



Progetto COPEMAP

*CO*astal *P*rotection and *resili*Ence *MA*pping in *P*rotected areas

Mappatura della protezione costiera e della resilienza in aree protette

per ISPRA

Luca Parlagreco, Saverio Devoti

per Università Politecnica delle Marche

Lorenzo Melito, Maurizio Brocchini

per Università del Molise

Angelo Marucci, Davide Marino

Relazione sintetica 2020

Premessa

Il progetto COPEMAP ha sviluppato un sistema di “auto-monitoraggio” in aree protette dello stato di salute del sistema spiaggia, inquadrata nella sua interezza come un sistema naturale “spiaggia-dune-fondali”. L’obiettivo applicativo del progetto è stato la quantificazione economica di tale stato di salute, inteso come beneficio economico derivante dalla capacità del sistema spiaggia-duna-fondali di offrire servizi, definiti come servizi ecosistemici di regolazione e culturali (Tabella 1).

I litorali sabbiosi sono ambienti estremamente dinamici in quanto soggetti a processi che agiscono su diverse scale temporali, come onde, maree, tempeste e cambiamenti del livello marino. In risposta a tali sollecitazioni, la spiaggia si adatta ridistribuendo la sabbia a disposizione e quindi variando la propria forma. La linea di riva può arretrare o avanzare sporadicamente, ciclicamente o progressivamente, inducendo una consequenziale variazione del beneficio offerto e/o del valore percepito.

Nell’ottica di una gestione integrata della costa e di pianificazione dello spazio marittimo, l’approccio implementato fornisce innanzi tutto alcuni strumenti tecnico-scientifici necessari per quantificare “l’effetto parco” in un contesto di area vasta, troppo spesso contraddistinto da una visione “settoriale” della fruizione dei litorali. A tale scopo sono stati sviluppati degli indicatori “funzionali” ovvero, descrittori dell’andamento dello stato di salute dei litorali sabbiosi e della loro capacità di fornire un beneficio in termini di protezione costiera, di salvaguardia del paesaggio e quindi di fruizione della costa.

I siti di studio sono localizzati lungo i litorali afferenti al:

- Parco Nazionale del Circeo (denominato PNC);
- Area Marina Protetta di Torre del Cerrano (denominata AMP);
- Parco Nazionale del Gargano (denominato PNG).

Per confronto sono stati utilizzati i dati territoriali acquisiti per due siti costieri a prevalente vocazione turistica e non soggetti a vincoli conservazionistici:

- spiaggia di Senigallia (AN);

- spiaggia di Terracina (LT).

Categoria	Classe	Gruppo
Approvvigionamento	Nutrimento	Piante e animali terrestri
		Piante e animali di acqua dolce
		Piante e animali marini
		Acqua potabile
	Materiali	Biotici (es. vegetali e animali)
		Abiotici (es. minerali)
	Energia	Fonti rinnovabili biotiche
Fonti rinnovabili a-biotiche		
Regolazione e mantenimento	Regolazione dei rifiuti	bioremediation
		Diluizione e sequestro
	Regolazione dei flussi	Regolazione aerea
		Regolazione idrica
		Regolazione di massa
	Regolazione fisica dell'ambiente	Regolazione climatica
		Regolazione della qualità dell'acqua
		Regolazione del suolo
	Regolazione biologica dell'ambiente	Mantenimento dei cicli di vita e protezione degli habitat
		Controllo delle malattie e dei parassiti
Protezione del patrimonio genetico		
culturali	simbolico	Estetico, memoria
		Religioso e spirituale
	Intellettuale ed esperienziale	Attività ricreative
		consapevolezza

Tabella 1.

Il concetto di servizio ecosistemico applicato ai litorali sabbiosi

I litorali sabbiosi, similmente agli Habitat naturali, assolvono ad una serie di funzioni indipendentemente dalla volontà dell'uomo, i così detti "servizi ecosistemici". Essi possono essere raggruppati in tre categorie (si veda Tabella 1):

1. approvvigionamento;
2. regolazione e mantenimento;

3. culturali.

In particolare, un litorale sabbioso nell'interezza di dune, spiaggia e fondali fornisce:

- a) un servizio di “regolazione” dell'erosione costiera;
- b) un insieme di servizi “culturali” legati alla fruizione del paesaggio costiero.

Nel presente progetto è stata sperimentata la contabilizzazione di tali servizi, secondo il seguente schema:

1. la descrizione quantitativa della “capacità di protezione costiera - CP” offerta dai fondali con particolare riferimento ai principali elementi funzionali, ovvero le barre sabbiose sommerse;
2. la quantificazione dei benefici complessivamente indotti da un determinato sistema spiaggia tramite un approccio di “contabilità ambientale”.

La calibrazione del modello concettuale è avvenuta confrontando il “bilancio ambientale” tra le aree protette e i settori limitrofi, quantificando la valenza “dell'effetto parco”.

La prosecuzione del lavoro sarà indirizzata all'implementazione del modello come strumento di simulazione degli effetti “monetari” legati a scenari di variazioni strutturali del sistema spiaggia-dune-fondali, ad esempio legati ad una riduzione delle volumetrie delle barre sommerse.

Sintesi delle tecniche utilizzate per l'acquisizione di dati morfologici multitemporali

Si ritiene necessario fornire una sintetica descrizione del video-monitoraggio costiero, ovvero una metodica osservativa indiretta che, a partire da un'immagine acquisita automaticamente da una videocamera posizionata in prossimità della spiaggia, riesce a darne una visione metrica con estremo dettaglio (fotogrammetria digitale terrestre), al pari di una misura diretta (ad esempio tramite l'utilizzo di un metro da parte di due operatori o tramite GPS).

I sistemi utilizzati in COPEMAP forniscono la misura di:

- ampiezza spiaggia;
- posizione e numero delle barre sommerse (secche sabbiose);
- ampiezza della zona adibita al frangimento ondoso (zona dove l'energia ondosa viene dissipata);
- ampiezza della zona di risacca (zona dove l'energia ondosa rimanente si trasferisce definitivamente sulla spiaggia);
- entità della massima risalita dell'onda sulla spiaggia.

L'acquisizione oraria di questi parametri descrive l'andamento temporale delle dimensioni di un sistema spiaggia e fornisce informazioni indirette dell'andamento temporale dei fattori che caratterizzano la capacità di protezione costiera offerta da uno specifico tratto litorale in uno specifico intervallo temporale.

I dati di video-monitoraggio prodotti e implementati nell'ambito del progetto sono stati pubblicati sul portale ISPRA¹ con una frequenza di aggiornamento settimanale, con l'obiettivo di divulgare le attività e le risultanze utili ai portatori di interesse costieri delle aree di studio.

Ad integrazione dei dati di video-monitoraggio, con l'obiettivo di caratterizzare l'evoluzione dei siti di analisi nell'intervallo 2000-2020, sono stati analizzati i dati satellitari delle missioni Landsat 7, Landsat 8 e Sentinel 2 da cui sono state estratte le linee di riva tramite una procedura automatizzata basata su Machine Learning e, quindi non soggetta ad interpretazione da parte di un operatore. Dall'analisi delle linee di riva estratte è stato possibile descrivere, su specifici transetti di analisi, l'evoluzione recente dei siti di studio e delle aree limitrofe.

La capacità di protezione costiera CP e il ruolo delle barre sommerse

Le barre sommerse sono una componente cruciale dei sistemi costieri sabbiosi in quanto immagazzinano sedimento e rappresentano la zona preferenziale di dissipazione dell'energia ondosa, giocando così un ruolo chiave nella complessiva stabilità morfologica del litorale.

