

REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA di SALERNO



UNIONE DEI COMUNI VELINI
COMUNE DI CASAL VELINO

MESSA IN SICUREZZA ED ADEGUAMENTO
INFRASTRUTTURALE
DEL PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO
I° LOTTO - STRALCIO FUNZIONALE
CIG : 7400806A4E - CUP : B79F17000080009

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato :

STUDIO MORFODINAMICO

1 8 0 0 2 P D R 0 5 - 1 M A R

Committente:
Comune di Casal Velino

Area Tecnica
Ufficio Urbanistica, Lavori
Pubblici, Pianificazione

Responsabile del Procedimento
Arch. Angelo GREGORIO

Progettazione:
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO

Capogruppo:


Via Monte Zebio 40 00195 ROMA

Mandanti:

Dott. Ing. Luigi RISPOLI
Dott. Ing. Eugenio LOMBARDI
Dott. Ing. Davide VASSALLO
Dott. Geol. Michele CAMMAROTA
POIESIS S.r.l. - Servizi per i Beni Culturali

Gruppo di lavoro:

Dott. Ing. Paolo CONTINI
Dott. Ing. Davide SALTARI
Dott. Ing. Marco DEL BIANCO
Geom. Renzo PAREGGIANI

Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
Dicembre 2019	1	Adeguamento a seguito parere SABAP SA-AV ed Ente PARCO	SALTARI	SALTARI	CONTINI
Dicembre 2018	0	EMISSIONE	SALTARI	SALTARI	CONTINI

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo documento con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

COMUNE DI CASAL VELINO

INTERVENTI DI “MESSA IN SICUREZZA E ADEGUAMENTO INFRASTRUTTURALE
DEL PORTO DI MARINA DI CASAL VELINO”
1° LOTTO STRALCIO FUNZIONALE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE MORFODINAMICA

Committente:

Comune di Casal Velino
P. zza XXIII Luglio n° 6
84040 – Casal Velino (SA)

Progettisti:

MODIMAR S.r.l.
Ing. Luigi Rispoli
Ing. Eugenio Lombardi
Ing. Davide Vassallo
Dott. Geol. Michele Cammarota
Soc. POIESIS

INDICE

PROLOGO	3
1 PREMESSE	4
2 METODOLOGIA E STRUMENTI ADOTTATI	5
3 INTRODUZIONE AL MODELLO AD UNA LINEA GENESIS	7
4 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE STWAVE	10
4.1 Definizione della griglia di calcolo	11
4.2 Condizioni al contorno e clima d'onda in ingresso	12
4.3 Propagazione degli spettri d'onda associati agli eventi significativi.....	13
5 APPLICAZIONE DEL MODELLO GENESIS	14
5.1 Definizione della griglia e delle condizioni di calcolo	16
5.2 Taratura del modello	17
5.3 Opzione 0 – scenario di non intervento.....	18
5.4 Opzione 1 – scenario di intervento.....	20
Opzione 2 – Scenario non intervento in presenza delle opere di difesa costiera previsti dall'autorità di bacino Sx Sele.....	22
5.5 Opzione 3 – Scenario di intervento in presenza delle opere di difesa costiera previsti dall'Autorità di bacino sinistra Sele.....	24
6 CONCLUSIONI	26
7 CONSIDERAZIONI INTEGRATIVE CONSEGUENTI AL PARERE ESPRESSO DALL'ENTE PARCO	28
ALLEGATI	30

PROLOGO

Nell'ambito del Progetto Definitivo dei lavori di messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto di Marina di Casal Velino è stata condotta una revisione dello studio specialistico di morfo-dinamica litoranea redatto ed allegato al progetto preliminare PP-2008.

Nel suddetto studio specialistico erano state effettuate, utilizzando il modello di spiaggia ad una linea GENESIS, una serie di simulazioni sulla tendenza evolutiva (per un arco temporale di 10 anni) del litorale limitrofo al porto di Casal Velino considerando anche l'eventuale presenza degli interventi di difesa costiera che erano stati programmati per il contrasto e la mitigazione dall'erosione del litorale e la cui realizzazione è terminata nel 2013.

Pertanto avendo appurato la piena sussistenza delle condizioni al contorno e degli scenari di evoluzione morfo-dinamica del litorale di Casal Velino già analizzati nell'ambito del suddetto studio specialistico, in questa fase di progettazione definitiva il gruppo di progettazione lo ha riconfermato integralmente riportandolo nelle pagine seguenti.

Le simulazioni condotte a suo tempo riguardavano un arco temporale di 10 anni assumendo come "start time" il 2006 e come "end time" il 2016. Non essendo mutate sostanzialmente le condizioni al contorno ed avendo ottenuto positivi riscontri nel confronto con i trend evolutivi determinati nello studio Morfologico con l'analisi della linea di riva risalente all'anno 2016, i risultati delle simulazioni di dinamica costiera possono comunque ritenersi validi e quindi trasposti per l'arco temporale 2018-2028.

In particolare si evidenzia che tra le simulazioni condotte con il modello di spiaggia GENESIS l'opzione 3 è quella di maggiore interesse per la configurazione proposta con il presente progetto definitivo perché rappresenta proprio lo scenario di assetto previsto per il porto di Marina di Casal Velino tenendo conto della presenza delle nuove dighe foranee (di ponente e levante). In realtà nel suddetto scenario la presenza dell'opera di difesa costiera "a cella" (barriera sommersa con pennelli parzialmente emersi alle estremità), realizzata nel tratto di costa successivo a quello in cui sono presenti le barriere distaccate, rientrava tra le previsioni di progetto, mentre oggi rappresenta il reale stato dei luoghi perché nel frattempo è stato realizzato il complesso sistema delle opere di difesa costiera presenti nel tratto di costa sottoflutto al porto. La simulazione inerente la citata opzione 3 (cui si rimanda per ulteriori dettagli) considerava anche il ripascimento all'interno della cella con il duplice scopo di contenere il trend evolutivo negativo (progressiva erosione della costa) e di apportare un opportuno quantitativo di sedimenti per proteggere efficacemente la zona retrostante la linea di riva attraverso un cospicuo avanzamento della costa. Tale intervento di ripascimento non è stato eseguito per la mancanza dei necessari volumi di sedimenti da versare nella cella. Come già evidenziato nello studio geomorfologico allegato al presente progetto definitivo (che ha aggiornato l'analogo studio geomorfologico redatto nel 2008 prendendo in considerazione anche il periodo 2012-2016) il tratto di costa all'interno della cella di difesa litoranea risente della mancanza di tale apporto, mantenendo un trend evolutivo negativo ovvero un arretramento progressivo della linea di riva. Peraltro come indicato nelle conclusioni, la presenza delle due nuove dighe foranee (già previste nella configurazione del PP-2008) risulta ininfluyente per i tratti

Progetto Definitivo – Messa in sicurezza infrastrutturale e adeguamento del porto di Marina di Casal Velino
di costa limitrofi all'infrastruttura portuale, anche se nelle simulazioni eseguite era stato considerato un versamento di sabbia all'interno della citata cella.

1 PREMESSE

Lo studio specialistico di morfodinamica costiera è stato redatto dagli Ing. Paolo Contini e Marco Del Bianco con il coordinamento tecnico-scientifico del Prof. Mario Calabrese, nell'ambito del Progetto Preliminare relativo agli interventi di completamento e messa in sicurezza del porto di Casal Velino.

Gli interventi proposti nel presente progetto preliminare prevedono la realizzazione di un nuovo molo di ponente e il prolungamento dell'attuale molo sopraflutto per convertire l'attuale assetto planimetrico del porto, del tipo "a bacino", a quella del tipo "a moli convergenti". Queste nuove opere, impostate su profondità maggiori rispetto alle attuali strutture foranee del porto, rappresentando un differente ostacolo per la propagazione sotto costa del moto ondoso potrebbero condizionare l'attuale regime di morfodinamica litoranea con ripercussioni per le spiagge limitrofe.

Lo studio è stato effettuato con il supporto del modello numerico di spiaggia del tipo ad una linea GENESIS. Questo modello consente di calcolare variazioni della linea di riva indotti, nel medio e lungo termine, dal trasporto solido longitudinale associato alle condizioni di esposizione del sito in esame al moto ondoso, riferendosi ad un regime medio climatico di stati di mare. I risultati di tale modello costituiscono un quadro informativo a supporto delle attività di progettazione degli interventi, finalizzate alla verifica oggettiva delle possibili ripercussioni di questi interventi sulla dinamica litoranea.

Sono state condotte diverse simulazioni per rappresentare i possibili scenari futuri del litorale di Casal Velino, sia in assenza di interventi che in presenza delle nuove opere previste. A tal riguardo si fa presente che sono state condotte delle simulazioni per valutare anche la possibile interferenza con gli interventi di difesa costiera previsti dall'Autorità di Bacino del Sinistra Sele per il tratto di costa a levante del porto.

Già nello studio di fattibilità redatto nel 2007 era stata investigata l'evoluzione del litorale applicando il modello ad una linea GENESIS. In questa sede verranno utilizzate delle assunzioni ed informazioni confermate e dedotte proprio da quella prima applicazione a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Tutte le informazioni riguardanti il clima di esposizione al moto ondoso del paraggio in esame sono state desunte dallo studio meteomarino incluso nel presente Progetto Preliminare cui si rimanda per informazioni più dettagliate.

RIFERIMENTI

[1] Studio di Fattibilità per il completamento del Porto di Casal Velino - Studio Morfodinamico – RT 07 009 R 004 1

[2] Studio di Fattibilità per il completamento del Porto di Casal Velino - Studio Geomorfologico – RT 07 009 R 003 1

[3] Progetto Preliminare per il completamento del Porto di Casal Velino - Studio Meteomarino – PRT 08 014 R 001 0

2 METODOLOGIA E STRUMENTI ADOTTATI

Lo studio di morfodinamica costiera di seguito illustrato rappresenta un ampliamento e un aggiornamento di quello già svolto nell'ambito dello Studio di Fattibilità degli interventi di completamento del porto di Casal Velino. Nel precedente studio sono state affrontate le fasi di validazione e taratura del modello di spiaggia GENESIS, i cui risultati rappresentano la base di partenza di queste nuove simulazioni.

Questa nuova attività di indagine è stata condotta utilizzando il software NEMOS¹, considerato uno dei più validi e completi strumenti attualmente in commercio per le analisi di morfodinamica costiera. Questo software si compone di diverse applicazioni finalizzate a:

- impostare la griglia di calcolo ed il regime di moto ondoso al largo del sito di interesse utilizzando specifici moduli di supporto per la gestione di dati batimetrici ed ondametrici;
- simulare con STWAVE la propagazione del moto ondoso sottocosta;
- analizzare con GENESIS i fenomeni di morfodinamica simulando l'evoluzione della linea di riva.

In particolare GENESIS consente di valutare avanzamenti ed arretramenti della linea di riva nel corso degli anni indotti dal trasporto solido longitudinale a sua volta causato dal moto ondoso frangente lungo il litorale in esame. Il modello è in grado di effettuare un'analisi a grande scala, simulando nel lungo termine (anche decenni) l'evolversi dei fenomeni di morfodinamica costiera lungo ampi tratti di costa anche in presenza di opere di difesa litoranea.

Pertanto, utilizzando i dati provenienti dalle indagini di campo (rilievi batimetrici e topografici) e i risultati dello studio meteomarinario e dello studio geomorfologico, è stato possibile:

- impostare con i moduli WWWL, WAV e SPECGEN il database degli spettri d'onda rappresentativi del clima di moto ondoso al largo
- implementare con GRID GENERATOR una griglia di calcolo rappresentativa della porzione di mare per la propagazione con il modello idrodinamico STWAVE da largo verso riva dei diversi spettri di moto ondoso rappresentativi dell'anno climatico medio;

¹ Nemos è presente all'interno del software package Coastal Engineering Design & Analysis System (**CEDAS** versione 4.03) licenziato dalla Very-Tech. Sviluppato dal Coastal Engineering Research Center (CERC) della United States Army Corps of Engineering (ASCE), considerato in campo internazionale la struttura di riferimento nel settore dell'Ingegneria Costiera.

