

RVMC

TORRE DEL

CERRANO

Aggiornamento dati al 2024

Descrizione della serie temporale di dati 2016-
2024 prodotti dalla stazione di
videomonitoraggio di Torre del Cerrano

COS-CLM

Redatto da Luca Parlagreco e Saverio Devoti

SOMMARIO

Sommario

LA RETE DI VIDEOMONITORAGGIO COSTIERO RVMC	
CONTESTO	1
OBIETTIVI E FINALITÀ DEL MONITORAGGIO	1
PROSPETTIVE	1
STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DELLA RVMC	2
LA STAZIONE RVMC DI TORRE CERRANO	
IL TRATTO LITORALE VIDEOMONITORATO	4
L'INTEGRAZIONE CON I DATI SATELLITARI	5
EVOLUZIONE AL 2024	
DATI DI VIDEOMONITORAGGIO	7
DATI SATELLITARI	9
SINTESI	13
IMMAGINI DALLA RVMC	14

LA RETE DI VIDEOMONITORAGGIO COSTIERO RVMC

CONTESTO

La Rete di Videomonitoraggio Costiero (RVMC) ¹ è uno strumento di monitoraggio sviluppato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) a partire dal 2016, con l'obiettivo di fornire dati ad alta risoluzione delle dinamiche costiere italiane. Particolare attenzione è stata posta nel monitorare le aree ad elevato valore ambientale², come l'Area Marina Protetta di Torre del Cerrano.

Questo sistema è stato concepito per avviare un programma di monitoraggio sistematico dei fenomeni erosivi e deposizionali nella loro accezione temporale, ovvero utile allo studio delle loro cause scatenanti e delle persistenze temporali.

OBIETTIVI E FINALITÀ DEL MONITORAGGIO

L'utilizzo di tale metodica osservativa fornisce la possibilità di analizzare gli effetti di singole mareggiate o valutarne l'impatto cumulato, fornendo una base dati per analizzare quantitativamente:

- l'interazione tra **spiaggia** e **fondali**.
- le cause scatenanti dei fenomeni erosivi e la loro **persistenza temporale**;
- **la capacità e il tempo necessario** per ripristinare lo **stato funzionale** del sistema spiaggia-fondali.

PROSPETTIVE

Nell'ambito dei finanziamenti del PNRR, con il progetto Marine Ecosystem Restoration - MER³, ISPRA ha investito sul potenziamento delle reti osservative marine. La RVMC è in via di ammodernamento attraverso l'installazione di nuove stazioni posizionate prevalentemente nei versanti occidentali e sud-occidentali dell' (Fig. 1).

¹ <https://videomonitoraggio.isprambiente.it>

² Il programma di monitoraggio è stato co-finanziato dal Ministero dell'Ambiente MATTM - 0024444 GAB del 17/10/2017 nell'ambito delle azioni per la conservazione della biodiversità con il progetto "Mappatura della protezione costiera e della resilienza in litorali sabbiosi afferenti ad aree protette - COPEMAP", a cui hanno partecipato Parco Nazionale del Circeo, del Gargano e Area Marina Protetta di Torre del Cerrano. Il progetto si è concluso nel 2022.

³ Missione 2 RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA - Componente 4 TUTELA DEL TERRITORIO E DELLA RISORSA IDRICA - Investimento 3.5 RIPRISTINO E TUTELA DEI FONDALI E DEGLI HABITAT MARINI - Intervento B23-B25

Nuovi sensori LIDAR-permanenti verranno installati per il monitoraggio permanente (in continuo) della topografia di spiaggia presso le stazioni di videomonitoraggio.

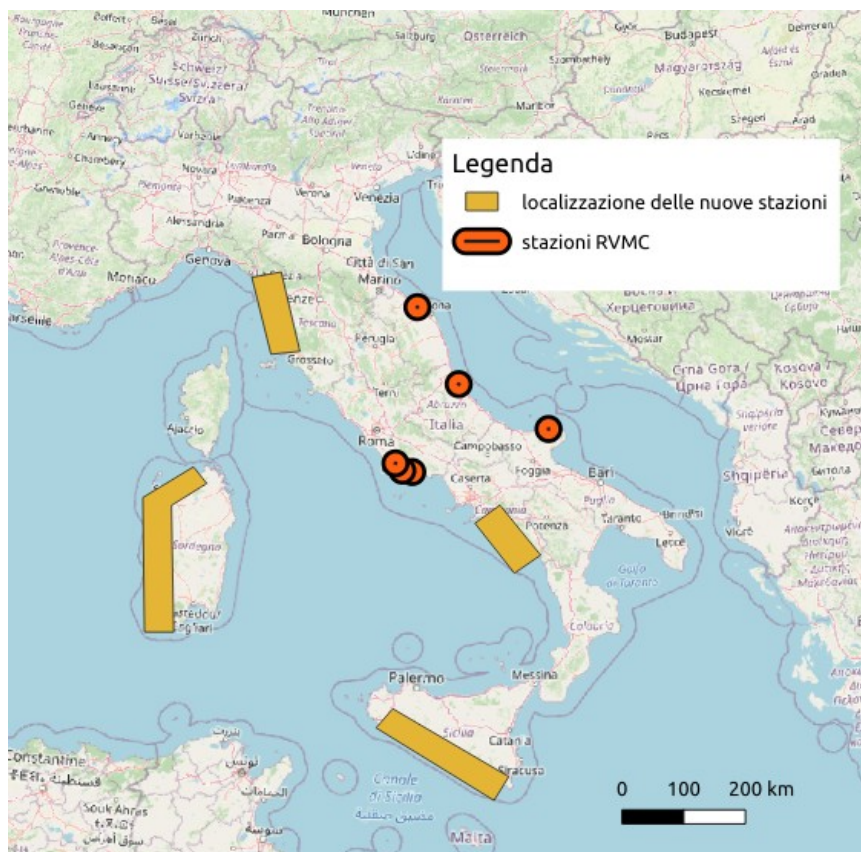


Figura 1. Posizionamento delle stazioni esistenti (pallino arancione) e dei settori delle prossime installazioni (rettangoli gialli) della Rete di Videomonitoraggio Costiero ISPRA.

STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DELLA RVMC

La RVMC è costituita da una serie di centraline di misura, distribuite in siti selezionati in base all'esposizione ai mari dominanti. Ogni centralina acquisisce giornalmente dati immagine da cui è successivamente possibile misurare:

- **Posizionamento della linea di riva**
- **Morfologia dei fondali**
- **Entità di allagamento ondoso**

Generalmente tali informazioni sono rappresentative di almeno **700 metri di litorale**, in funzione della quota di installazione delle centraline.

Per tali motivi, il videomonitoraggio è definito come un sistema osservativo “remoto”, ovvero in grado di misurare a distanza. In quanto automatizzato, fornisce una misura ripetuta nel tempo dei suddetti indicatori e per lunghi intervalli temporali. Nel corso degli ultimi 20 anni, tale metodologia ha di fatto fornito la possibilità di analizzare la variabilità morfologica della spiaggia in termini statistici e con metodiche tipiche dello studio di serie temporali, derivate dall’oceanografia e dalla meteorologia.

Nello specifico, le immagini vengono acquisite in cicli di 10-15 minuti per “costruire” delle immagini composite in cui l’intensità luminosa dei pixels viene mediata, ovvero le “timex” (Fig. 1) o delle immagini che restituiscono l’andamento dell’intensità luminosa di specifiche porzioni della scena fotografata, ovvero le “timestack” (Fig. 2).

Immagine TIMEX

Vengono utilizzate per facilitare il tracciamento della porzione di spiaggia in cui avviene il frangimento ondoso, individuabile dalla foto come banda chiara ad alta luminosità (bianco). A seguito di procedure di fotogrammetria digitale le immagini vengono ortorettificate e trasformate in mappe su cui è possibile misurare ampiezze e lunghezze (Fig. 2).

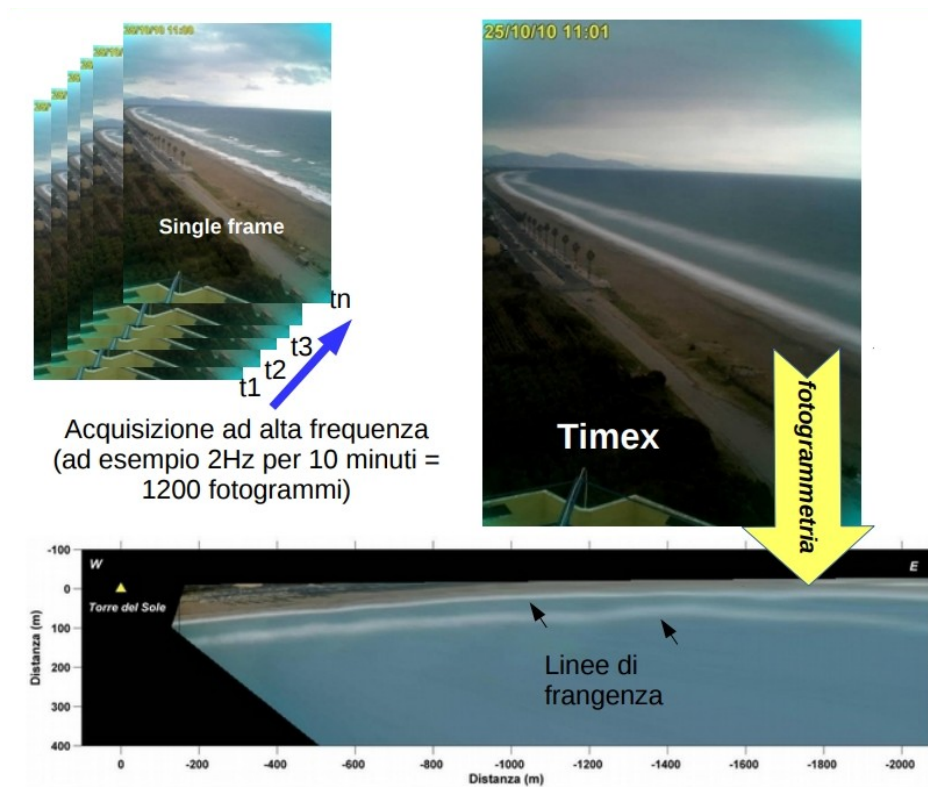


Figura 2. Costruzione dell’immagine timex e suo utilizzo.

Immagini TIMESTACK

Vengono utilizzate per facilitare il tracciamento della linea d'acqua, ovvero della risacca in un tempo utile a definirne alcune statistiche descrittive. Nei 10-15 minuti di registrazione, contestualmente alla costruzione dell'immagine timex, viene archiviata la luminosità di una serie di pixel (generalmente individuando un vettore circa perpendicolare alla linea di riva) per tracciare con estremo dettaglio le oscillazioni della risacca ⁴(Fig. 3).

Da figura 3 è ben evidente l'importanza dell'orientazione del vettore di pixel da analizzare che, se preso perpendicolarmente alla linea di riva (traccia rossa sulla foto in basso) produce una serie temporale dell'andamento di allagamento della spiaggia (la risacca), se preso parallelamente a riva (traccia magenta sulla foto in basso) fornisce ad esempio informazioni sulle celerità d'onda.