Durante i grandi eventi di mareggiata lungo le barre sommerse si esplica una importante mobilitazione di sedimento in funzione delle correnti idriche generate dalle onde, e soprattutto dal frangimento ondoso. La sabbia generalmente viene spostata verso il largo per poi migrare lentamente verso costa nei seguenti periodi di calma e quindi ripristinare le condizioni morfologiche alla situazione pre-mareggiata (ampiezza e pendenza di spiaggia).

La CP dei sistemi di spiaggia dominati dalle onde risulta quindi fortemente relazionata alla capacità di preservare le proprie funzionalità in condizioni idromorfologiche mutevoli, ovvero dissipare e assorbire l'energia delle onde incidenti. Un fondale capace di offrire protezione costiera in varie condizioni energetiche è sicuramente contraddistinto da una elevata capacità di mobilitazione e redistribuzione di sabbia trasversalmente (mare-terra) e longitudinalmente (lungo costa). Un sistema costiero può essere denominato come **“resiliente”** se contraddistinto da una efficace mobilitazione di sedimento lungo costa e tra la porzione emersa della spiaggia e i fondali, ovvero ***in grado di adattarsi autonomamente alla mutevolezza delle sollecitazioni ondose.***

Nell'assunto che la capacità di protezione offerta da un sistema spiaggia sia relazionata ai flussi sedimentari e che questi siano maggiormente intensi nella zona del frangimento, è stata condotta una prima analisi di caratterizzazione morfologica degli elementi più rappresentativi, ovvero le barre sommerse o “secche”.

Per questioni di tipo logistico² non è stato possibile garantire una copertura omogenea di dati topografici e batimetrici per tutte le aree di studio, la caratterizzazione dei sistemi di barre si è quindi avvalso di due tipologie di data-set, uno ad “alta risoluzione” per il PNC e AMP, ed uno “a bassa risoluzione” per il PNG, dove la principale differenza rimane legata alla possibilità (o meno)

¹ videomonitoraggio.isprambiente.it

² Lock down primavera 2020.

di quantificare sia l'assetto planimetrico (quindi numero, posizione e distanza da riva) che volumetrico del sistema di barre (Tabella 2).

Le modalità con cui si esplica la “capacità di protezione” è principalmente relazionata all'interazione tra la capacità di dissipare l'energia delle onde da parte dei fondali e quello di assorbire il contenuto energetico rimanente da parte della spiaggia emersa. Sono stati quindi utilizzati i dati a disposizione per caratterizzare i settori in analisi secondo lo schema riportato nelle Tabelle 3, 4 e 5.

Tipologie dati	Banca dati	
	alta risoluzione	bassa risoluzione
<i>batimetrici</i>	x	
<i>topografici</i>	x	
<i>satellitari</i>	x	x
<i>video-monitoraggio</i>	x	x
<i>Informazioni planimetriche</i>	x	x
<i>Informazioni volumetriche</i>	x	

Tabella 2

Tipologie dati	Parametri	multi temporale	campionamento
<i>batimetrici</i>	Volume barre	Si (2009,2019)	Una tantum
<i>topografici</i>	Volume spiaggai emersa	Si (2015-2020)	2 volte anno
	Pendenza		
	Ampiezza spiaggia		
<i>satellitari</i>	Posizione linea di riva	Si (2000-2020)	15-5 giorni
<i>video-monitoraggio</i>	Posizione linea di riva	Si (2015-2020)	oraria
	Risalita ondosa sulla spiaggia		
	Numero barre		
	Posizione barre		

Tabella 3. Data-set PNC.

Tipologie dati	Parametri	multi temporale	campionamento
<i>batimetrici</i>	Volume barre	No (2019)	Una tantum
<i>topografici</i>	Volume spiaggia emersa	No (2019)	Una tantum
	Pendenza		
	Ampiezza spiaggia		
<i>satellitari</i>	Posizione linea di riva	Si (2000-2020)	15-5 giorni
<i>video-monitoraggio</i>	Posizione linea di riva	Si (2016-2020)	oraria
	Risalita ondosa sulla spiaggia		
	Numero barre		
	Posizione barre		

Tabella 4. Data-set AMP.

Tipologie dati	Parametri	multi temporale	campionamento
<i>batimetrici</i>	Volume barre	No	
<i>topografici</i>	Volume spiaggia emersa	No	
	Pendenza		
	Ampiezza spiaggia		
<i>satellitari</i>	Posizione linea di riva	Si (2000-2020)	15-5 giorni
<i>video-monitoraggio</i>	Posizione linea di riva	Si (2018-2020)	oraria
	Risalita ondosa sulla spiaggia		
	Numero barre		
	Posizione barre		

Tabella 5. Data-set PNG.

Dai dati disponibili del sito del PNC è stato individuato un descrittore della volumetria minima necessaria a garantire la stabilità della spiaggia emersa e identificato come il 10% del volume della barra esterna, settore dei fondali che si mobilita solo durante le mareggiate più severe. Partendo quindi dalla volumetria della barra esterna è stato possibile stimare il volume di sabbia che si mobilita sulle spiagge anche nei settori limitrofi per i quali non si avevano a disposizione dati topografici multi-temporali che descrivessero l'entità di variazione volumetrica del settore emerso della spiaggia.

Differentemente, per tutti i siti, è stato possibile individuare un set di descrittori omogeneo e desumibile dai dati di video-monitoraggio e satellitari.

Simulazione del servizio ecosistemico CP

Questa linea di attività ha fornito una **stima del livello di inondazione costiera** che ci si può ragionevolmente attendere su una fascia costiera di interesse, a seguito di un attacco ondoso di caratteristiche predeterminate. L'utilizzo di modelli numerici ha permesso di analizzare l'influenza della morfologia costiera, e in particolare delle **barre sommerse**, che svolgono una comprovata azione protettiva sulla costa.

L'inondazione costiera è stata scelta come parametro obiettivo del metodo, poiché si pone come l'ideale punto d'incontro tra i diversi aspetti tecnici coinvolti. Essa è, infatti, un indicatore di immediata interpretazione, facilmente identificabile dalle immagini di video-monitoraggio e altrettanto facilmente indagabile attraverso i metodi della modellazione numerica.

In risposta alle esigenze pratiche degli stakeholder, la procedura è stata concepita per essere di semplice implementazione ed applicazione, e può essere attuata utilizzando software gratuiti e liberamente accessibili.

La definizione di qualsiasi sistema informatico utile alla valutazione della protezione costiera non può prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche morfologiche della costa che si vuole studiare (la pendenza del fondale, la presenza e il numero delle barre sottomarine, la profondità media dell'acqua in una fascia costiera di interesse).

Le conseguenze dell'azione ondosa sulla spiaggia emersa, e di riflesso su tutte le strutture naturali e artificiali che vi afferiscono, sono infatti il risultato ultimo di complesse interazioni che le onde instaurano continuamente con il fondale marino. Il contenuto energetico delle onde generate in mare aperto viene fortemente ridotto e modulato nel loro viaggio verso la costa, principalmente in virtù della decrescente profondità dell'acqua, che le porta a irripidirsi, frangere e perdere energia sotto forma di turbolenza. In questo processo le barre sottomarine sono di cruciale importanza, poiché sono regioni in cui la profondità dell'acqua si riduce in maniera repentina e nelle quali si concentra una grande quantità di dissipazione. In altre parole, ***l'impatto sulla spiaggia emersa viene inevitabilmente influenzato dalla spiaggia sommersa***, quale frutto di un variegato sistema di influenze e interazioni che la modellistica numerica contribuisce in maniera sempre più determinante a chiarificare.