- calcolare, applicando il modello di spiaggia GENESIS, l'evoluzione della linea di riva a dieci anni per i due diversi scenari ipotizzati: quello di non intervento e quello che prevede il completamento del porto.

Il diagramma di flusso riportato in Figura 1 illustra la sequenza operativa cui fare riferimento per la modellazione morfodinamica costiera utilizzando il software NEMOS. A partire dai dati ondametrici al largo e dai dati batimetrici rappresentativi del sito in esame utilizzando il modello STWAVE si ricava il moto ondoso sottocosta, che costituisce la "forzante" responsabile dei fenomeni di trasporto solido litoraneo. Successivamente, a partire dai dati storici rappresentativi delle caratteristiche morfologiche (linea di riva, diametro dei sedimenti, profondità "attiva" della fascia litoranea, condizioni di evoluzione degli estremi) e dalla configurazione di calcolo comprensiva di eventuali strutture (opere radenti, trasversali, distaccate) è possibile valutare con GENESIS il trasporto solido longitudinale e la variazione della linea di riva registrata in ogni cella di calcolo all'interno dell'intervallo di simulazione.

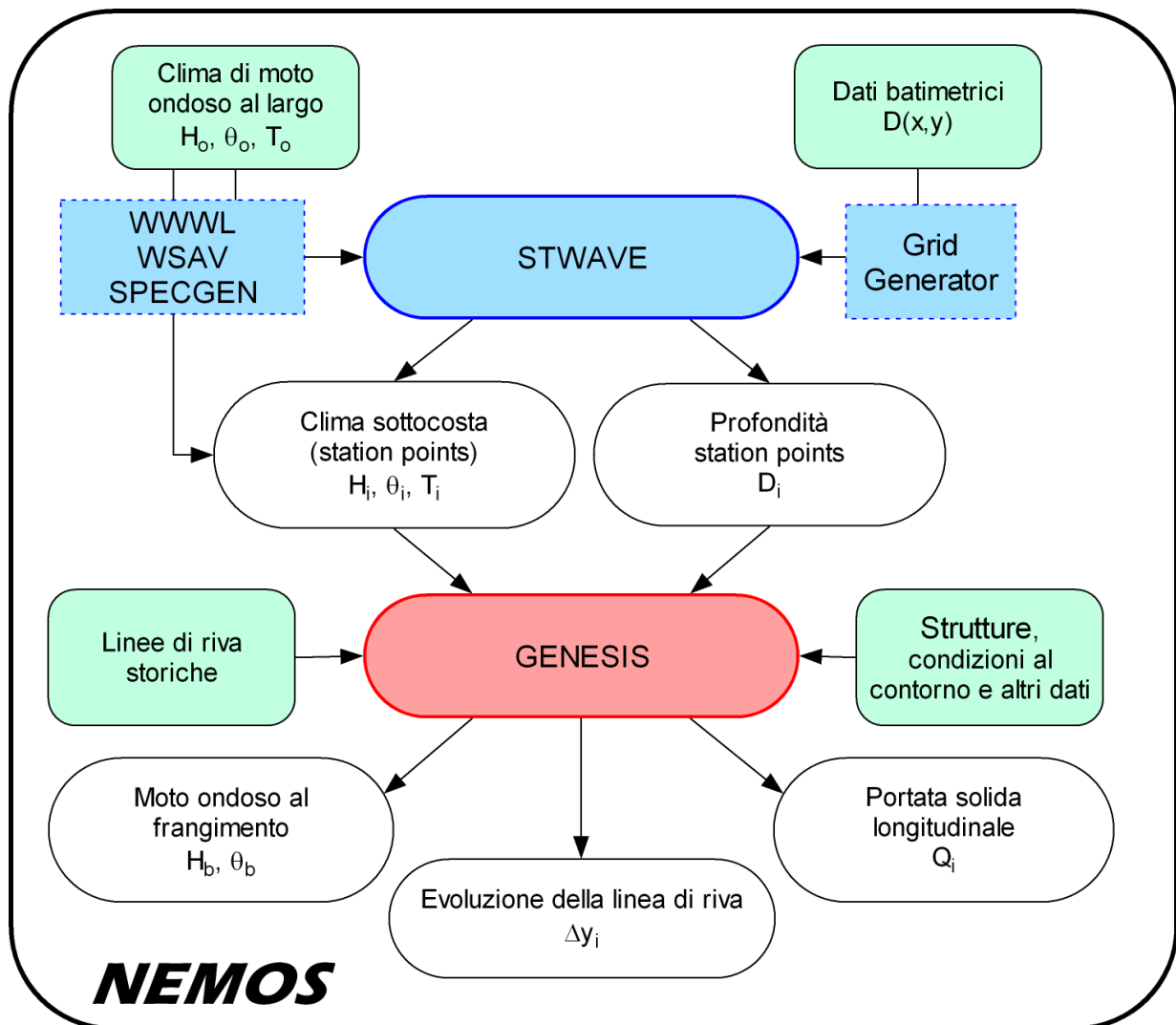


Figura 1. Schema di utilizzo del pacchetto Nemos. In verde sono indicati tutti gli input necessari ai modelli STWAVE e GENESIS, in bianco sono invece indicati gli output.

3 INTRODUZIONE AL MODELLO AD UNA LINEA GENESIS

Il codice di calcolo GENESIS², rientra nella categoria dei modelli numerici “di spiaggia” del tipo “ad una linea” basati sull’ipotesi che il profilo trasversale della spiaggia rimanga costante nel tempo e di conseguenza le variazioni di volume dovuti al trasporto longitudinale associato al moto ondoso provochino un arretramento o un avanzamento della linea di riva.

I modelli numerici di spiaggia ad una linea si basano infatti sulle seguenti ipotesi:

- Il profilo della spiaggia, condotto trasversalmente alla linea di riva, non cambia nel tempo ma trasla rigidamente sulla base della variazione della posizione della linea di riva.
- La componente longitudinale del trasporto solido litoraneo è strettamente correlata all’altezza ed alla direzione del moto ondoso frangente la cui variazione lungo il litorale in esame è anch’essa condizionata dalla variazione nel tempo della posizione ed orientamento della linea di riva
- Si prescinde da un calcolo diretto della componente trasversale del trasporto solido litoraneo che può essere comunque introdotto a priori anche al fine di simulare ad esempio apporti solidi fluviali, perdite verso il largo e/o interventi di ripascimento.

Pertanto sulla base del calcolo numerico della componente longitudinale del trasporto solido litoraneo associato al moto ondoso e della sua variazione nel tempo e lungo il litorale è possibile definire, attraverso un “bilancio di massa” condotto per tratti discreti del litorale (con il metodo alle differenze finite), la conseguente variazione della posizione della linea di riva. Procedendo con iterazioni di calcolo successive nel tempo, al variare anche delle condizioni di moto ondoso (in termini di durate nel tempo e per caratteristiche di altezza, periodo e direzione dell’onda), si simulano le conseguenti variazioni della linea di riva.

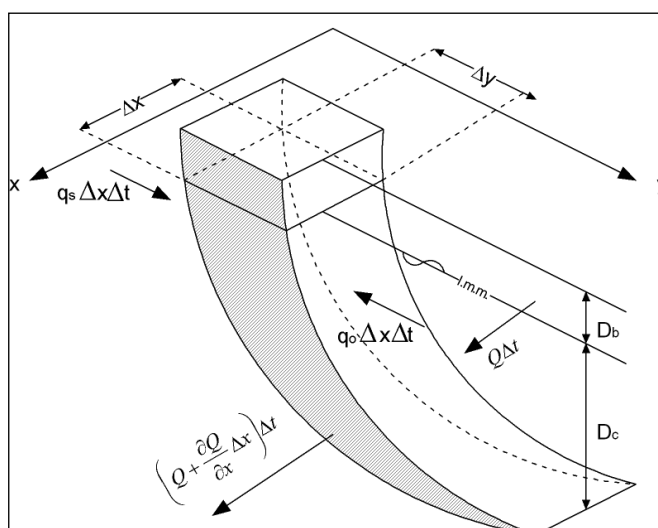


Figura 2. Schema di calcolo del modello ad una linea.

² GENERalized Model for SIMulating Shoreline Change
18 002 R 005 1 - Studio Morfodinamico

Con riferimento alla Figura 2, la relazione fondamentale dei modelli di spiaggia del tipo ad una linea è la seguente equazione di continuità:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_b + D_c)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} \pm q \right) = 0$$

Nella quale $y(x,t)$ rappresenta la posizione della linea di riva, rispetto ad un riferimento cartesiano, variabile lungo l'asse x e nel tempo. $Q(x,t)$ è la portata solida longitudinale, mentre $q=q_s+q_o$ rappresenta la portata entrante o uscente dovuta ad altre cause, come ad esempio un apporto fluviale di sedimenti oppure una perdita verso il largo dovuta ad una corrente di *rip*. I due termini D_b e D_c sono rispettivamente l'altezza della berma della spiaggia sopra il livello medio mare e la profondità di chiusura, oltre la quale gli effetti del trasporto longitudinale non sono più apprezzabili.

Il termine Q , che esprime il trasporto solido longitudinale, viene modellato con la nota relazione, di origine semi empirica, fornita dal CERC:

$$Q = (H^2 c_g)_b \left[a_1 \sin 2\theta_b - a_2 \cos \theta_b \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b$$

Nella quale H è l'altezza d'onda significativa, c_g rappresenta la celerità di gruppo con cui si propagano le onde, θ è l'angolo che localmente il fronte d'onda forma con la linea di riva. Il pedice b sta ad indicare che tutte le grandezze vanno valutate in condizioni di frangimento per l'onda incidente.

I parametri monodimensionali a_1 e a_2 sono dati dalle seguenti espressioni:

$$a_1 = \frac{K_1}{16 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot (1-p) \cdot (1.416)^{5/2}}$$
$$a_2 = \frac{K_2}{8 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot (1-p) \cdot (\tan \beta) \cdot (1.416)^{7/2}}$$

Dove ρ_s e ρ rappresentano rispettivamente la densità della sabbia e dell'acqua³, p la porosità del fondo sabbioso, $\tan \beta$ la pendenza media del fondale dalla riva alla profondità di chiusura.

I coefficienti K_1 e K_2 rappresentano i parametri di calibrazione e taratura del modello,

Il modello assume per il profilo di spiaggia, al di sotto del livello medio marino, l'andamento parabolico definito dall'equazione di Dean:

$$D = Ay^{\frac{2}{3}}$$

³ I valori di densità e porosità sono fissati nel modello di calcolo e valgono rispettivamente $\rho_s=2.65 \times 10^3$ kg/m³ per la sabbia, $\rho=1.03 \times 10^3$ kg/m³ per l'acqua di mare e $p=0.4$ per la porosità della sabbia.

In cui la profondità D è funzione della distanza dalla linea di riva, y , e dipende dal parametro A che tiene conto della granulometria della spiaggia. Ne consegue che a parità di distanza dalla riva con sedimenti grossolani si avranno profondità maggiori rispetto a sedimenti più fini.

Il codice di calcolo GENESIS è in grado di simulare la variazione della linea di riva e quindi la “risposta morfodinamica” del litorale in esame anche in presenza di strutture poste lungo il litorale per le quali è in grado di calcolare gli effetti di diffrazione indotti sulle onde che si propagano verso costa. Il modello è anche in grado di simulare le variazioni della linea di riva dovuti a interventi di ripascimento della spiaggia o ad apporti solidi alle foci dei fiumi.

Il sistema di modellazione può essere applicato per una grande varietà di dati di input dell’onda al largo, per distinte conformazioni planimetriche della spiaggia e in presenza di strutture costiere ed interventi di ripascimento.

