttura, dove il campo d'onda presenta una riduzione più marcata rispetto ai settori laterali.

L'effetto più evidente della singola isola è la formazione di una zona di ombra idrodinamica immediatamente a tergo dell'opera. Il moto ondoso, intercettato dalla struttura, subisce una riduzione locale dell'energia; ai margini dell'isola i fronti d'onda vengono invece deviati e tendono a ricongiungersi nella zona retrostante per effetto dei fenomeni di diffrazione e rifrazione. La conseguenza è un campo meno uniforme rispetto a quello determinato dal solo ripascimento.

Nella parte più interna della spiaggia l'altezza d'onda appare comunque sensibilmente attenuata lungo gran parte della linea di riva. L'isola non produce quindi l'unico meccanismo di protezione: una quota rilevante della dissipazione deriva dalla geometria del ripascimento e dall'ampliamento della fascia a ridotta profondità. Il contributo della struttura deve essere letto soprattutto come incremento locale di schermatura nella porzione direttamente retrostante.

Il campo vettoriale mostra una riorganizzazione delle correnti intorno all'opera. In prossimità dei fianchi dell'isola i vettori tendono a deviare, mentre nella zona retrostante si osserva una diminuzione della continuità del flusso incidente. Questa configurazione genera gradienti spaziali più pronunciati rispetto alla soluzione priva di opera distaccata. Tali gradienti non

costituiscono necessariamente una criticità, ma sono rilevanti dal punto di vista morfodinamico perché possono concentrare localmente il trasporto solido e produrre differenze di risposta tra la zona schermata e i settori laterali.

Nel settore occidentale della cella la propagazione rimane fortemente condizionata dalla geometria del molo e dal raccordo con la nuova spiaggia. Nel settore orientale, in prossimità dell'opera trasversale che delimita la cella, il campo d'onda mantiene una maggiore energia rispetto alla parte più interna, mentre i vettori si dispongono secondo traiettorie che accompagnano la curvatura della costa e delle isobate.

Ipotesi 2 - solo ripascimento

La seconda alternativa considera esclusivamente il ripascimento, senza la realizzazione di strutture distaccate nello specchio acqueo antistante la spiaggia. La nuova linea di riva evidenzia l'avanzamento della spiaggia rispetto alla configurazione attuale solo nel tratto di costa ovest, protetto dall'headland.