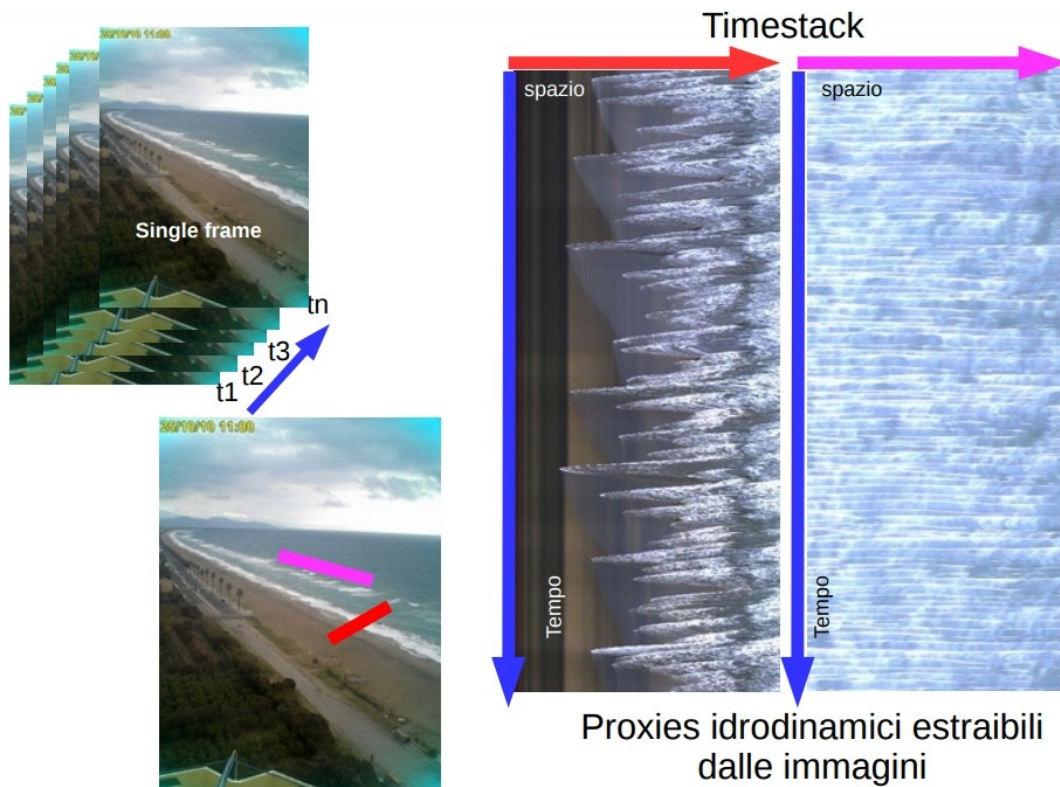


Figura 3. Costruzione dell'immagine timestack e suo utilizzo.

⁴ Melito et alii (2021) - Wave- and Tide-Induced Infragravity Dynamics at an Intermediate-To-Dissipative Microtidal Beach. Journal of Geophysical Research: Oceans, 127, e2021JC017980. Doi: 10.1029/2021JC017980

LA STAZIONE RVMC DI TORRE CERRANO

IL TRATTO LITORALE VIDEOMONITORATO

Il litorale osservato è di tipo sabbioso a debole pendenza su cui si sviluppa un modesto apparato dunale, i fondali sono caratterizzati da almeno tre ordini di barre sommerse. La granulometria della spiaggia ricade al limite tra sabbie medie e sabbie fini. Il tratto è privo di strutture di difesa, presenti però nelle porzioni limitrofe immediatamente fuori dall'area protetta.

I fondali marini dell'Area Marina Protetta custodiscono circa il 50% dei siti NATURA2000 presenti nella fascia litoranea Abruzzese, ovvero la metà degli habitat marini di pregio ambientale sono presenti nel territorio dell'AMP, prevalentemente fauna e flora presenti negli habitat dunali e dei fondali sabbiosi.

Nella primavera del 2016 è stata installata una stazione di videomonitoraggio sulla sommità della torre del Cerrano che inquadra una porzione di oltre 1500m di litorale compreso nell'area Core dell'AMP (Fig. 4).



Figura 4. Areale inquadrato e analizzato dalla stazione di videomonitoraggio Torre del Cerrano.

Ad oggi, il processamento delle immagini prodotte dalla centralina di RVMC di Torre Cerrano ha fornito circa 1300 foto orto-rettificate, circa una misura ogni due giorni da maggio 2016, su cui è stato mappato il posizionamento della linea di riva e delle barre sommerse.

Contestualmente all'attività di acquisizione della centralina di videomonitoraggio sono stati effettuati rilievi topografici della spiaggia e batimetrici del fondale finalizzati a validare i dati morfologici estratti dalle immagini.

L'INTEGRAZIONE CON I DATI SATELLITARI

Il programma di monitoraggio, basandosi su dati puntuali, è stato integrato con dati di posizionamento della linea di riva estratta da immagini satellitari Sentinel 2 e Landsat 7 e 8. In questo modo è stato possibile inquadrare le dinamiche evolutive desunte da RVMC all'interno dell'andamento di lungo periodo (a partire dal 2000) dell'area vasta del litorale.

Sono stati utilizzati metodi di classificazione supervisionata delle immagini tramite Intelligenza Artificiale da cui è stato possibile tracciare l'andamento della linea di riva, e successivamente analizzarne le tendenze evolutive su specifici transetti di misura⁵. Per il sito di studio sono state analizzate circa **1000 linee di riva dal 2000**, ovvero circa una misura del posizionamento della linea di riva ogni 11 giorni.

Per facilitare l'interpretazione dei dati estratti su un'areale molto più vasto del tratto monitorato dalle videocamere, si è proceduto ad accorpare le risultanze per sub-unità fisiografiche, rappresentate in figura 5, dove la sub unità "AMP-core" è quella video-monitorata.

Il dato di lungo periodo ha quindi fornito indicazioni sul comportamento così detto di "fondo" dei tratti litoranei analizzati, dove è stato possibile **analizzare in dettaglio l'insorgenza degli episodi erosivi e/o deposizionali, oltre che definire delle tendenze.**

⁵ Posizionati circa ogni 1000m di litorale.