La principale versatilità di GENESIS risiede nella possibilità di simulare l’evoluzione della linea di riva e quindi la “risposta morfodinamica” di un litorale in presenza di opere di ingegneria marittima e costiera, come nel caso di interventi composti da opere tradizionali e/o interventi di ripascimento. Sul tratto di costa modellato, possono essere rappresentate combinazioni e configurazioni arbitrarie di strutture (pennelli, frangiflutti distaccati o radenti alla linea di riva) e ripascimenti. Il modello è in grado di simulare l’interazione di queste opere di difesa costiera non solo in termini di variazione lungo il litorale del campo moto ondoso (in altezza e direzione) ma anche in termini di trasporto longitudinale, simulando la permeabilità delle opere.

È doveroso precisare che il modello GENESIS ha delle limitazioni, al pari di tutti i modelli del tipo ad una linea, dettate dalle assunzioni di base; il programma di calcolo utilizza un profilo analitico di tipo parabolico a batimetrie parallele e pertanto non tiene conto della batimetria reale dei fondali. Inoltre il modulo interno di propagazione del moto ondoso dal largo verso riva è in grado di valutare i soli fenomeni di shoaling e rifrazione (utilizzando la legge di Snell) ma non tiene conto dei fenomeni di riflessione/assorbimento delle onde. Relativamente al modulo di calcolo del bilancio solido, e conseguente evoluzione della linea di riva, in presenza di barriere frangiflutti distaccate dalla linea di riva è possibile simulare solo la fase incipiente di formazione del saliente a tergo dell’opera, ma non la formazione del “tombolo”, cioè della connessione della linea di riva alla struttura. Vi sono infine delle restrizioni nel numero complessivo, posizionamento e orientamento delle opere.

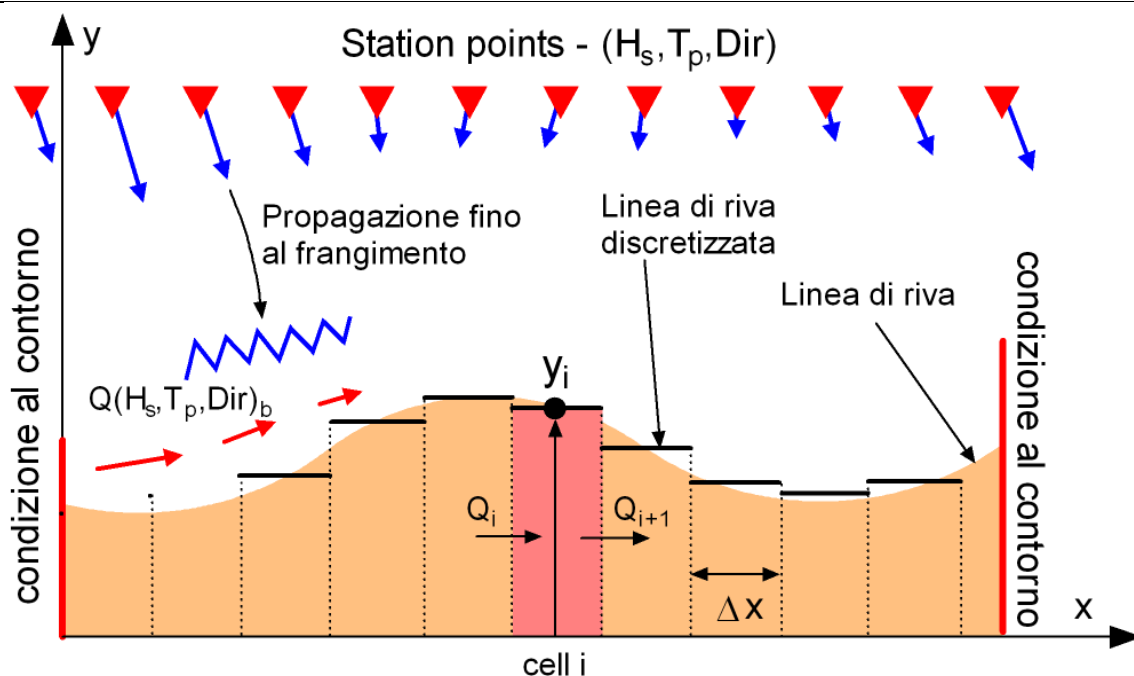


Figura 3. Rappresentazione schema del funzionamento del GENESIS a seguito dell'utilizzo del modello di propagazione STWAVE.

Il limite operativo della propagazione del moto ondoso da largo verso riva con il modulo semplificato insito in GENESIS può comportare errori di valutazione del campo d'onda sottocosta che potrebbero vanificare i risultati dei successivi calcoli del trasporto e bilancio solido. A tal scopo è opportuno, come nel caso in esame, abbinare al modello GENESIS la preventiva applicazione del modello di propagazione STWAVE trasferendo i risultati del campo d'onda propagato, in termini di altezza d'onda, periodo e direzione in alcuni punti definiti come *station points* prossimi alla fascia costiera.

In questo modo a GENESIS viene lasciato il compito di propagare con il suo modello interno le onde dagli station-points fino al frangimento. In Figura 3 è riportato uno schema che illustra i principi di funzionamento del modello GENESIS in concomitanza con l'utilizzo del modello di propagazione del moto ondoso STWAVE.

4 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI PROPAGAZIONE STWAVE

Il modulo STWAVE è un modello spettrale alle differenze finite che consente di propagare stati di moto ondoso all'interno di un dominio di calcolo rappresentativo di una generica batimetria con valori $d = d(X, Y)$. Il modello utilizza come condizione al contorno, lungo il bordo esposto verso largo, gli spettri di energia precedentemente generati a partire dagli eventi di moto ondoso in ingresso. Il modulo STWAVE simula i principali fenomeni di propagazione e generazione del moto ondoso per fondale variabile, come gli effetti di rifrazione e shoaling, la generazione dovuta al vento e gli effetti dissipativi dovuti al frangimento.

4.1 Definizione della griglia di calcolo

Il primo passo per l'applicazione del modello è la definizione della griglia di calcolo a passo regolare che viene creata a partire da una serie di punti X,Y,Z.

In Figura 4 è rappresentata la griglia di calcolo utilizzata per le simulazioni. In rosso sono riportati i punti sottocosta (*station points*), impostati sulla batimetrica -8.0 m s.l.m., in cui sono stati registrati i dati di moto ondoso in modo da stabilire un database tale da fornire una corrispondenza largo riva per gli eventi di moto ondoso.

La griglia è stata costruita a partire dai dati batimetrici provenienti dalla Carta Nautica (foglio CN 11) integrati con i rilievi batimetrici di dettaglio realizzati nell'ambito dello studio di fattibilità.

La griglia si estende per 8000 m lungo l'asse X e di 10000 m lungo l'asse Y; l'angolo tra il Nord e l'asse X del sistema di riferimento di STWAVE è pari a 30°; il passo di discretizzazione adottato è pari a 20 metri. Complessivamente la griglia copre una superficie di 80 km² per un totale di 200901 nodi di calcolo (401x501).

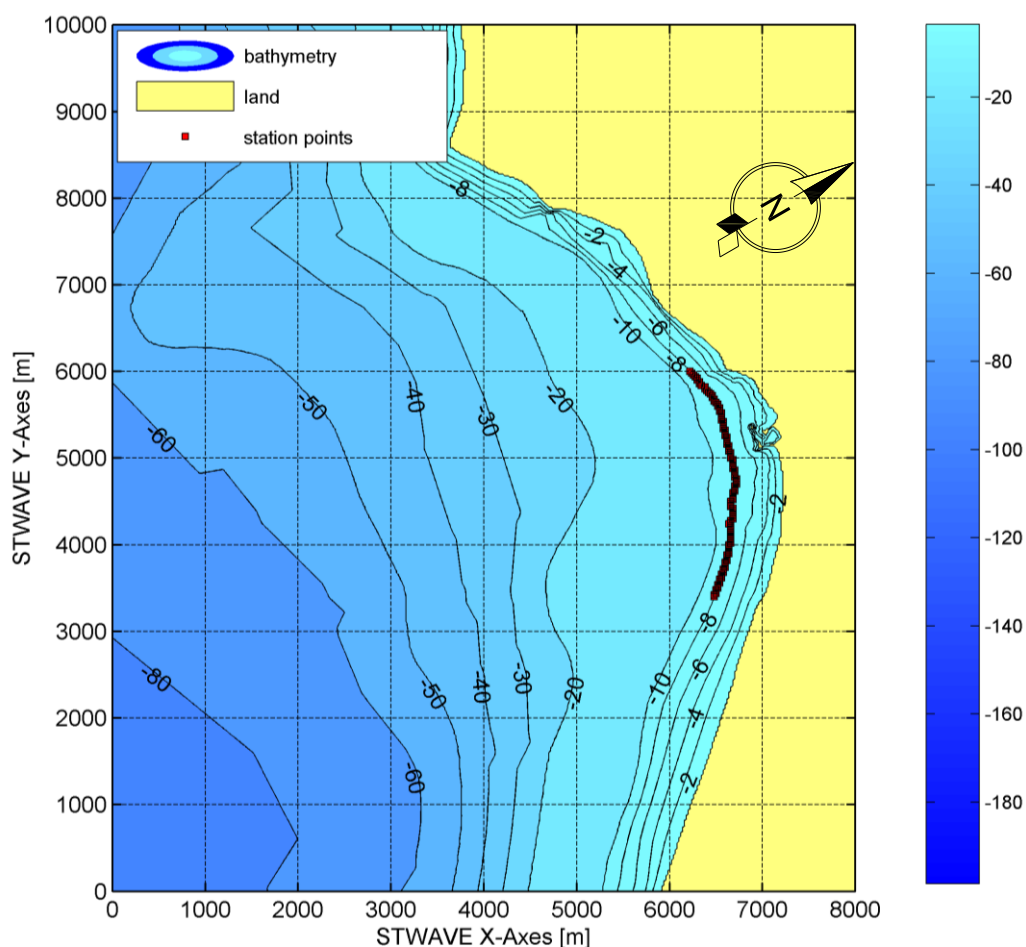


Figura 4. Griglia di calcolo utilizzata dal modello STWAVE per le simulazioni relative al sito di Casal Velino.

4.2 Condizioni al contorno e clima d'onda in ingresso

Il clima d'onda, utilizzato come condizione al contorno del modello, è stato sintetizzato a partire dai risultati ottenuti, con lo studio meteomarinario riferito alla serie storica (1989-2005) delle registrazioni ondometriche direzionali di Ponza, trasferita al largo del sito in esame, alla profondità di 200 m, con un opportuno metodo di trasposizione geografica. I risultati, riassunti nelle tabelle di frequenza di accadimento stagionali [3], hanno permesso di definire, all'interno di ogni stagione, una serie di eventi triorari i quali sono stati successivamente ridistribuiti casualmente secondo una distribuzione di tipo Gauss con varianza 1 e media nulla.

Successivamente è stato applicato il modulo WISPHS3 del software Nemos che consente, tramite una semplice trasformazione spettrale point-to-point, di trasferire le onde da elevate profondità ad un arbitraria profondità. In tal modo è stato possibile trasferire i dati ondometrici dal punto di trasposizione al largo, $d=-200$ m, al bordo della griglia di calcolo del modulo di propagazione con profondità media di -80 m s.l.m.m..

Complessivamente sono stati sintetizzati 2920 stati di mare con cadenza trioraria, rappresentativi dell'anno climatico medio. È stato assunto come settore di traversia quello compreso tra 140° e 280° N. Del totale di 2920 eventi, 1589 (~54%) sono risultati inferiori, come altezza d'onda significativa, a 0.5 m o esterni al settore di traversia indicato.