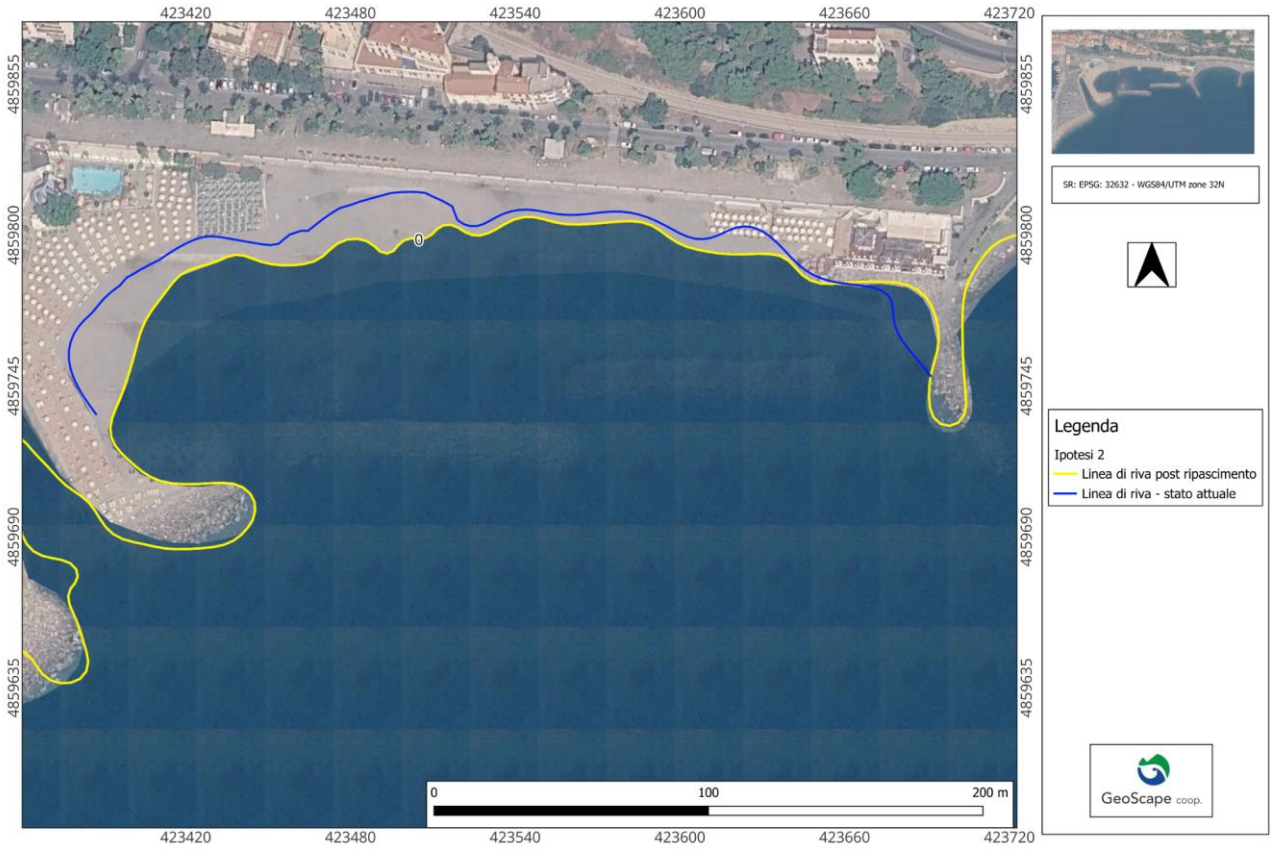


Figura 4 - Ipotesi 2: confronto tra linea di riva attuale e linea di riva post-ripascimento.

L'assenza di opere offshore permette di analizzare in modo diretto l'effetto della sola modifica morfologica. La dissipazione dell'energia avviene pertanto in maniera progressiva lungo il profilo, senza zone di schermatura create artificialmente da ostacoli distaccati.