Figura 5. Aree utilizzate per analizzare il comportamento aggregato della linea di riva estratta dai dati satellitari.

EVOLUZIONE AL 2024

DATI DI VIDEOMONITORAGGIO

L'aggiornamento dei dati ha evidenziato, e confermato^{6 7}, l'andamento caratteristico a “**fasi evolutive**” connessi alla migrazione netta delle barre sommerse verso mare. Questo fenomeno è caratterizzato da un andamento **ciclico** di:

- fase1. genesi di una barra a riva;
- fase2. spostamento della stessa verso mare;
- fase3. disfacimento della barra più esterna.

⁶ Parlagraeco et alii (2019) - Monitoring for Coastal Resilience: Preliminary Data from Five Italian Sandy Beaches. Sensors 2019, 19, 1854; doi:10.3390/s19081854.

⁷ Melito et alii (2020) - Sandbar dynamics in microtidal environments: Migration patterns in unprotected and bounded beaches. Doi:10.1016/j.coastaleng.2020.103768

Le tre fasi contraddistinguono l'evoluzione dei fondali di Torre Cerrano esplicandosi contemporaneamente su tutti gli elementi del sistema ovvero, la fase 1 della nuova barra che si forma a riva, coinciderà con la fase 3 della barra più esterna che, una volta "scomparsa", verrà sostituita dalla barra immediatamente posta verso costa attraverso uno "scatto", ovvero la fase 2. In figura 6 è riportato uno schema sintetico dell'evoluzione riconosciuta a Torre del Cerrano.

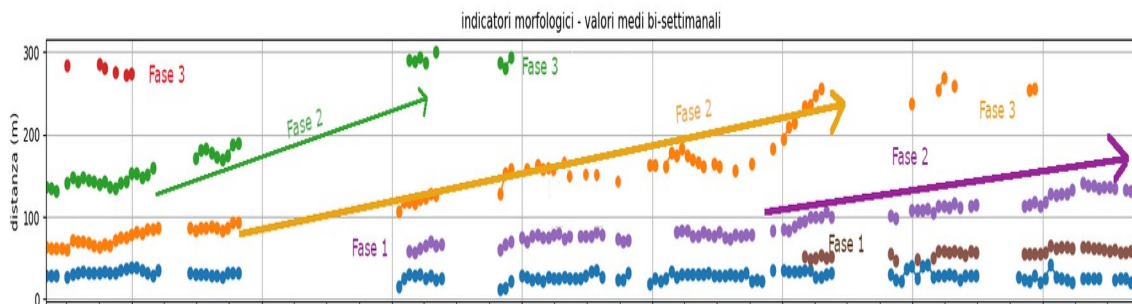


Figura 6. Schema dell'evoluzione della spiaggia di Torre del Cerrano.

In figura 7 è riportato:

- l'andamento temporale della posizione media delle barre e della linea di riva da un punto di riferimento sulla duna retrostante (pannello superiore);
- l'andamento temporale dell'indice di sinuosità della linea di riva, misurato come deviazione standard del posizionamento su 2km di misurazione (pannello centrale);
- l'andamento temporale dell'ampiezza della zona deputata al frangimento ondoso, misurata come distanza tra il frangimento più esterno e la linea di riva contestuale (pannello inferiore).

L'andamento degli indicatori sopraelencati fornisce un quadro molto dettagliato di come la spiaggia e i fondali siano evoluti negli ultimi 9 anni. In particolare, l'ampiezza di frangimento esprime lo spazio di fondali potenzialmente a disposizione per dissipare l'energia ondosa incidente. A qualsiasi variazione di questo spazio risponderà tutto il sistema spiaggia.

La posizione che assume la barra esterna rappresenta quindi, il driver principale del sistema spiaggia-fondali, la distanza limite misurata è di circa 300m da riva. Oltre tale posizione la barra, ormai poco prominente, non induce più il frangimento ondoso e innesca un periodo in cui le onde si dissipano su la barra posta più verso costa, impattando quindi la costa con maggiore energia. Questa fase di maggior esposizione della spiaggia si conclude con la formazione di una barra sotto-riva, generata proprio dall'alimentazione di sabbia dalla spiaggia ai fondali superiori. Tale movimento di sabbia

non avviene solo in senso trasversale (da terra a mare), ma viene fortemente ricaricato dalla sabbia che si muove lungo costa.

Altra caratteristica rilevata dall'analisi dei dati di Torre del Cerrano è l'influenza del posizionamento della prima barra sulla sinuosità della linea di riva (Fig. 7 pannello intermedio) che, perdurando per molti mesi dopo la genesi della barra sottoriva, può essere interpretato erroneamente come una tendenza erosiva **cronica**.

In generale quindi, la tendenza 2016-2024 della linea di riva è contraddistinta da modesti fenomeni erosivi, ovvero circa 5m di arretramento mediato sul tratto monitorato di 2km, dal 2022 si evidenzia un discreto aumento della sinuosità della stessa che localmente ha indotto fenomeni erosivi **localizzati** maggiori di 5m.