Tali eventi costituiscono un contributo trascurabile o nullo al flusso longitudinale che causa la modellazione della spiaggia e sono stati di conseguenza assunti come valori di calma. I restanti 1331 eventi sono stati suddivisi secondo classi di altezza, periodo e direzione come riportato nella tabella climatica di Figura 5. Nel complesso sono stati definiti 65 stati di mare rappresentativi del clima meteomarinario al largo di Casal Velino, contraddistinto pertanto da valori di altezza d'onda compresi tra 0.75 m e 5.5 m provenienti dal settore di traversia al largo compreso tra 140° e 280° N.

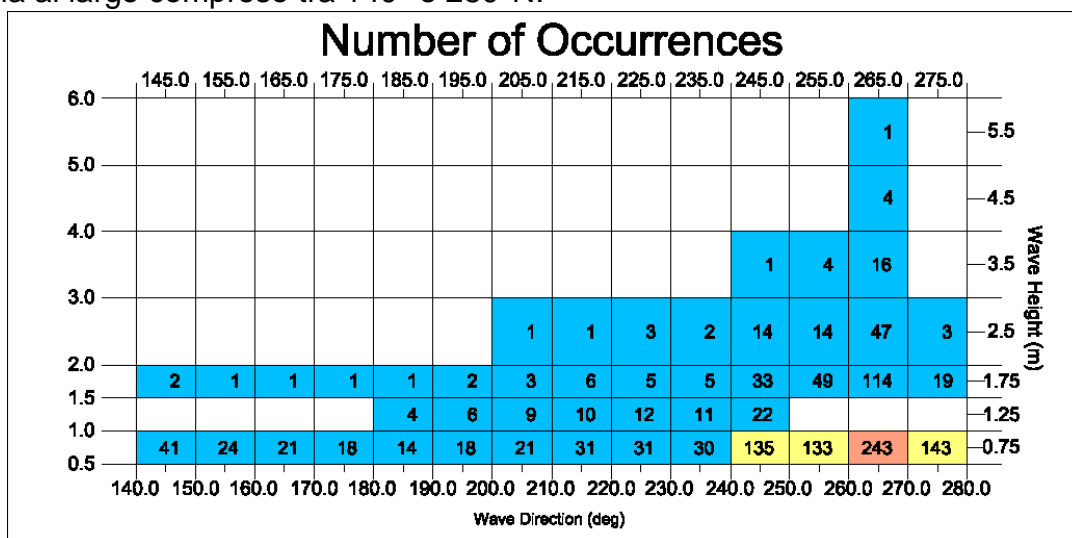


Figura 5. Rappresentazione grafica della suddivisione in classi di altezza e direzione degli eventi triorari di moto ondoso rappresentativi dell'anno climatico medio al largo di Casal Velino, sul bordo lato mare della griglia di calcolo..

4.3 Propagazione degli spettri d'onda associati agli eventi significativi

Gli eventi significativi precedentemente definiti sono stati successivamente propagati da largo verso riva con STWAVE in modo da ottenere la corrispondenza tra largo e riva sia negli station points. Essendo STWAVE un modello di propagazione spettrale è necessario definire per tutti gli eventi significativi uno spettro rappresentativo variabile in frequenza e direzione. Con l'applicazione SPECGEN, interna al software NEMOS, si possono generare diverse tipologie di spettri (JONSWAP, Pierson-Moskowitz, TMA). La distribuzione direzionale dell'energia viene valutata utilizzando la formula di Mitsuyashu. I diversi spettri, rappresentativi dei 65 stati di mare precedentemente definiti, sono stati così propagati con STWAVE sulla griglia di calcolo. In Figura 6 è rappresentato a titolo di esempio il campo d'onda ottenuto per la propagazione dell'evento $H_s = 1.75$, $T = 6.0$ s $Dir = -50^\circ$ X (260° N) rappresentativo dell'onda morfologica annuale.

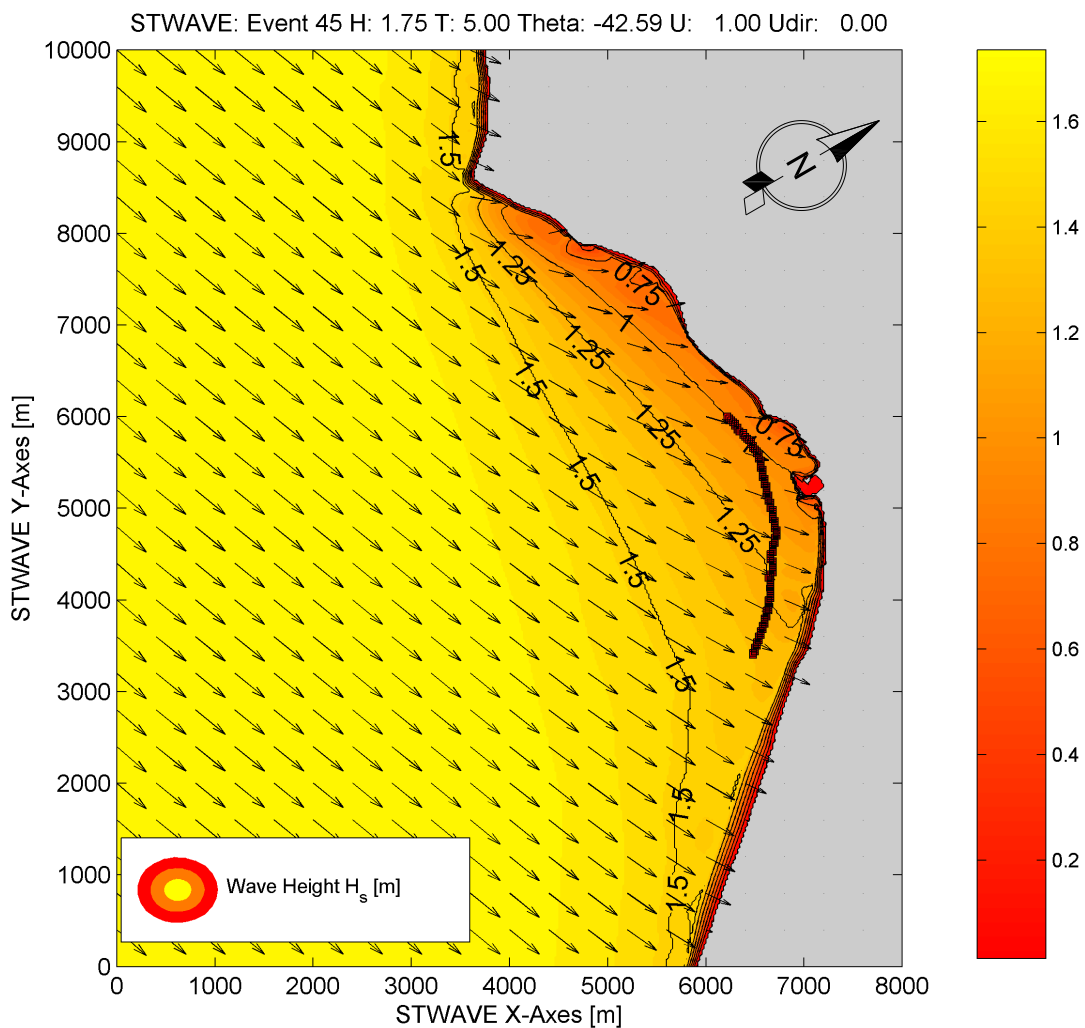


Figura 6. Rappresentazione del campo di altezza d'onda relativo alla propagazione di uno dei 65 stati mare propagati, in particolare l'immagine è relativa all'evento [$H_s = 1.75$ $T = 6.0$ s $Dir = -50^\circ$ X (260° N)] rappresentativo dell'onda morfologica annuale.

5 APPLICAZIONE DEL MODELLO GENESIS

Successivamente all'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso STWAVE è stato applicato al sito di Casal Velino il modello numerico di spiaggia GENESIS per valutare l'evoluzione nel medio-lungo periodo della posizione della linea di riva.

Come già è stato illustrato, la presente applicazione del modello GENESIS rappresenta il proseguimento dello studio di morfodinamica costiera svolto nell'ambito dello studio di fattibilità del completamento del porto di Casal Velino. Le analisi morfologiche e morfodinamiche condotte per la fattibilità degli interventi di completamento del porto rappresentano perciò una base di riferimento per il presente e studio a cui si rimanda per eventuali approfondimenti [1] e [2].

Il litorale di Casal Velino è caratterizzato dalla presenza di un tratto di costa alta, di natura rocciosa, a Nord del porto di Casal Velino (sopraflutto), mentre il tratto a Sud (sottoflutto), prevalentemente sabbioso, risente in modo evidente dell'azione del moto ondoso incidente, prima causa della deriva longitudinale dei sedimenti. Nonostante gli interventi di difesa costiera messi in opera, quali barriere e difese radenti, tale tratto di costa presenta evidenti segni di erosione.



Figura 7. Inquadramento del sito in esame.

Il modello numerico GENESIS compreso nel software Nemos, utilizzato in questa fase di studio, ha capacità di calcolo superiori rispetto alla versione precedentemente utilizzata (release 3.0 del 94) per lo studio di fattibilità e in particolare le migliorie consistono in:

- Possibilità di utilizzare le onde propagate sottocosta negli station points applicando il modello STWAVE.
- Incremento delle celle di calcolo pari a 1000 celle.
- Nessun limite nell'inserimento delle strutture.

Questo ha permesso di rappresentare in modo più dettagliato il clima di moto ondoso sottocosta in termini di altezza, periodo e direzione delle onde, di implementare una griglia di calcolo più dettagliata e di introdurre nel modello tutti gli elementi rappresentativi dello scenario reale (barriere, pennelli, opere foranee del porto).

Al fine di valutare le possibili interferenze della configurazione portuale, proposta dal presente progetto preliminare, sulla morfodinamica costiera anche in presenza delle nuove opere di protezione del litorale di Casal Velino, proposte dall'Autorità di Bacino Sx Sele, sono state condotte diverse simulazioni rappresentative dei diversi scenari futuri possibili.

È stata innanzitutto simulata l'evoluzione della posizione della linea di riva, con una finestra temporale di 10 anni, in assenza di alcun intervento, in modo da valutare con il modello la naturale evoluzione dello scenario attuale. Tale scenario rappresenta l'*opzione 0*. Successivamente è stata simulata la possibile influenza delle opere portuali qui proposte sui processi di morfodinamica costiera. Sono state quindi inserite nello schema di calcolo le nuove opere foranee previste e la linea di riva di progetto per valutare l'evoluzione a 10 anni. Questo scenario rappresenta l'*opzione 1*. Dopo di che, per avere un termine di paragone, è stata valutata l'evoluzione della linea di riva in presenza delle nuove opere di difesa costiera previste dal piano proposto dall'Autorità di Bacino Sx Sele in assenza di qualsiasi intervento di completamento sul porto, con una finestra temporale di calcolo di 10 anni. Tale scenario rappresenta l'*opzione 2*.

Infine sono state condotte le simulazioni inserendo sia gli interventi di difesa precedentemente descritti sia le opere foranee previste dal presente progetto preliminare per il completamento del porto di Casal Velino. Questo scenario rappresenta l'*opzione 3*.

Lo studio è stato diviso in due distinte fasi, la prima fase ha avuto come oggetto la definizione della griglia e delle condizioni di calcolo e la taratura del modello che, a seguito delle nuove capacità di modellazione adottate, hanno permesso di implementare il modello numerico in modo ottimale. La seconda parte dello studio ha invece riguardato la simulazione dell'evoluzione a lungo termine (10 anni) dei diversi scenari considerati. Tali scenari, come già indicato in precedenza sono distinti nel modo seguente:

- Situazione attuale, in assenza di interventi (opzione zero).
- Scenario di progetto, realizzazione delle nuove opere foranee per il completamento del porto di Marina di Casal Velino (opzione 1).

- Scenario attuale in presenza delle opere di difesa costiera previste dall’Autorità di Bacino Sinistra Sele (opzione 2).
- Scenario di progetto in presenza delle opere di difesa costiera previste dall’Autorità di Bacino Sinistra Sele (opzione 3).