Allo scopo di investigare l'effetto della morfologia del fondale sulla protezione costiera **CP**, le informazioni sui fondali oggetto di studio devono essere adeguatamente fornite ai modelli numerici affinché questi ne possano tener conto nella simulazione dei processi di dissipazione ondosa e inondazione costiera. Per definire il fondale modello da usare per le simulazioni numeriche, sono stati usati dati provenienti da una campagna batimetrica *in situ* eseguita nell'ottobre 2019 lungo il litorale afferente al PNC, con il supporto tecnico dell'Ente Parco (Figura 1). In questa prima fase, è stato utilizzato il profilo costiero acquisito nei pressi della stazione di video-monitoraggio ISPRA

(Oasi di Kufra) per calibrare le procedure di simulazione. Una volta calibrato il modello sono state costituite tre diverse tipologie di fondale per la zona costiera di Sabaudia:

1. un profilo costiero misurato, dotato di due-tre barre ben formate (*fondale con barra*; linea nera continua in Figura 2);
2. un profilo costiero misurato, al quale è stata rimossa la barra intermedia (*fondale senza barra*; linea nera tratteggiata in Figura 2);
3. un profilo denominato “di equilibrio”, al quale è stato completamente rimosso il sistema di barre (*fondale “di equilibrio”*; linea nera punteggiata in Figura 2).

Il fondale senza barra ci ha consentito di investigare l'effetto dell'assenza di una specifica barra rispetto alla situazione originale (in cui tutte le barre sono presenti). Il fondale “di equilibrio”, non presentando alcuna barra, ci ha permesso di osservare le conseguenze di un fondale completamente privo di protezione costiera (aggiuntiva rispetto alla dissipazione naturalmente presente in virtù della riduzione graduale della profondità dell'acqua).

Ognuno dei tre profili sopra descritti è stato sollecitato con tre differenti condizioni ondose, di intensità crescente:

- a) clima ondoso di bassa intensità (altezza d'onda = 1 m; periodo d'onda = 6.3 sec);
- b) clima ondoso di moderata intensità (altezza d'onda = 2.5 m; periodo d'onda = 8.5 sec);
- c) clima ondoso di alta intensità (altezza d'onda = 4.2 m; periodo d'onda = 9.2 sec).



Figura 1. Supporto logistico del PNC per esecuzione campagna batimetrica.

È stata inoltre simulata l'estensione significativa dell'inondazione costiera modellata da ognuna delle simulazioni per constatare la performance di protezione costiera di ogni profilo.

Tale attività è stata sviluppata per il sito del PNC³ dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche.

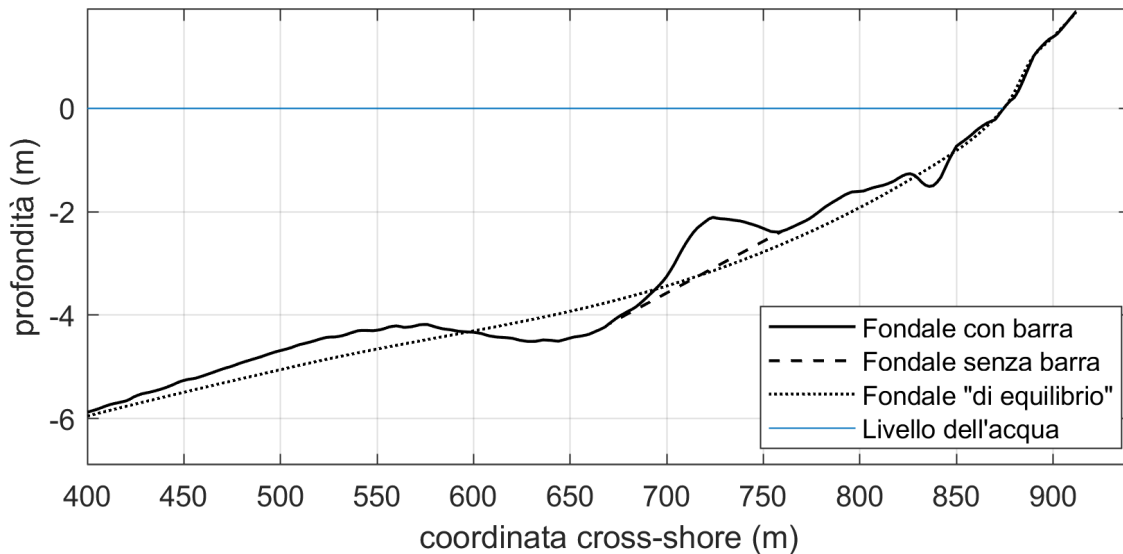


Figura 2. I tre profili utilizzati per le simulazioni di valutazione dell'effetto delle barre sottomarine.

La contabilizzazione di CP – il Bilancio Economico Ambientale

Nella gestione integrata delle coste, come accennato, dovrebbero essere considerati sia i costi del capitale naturale ed il suo valore economico, sia i benefici che derivano dalla conservazione naturale delle coste. La differenza dei benefici e dei costi nella protezione dell'erosione costiera consente di individuare le scelte più appropriate nella gestione del fenomeno e quindi decidere se agire attraverso la gestione sostenibile dell'ecosistema marino costiero oppure sulla realizzazione di strutture artificiali.

Il bilancio economico ambientale si prefigge di contabilizzare i costi ed i benefici nella gestione del fenomeno dell'erosione costiera confrontando le Aree naturali Protette (che hanno una gestione conservazionistica) con le Aree limitrofe (in cui la gestione non è sottoposta agli stessi vincoli normativi). Il metodo è stato implementato nel Parco Nazionale del Circeo⁴ e nelle aree limitrofe al parco.

Il Bilancio Economico Ambientale è declinato, secondo la Figura 3 in costi e benefici.

³ E in fase di implementazione nel sito AMP.

⁴ In fase di implementazione nei siti AMP e PNG.

Nel box 1 e nel box 4 sono riportate le voci di costo che determinano il danno da erosione costiera nelle due tipologie di aree sottoposte a diverso grado di tutela. La differenza tra i costi di cui al box 1 ed al box 4 fornisce (a parità di superficie) un'indicazione sul contributo apportato da un'area rispetto all'altra nella mitigazione dall'erosione costiera (riduzione del danno).

Area Naturale Protetta		Area Limitrofa							
B O X 1	<p>COSTI DELL' EROSIONE COSTIERA E DEI FENOMENI CLIMATICI AVVERSI</p> <p>A- Costi dovuti alla perdita totale/parziale del capitale economico (strutture ed infrastrutture) _____ €/anno</p> <p>B -Costi economici correnti (mancato reddito) _____ €/anno</p> <p>C- Costi dovuti alla perdita del capitale naturale _____ €/anno</p> <p>D -Costi di ripascimento dei litorali _____ €/anno</p> <p>E -Costi aggiuntivi di assicurazione _____ €/anno</p>	B O X 4	<p>COSTI DELL' EROSIONE COSTIERA E DEI FENOMENI CLIMATICI AVVERSI</p> <p>A- Costi dovuti alla perdita totale/parziale del capitale economico (strutture ed infrastrutture) _____ €/anno</p> <p>B -Costi economici correnti (mancato reddito) _____ €/anno</p> <p>C- Costi dovuti alla perdita del capitale naturale _____ €/anno</p> <p>D -Costi di ripascimento dei litorali _____ €/anno</p> <p>E -Costi aggiuntivi di assicurazione _____ €/anno</p>						
	B O X 2		<p>COSTI ORDINARI DI MANUTENZIONE</p> <p>F- Costi della conservazione ad ettaro _____ €/anno</p> <p>G-Costi degli Interventi di ingegneria naturalistica _____ €/anno</p> <p>H- Altri costi legati agli interventi di manutenzione degli habitat _____ €/anno</p> <p>I- Altri costi legati agli interventi di ripristino degli habitat _____ €/anno</p>	B O X 5	<p>COSTI ORDINARI DI MANUTENZIONE</p> <p>F- Costi di realizzazione delle opere di difesa artificiale _____ €/anno</p> <p>G-Costi degli Interventi di ingegneria naturalistica _____ €/anno</p> <p>H- Altri costi legati agli interventi di manutenzione degli habitat _____ €/anno</p> <p>I- Altri costi legati agli interventi di ripristino degli habitat _____ €/anno</p>				
			B O X 3		<p>BENEFICI DELLA CONSERVAZIONE</p> <p>L- Beneficio ambientale fornito dalle barre sottomarine _____ €/anno</p> <p>M- Beneficio ambientale di protezione dall'erosione costiera fornito dalla P. Oceanica e dalle Dune _____ €/anno</p> <p>N- Beneficio ambientale di assorbimento di carbonio fornito dalla P. Oceanica e dalle Dune _____ €/anno</p> <p>O- Beneficio ambientale habitat per la biodiversità _____ €/anno</p> <p>P- Benefici economici derivanti dalla fruizione turistica _____ €/anno</p>	B O X 6	<p>BENEFICI DELLA CONSERVAZIONE</p> <p>L- Beneficio ambientale fornito dalle barre sottomarine _____ €/anno</p> <p>M- Beneficio ambientale di protezione dall'erosione costiera fornito dalla P. Oceanica e dalle Dune _____ €/anno</p> <p>N- Beneficio ambientale di assorbimento di carbonio fornito dalla P. Oceanica e dalle Dune _____ €/anno</p> <p>O- Beneficio ambientale habitat per la biodiversità _____ €/anno</p> <p>P- Benefici economici derivanti dalla fruizione turistica _____ €/anno</p>		
					Costi/benefici				

