

# ANALISI DELLA TENDENZA EVOLUTIVA DEL LITORALE SABOTINO

*Francesca Scipione*<sup>1\*</sup>, *Marcello Di Risio*<sup>2</sup>, *Myrta Castellino*<sup>1</sup>, *Davide Pasquali*<sup>2</sup> & *Paolo De Girolamo*<sup>1</sup>

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Sapienza Università di Roma (Roma)

(2) Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile - Architettura, Ambientale, Università degli Studi dell'Aquila (L'Aquila)

\*email: francesca.scipione@uniroma1.it

## ASPETTI CHIAVE

- Morfodinamica dei litorali
- Modelli numerici a una linea
- Trasporto solido longitudinale

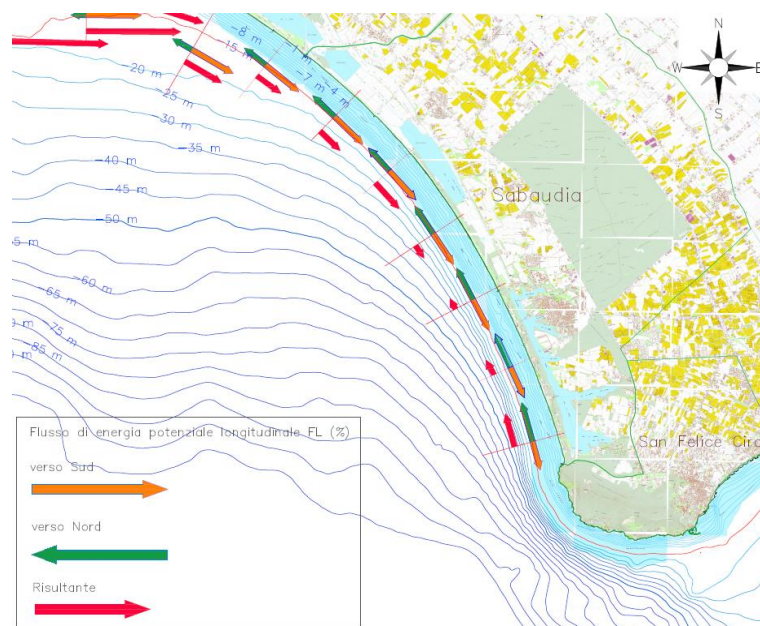
## 1 INTRODUZIONE

Il presente studio riguarda l'analisi morfodinamica del litorale sabotino. Lungo circa 20 km, il litorale è compreso tra la Foce Rio Martino e Torre Paola, ricadente nella più estesa unità fisiografica che si estende da Capo d'Anzio al promontorio del Circeo per circa 50 km (vedi Figura 1). Tale studio nasce nell'ambito del progetto di ricerca MORFRestore, finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare a Sapienza Università di Roma e all'Università degli studi dell'Aquila. L'unità fisiografica in esame presenta un forte interesse ambientale data la presenza, a Sud del litorale di Latina, del Parco Nazionale del Circeo, che comprende il litorale sabotino. Infatti, la duna costiera del Parco, che si estende dalle falde calcaree del promontorio per 25 km verso Nord fino a Capo Portiere (Latina) e raggiunge una altezza massima di 25 m, è un ambiente unico in Italia riconosciuto e tutelato dalla Comunità Europea.



Figura 1. Inquadramento geografico dell'area di studio

L'ambito costiero oggetto di studio si inserisce nel litorale che si estende per circa 50 km lungo la costa laziale affacciata sul Mar Tirreno, al cui interno ricadono, partendo da Nord e spostandosi verso Sud, i comuni di Anzio, Nettuno, Latina e Sabaudia. Tenendo conto della suddivisione del territorio nazionale in unità fisiografiche del Progetto Coste del Portale Cartografico Italiano, l'unità fisiografica considerata rientra