5.1 Definizione della griglia e delle condizioni di calcolo

La griglia di calcolo adottata per le simulazioni è rappresentata in Figura 8. L’asse orizzontale di riferimento è orientato a 300° N e ha lunghezza complessiva di 2590 m. Il passo di discretizzazione Δx è di 10 m per un totale di 261 celle di calcolo, mentre il passo temporale di discretizzazione Δt è di 1 ora. Il profilo di spiaggia adottato ha altezza della berma D_b di 1 m s.l.m.m. e una profondità di chiusura D_c di 8 m ed è caratterizzato da un D_{50} pari a 0.25 mm.

Al contorno sono state applicate due distinte condizioni di calcolo. All’estremità destra della griglia è stata imposta una condizione tipo *gated* rappresentativa di un contorno chiuso. Il promontorio di Torre La Punta rappresenta infatti l’estremità di ponente dell’unità fisiografica in cui ricade il litorale di Casal Velino, di conseguenza si assume che gli scambi di sedimenti siano nulli attraverso tale bordo. Per l’estremità sinistra della griglia di calcolo, che ricade in prossimità della foce dell’Alento, è stata imposta una condizione al contorno del tipo *open boundary* regolata dalla presenza di un pennello. Attraverso questo bordo i sedimenti, una volta superata l’estremità lato mare del pennello possono uscire dalla griglia di calcolo. Il flusso di sedimenti può quindi essere diverso da zero in questa risulta diverso da zero in questa sezione, variando in funzione delle condizioni di frangimento del moto ondoso (altezza e direzione) nel suo intorno.

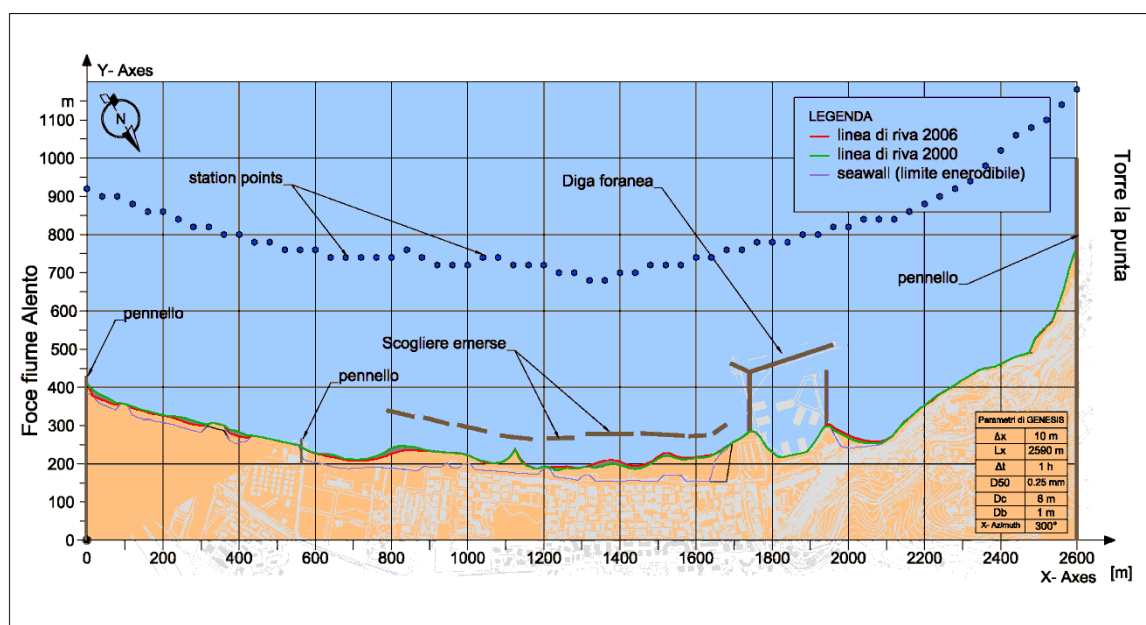


Figura 8. Griglia di calcolo di GENESIS con indicazione degli station points.

La condizione al contorno lato mare è rappresentata dalla serie sintetica trioraria, precedentemente descritta (§4.2), i cui eventi, opportunamente suddivisi in classi di altezza, periodo e direzione, sono stati propagati sottocosta utilizzando il programma STWAVE. I risultati di tale propagazione sono contenuti nei diversi station points, impostati sulla batimetrica -8. In questo modo per ogni evento della serie temporale il modello è in grado di conoscere in ogni station point i valori caratteristici del moto ondoso. Successivamente utilizzando il modello semplificato di propagazione interno al GENESIS sono stati calcolati i fenomeni di rifrazione e shoaling relativi alla serie di onde, dagli station points fino alle condizioni di frangimento calcolando infine il trasporto solido longitudinale. Tutte le simulazioni sono state condotte ipotizzando che le condizioni al contorno applicate (onde in ingresso e condizioni al contorno laterali) precedentemente descritte siano rappresentative anche nello scenario futuro. A tal fine è importante sottolineare che il modello utilizza come onde in ingresso una serie temporale rappresentativa del clima medio di moto ondoso prescindendo da specifici eventi estremi i quali sono associati a fenomeni di morfodinamica nel breve termine (variazione del profilo trasversale) non contemplati dal modello ad una linea.

Nel modello, in fase di taratura e per la rappresentazione dello scenario attuale, sottoflutto al porto, sono stati inoltre inseriti degli *apporti virtuali* di materiale solido nel tratto di costa a tergo delle barriere per tenere conto di molteplici fattori che il modello non è in grado di rappresentare, come l'ingresso e/o l'uscita di sabbia sotto l'azione del moto ondoso attraverso i varchi, eventuali apporti provenienti da corsi d'acqua. Tali apporti sono stati stimati nell'ambito dello studio geomorfologico e risultano in misura di 6.35 m³/m/anno per un fronte di 620 m.

Tabella 1. Parametri di calcolo utilizzati per la simulazione del litorale di Casal Velino.

Parametri di calcolo		
Passo di discretizzazione spaziale	Δx	10 m
Passo di discretizzazione temporale	Δt	1 h
Lunghezza totale	L	2590 m
Numero di celle	N_c	261
Dimensione dei grani della spiaggia	D_{50}	0.25 mm
Profondità di chiusura	D_c	8.0 m
Altezza della berma	D_b	1.0 m
Profondità di ingresso delle onde	D_w	8.0 m

5.2 Taratura del modello

L'obiettivo della fase di taratura è stimare i valori dei due parametri K_1 e K_2 che governano l'equazione del modello. Per la taratura del modello è stato preso in considerazione

l'intervallo temporale di sei anni compreso tra il 2000 ed il 2006. Sono state condotte una serie di simulazioni di variando di volta in volta i valori dei due parametri (in particolare il loro rapporto) a partire dai risultati ottenuti nello studio di fattibilità ($K_1 = 0.1$ e $K_2 = 0.01$). La scelta della coppia dei valori ottimali è stata effettuata in modo da minimizzare lo scarto quadratico medio, S , tra i valori calcolati con le simulazioni e quelli misurati relativi al 2006. In fase di taratura si valutato come fallimento il raggiungimento di una condizione di tombolizzazione a tergo di una scogliera.

Tabella 2. Riepilogo dei risultati della fase di taratura del modello GENESIS.

K1	K2	K1/K2	S
0.040	0.030	0.750	fallimento
0.040	0.020	0.500	158
0.060	0.015	0.250	69
0.050	0.0125	0.250	63
0.040	0.010	0.250	57
0.080	0.012	0.150	78
0.100	0.010	0.100	86

I valori ottimali per la taratura sono risultati essere $K_1=0.4$ e $K_2=0.01$.

In allegato è riportata la tavola con i risultati della fase di taratura per i diversi valori dei coefficienti di taratura utilizzati.

5.3 Opzione 0 – scenario di non intervento

L'opzione zero non contempla alcun intervento sul litorale di Casal Velino, ne per il completamento del porto, ne per la difesa del litorale.

La simulazione dell'evoluzione a dieci anni del litorale di Casal Velino è stata effettuata a partire dalla linea di riva rappresentativa del 2006. Nello scenario attuale sono presenti 9 scogliere frangiflutti emerse che nel modello sono state inserite come barriere diffrattive impostate ad un profondità di -2.5 m con trasmissione a tergo nulla o trascurabile. Le opere foranee del porto sono state schematizzate utilizzando pennelli e barriere frangiflutti in grado di esercitare diffrazione sui fronti d'onda incidenti. A tergo della linea di riva è stato inserito un limite inerodibile, utilizzando una condizione tipo *seawall*. In questo modo è stato possibile modellare il tratto di costa rocciosa considerato inerodibile ai fini del modello di evoluzione della spiaggia. Il *seawall* consente inoltre di inserire nel modello i tratti di costa difesi da opere radenti e/o infrastrutture (manufatti, strade, edifici etc) poste dietro la linea di riva che rappresentano limiti inerodibili nel modello.

La simulazione dell'opzione 0 contempla la presenza di apporti solidi trasversali a tergo delle barriere così come specificato in precedenza (§5.1). In allegato è riportata la planimetria del litorale simulato con rappresentazione della linea di riva simulata, la schematizzazione assunta per le opere ed i parametri di calcolo adottati. Nella figura seguente è riportata la variazione, ottenuta con la simulazione dell'opzione 0, tra la

condizione iniziale e la linea di riva ottenuta al termine della simulazione di durata di 10 anni.

L'evoluzione a lungo termine mostra i segni di un litorale che risulta in costante erosione per il lento processo di orientamento naturale della linea di riva rispetto alla direzione prevalente del moto ondoso. I fronti d'onda forzano il litorale ad orientarsi ortogonalmente alla risultante locale del moto ondoso come si osserva all'estremità sinistra della griglia di calcolo. Nel tratto di litorale ove sono presenti le scogliere frangiflutti tali processi sono in parte contenuti, si nota una tendenza alla formazione di salienti a tergo delle barriere anche se a discapito dei tratti di costa limitrofi. Questo si traduce in un andamento sinusoidale della variazione media annua ottenuta. Al di fuori della zona di influenza delle barriere si osserva un rapido incremento dei fenomeni erosivi che causano un evidente arretramento della fascia costiera compresa tra le ascisse 700 e 900 m.

A destra del porto si evidenzia un accumulo di sedimenti provocato dal trasporto solido longitudinale, che risulta orientato da destra-verso sinistra. La circolazione dei sedimenti accumulati in questa zona (non contemplata nel modello numerico ad una linea), dovuta alle correnti indotte dal moto ondoso, può provocare fenomeni di insabbiamento dell'imboccatura portuale attuale.