Figura 3. Struttura del Bilancio economico ambientale: Quadro delle voci dei costi e dei benefici.

Per il calcolo del danno da erosione costiera verranno prese in considerazione le seguenti voci di costo:

1. costi dovuti alla perdita totale/parziale del capitale economico (strutture ed infrastrutture): si identificano nei costi per ripristinare la funzionalità e l'operatività delle strutture ed infrastrutture danneggiate dal fenomeno;
2. costi economici correnti (mancato reddito): sono quantificati a partire dal mancato reddito delle attività economiche a causa delle limitazioni/interruzioni delle attività (chiusura attività turistiche, etc.), aumento dei tempi di percorrenza (e dei chilometri percorsi) dovuti ad un cambio di circolazione a seguito di interruzioni delle arterie stradali litorali; dall'interruzione dei trasporti ferroviari;
3. costi dovuti alla perdita del capitale naturale: trattasi dei costi legati alla perdita-delle Dune costiere di assorbire anidride carbonica e delle spiagge, dune e sabbie che offrono un habitat per la biodiversità;

4. *costi di ripascimento dei litorali*: costi vivi sostenuti per ripristinare la funzionalità delle spiagge erose;

5. *costi aggiuntivi di assicurazione*: costi della copertura assicurativa dei beni mobili ed immobili sottoscritta dagli assicurati contro i rischi delle catastrofi naturali.

Nel box 2 e nel box 5 si riportano rispettivamente i **costi ordinari di manutenzione** nelle Aree naturali Protette e nelle Aree limitrofe.

Nello specifico dell'Area naturale Protetta trattasi di:

1. *costi della conservazione ad ettaro*: sono riconducibili alla spesa pubblica ovvero alle risorse destinate alla conservazione dell'Area naturale Protetta;

2. *costi di ingegneria naturalistica*: riguardano i costi sostenuti per la rivegetazione della duna, trapianti di Posidonia oceanica su preesistenti popolamenti diradati o scomparsi, barriere naturali, passerelle etc.;

3. *altri costi legati agli interventi di manutenzione degli habitat*: qualsiasi altro finanziamento specifico (Statale, enti locali, UE) destinato alla manutenzione degli habitat marino costiero;

4. *altri costi legati agli interventi di ripristino degli habitat*: qualsiasi altro finanziamento specifico (Statale, enti locali, UE) destinato al ripristino degli habitat marino costiero.

Nel caso delle Aree limitrofe sono considerati, i seguenti costi:

1. *costi di realizzazione delle opere di difesa artificiale*: riguardano i costi sostenuti per la realizzazione dei pennelli, barriere frangiflutti, rivestimenti di pendii, muri e di qualsiasi altra opera artificiale realizzata per contrastare l'erosione costiera;

2. *eventuali costi di ingegneria naturalistica*: vedi punto 2;

3. *altri costi legati agli interventi di manutenzione degli habitat*: vedi punto 3.

1. *altri costi legati agli interventi di ripristino degli habitat*: vedi punto 4

Nel box 3 e nel box 6 sono riportati i **benefici della conservazione** nell'Area naturale Protetta e nelle Aree limitrofe. Trattasi di:

1. *beneficio ambientale fornito dalle barre sottomarine (secche) in termini di protezione dall'erosione*: stimato a partire dalla volumetria minima movimentabile sulla spiaggia quantificata pari al 10% di volume di sabbia trattenuta dalla barre sottomarina più distante da riva;

2. *beneficio ambientale fornito dalla Posidonia oceanica e dalle Dune costiere in termini di protezione dell'erosione*: stimato attraverso la tecnica del *Benefit transfer*⁵ con l'impiego di coefficienti monetari estrapolati dalla letteratura scientifica. I coefficienti impiegati a livello internazionale forniscono una misurazione del contributo economico (in termini di danno

⁵ La tecnica del Benefit transfer consiste nella valutazione di un bene ambientale in un'area (policy site) sulla base di valori stimati per lo stesso bene ambientale in un'altra area (study site).

evitato) apportato dalla presenza della Posidonia oceanica, delle *Banquette* di Posidonia oceanica e delle Dune costiere caratterizzate dalla presenza di *Ammophila arenaria*;

3. *beneficio ambientale fornito dalla Posidonia oceanica e delle Dune costiere in termini di assorbimento di carbonio*: stimato attraverso la tecnica del *Benefit transfer* con l'impiego di coefficienti monetari estrapolati dalla letteratura scientifica. I coefficienti impiegati a livello internazionale forniscono una misurazione del contributo economico (in termini di danno evitato grazie al sequestro di carbonio) apportato dalla presenza della Posidonia oceanica e dal suolo occupato delle dune costiere;

4. *beneficio ambientale habitat per la biodiversità*: stimato sulla base del modello "*Habitat Quality*" impiegato nel Rapporto ISPRA 2018 sul consumo di suolo;

5. *Benefici economici derivanti dalla fruizione turistica*: stimati in funzione delle diverse attività che possono essere praticate nelle aree costiere come ad esempio la balneazione, *snorkeling*, *whale-watching* ecc.

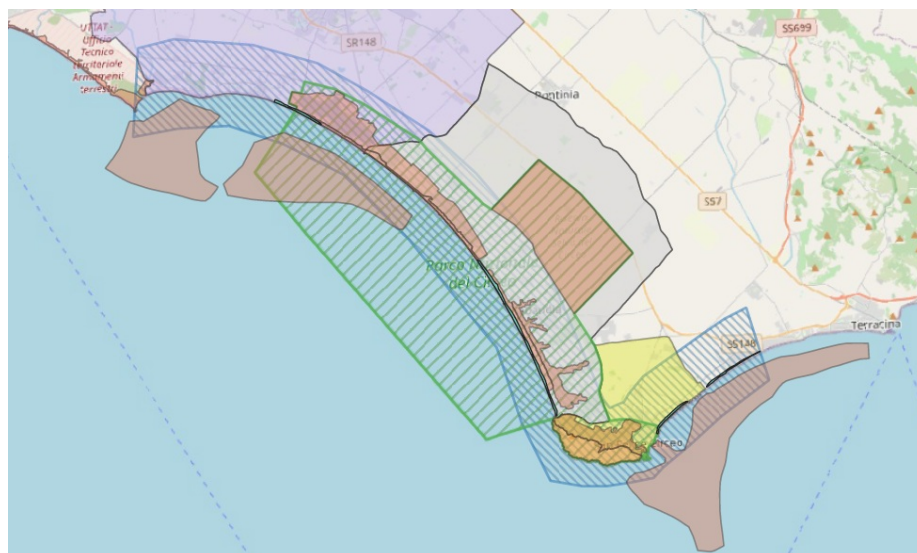


Figura 4. Delimitazione dell'area di implementazione del metodo (PNC).