**Figura 2.** Andamento dei flussi longitudinali di energia lungo il litorale sabotino

in una più lunga unità, la quale si estende per circa 250 km dal Monte Argentario al Promontorio del Circeo. Tuttavia è possibile considerare la porzione di litorale come unità fisiografica, in quanto la separazione dell'unità dai litorali adiacenti, che come noto riguarda il trasporto solido longitudinale, è operata a Nord da Capo d'Anzio e a Sud dal Circeo. Il promontorio di Torre Astura, che prende il nome dalla torre costiera fortificata presente nel territorio della città di Nettuno, divide in due falcate l'unità. Nel tratto a Nord di Torre Astura ricadono i due Porti di Anzio e Nettuno. Nel tratto a Sud della Torre ricade il Parco Nazionale del Circeo, che, estendendosi per circa 25.0 km da Capo Portiere fino al promontorio del Circeo (vedi Figura 1), comprende parte della costa del Comune di Latina e l'intero litorale di Sabaudia. A meno di 4 km ad Est di Torre Astura è localizzata l'opera di presa dell'impianto di raffreddamento della ex Centrale Nucleare di Latina. Lunga circa 700 m, raggiunge la profondità di circa -6.0 m ed è costituita da una scogliera sommersa che protegge due tubazioni, ciascuna del diametro esterno di circa 3.7 m. Essendo la profondità di chiusura locale intorno ai 7.0 m (Hallermeier, 1981), tale opera è assimilabile ad un "pennello lungo" sommerso in grado di intercettare quasi totalmente il trasporto solido longitudinale diretto a Sud dell'unità fisiografica. La potenziale influenza dell'opera sulla stabilità del litorale ha spinto Scipione et al. (2019) a intraprendere uno studio numerico finalizzato ad analizzare l'idrodinamica e la morfodinamica locale indotta dall'opera. Per quanto riguarda gli apporti solidi, il litorale sabotino risulta pressoché privo di foci fluviali in grado di garantire apporti sedimentari significativi. L'unica foce fluviale presente lungo il litorale è quella del fiume Astura, il cui bacino idrografico ha una superficie talmente modesta da permettere ragionevolmente di trascurare il suo contributo al bilancio sedimentario costiero. Lungo il tratto di costa che si estende da Capo Portiere a Torre Paola è presente una serie di foci dei canali di bonifica e di collegamento al mare dei laghi costieri. Tali canali, essendo dal punto di vista idraulico canali che convogliano "acque chiare", non trasportano a mare sedimenti di interesse per la stabilità dei litorali. Quindi il tratto di costa di interesse per il Parco del Circeo, di evidente pregio ambientale e naturalistico, presenta una vulnerabilità morfologica molto elevata a causa della assenza di alimentazione solida fluviale e della presenza di opere costiere a Nord, che bloccano quasi completamente l'apporto solido costiero longitudinale. Ne risulta che per il litorale in esame si può affermare che il "motore" dei sedimenti è costituito dalla idrodinamica costiera indotta principalmente dal moto ondoso frangente. Risulta quindi di fondamentale importanza conoscere il regime ondometrico locale e la direzione dei flussi energetici di moto ondoso. L'analisi delle serie storiche ondometriche orarie ricostruite in re-analisi dal 1979 al 2018 dal MeteOcean Group dell'Università di Genova (Mentaschi & al., 2015), relative a due punti localizzati a largo di Capo d'Anzio e del Circeo ha consentito di osservare a largo di Anzio prevalenza di mareggiate provenienti da Ovest e spostandosi verso il promontorio un regime ondometrico di tipo bi-modalità del clima, con mareggiate provenienti sia da Ovest che da Sud-Est. Al fine di caratterizzare il clima ondoso e il flusso di energia longitudinale sotto costa dell'unità fisiografica, è stato utilizzato il modello numerico di rifrazione inversa spettrale MEROPE, basato



**Figura 3.** Individuazione delle aree soggette a erosione (in rosso e in arancione), avanzamento (in verde) e stabilità (in giallo) per tutto l’intervallo di tempo considerato (1954 – 2014).

sul metodo introdotto da Abernety & Gilbert (1978). La serie storica è stata propagata lungo il litorale in corrispondenza di una serie di punti posti alla batimetrica 15 m s.l.m., tenendo conto dei soli fenomeni di shoaling e rifrazione. Dall’osservazione delle direzioni dei flussi di energia longitudinali calcolati per il litorale sabotino (vedi Figura 2), è possibile dedurre la presenza di un flusso bidirezionale.