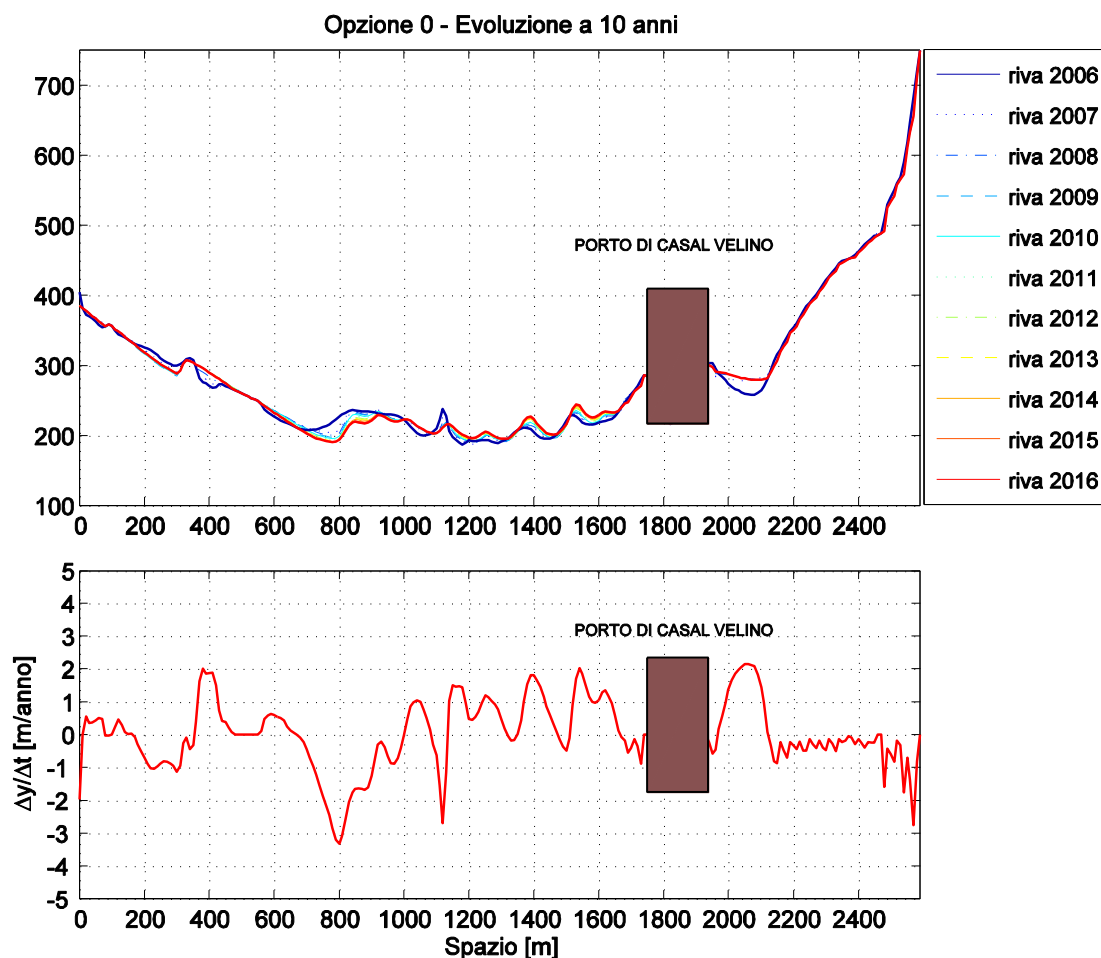


Figura 9. Evoluzione della posizione della linea di riva nel tempo e rateo di variazione annua ottenuto per la simulazione dell'opzione 0.

5.4 Opzione 1 – scenario di intervento

L'opzione 1 rappresenta lo scenario di intervento previsto dal presente progetto preliminare, e contempla l'ampliamento del porto di Marina di Casal Velino con la riconfigurazione dell'attuale struttura portuale in un porto a moli convergenti. Con riferimento alla Figura 10, la nuova configurazione portuale proposta vede la realizzazione di una nuova diga di ponente per la difesa di un nuovo bacino il quale, assieme alla realizzazione di una nuova diga di levante, radicata sull'attuale molo di sopraflutto del porto, viene a formare un avamposto in grado di smorzare il moto ondoso. L'intervento si completa con la realizzazione di una spiaggia protetta, ottenuta con un ripascimento delimitato e protetto dalla nuova diga di ponente e da una barriera sommersa connessa ad un pennello a T radicato a terra.

Le opere previste dal progetto preliminare sono state schematizzate e inserite nel modello di calcolo per valutare l'evoluzione della linea di riva in loro presenza. Le nuove dighe sono state inserite nel modello come barriere frangiflutti con trasmissione nulla impostate sulla batimetrica -6 m s.l.m.m.. Le opere poste a difesa del ripascimento sono state modellate come una barriera sommersa ($K_t=0.65$) connessa alla diga di ponente e ad un pennello radicato a terra.

La linea di riva iniziale, relativa all'anno 2006 è stata opportunamente modificata in modo da tener conto delle nuove opere e del ripascimento previsto.



Figura 10. Schema del nuovo lay-out portuale proposto dal presente progetto preliminare

In allegato è riportata la planimetria del litorale simulato per l'opzione 1, con la rappresentazione della linea di riva simulata a dieci anni, la schematizzazione assunta per le opere ed i parametri di calcolo adottati.

Di seguito, in Figura 11, viene riportata la rappresentazione dell'evoluzione della posizione della linea di riva simulata anno per anno e l'andamento del rateo di variazione annua, della posizione della linea di riva, lungo il tratto di costa simulato per l'opzione 1.

Come è possibile osservare, dal confronto con i risultati precedentemente ottenuti per l'opzione 0, lo scenario di evoluzione a lungo termine del litorale sottoflutto al porto di Casal Velino non risente della presenza delle nuove opere foranee inserite nella simulazione.

Sopraflutto al porto il sistema di difesa, formato da una barriera sommersa e da un pennello, posto a protezione del ripascimento previsto dal progetto, assicura il contenimento dei sedimenti. Tale circostanza ha un doppio beneficio, il primo relativo al mantenimento di una sufficiente larghezza di spiaggia (con evidenti benefici sia in termini di fruizione che di protezione del litorale), il secondo relativo alla circolazione dei sedimenti stessi che, essendo validamente "confinati" dalle opere di difesa, più difficilmente possono migrare verso l'imboccatura portuale.

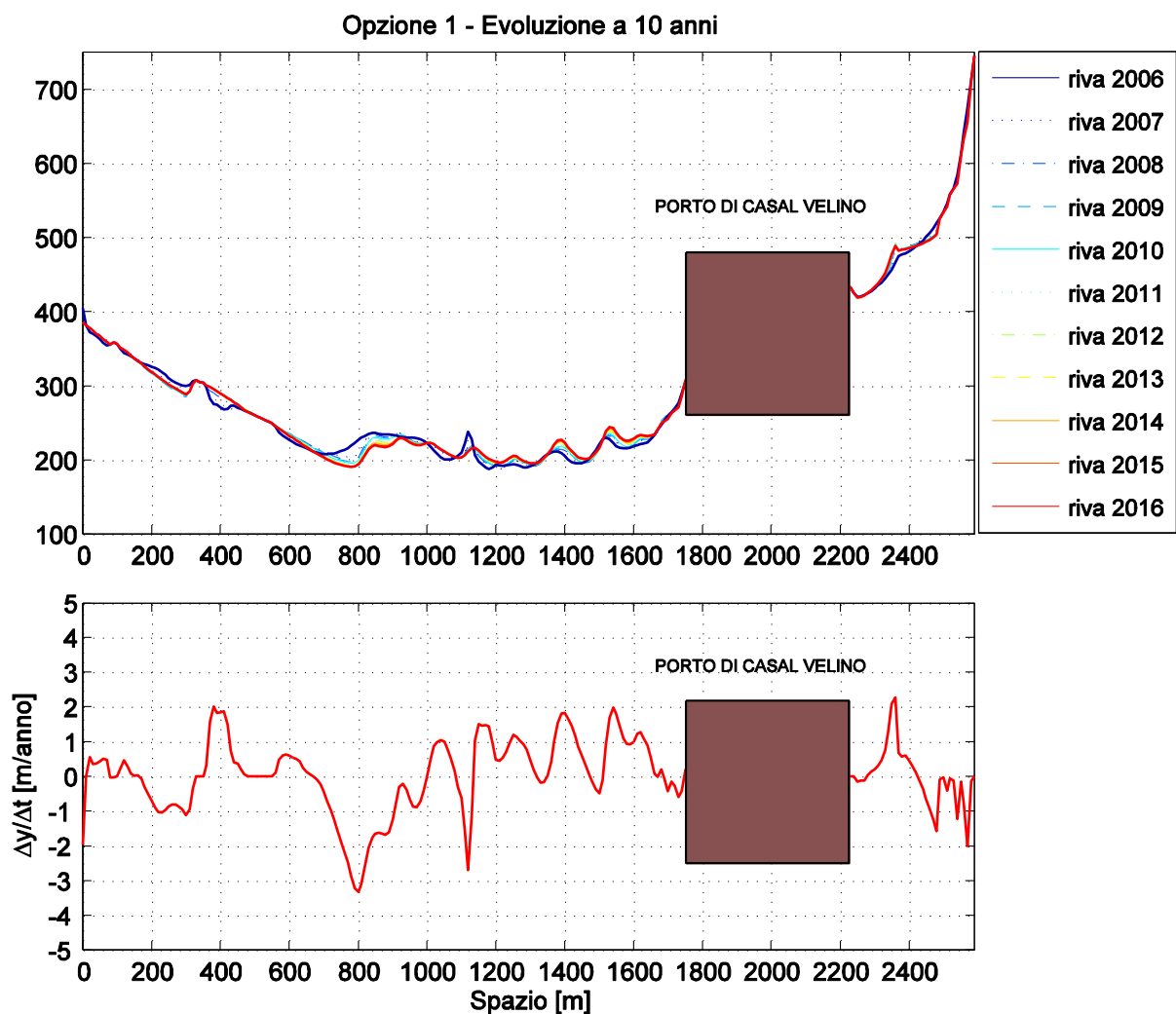


Figura 11. Evoluzione della posizione della linea di riva nel tempo e rateo di variazione annua ottenuto per la simulazione dell'opzione 1.

Opzione 2 – Scenario non intervento in presenza delle opere di difesa costiera previsti dall'autorità di bacino Sx Sele

Allo scopo di studiare possibili interferenze tra le opere di difesa e protezione del litorale, previste per il Comune di Casal Velino a cura dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele, e gli interventi di ampliamento del porto di Marina di Casal Velino presentati in questo studio di fattibilità, sono state condotte delle simulazioni inserendo lo scenario di intervento previsto dal suddetto piano di protezione contro l'erosione costiera.

In particolare il progetto prevede la realizzazione di un ripascimento protetto con opere a gettata sommerse, parallele alla linea di riva, intervallate da varchi per favorire la circolazione delle acque ed il passaggio dei natanti, e pennelli semi-sommersi a chiusura delle celle di ripascimento ed in corrispondenza delle foci dei corsi d'acqua. La quota di sommersenza della barriera sommersa è fissata a $-0,50$ m, i pennelli trasversali di chiusura delle celle sono previsti di tipo semi-sommerso con quota variabile da $-0,50$ m, all'innesto con la scogliera sommersa, a $0,00$ m sulla spiaggia emersa. Una schematizzazione dello scenario di intervento previsto è riportato in Figura 12 .

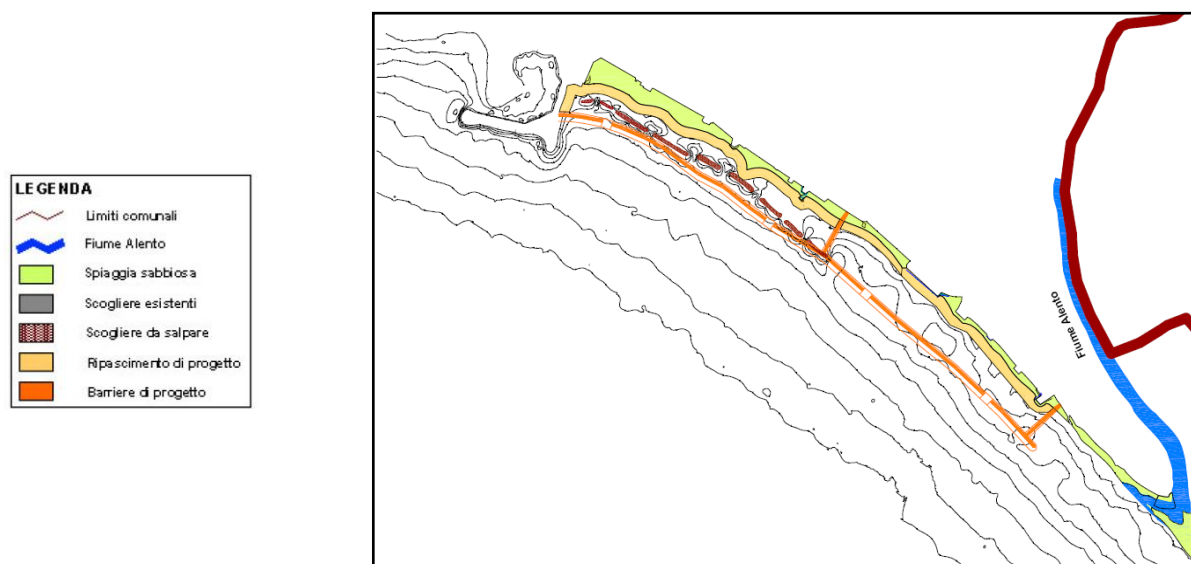


Figura 12. Intervento previsto per la difesa del litorale di Casal Velino per conto dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele. (Fonte: dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele Progetto per interventi per la mitigazione dei fenomeni di erosione costiera e dei rischi ad essi connessi, nei Comuni di: Pollica, Casal Velino e Ascea - Progetto Preliminare)

Nello schema di calcolo del modello GENESIS sono state inserite 5 barriere intervallate da 4 varchi; le barriere, unitamente a due pennelli trasversali radicati a terra e innestati sulle stesse, vengono a formare due grandi celle di contenimento.