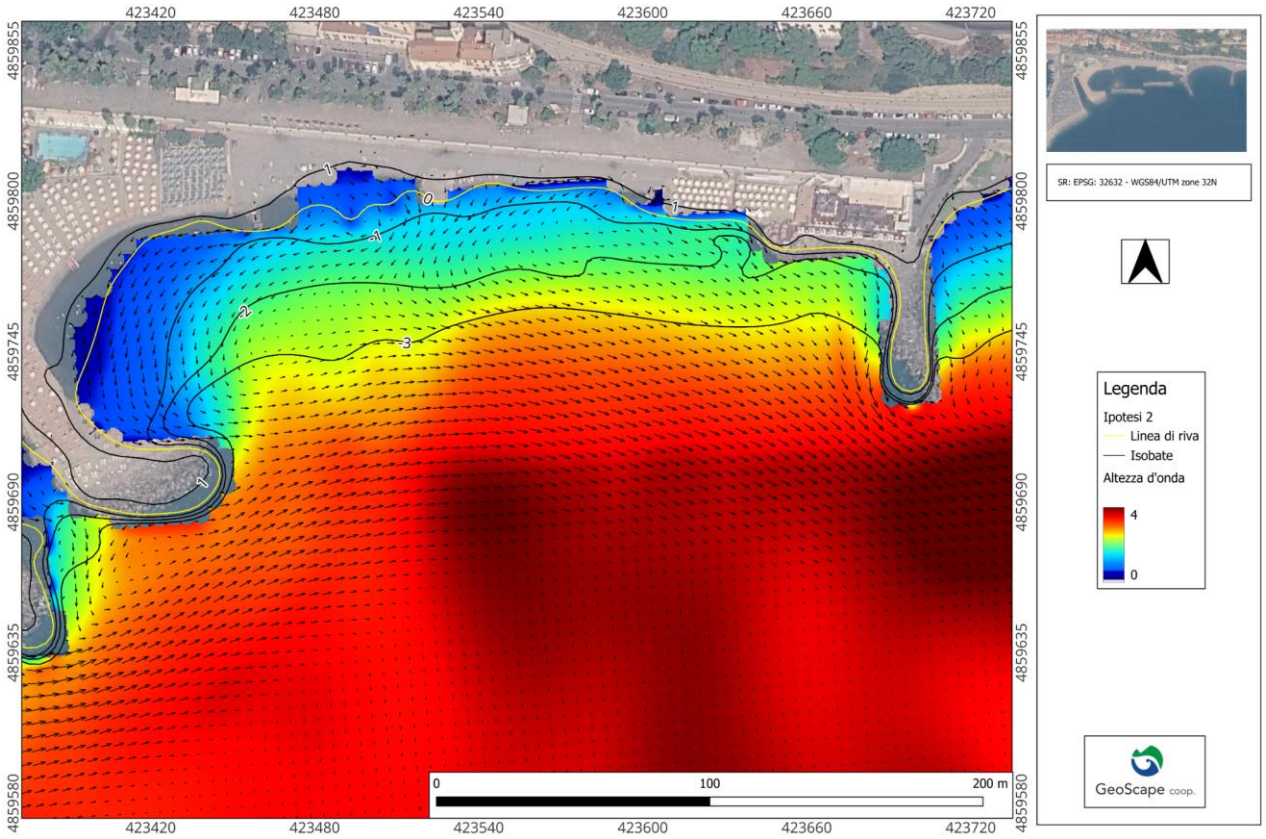


Figura 5 - Ipotesi 2: altezza d'onda significativa, isolinee batimetriche e campo vettoriale delle correnti per il Libeccio.

Il campo di altezza d'onda mostra una trasformazione graduale dal largo verso la riva. Le isolinee risultano complessivamente continue lungo la cella e descrivono una progressiva riduzione da valori superiori a 3 m nella parte esterna a valori prossimi o inferiori a 1 m nella fascia più interna. Emerge un trasporto solido verso le strutture laterali che determina **una maggior erosione al centro della baia.**

Anche il campo delle correnti risulta più uniforme rispetto all'Ipotesi 1. I vettori descrivono un flusso prevalentemente organizzato secondo la geometria della cella e la direzione di propagazione residua, senza le deviazioni concentrate che nell'altra configurazione si sviluppano intorno all'isola.

Dal punto di vista morfodinamico, la maggiore regolarità del campo rappresenta un elemento favorevole alla distribuzione uniforme delle sollecitazioni lungo il ripascimento. L'assenza di ostacoli non elimina le correnti longitudinali o le possibili zone di uscita di sedimenti legate alla geometria della cella a sfavore della parte centrale della cella.

Confronto con l'Ipotesi 1 e ipotesi di progetto presentata – (ripascimento e singola isola)

L'**Ipotesi 1** mantiene l'intervento di ripascimento, ma riduce sensibilmente il numero di opere poste nello specchio acqueo antistante la spiaggia, prevedendo la presenza di una **singola isola artificiale**.

La principale differenza tra le due soluzioni riguarda il grado di protezione. Nella configurazione originaria, il sistema formato dalle diverse isole produceva una maggiore compartimentazione del campo d'onda e una più estesa successione di aree caratterizzate da attenuazione dell'energia. Nell'Ipotesi 1, invece, l'effetto dell'opera distaccata risulta maggiormente concentrato nel settore direttamente retrostante la singola isola, mentre nelle porzioni laterali il comportamento tende progressivamente ad avvicinarsi a quello determinato dal solo ripascimento.