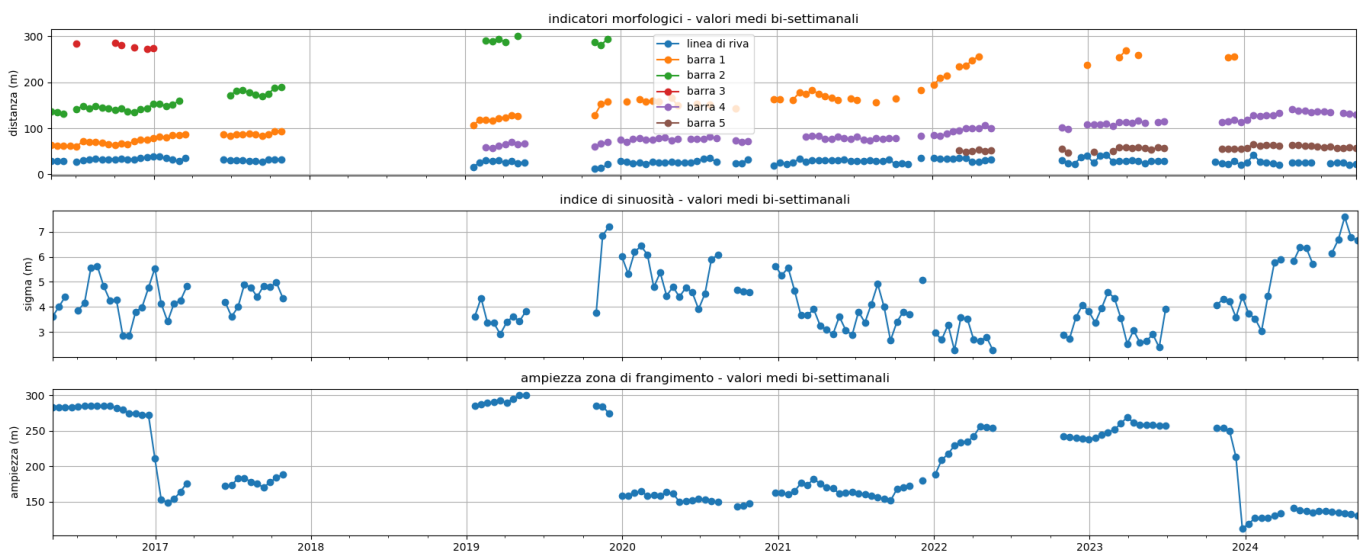


Figura 7. Evoluzione temporale della morfologia di spiaggia di Torre Cerrano.

In base allo storico di evidenze acquisite, è possibile ritenere che la spiaggia si trovi attualmente in una condizione di ri-equilibrio dei fondali, contraddistinta da una barra esterna in via di disfacimento. Tale assetto morfologico evolverà in un successivo ciclo contraddistinto da due barre sommerse ben sviluppate. L'andamento dell'ampiezza della zona di frangimento, attualmente a circa 150m (Fig. 7, pannello inferiore), tenderà nei prossimi mesi a ripristinare la condizione di equilibrio di circa 250m come successo nel 2016, 2019 e 2022-2023. Tale condizione esprime quindi uno stadio di "debolezza" della spiaggia che, se non influenzato da interventi che modificano il flusso di sedimenti lungo costa, evolverà ad uno stadio con maggior capacità di protezione.

DATI SATELLITARI

Le immagini satellitari utilizzate per integrare i dati della RVMC sono quelle prodotte dalle missioni LANDSAT 7 e 8 e SENTINEL2, entrambe accessibili gratuitamente.

La procedura di archiviazione ed elaborazione delle immagini satellitari si è avvalsa di una procedura eseguita in Python e pubblicata nel 2019⁸.

Una volta definiti dei poligoni di estrazione delle porzioni di immagini satellitari, sono state archiviate le immagini satellitari e sono stati avviati alcune procedure per migliorare la risoluzione spaziale delle immagini, ovvero:

- è stata individuata una soglia minima della copertura nuvolosa entro cui avviare l'analisi;
- è stata ottimizzata la risoluzione spaziale delle immagini **Landsat 7** e **Landsat 8**, dove la banda panchromatica ad alta risoluzione (15 m) è stata utilizzata per migliorare le bande multispettrali (30 m) tramite una tecnica di fusione basata sull'analisi delle componenti principali (PCA); questo processo ha ridotto la risoluzione delle bande multispettrali a 15 m, mantenendo le informazioni di colore originali; per le immagini **Sentinel-2**, la banda SWIR1 a 20 m è stata ridimensionata a 10 m per allinearsi con le altre bande già a 10 m di risoluzione.

La linea di riva è stata definita quindi come l'interfaccia istantanea tra sabbia e acqua al momento dell'acquisizione dell'immagine satellitare. Per rilevarla, è stato utilizzato un algoritmo robusto con risoluzione sub-pixel che si sviluppa in due fasi principali:

1. **Classificazione dell'immagine⁹**: in cui ogni pixel è stato classificato in quattro categorie (Sabbia,Acqua,schiuma,Altre caratteristiche terrestri).
2. **identificazione del limite "linea di riva"**: una volta classificata l'immagine, è stato calcolato il confine preciso tra i pixel di sabbia e acqua utilizzando l'indice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), dove il valore soglia che separa sabbia e acqua è stato determinato automaticamente tramite l'algoritmo di *clusterizzazione* di Otsu.

In figura 8 è riportato un esempio di estrazione della linea di riva per immagine Sentinel2 del 22 luglio del 2016 nella porzione videomonitorata, denominata amp_03.

⁸ CoastSat, <https://github.com/kvos/CoastSat>

⁹ Questa classificazione viene eseguita utilizzando una rete neurale pre-addestrata (Multilayer Perceptron), che sfrutta 20 caratteristiche dei pixel, tra cui l'intensità nelle bande multispettrali (R, G, B, NIR, SWIR1), indici spettrali (es. NDWI, NDVI) e la varianza locale. Il modello è stato addestrato con un set di dati raccolti da immagini satellitari di diversi siti globali, raggiungendo una precisione del 99% nella classificazione.