La linea di riva iniziale (relativa comunque al 2006) è stata tracciata sulla base della planimetria di intervento proposta dall'Autorità di bacino, che presenta un avanzamento medio di 20 m dalla linea di riva attuale, valutando un possibile andamento planimetrico dell'effettivo intervento di ripascimento.

Per rappresentare al meglio la chiusura della barriera sommersa contro la diga esistente del porto è stata modificata la schematizzazione geometrica di questa opera foranea precedentemente adottata per simulare lo scenario di non intervento.

In allegato è riportata la planimetria del litorale simulato per l'opzione 2, con la rappresentazione della linea di riva simulata a dieci anni, la schematizzazione assunta per le opere ed i parametri di calcolo adottati.

In Figura 13 è riportata l'evoluzione storica della linea di riva ottenuta dalla simulazione anno per anno, in basso è riportato il rateo annuo medio di variazione ottenuto per la simulazione dell'opzione 2. Si noti che in questo caso la linea di riva iniziale, relativa al 2006, è stata rivalutata considerando i volumi di sabbia di ripascimento previsti dall'intervento.

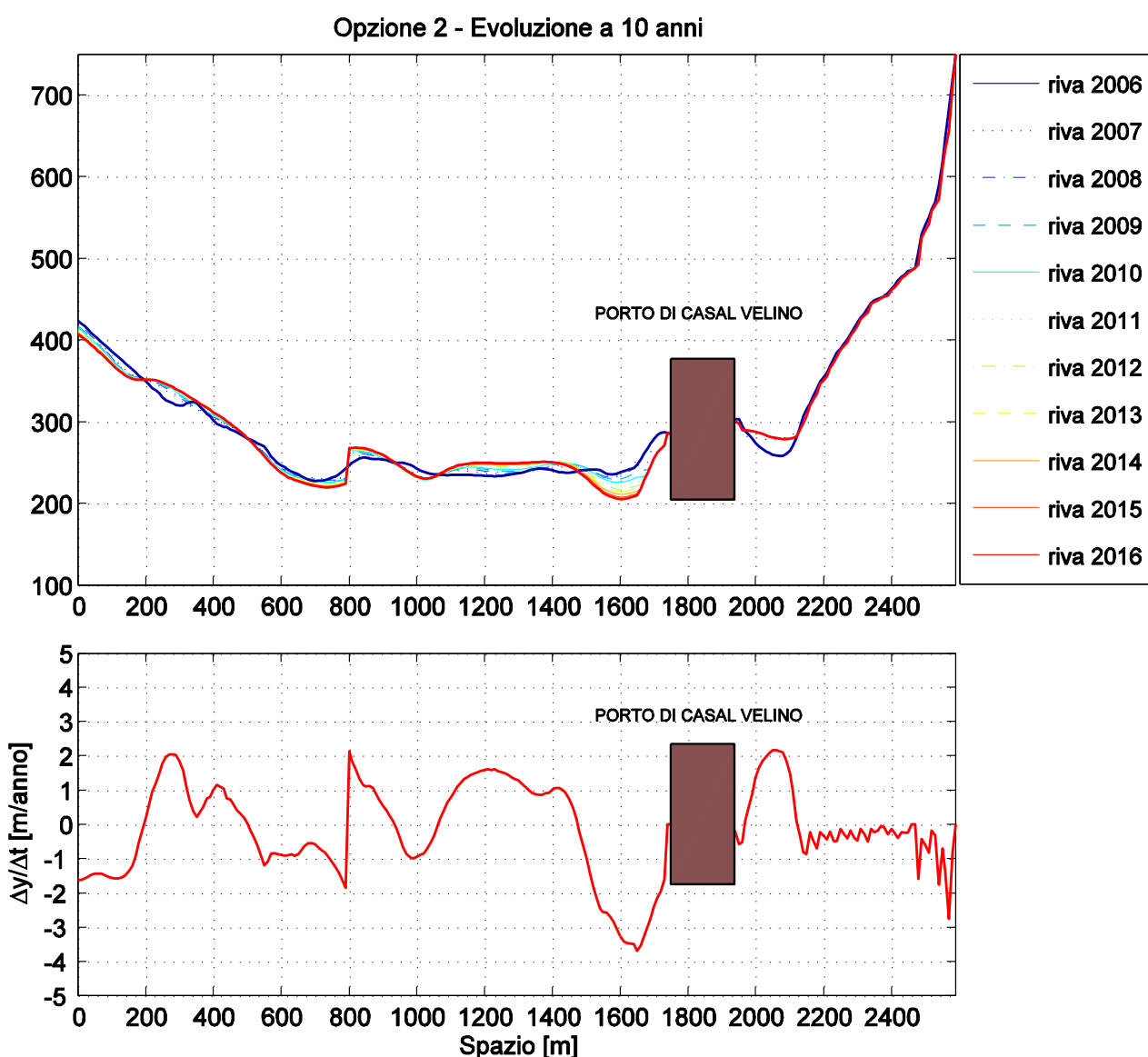


Figura 13. Evoluzione della posizione della linea di riva nel tempo e rateo di variazione annua ottenuto per la simulazione dell'opzione 2.

I risultati mostrano che l'intervento di difesa in fase di attuazione, composto da opere rigide sommerse e da un ripascimento della spiaggia attuale, offre un accettabile livello di protezione del litorale. All'interno delle celle, formate dal sistema di barriere sommerse e dai pennelli semiemersi, i sedimenti risultano ben confinati. Si evidenzia la tendenza alla formazione di salienti a tergo delle barriere con beneficio dei tratti di costa più protetti, che presentano una tendenza all'avanzamento della linea di riva, a discapito dei tratti di costa più esterni che vengono inevitabilmente erosi. Dal confronto con i risultati ottenuti per l'opzione 0 si può verificare che i tratti di costa attualmente soggetti all'erosione risultano, con gli interventi di difesa simulati nell'opzione 2, più protetti. L'evoluzione della linea di riva mostra inoltre che per contrastare la deriva longitudinale dei sedimenti, che inevitabilmente non può essere totalmente annullata, sarebbe auspicabile prevedere interventi di mantenimento di ripascimento lungo il tratto di costa difeso.

5.5 Opzione 3 – Scenario di intervento in presenza delle opere di difesa costiera previsti dall'Autorità di bacino sinistra Sele.

Nelle simulazioni condotte con l'opzione 3 si è contemplato lo scenario futuro in presenza sia degli interventi di difesa costiera, precedentemente descritti ed analizzati, sia delle nuove opere foranee previste dal presente progetto preliminare per il completamento del porto di Casal Velino.

La griglia di calcolo è stata modificata in modo da tener conto sia delle nuove opere foranee, impostate su profondità maggiori rispetto alle attuali, che delle barriere sommerse previste dal piano di difesa costiera in fase di attuazione.

Le nuove dighe per la formazione dell'avamposto sono state inserite nel modello come barriere frangiflutti con trasmissione nulla impostate sulla batimetria -6 m s.l.m.m.. Le opere poste a difesa del ripascimento a nord porto sono state modellate come una barriera sommersa connessa al molo di sopraflutto e ad un pennello radicato a terra.

Le opere di difesa previste dal piano di difesa costiera dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele sono state inserite come barriere sommerse ($K_t=0.65$) connesse a pennelli radicati a terra con permeabilità pari a 0.25.

La linea di riva iniziale (relativa comunque al 2006) è stata tracciata sulla base degli interventi proposti sia dal presente progetto, sia della planimetria di intervento proposta dall'Autorità di bacino, che presenta un avanzamento medio di 20 m dalla linea di riva attuale, valutando un possibile andamento planimetrico dell'effettivo intervento di ripascimento.

In allegato è riportata la planimetria del litorale simulato per l'opzione 3, con la rappresentazione della linea di riva simulata a dieci anni, la schematizzazione assunta per le opere ed i parametri di calcolo adottati.

A seguire, in Figura 14, sono riportate l'evoluzione della posizione della linea di riva durante la simulazione e il rateo annuo di variazione ottenuto per la simulazione a dieci anni dell'opzione 3.

Dal confronto tra i risultati ottenuti per l'opzione 2 e per l'opzione 3 si può constatare che le opere foranee previste dal progetto di completamento del porto non influenzano minimamente il comportamento degli interventi di difesa del litorale proposti dall'autorità di bacino in quanto i risultati nella zona sottoflutto al porto sono equivalenti.

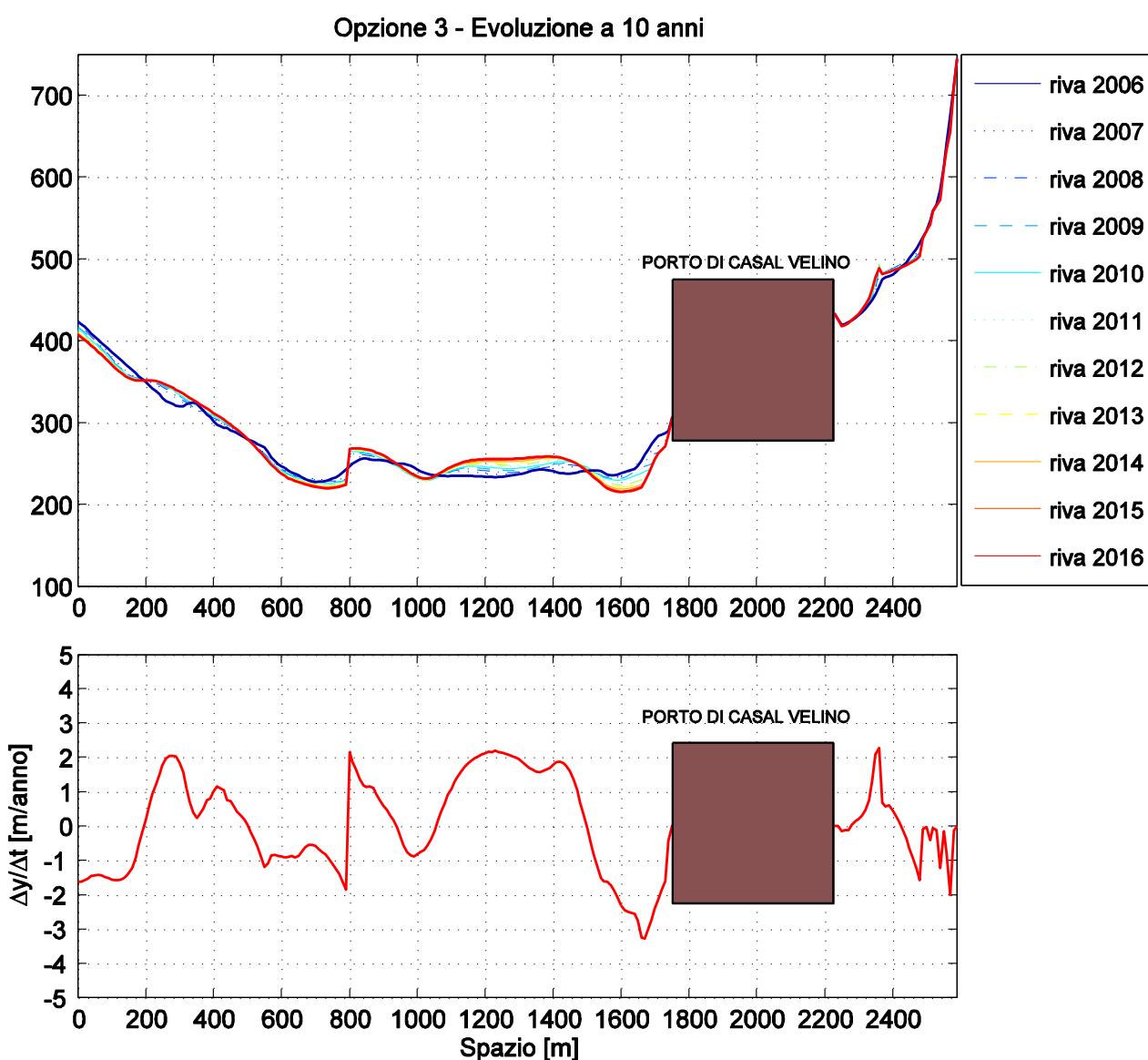


Figura 14. Evoluzione della posizione della linea di riva nel tempo e rateo di variazione annua ottenuto per la simulazione dell'opzione 3 .