## 2 RISULTATI PRELIMINARI DELL’ANALISI MORFOLOGICA

La tendenza evolutiva del litorale in esame è stata condotta confrontando le linee di riva degli anni 1954, 1985, 2000 e 2014, digitalizzate in ambiente GIS sugli ortomosaici relativi ai rispettivi anni. Si è dapprima effettuata un’analisi morfologica di tipo puntuale, che ha consentito di stimare, utilizzando un passo di discretizzazione pari a 10 m, l’arretramento e l’avanzamento massimi annui tra due linee di riva. Tali quantità sono state calcolate tenendo conto della curvatura della spiaggia, infatti le differenze in termini di larghezza di spiaggia tra due epoche sono state calcolate lungo la normale tracciata rispetto alla linea di riva più antica. Una seconda analisi di tipo areale ha permesso di individuare e calcolare le aree in avanzamento ed erosione (riportate in Figura 3). Moltiplicando i valori areali per la profondità di chiusura, è stato poi possibile valutare il volume di materiale, espresso in m<sup>3</sup>/anno, in ingresso (valori positivi) e in uscita (valori negativi) dal litorale. I risultati, riportati in Tabella 1, mostrano che il litorale presenta una leggera tendenza erosiva, che è aumentata in tempi recenti. Tra il 1985 e il 2000 si registra un’inversione di tendenza che può essere giustificata da un ripascimento di circa 70 000 m<sup>3</sup> (fonte Regione Lazio) effettuato durante quell’intervallo temporale. Tra il 2000 e il 2014, l’aumento di materiale eroso può essere correlato alla presenza di nuove opere a Nord del tratto di costa analizzato, ovvero il sistema di difesa a celle lungo il litorale di Latina realizzato tra il 2003 e il 2012.

Intervallo temporale	Massimo avanzamento (m/anno)	Massimo arretramento (m/anno)	$\Delta V$ (m <sup>3</sup> /anno)
1954 - 1985	0.90	-1.03	-13 600
1954 - 2000	0.64	-0.63	-2 200
1954 - 2014	0.37	-0.68	-21 000
1985 - 2000	2.35	-1.93	+20 000
1985 - 2014	0.87	-1.20	-29 000
2000 - 2014	1.78	-3.01	-82 000

**Tabella 1.** Risultati riassuntivi dell’analisi morfologica per ogni intervallo di temporale considerato.

## 3 RISULTATI PRELIMINARI DELL’INDAGINE NUMERICA

Per il tratto di costa compreso tra Rio Martino e Torre Astura è stata eseguita una modellazione morfodinamica a lungo termine al fine di confrontare i risultati dei modelli numerici a una linea GENESIS (GENERalized model for SIMulating Shoreline Change, sviluppato dal C.E.R.C. U.S. ARMY Coastal

Engineering Research Center – Hanson, H. & Kraus, N.C., 1989) e UNIBEST (UNIFORM BEACH SEDIMENT TRANSPORT, sviluppato dalla W L Delft Hydraulics, 1994). Entrambi i modelli sono basati sulla teoria di PERNARD-CONSIDÈRE (1956) e sono in grado di riprodurre l'evoluzione a lungo termine della linea di riva, anche in presenza di interventi di difesa. Sinteticamente, i modelli sono capaci di stimare le variazioni nel tempo della linea di riva dovuto al trasporto solido longitudinale associato dall'azione del moto ondoso. I dati di ingresso per entrambi i modelli sono stati i seguenti: clima locale di moto ondoso in corrispondenza della batimetrica 15 m s.l.m., impostato come limite verso il largo dei modelli; batimetria, sulla base dei rilievi forniti dall'Istituto Idrografico della Marina; caratteristiche dei sedimenti; linee di riva digitalizzate in ambiente GIS su ortomosaici relativi agli anni 1985, 2000. In entrambi i modelli è stata applicata la formula del C.E.R.C. (Shore Protection Manual, 1984) per il calcolo del trasporto solido longitudinale e sono state svolte diverse simulazioni al fine di calibrare i modelli. A titolo di esempio, la Figura 4 mostra i risultati ottenuti con il modello numerico UNIBEST.