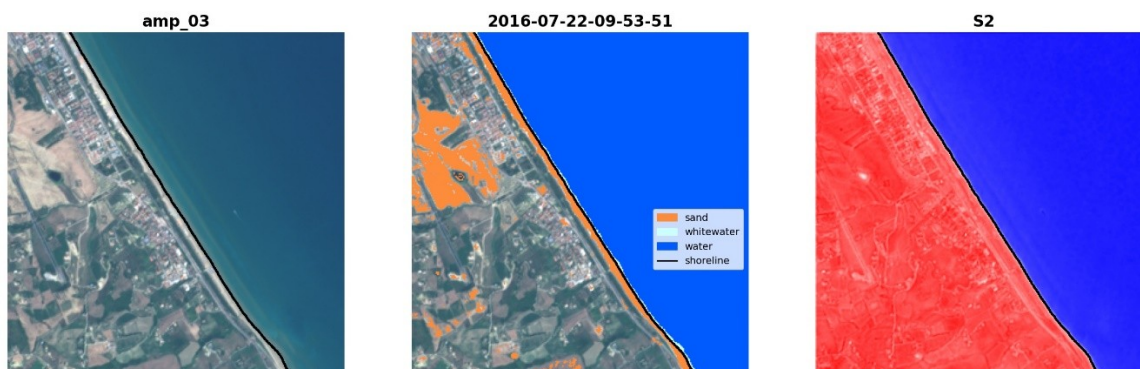


Figura 8. Rappresentazione RGB di un'immagine Sentinel 2 (a sinistra) con la classificazione dei pixel (al centro) e il posizionamento della linea di riva su immagine MNDWI (a destra).

Le serie temporali della linea di riva sono state estratte su specifici transetti, equidistanti a circa 1km lungo costa (Fig. 9).

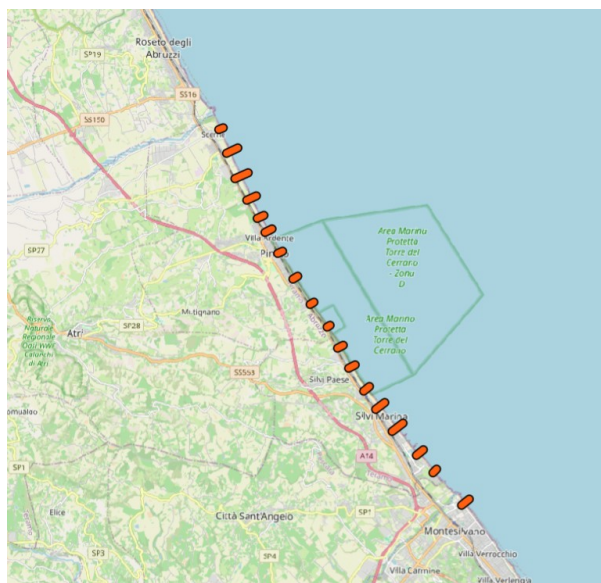


Figura 9. Posizionamento dei transetti di analisi della linea di riva.

A livello di tendenza della linea di riva (Fig. 10), risulta che nelle tre sub-unità (Fig. 5) la linea di riva mediata mostra un andamento tutt'altro che stabile. Se ci si riferisce all'inviluppo (aree ombreggiate in violetto di figura 10), il comportamento è molto differenziato e suggerisce alcune considerazioni sull'evoluzione recente dei tre tratti litoranei:

- la porzione "limitrofa Nord", su cui sono presenti più interventi di difesa rigida, mostra un inviluppo contraddistinto da un'espansione dei range di variazione dopo il 2013, presumibilmente in relazione ad interventi sulla costa che hanno

modificato sensibilmente il trasporto litoraneo, generando aree a forte deposizione ed altre a forte erosione;

- la porzione “core” mostra i range di variazione più bassi, $\pm 20\text{m}$, tra le sub-unità;
- la porzione “limitrofa Sud”, si comporta similmente alla porzione “Nord”, ad indicare che anche in questo tratto le variazioni di lungo periodo sono state maggiori sia in fase di avanzamento che arretramento e distribuite non omogeneamente lungo il litorale.

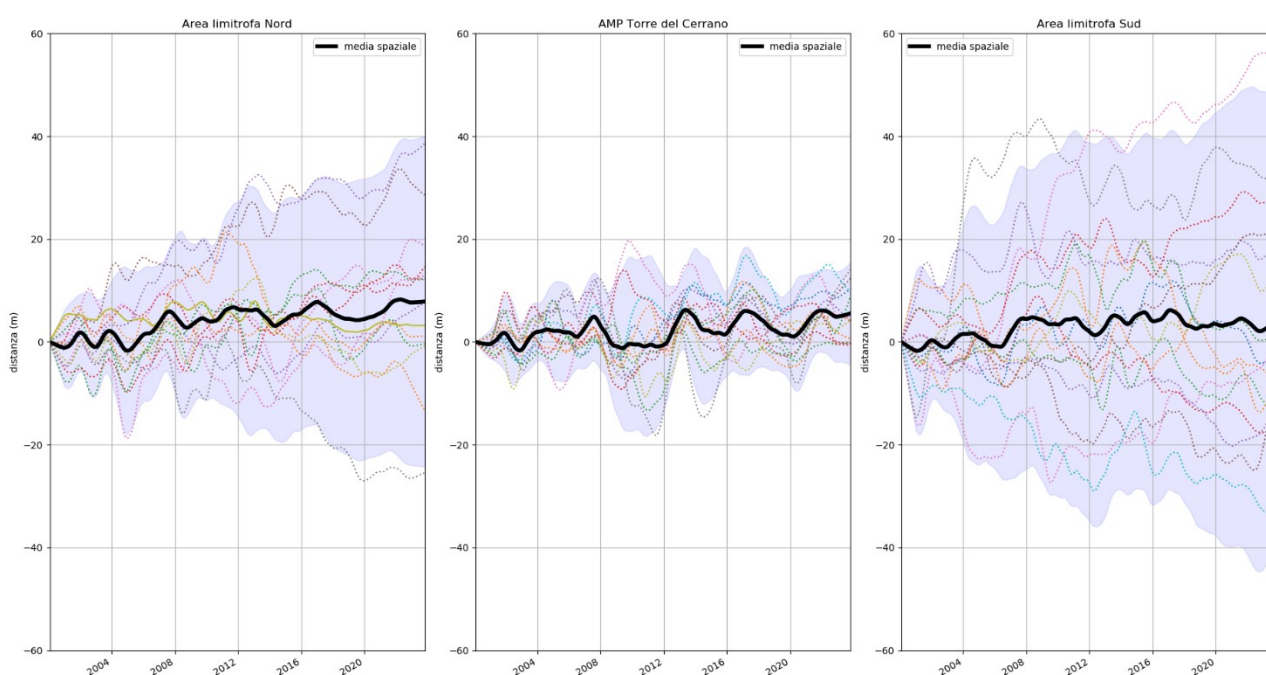


Figura 10. Andamento della linea di riva mediata spazialmente sulle tre sub-unità descritte e ricampionata con valori medi mensili. In nero gli andamenti mediati lungo le singole sub-unità, in viola l’involuppo di variazione calcolato come media + 2 deviazioni standard, in tratteggiato l’andamento sui singoli transetti di misura.