6 CONCLUSIONI

Per valutare la possibile influenza delle opere progettate per il completamento del porto di Casal Velino sui processi di morfodinamica costiera è stata condotta un'analisi degli scenari di evoluzione del litorale con l'ausilio del modello numerico di spiaggia GENESIS.

Per sfruttare a pieno le potenzialità del modello sono stati preliminarmente definiti gli stati di mare significativi per il litorale di Casal Velino i quali sono stati successivamente propagati sottocosta con il modello di propagazione spettrale STWAVE per valutare le statistiche del moto ondoso sottocosta lungo il tratto di costa analizzato.

Successivamente sono state condotte diverse simulazioni con il modello ad una linea GENESIS per studiare l'evoluzione a lungo termine della linea di riva del litorale di Casal Velino in quattro diversi scenari attuabili: quello di non intervento (opzione 0), quello che prevede il completamento del porto (opzione 1), quello che contempla la realizzazione dell'intervento di difesa costiera lungo il litorale previsto dall'Autorità di Bacino Sinistra Sele (opzione 2), e infine lo scenario che contempla la realizzazione di entrambi gli interventi (opzione 3). In questo modo è stato possibile effettuare un confronto oggettivo con i risultati ottenuti dalle simulazioni a dieci anni dell'evoluzione della linea di riva.

Per effettuare il confronto tra le diverse opzioni analizzate sono stati considerati dei fattori di confronto ritenuti significativi per l'ambito costiero. In particolare si sono presi in considerazione i seguenti fattori di confronto:

1. **efficacia nei confronti della difesa del litorale.** Inteso come grado di protezione nei confronti dell'erosione costiera. Per quantificare tale fattore si è fatto riferimento alle differenze di posizione ottenute con le simulazioni effettuate con GENESIS. Si è tenuto conto degli interventi di ripascimento (che consentono un avanzamento della linea di riva) e della protezione data dalle opere foranee del porto (sia attuali che di progetto).
2. **impatto visivo delle opere a mare.** Inteso come l'impatto determinato dalla visione delle opere dal mare e dalla spiaggia. Valutato come rapporto tra lo sviluppo del tratto occupato dalle opere di difesa emerse (scogliere frangiflutti, difese radenti, dighe foranee) e l'estensione complessiva del tratto di costa in esame.
3. **influenza sull'attività antropica.** Valutata attraverso due fattori, il primo relativo all'incremento percentuale dei posti barca ottenibile con la realizzazione del porto, l'altro dal rapporto tra l'estensione della spiaggia e l'estensione complessiva del tratto in esame.
4. **costi di realizzazione.** Per confrontare le diverse opzioni, dal punto di vista della spesa, è stato definito un costo lineare per le opere di difesa del litorale (pari a ~8250 €/m comprensivo delle opere in massi naturali e del ripascimento per un totale di 14 M€) ed è stato considerato il costo stimato per l'infrastruttura portuale (~31 M€). Le diverse opzioni sono state rapportate quindi al livello di spesa massima previsto (45 M€) a cui è stato assegnato il peso più negativo.

5. **costi di manutenzione.** Valutati in proporzione al valore dell'opera realizzata, considerando che i costi di manutenzione dell'intervento di ripascimento (i più onerosi) nel caso della realizzazione del porto possono essere ridotti dalla possibilità di dragare il bacino portuale.

Ad ogni fattore di confronto è stato assegnato un peso, variabile da -3 a +3 a cui corrisponde una valutazione, come indicato in tabella:

Peso	Valutazione
-3	Pessima
-2	Cattiva
-1	Insufficiente
0	Neutra
+1	Sufficiente
+2	Buona
+3	ottima

I risultati del confronto dei diversi scenari analizzati è riassunto nella seguente tabella:

SCENARIO	Efficacia nei confronti della difesa	Impatto visivo	Influenza sull'attività antropica	Costi di realizzazione	Costi di manutenzione	Totale
Opzione 0	-3	-1	1	0	0	-3
Opzione 1	0	-2	2.5	-2	0	-1.5
Opzione 2	1	0	1	-1	-2	-1
Opzione 3	3	0	3	-3	-1	2

Dal confronto dei risultati riportati in tabella emerge che lo scenario attuale (opzione 0) risulta quello più svantaggioso per l'evoluzione del litorale nel lungo termine. Il risparmio derivante dalla assenza di interventi e i vantaggi per l'attività antropica (estensione spiaggia, posti barca) non sono sufficienti a compensare gli effetti negativi sul litorale che inevitabilmente subirà ulteriori processi erosivi.

Tra gli scenari di intervento risulta nettamente più vantaggioso quello rappresentato dall'opzione 3. In tale scenario vengono realizzati sia gli interventi di difesa del litorale a levante del porto di Casal Velino proposti dall'Autorità di Bacino, sia gli interventi di completamento del porto proposti nel presente progetto preliminare. Si sottolinea che l'intervento per il completamento del porto proposto contempla la realizzazione di un'opera di difesa sul litorale a ponente del porto, con la ricostituzione della spiaggia a tergo di una barriera sommersa. In tale scenario i benefici ottenuti dalla ricostituzione e difesa di un'adeguata larghezza di spiaggia, sia a levante che a ponente del porto, che dall'incremento dei posti barca all'interno del nuovo bacino portuale, sono in grado di compensare efficacemente i costi di realizzazione e di manutenzione che potranno inoltre in qualche maniera beneficiare della disponibilità di materiale per gli interventi di manutenzione del ripascimento proveniente da eventuali interventi di dragaggio per la manutenzione del porto.

7 CONSIDERAZIONI INTEGRATIVE CONSEGUENTI AL PARERE ESPRESSO DALL'ENTE PARCO

Il parere trasmesso al Comune di Casal Velino (vedi nota prot. n. 2368 del 11.03.2019) dall'Ente Parco del Cilento, Vallo di Diano e Alburni in merito al procedimento di assoggettabilità a VIA, ha richiesto l'approfondimento degli scenari evolutivi della linea di costa a seguito della realizzazione del nuovo molo di ponente già trattati nella prima stesura del progetto definitivo (emesso in Rev. 0 nel dicembre 2018). In particolare si richiedeva di dimostrare come i nuovi moli influiranno sulle dinamiche del moto ondoso e sul processo di erosione e/o ripascimento della linea di costa, la cui trattazione era già stata ampiamente sviluppata per le finalità della realizzazione delle opere in esame nelle precedenti fasi progettuali.

Infatti *“... l'elaborazione di un modello delle dinamiche evolutive della linea di costa ipotizzabili a seguito della realizzazione del nuovo molo di ponente ...”* è presente nello Studio Morfodinamico già redatto in fase di progettazione preliminare (anno 2008) in occasione dell'ampliamento dell'infrastruttura portuale. Poiché la geometria e consistenza delle opere di difesa esterne inserita nel presente progetto definitivo risulta identica e immutata rispetto a quella individuata in precedenza è evidente come i risultati ottenuti possano essere confermati e ritenuti validi, senza commettere sensibili errori.

L'individuazione dei diversi scenari evolutivi della linea di costa riportati nei precedenti paragrafi risponde quindi pienamente alla domanda di *“...come i nuovi moli influiranno sulle dinamiche del moto ondoso e sul processo di erosione e/o ripascimento della linea di costa”*. Infatti nel presente Studio Morfo-dinamico sono presenti valutazioni quantitative e qualitative, effettuate attraverso l'applicazione del modello matematico GENESIS, utili alla definizione dell'evoluzione morfo-dinamica della linea di riva per un lungo tratto di costa che ricomprende il porto di Casal Velino sia nella configurazione delle opere attuale sia in quella prevista dal progetto definitivo (del tutto simile a quella del progetto preliminare 2008). Le diverse simulazioni condotte hanno investigato diversi scenari attuabili: da quello di non intervento (OPZIONE 0) a quello che prevede il completamento del porto con le opere esterne rientranti nel presente Progetto Definitivo e la presenza delle limitrofe ed esistenti opere di difesa costiera emerse (OPZIONE 3).

In fase di revisione della presente progettazione definitiva (Rev. 1 redatta in funzione delle richieste di chiarimento espresse nei pareri degli Enti interpellati) è stato approfondito il confronto dell'evoluzione della linea di riva ottenuto dalle simulazioni “previsionali” condotte per l'arco temporale di 10 anni (dal 2006 al 2016) con i trend evolutivi desunti dall'aggiornamento dello studio morfologico in cui si è aggiunta, rispetto alla stesura del progetto preliminare 2008, la linea di riva “reale” risalente all'anno 2016.

La comparazione tra le informazioni cartografiche “reali” e quelle “ricostruite” con modello matematico ha confermato la buona attendibilità della previsione evolutiva ottenuta con il modello matematico GENESIS, per cui si è ritenuto valido trasporre tali risultati per un ulteriore arco temporale di 10 anni corrispondente agli anni 2018 - 2028, confermando sia la bontà dello studio e delle simulazioni previsionali eseguite in precedenza sia quella dei dati meteo-marini utilizzati.

Infine occorre considerare che i lunghi tempi di approvazione e di finanziamento del presente progetto definitivo, oltre che l'eventuale redazione dello Studio di Impatto ambientale nel caso non venisse accettata l'esclusione dell'assoggettabilità a VIA, potrebbero posticipare sensibilmente l'appalto e il conseguente inizio dei lavori di messa in sicurezza e adeguamento del porto di Casal Velino. Per questo motivo si ritiene più opportuno eseguire le ulteriori simulazioni di evoluzione della linea di riva in fase di progettazione esecutiva, effettuando anche nuovi rilievi della linea di costa per l'ampio tratto di interesse, in modo da fornire un progetto esecutivo “aggiornato” che contenga uno studio dei processi evolutivi della linea di riva tale da poter sovrapporre l'orizzonte temporale previsionale a quello realizzativo, da verificare con successive azioni di monitoraggio in corso d'opera.

ALLEGATI

PRT 08 014 T 001 0 – TARATURA DEL MODELLO

PRT 08 014 T 002 0 – EVOLUZIONE A 10 ANNI - OPZIONE 0

PRT 08 014 T 003 0 – EVOLUZIONE A 10 ANNI - OPZIONE 1

PRT 08 014 T 004 0 – EVOLUZIONE A 10 ANNI - OPZIONE 2

PRT 08 014 T 005 0 – EVOLUZIONE A 10 ANNI - OPZIONE 3