Il primo passo per l'implementazione del Bilancio Economico Ambientale al PNC ed alle aree limitrofe ha riguardato l'analisi della disponibilità e la raccolta dei dati di carattere territoriale, economico ed ambientale. I soggetti coinvolti sono stati ISPRA per la parte riguardante la cartografia GIS, i dati geografici di uso e copertura del suolo ed altri dati biofisici e l'Ente PNC per la parte riguardante i danni causati dall'erosione costiera ed i costi ordinari di manutenzione. L'analisi della disponibilità e della raccolta dati è stata effettuata attraverso un'apposita scheda predisposta dall'Università del Molise ed inviata all'Ente PNC, ad ISPRA e ai Comuni che hanno fornito, laddove disponibili, i dati in loro possesso. I dati acquisiti sono stati elaborati dall'Università del Molise.

Le maggiori difficoltà nell'implementazione del Bilancio economico ambientale sono quindi riconducibili alla copertura territoriale e temporale di alcuni dati riferiti alle Aree Limitrofe. La Figura 4 illustra i confini dell'area di analisi.

Per stimare il beneficio ambientale fornito dalle barre sottomarine è stato utilizzato il Metodo del Costo evitato che costituisce una delle metodologie dell'estimo largamente utilizzato nella letteratura scientifica per attribuire un valore economico alle risorse naturali. Nel caso specifico si tratta del costo evitato per interventi di dragaggio e ripascimento degli arenili per ricostruire il profilo esistente della spiaggia a seguito di fenomeni erosivi. L'ipotesi su cui si basa la stima prevede che in assenza delle barre sottomarine si potrebbe verificare un arretramento della linea di costa con la perdita di un volume di sedimenti il cui costo di ripristino è legato all'azione di ripascimento morbido stagionale.

Risultati

L'andamento dei parametri che contribuiscono alla capacità di protezione (**CP**) offerta dai litorali analizzati è contraddistinto da una marcata variabilità spaziale e temporale.

Variabilità spaziale di CP

La variabilità nello spazio di **CP**, essendo computata su parametri morfologici, segue l'andamento spaziale di fattori ambientali quali esposizione al moto ondoso, pendenza della costa e granulometria (Fig 5).

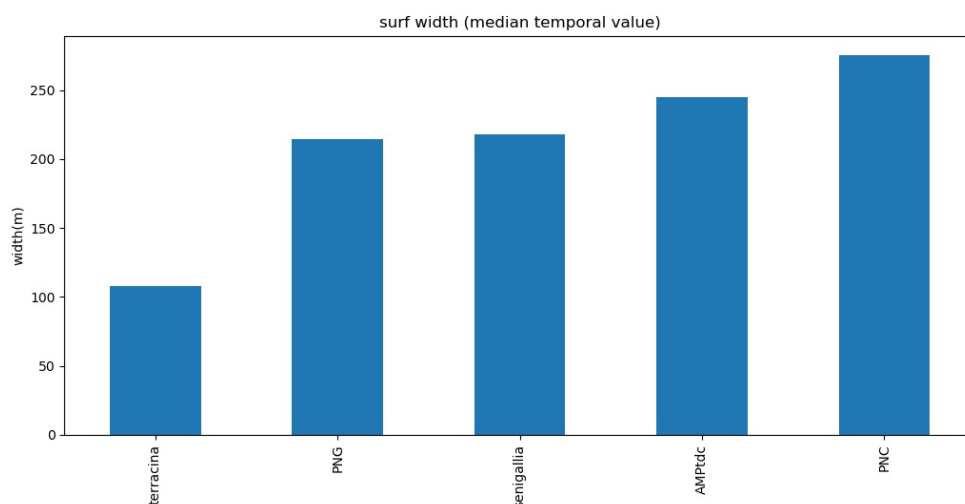


Figura 5. Variabilità della zona di dissipazione ondosa per le stazioni afferenti ai Parchi e per confronto quelle di Senigallia (AN) e Terracina (LT).

I dati di video-monitoraggio, soprattutto per le stazioni adriatiche, hanno mostrato come gli spostamenti delle barre esterne abbiano subito delle variazioni discrete e sincrone su tutto il bacino adriatico (Fig. 6), si consideri che la stazione di Senigallia (stazione di confronto) dista circa 300km da quella di Rodi Garganico (stazione del Parco Nazionale del Gargano).

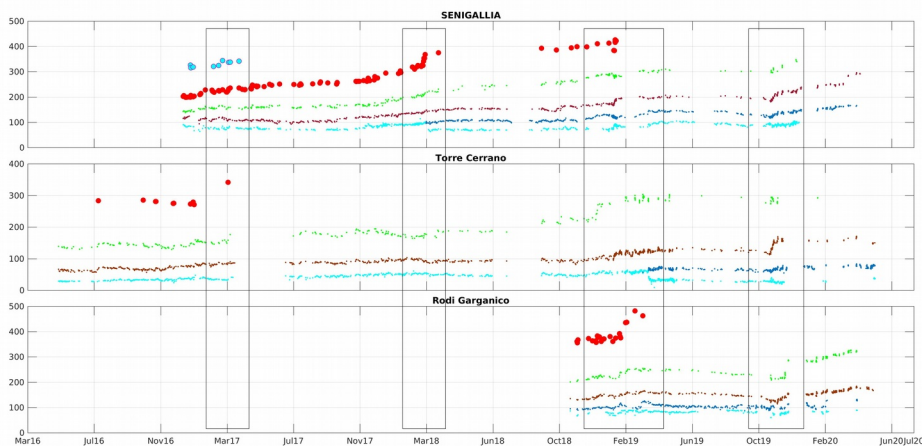


Figura 6. Esempio di evoluzioni sicrone delle barre nelle tre stazioni adriatiche. I riquadri indicano le finestre temporali in cui i sistemi reagiscono in maniera sincrona.

Variabilità temporale di CP

Le spiagge analizzate sono contraddistinte da caratteri di ciclicità più o meno marcata, e sono differenziabili in base alla velocità degli spostamenti dei sistemi di barre sommerse.

La continuità temporale delle osservazioni ha fornito la possibilità di individuare una permanenza temporale degli “stadi di equilibrio”, caratteristici per ognuna stazione.

Si può riassumere che:

- a) l’ampiezza della zona deputata alla dissipazione dell’energia ondosa varia nel tempo, quindi l’energia che raggiunge la costa (a prescindere dalle mareggiate) varia nel tempo anche in funzione dello stadio morfologico dei fondali (Fig. 7);
- b) tali variazioni seguono dei cicli caratteristici inter-annuali ovvero, si sovrappongono ai classici cicli stagionali (Fig. 7);
- c) la velocità con cui si esplicano i cicli di variazione sono costanti nel tempo ma sensibilmente differenti tra le aree di studio, quindi influenzati:
 1. dalle caratteristiche regionali del clima meteo-marino;

2. dalle condizioni geomorfologiche e di trasporto sedimentario lungo costa dei settori limitrofi.
- d) esistono degli stadi nel ciclo evolutivo dei fondali in cui la spiaggia può essere soggetta:
1. ad una maggiore esposizione all'energia incidente delle comuni mareggiate;
 2. allo sviluppo di impatti localizzati (che interessano porzioni limitate di litorale < km) rispetto quelli generalizzati (che interessano porzioni di litorale >km) .