Dal punto di vista delle correnti superficiali, la riduzione del numero di opere comporta anche una semplificazione della geometria attraverso la quale avviene la circolazione idrodinamica. Nel progetto presentato erano presenti diversi varchi tra le isole, attraverso i quali si concentravano parte dei flussi in uscita dalla spiaggia. Nell'Ipotesi 1 questo meccanismo risulta necessariamente meno articolato; permane tuttavia una perturbazione locale del campo di corrente in prossimità della singola opera, con deviazione dei flussi sui lati dell'isola e riorganizzazione della circolazione nella zona retrostante.

Sotto questo aspetto, l'Ipotesi 1 può essere interpretata come una soluzione che conserva parte dell'effetto di schermatura proprio della configurazione progettuale presentata, limitandolo però a una porzione più circoscritta del litorale e riducendo la protezione della costa. Questo emerge anche dalla nuova linea di riva che risulta molto ridotta nella zona centrale e in quella di levante.

Confronto con l'Ipotesi 2 e ipotesi di progetto presentata – solo ripascimento

L'**Ipotesi 2** rappresenta la configurazione strutturalmente più semplice tra quelle investigate, essendo costituita esclusivamente dall'intervento di ripascimento e non prevedendo la realizzazione di opere distaccate.

Rispetto alle configurazioni dotate di isole, si osserva un maggior impatto del moto ondoso e un minor mantenimento della nuova linea di riva; l'inserimento di opere distaccate fornisce un contributo importate, che si manifesta nella riduzione di flussi in uscita con una maggior tenuta del materiale all’interno della cella.

Anche il campo di corrente dell'Ipotesi 2 presenta una configurazione più continua, non essendo soggetto alle deviazioni e alle concentrazioni dei flussi connesse alla presenza delle isole. Il sistema idrodinamico risulta pertanto governato principalmente dalla propagazione del moto ondoso, dalla morfologia della nuova spiaggia e dall'interazione con le opere laterali esistenti. Questo determina, però, una minor protezione della costa da eventi estremi e un’accelerazione del trasporto solido con conseguente depauperamento del nuovo ripascimento.

Valutazione comparativa complessiva

Il confronto tra le tre configurazioni consente quindi di distinguere in maniera più chiara il contributo del ripascimento da quello associato alle opere distaccate.

La **configurazione progettuale originariamente presentata** rappresenta la soluzione con il maggiore grado di protezione strutturale, ma anche quella che determina la più marcata modifica locale del campo idrodinamico. La presenza di più isole produce maggior protezione e riduzione dei flussi in uscita, quindi la più efficace.

Nel complesso, le simulazioni di ipotesi 1 e ipotesi 2 evidenziano quindi come il **ripascimento costituisca un elemento determinante nella riduzione dell'energia del moto ondoso incidente sulla battigia**, mentre la presenza delle isole artificiali introduce un ulteriore effetto di schermatura, che risulta fondamentale **per la protezione dalla costa e il mantenimento della nuova spiaggia**.

Alla luce dei risultati modellistici disponibili, **non appare quindi corretto attribuire l'efficacia della protezione esclusivamente alla presenza delle opere distaccate**. Il confronto tra le configurazioni evidenzia infatti che il solo ripascimento è in grado di determinare una significativa trasformazione e attenuazione del moto ondoso nella fascia prossima alla riva, ma produce un elevata instabilità della nuova spiaggia soggetta a forti perdite di materiali nei settori non protetti e quindi necessita una maggior protezione. L'introduzione della singola isola prevista nell'Ipotesi 1 incrementa localmente tale effetto, **mentre la configurazione a tre isole estende la schermatura a più settori mediante un sistema maggiormente articolato di opere.**