In sintesi, il tratto litoraneo analizzato, che per semplicità è stato suddiviso in tre sub-unità (Fig. 5), risulta contraddistinto da una stabilità di lungo periodo (valori mediati) che è tutt’altro che omogeneamente distribuita, ovvero la stabilità di lungo termine è stata fortemente influenzata da interventi di stabilizzazione nelle due aree limitrofe che hanno generato zone in erosione e zone in deposizione.

L’area core dell’AMP diversamente mostra una stabilità maggiormente distribuita su tutto il tratto, molto presumibilmente per le modalità di trasporto sedimentario che più efficientemente alimentano il litorale. Ciò non significa che dal 2000 il tratto litorale “core” non sia stato interessato da importanti fenomeni erosivi, ma che tali squilibri sono stati **recuperati autonomamente** da un trasporto sedimentario lungo costa e

dai fondali alla spiaggia in grado quindi, di ristabilire le condizioni di equilibrio morfologico e morfodinamico.

È importante evidenziare che, data la posizione dell'area dell'AMP a sud del Fiume Vomano, essa sarà fortemente condizionata da tutti gli interventi che verranno eseguiti per stabilizzare le porzioni di litorale posizionati a Nord, ovvero sopraflutto.

SINTESI

Le risultanze ottenute dal programma di monitoraggio costiero avviato dal 2016, e integrato anche dall'analisi diacronica della linea di riva estratta da immagini satellitari del periodo 2000-2024, pone una questione importante comune a molti litorali naturali afferenti ad aree protette, ovvero come inquadrare la gestione della **variabilità naturale** del sistema spiaggia-fondali, ovvero come fruire di un bene naturale caratterizzato da estrema variabilità di forma nel tempo.

Il dato di lungo periodo evidenzia come i settori immediatamente a sud del Fiume Vomano siano stati caratterizzati da un'evoluzione **media** di avanzamento, contraddistinta **però dalla coesistenza lungo costa di aree a forte accumulo e forte erosione**, tipico dei litorali protetti da strutture trasversali (pennelli).

L'area dell'AMP sebbene sottoflutto a tali interventi, in **media**, ha mantenuto una condizione di stabilità omogeneamente distribuita sul tutto il tratto di litorale dell'AMP.

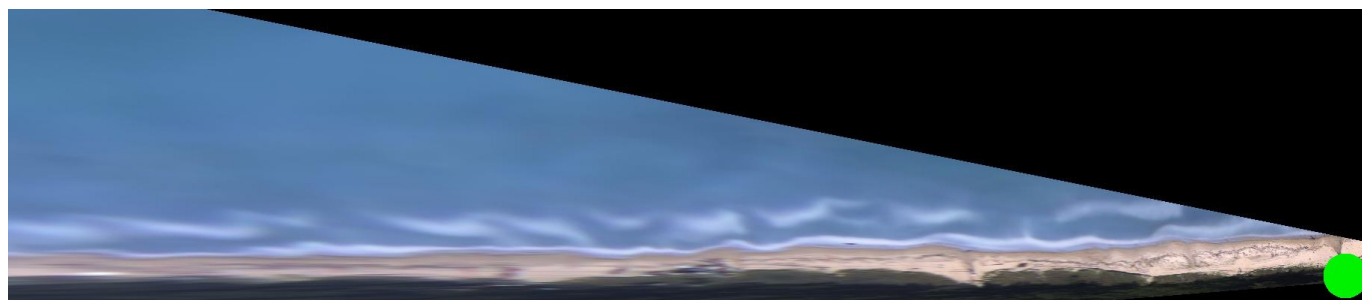
Tale situazione è stata alterata a partire dall'estate 2024 dall'insorgenza di fenomeni erosivi puntuali legati all'interazione di una nuova barra sotto-riva con la spiaggia emersa. La serie di dati di videomonitoraggio ci indica che tale condizione si è sviluppata anche in altri periodi e sempre relazionata allo sviluppo di una nuova barra prossima la riva.

La spiaggia di Torre Cerrano si trova attualmente in una fase di transizione, la così detta fase 2 descritta in figura 6, ovvero una condizione in cui i fondali non hanno raggiunto la conformazione con massima capacità di protezione della spiaggia. Il parametro AMPIEZZA DI FRANGIMENTO (figura 7) si attesta ad un valore di minimo. La capacità di riconoscere tale "fase" della spiaggia può rappresentare un valore aggiunto se opportunamente considerato nella pianificazione degli interventi che interagiscono con il trasporto di sedimenti lungo costa.