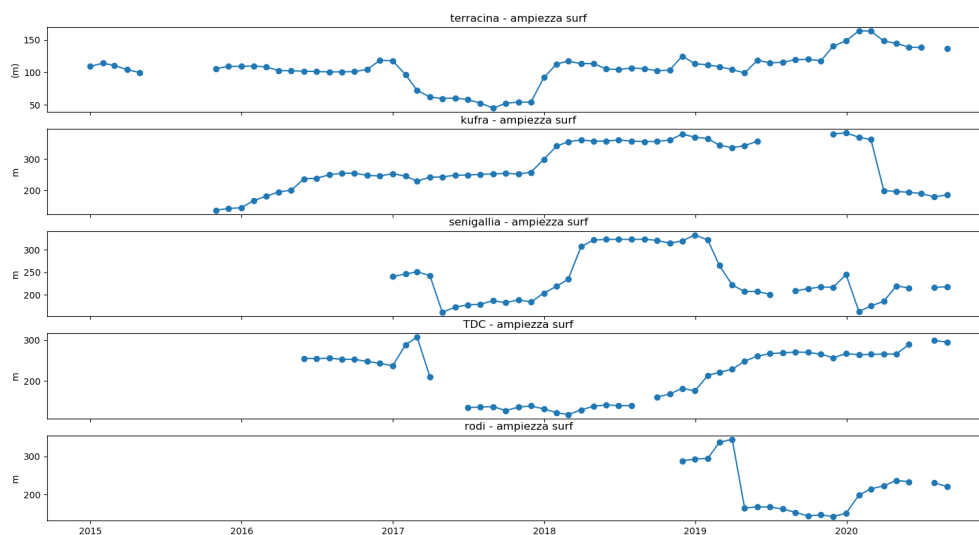


Figura 7. Evoluzione temporale della dimensione delle zone di dissipazione ondosa.

Simulazione di CP - il ruolo delle barre sommerse

Nella Tabella 6 sono riportati, per ognuna delle nove simulazioni, i valori di altezza d'onda a tre punti caratteristici posizionati dalla barra sabbiosa (HSA) verso costa (HSC), nonché il valore di sovrizzo ondoso modellato, ovvero l'allagamento della spiaggia emersa in occasione delle mareggiate simulate. Per quanto riguarda altezza d'onda (prime tre colonne numeriche), in parentesi sono riportate le percentuali di riduzione (o aumento di altezza d'onda) rispetto al valore simulato in HSA. Per i valori di sovrizzo ondoso (ultima colonna), in parentesi è indicata la percentuale di riduzione (o aumento) di sovrizzo ondoso che la simulazione con profilo "di equilibrio" ha subito rispetto alla corrispondente simulazione con profilo con barra.

È possibile osservare che, con clima ondoso di modesta intensità (clima A), il modello utilizzato (XBeach) simula una riduzione dell'altezza ondosa prossima allo zero attraverso la barra

intermedia. L'assenza della barra intermedia o la completa assenza delle barre, di contro, causa addirittura un leggero incremento di altezza (+4% con l'assenza della sola barra intermedia, +2% con totale assenza del sistema di barre). I valori di sovralzato sono paragonabili tra i tre profili con clima A, a indicare che le barre di Sabaudia tendono ad essere inattive con climi ondosi di altezza significativa prossima a 1 m.

	ALTEZZA D'ONDA	HSA	HSB	HSC	SOVRALZO ONDOSO
CLIMA A	Con barra	0.86 m	0.85 m (-1%)	0.78 m (-10%)	12.00 m
	Senza barra	0.85 m	0.89 m (+4%)	0.80 m (-6%)	12.22 m
	Prof. equilibrio	0.85 m	0.87 m (+2%)	0.87 m (+2%)	11.70 m (-2%)
CLIMA B	Con barra	2.25 m	1.44 m (-36%)	1.04 m (-54%)	36.16 m
	Senza barra	2.23 m	1.87 m (-16%)	1.14 m (-49%)	37.16 m
	Prof. equilibrio	2.22 m	1.92 m (-13%)	1.30 m (-41%)	38.50 m (+7%)
CLIMA C	Con barra	2.29 m	1.57 m (-31%)	1.12 m (-51%)	38.17 m
	Senza barra	2.28 m	1.89 m (-17%)	1.23 m (-46%)	39.36 m
	Prof. equilibrio	2.28 m	1.87 m (-18%)	1.35 m (-41%)	42.61 m (+12%)

Tabella 6. Valori modellati di altezza d'onda a tre posizioni caratteristiche (HsA, HsB, HsC), ed estensione del sovralzato ondoso a costa per le nove simulazioni considerate.

L'effetto dell'assenza della barra intermedia è, al contrario, molto evidente in caso di clima ondoso moderato (clima B) e intenso (clima C). La barra intermedia causa, infatti, una dissipazione globale del 36% di altezza ondosa con clima B e del 31% con clima C. In assenza della barra intermedia, l'abbattimento delle onde scende al 16-17%. Infine, l'assenza di una o più barre può prodursi in un incremento dell'inondazione significativa dell'ordine del 7% per climi ondosi moderati e del 12% per climi ondosi intensi.

La trasformazione dell'altezza ondosa significativa descritta numericamente evidenzia come la barra incida in maniera importante sull'abbattimento dell'altezza ondosa significativa, in particolar modo per i climi ondosi più energetici nella regione immediatamente retrostante la barra stessa (HSB e HSC).

In conclusione l'assenza di una o più barre sottomarine⁶ può potenzialmente causare una minore dissipazione dell'energia ondosa rispetto alla situazione con barra (dissipazione del 15-20% senza barra, rispetto ad un valore del 30-35% con barra), e un globale incremento dell'inondazione costiera.

Bilancio Economico Ambientale

L'implementazione del bilancio economico ambientale consente di rapportare i costi ed i benefici con l'obiettivo di valutare la convenienza dell'investimento pubblico. Nel caso in oggetto i benefici ambientali riguardano i beni e servizi forniti dagli habitat marino costieri mentre i costi sono quelli sostenuti per la gestione della costa e per ripristinare i danni prodotti dagli eventi meteomarinari.

⁶ Risultanze dall'implementazione del modello solo per il sito del PNC, in fase di elaborazione per gli altri siti.

L'effetto Parco è ben evidenziato dalle risultanze⁷ derivanti dal Bilancio Economico Ambientale (Tab. 7) e, soprattutto, indicano un beneficio netto maggiormente ripartito su settori privati, in quanto i costi ordinari di manutenzione sono gravanti sui soli soggetti pubblici (Tab. 8).

Un metro di spiaggia in area protetta produce un beneficio economico maggiore rispetto all'area limitrofa di 1.255 €/m. Tuttavia è opportuno precisare che i costi dell'erosione costiera e dei fenomeni climatici avversi in area limitrofa risultano essere sottostimati causa la difficoltà di acquisizione delle informazioni inerenti i danni subiti dalle strutture balneari e turistiche.

Secondo le stime effettuate a fronte di un investimento di 19,5 €/m il ritorno in termini di benefici ambientali è superiore a 2.200 €/m a testimonianza dell'effetto prodotto dalle politiche di conservazione in vigore nell'area parco. L'effetto "parco" inoltre è confermato anche dal rapporto Benefici Ambientali/Costi Economici che mostra una maggiore convenienza ad investire nelle azioni *Nature- Based Solutions* (NBS) per la difesa della costa.