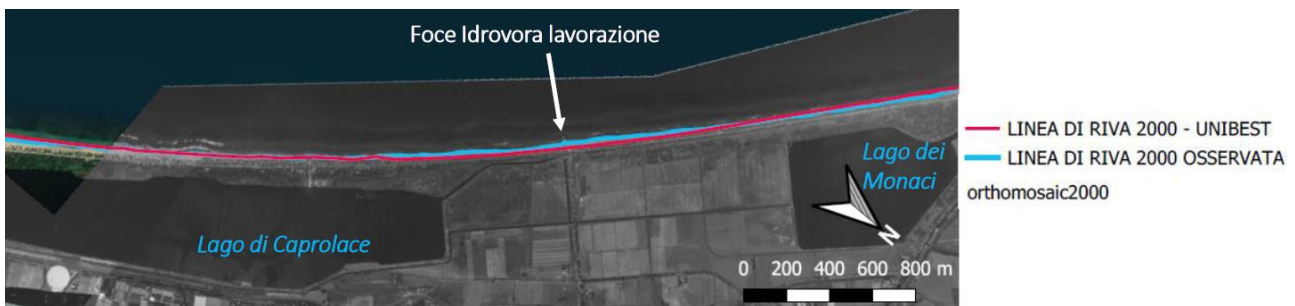


Figura 4. Confronto tra la linea di riva osservata (linea azzurra) e le linee di riva riprodotta in UNIBEST (linea magenta)

#### 4 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Questo lavoro illustra l'analisi del litorale sabotino, compreso tra la Foce Rio Martino e Torre Paola (Latina). Utilizzando le linee di riva 1954, 1985, 2000 e 2014, e sulla base dell'analisi storica degli interventi costieri realizzati all'interno dell'unità fisiografica in cui ricade il litorale sabotino, è stata effettuata una prima analisi circa la tendenza evolutiva del litorale. In particolare, è stato possibile stimare i guadagni e le perdite volumetriche di sedimenti e le velocità di arretramento e avanzamento massime negli intervalli di tempo considerati. Inoltre, da quanto emerso dai risultati ottenuti, le zone lungo il litorale sabotino che presentano maggiore vulnerabilità sono i tratti di costa compresi tra Rio Martino e la foce del Caterattino. A Sud di quest'ultima, il litorale sembra risultare relativamente stabile su lungo termine. I risultati ottenuti suggeriscono che il litorale non presenti fenomeni evolutivi marcati, con una tendenza alla perdita sedimentaria che è aumentata in tempi recenti (2000-2014).

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Pelnaud-Considère, R. Essai de théorie de l'évolution des fortilles de rivages en plages de sable et de galets. IVem Journées de l'Hydraulique Question III, Raport 1 (1956) 74-1, 74-10, 1956.
- Abernethy, C., & Gilbert, G.. Refraction of wave spectra. Report INT 17, Hydraulics Research Station Wallingford, UK., 1975
- Hallermeier, R. J. A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. Coastal Engineering, Vol. 4, 253-277, 1981.
- CERC. Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center Waterways Experiment station, U.S. Army Corps of Engineers, 1984.
- Hanson, H., and Kraus, N. C.. GENESIS: Generalized model for simulating shoreline change, report 1, technical reference. CERC-89-19. Vicksburg, MS: US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 1989
- WL|Delft Hydraulics. UNIBEST, A software suite for simulation of sediment transport processes and related morphodynamics of beach profiles and coastline evolution. Theoretical reference document. WL | Delft hydraulics Report H454, 1994.
- Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., Mazzino, A. Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean Sea, Journal of Coastal Research, 65(sp2):1551-1556, 2013.
- Scipione, F., Di Risio, M., Castellino, M., Pasquali, D., De Girolamo, P. Wave induced hydrodynamics field around the long submerged groin of the Latina (Italy) nuclear power station cooling system intake, 9th Conference SCACR19, 9th – 11th September, Bari, Italy, 2019.