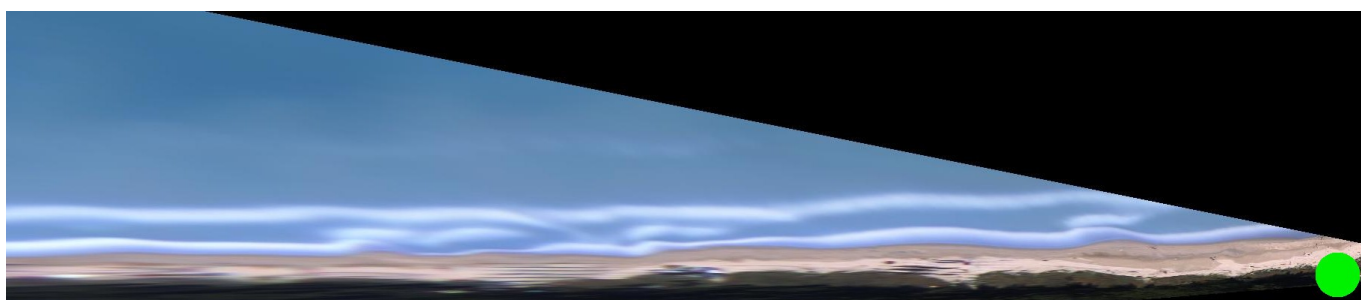
I dati di monitoraggio, se acquisiti in continuo e per un intervallo temporale multi-annuale, rappresentano uno strumento efficace per la comprensione di dinamiche complesse e relazionate sia ai forzanti meteo-climatici che agli interventi strutturali sui litorali.

Riconoscere tendenze evolutive rappresenta quindi una priorità necessaria alla fase di pianificazione degli interventi.

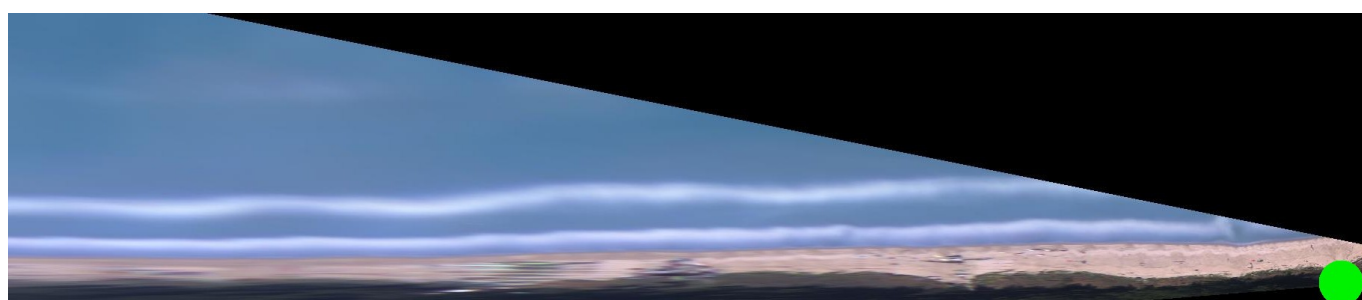
IMMAGINI DALLA RVMC



Maggio 2020 - dimensione del litorale analizzato 2000m x 350m. In verde la posizione della stazione RVMC

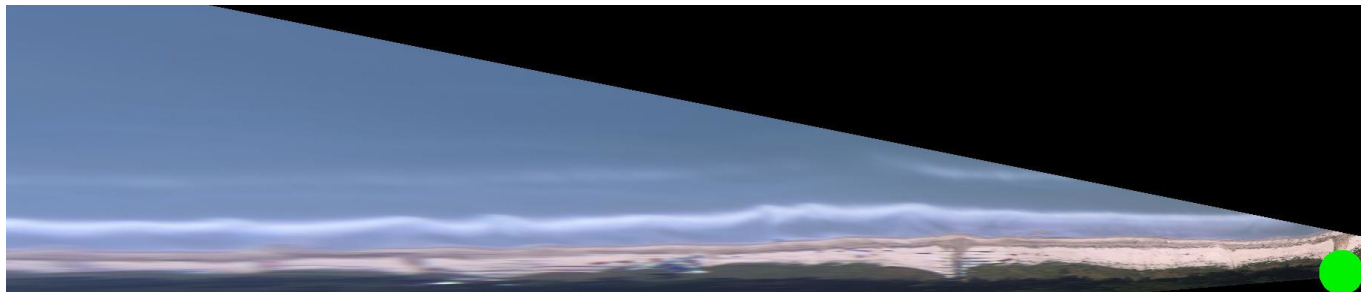


Maggio 2021 - dimensione del litorale analizzato 2000m x 350m. In verde la posizione

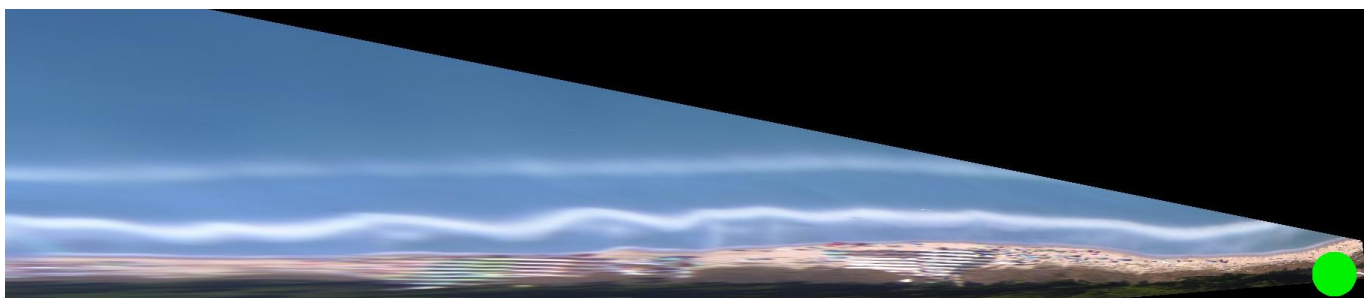


della stazione RVMC

Maggio 2022 - dimensione del litorale analizzato 2000m x 350m. In verde la posizione della stazione RVMC



Maggio 2023 - dimensione del litorale analizzato 2000m x 350m. In verde la posizione della stazione RVMC



Agosto 2024 - dimensione del litorale analizzato 2000m x 350m. In verde la posizione della stazione RVMC