Costi e benefici per metro lineare di spiaggia [€/m] [2018-2019]

Voci del bilancio	area parco/ZPS	Area Limitrofa
Costi dell'erosione costiera e dei fenomeni climatici avversi [€/m]	54,5	30,0
Costi ordinari di manutenzione [€/m]	19,5	78,3
Benefici della conservazione [€/m]	2.231,3	1.010,2
Benefici - Costi [€/m]	2.157,3	901,9
Benefici Ambientali/Costi economici	30,1	9,3

Tabella 7. Bilancio Economico Ambientale pre il PNC.

Si evidenzia, a supporto della precedente considerazione, che l'indotto economico derivante dalla "fruizione" di un'area naturale protetta rappresenta l'aliquota maggiore dell'intero beneficio indotto dalle politiche conservazionistiche, ovvero dai servizi di tipo culturale ed estetico prodotti dai paesaggi naturali (Fig. 7 e 8).

Al netto del beneficio offerto dagli indotti turistici si evince che la salute dei fondali assume una valenza prioritaria, con valori relativi maggiori nell'areale protetto (Fig. 9). Aggregando il contributo svolto dalle barre a quello della P. Oceanica ed alle dune il servizio di protezione dall'erosione ha un peso percentuale maggiore rispetto alla fornitura dei servizi ecosistemici di regolazione climatica e di protezione della biodiversità.

⁷ Risultati non aggiornati e non comprensivi delle risultanze degli altri siti di progetto.

	PNC		Area limitrofa	
	privato	pubblico	privato	pubblico
Costi dell'erosione costiera e dei fenomeni climatici avversi [%]	55.2	44.8	26.3	73.7
Costi ordinari di manutenzione [%]	0	100	0	100
Benefici della conservazione [%]	86.3	13.7	81	19
Benefici - Costi [%]	87.3	12.1	89.8	10.2

Tabella 8. Ripartizione del bilancio economico ambientale tra settore pubblico e privato.

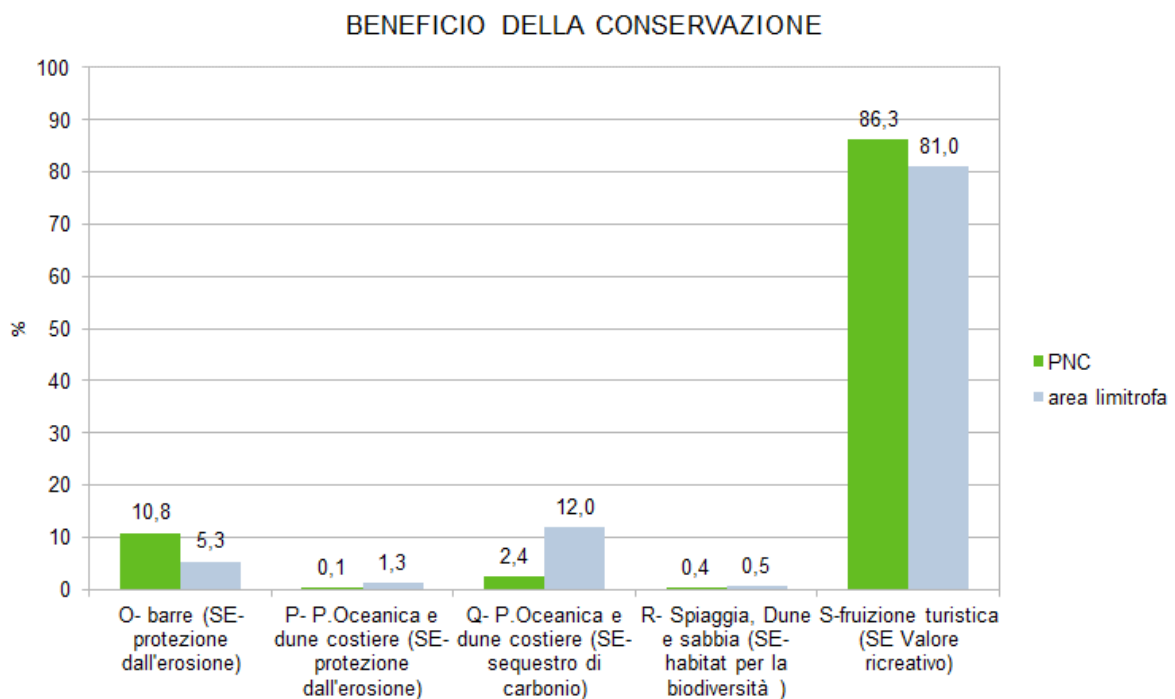


Figura 7. Bilancio Economico Ambientale pre il PNC.

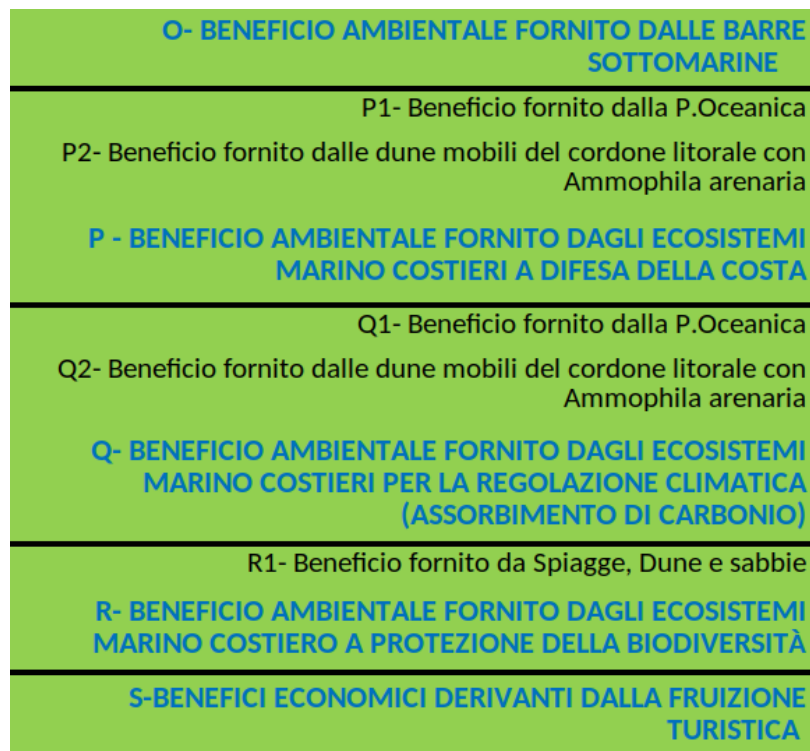


Figura 8. Voci del beneficio indotto da politiche conservazionistiche.

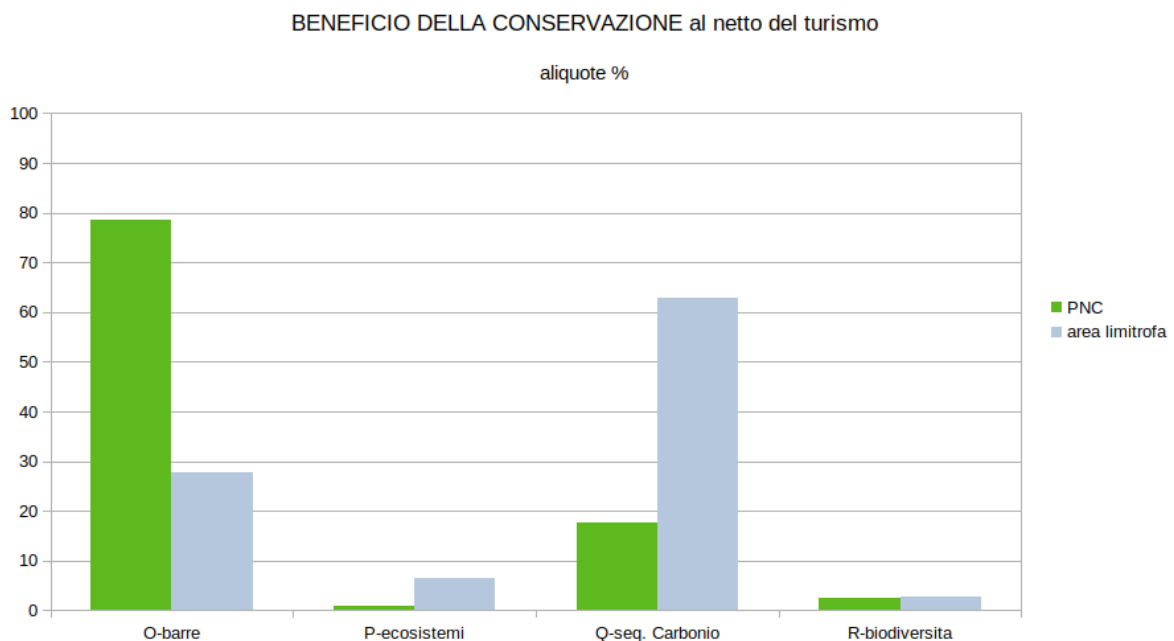


Figura 9.

Sintesi

Sempre più spesso gli amministratori della costa si trovano di fronte all'esigenza di trovare soluzioni che possano risolvere le problematiche di erosione costiera e, là dove presenti aree ad elevato valore ambientale (parchi e riserve, o in generale siti della rete NATURA2000), integrare tali azioni in un'ottica di tutela e valorizzazione del capitale naturale.

Ulteriormente, le variazioni del clima renderanno necessario un crescente utilizzo di politiche di adattamento come rimedio al previsto aumento della frequenza di eventi di mareggiata. In questo quadro, la gestione dei sedimenti alla scala delle unità fisiografiche rappresenta l'unico approccio perseguibile per non compromettere ulteriormente il trasporto solido litoraneo, sensibilmente compromesso dal progressivo irrigidimento e compartimentazione della costa (bonifica, regimazione dei corsi d'acqua, realizzazione di sbarramenti di ritenuta, porti, opere di difesa costiera, ecc.). L'adozione di opere di difesa costiera di tipo rigido finora non ha risolto il problema dell'erosione che invece ha continuato ad aumentare nonostante l'ampio utilizzo di queste soluzioni.

Tra i maggiori effetti introdotti dalle opere costiere rigide e da un generalizzato e non pianificato "irrigidimento della costa" si possono individuare:

1. l'introduzione di un'asimmetria artificiale nella distribuzione longitudinale della larghezza della spiaggia;
2. l'interferenza con il dinamismo della linea di riva e il trasferimento di sedimenti che consentirebbe alle spiagge e alle dune di funzionare in modo naturale;
3. lo spostamento del fenomeno erosivo verso segmenti di spiaggia vicini non protetti;
4. l'introduzione di habitat bentonici di fondo duro in quelli di fondo morbido;
5. la creazione di potenziali correnti pericolose per la balneazione;
6. la compromissione del ricambio idrico sottocosta con una conseguente riduzione della qualità dell'acqua;
7. la compromissione del valore estetico e paesaggistico dei litorali.

Quest'ultimo, l'aspetto del paesaggio, spesso viene trascurato nella valutazione costo benefici per la realizzazione delle opere di difesa della costa, e soprattutto nelle aree protette è risultato essere il principale volano di fruizione turistica dei litorali con un valore economico rilevante in un bilancio economico ambientale, come evidenziato dal Bilancio Economico Ambientale redatto per il Parco Nazionale del Circeo. La possibilità di ricorrere ad interventi di opere di difesa di tipo morbido (*Nature-Based Solutions*), come le opere di ripascimento dei litorali, consente di minimizzare gli impatti sulla "naturalità" e allo stesso tempo di non compromettere in maniera irreversibile l'equilibrio dinamico tra la spiaggia e i fondali e quindi i benefici offerti in termini di capacità di protezione costiera.

La base conoscitiva implementata nel progetto ha fornito informazioni utili alle politiche di adattamento da intraprendere lungo litorali afferenti ad aree protette:

- le spiagge sabbiose naturali sono contraddistinte da meccanismi autonomi di adattamento alla variazione temporale del contributo energetico ondoso che impatta la costa;
- tali meccanismi sono regolati dalla capacità di mobilità del sedimento tra la spiaggia emersa e quella sommersa e, soprattutto, dalla capacità di redistribuzione di sabbia lungo costa;
- spiagge simili ma soggette a condizioni energetiche differenti possono “muoversi” con velocità differenti, ovvero il ripristino delle condizioni di equilibrio può esplicarsi in pochi mesi o in qualche anno;
- la volumetria delle barre sommerse influenza le velocità con cui una spiaggia ripristina le sue condizioni di equilibrio, ovvero barre più voluminose si muovono più lentamente;
- la compromissione del trasporto solido lungo costa impatta la spiaggia emersa più o meno velocemente in funzione di:
 - numero delle barre;
 - volumetria delle barre;
 - dimensioni della zona di dissipazione ondosa.

In funzione di tali risultanze, la gestione del flusso di sedimenti lungo costa non può che essere implementata ad una scala sovra-comunale. Tra gli strumenti pianificatori i “**contratti di costa/fiume**” sono tra i più efficaci in tal senso. Essi sono nati per fornire un coordinamento tecnico e politico all’utilizzo di azioni e interventi previsti coerentemente su vasti ambiti territoriali, di fatto a supporto della ri-orientazione della pianificazione locale. Formalmente si elabora un documento strategico e si definisce uno scenario, riferito ad un orizzonte temporale di medio-lungo termine. Pertanto, il *contratto di costa* è *concretamente la sottoscrizione di un accordo che permette di adottare un sistema di regole in cui i criteri di utilità pubblica, rendimento economico, valore sociale, sostenibilità ambientale intervengono in modo prioritario nella ricerca di soluzioni efficaci per la riqualificazione di un settore costiero*. In questo ambito la possibilità di adottare, all'interno di un contratto di costa, un piano di gestione del sedimento consentirebbe di salvaguardare i territori litoranei ad elevato valore ambientale e paesaggistico da possibili interventi d'emergenza che, sebbene contestualizzati nel breve termine, indurrebbero squilibri strutturali nel lungo termine e non necessariamente confinati al settore di intervento.

Raccomandazioni

In relazione alle metodologie e alle risultanze⁸ si forniscono le seguenti raccomandazioni per ogni singola area.

⁸ Descritte in dettaglio nel report esteso.

Parco Nazionale del Circeo

I risultati del progetto hanno evidenziato e dimostrato come le dinamiche dei fondali siano strettamente connesse con quelle della spiaggia emersa e come il litorale del Parco abbia delle capacità di protezione che si esprimono in funzione della volumetria della barra esterna e della distanza dalla linea di riva della stessa.

La ciclicità della movimentazione dei fondali riscontrata negli anni di monitoraggio ha mostrato delle fasi in cui l'assetto morfologico della spiaggia sommersa e la pendenza stessa della spiaggia sono in una condizione di maggiore esposizione alle mareggiate, espressa in potenziali danni alle infrastrutture turistiche o in fenomeni erosivi del sistema spiaggia duna che comporta indirettamente delle ripercussioni sulla fruizione turistica. Inoltre, dai dati acquisiti è possibile evidenziare come la capacità resiliente dell'intera falcata afferente al Parco sia contraddistinta da comportamenti differenti:

- la porzione di litorale Nord (da Capo Portiere alla idrovora Lavorazione - zona Bufalara) ha un comportamento segnato da importante connessione sedimentaria tra spiaggia emersa e fondali e dalla prevalenza dei flussi idrodinamici (e quindi sedimentari) verso sud, da cui risulta una principale tendenza a sviluppo di tipologie erosive "lineari";
- la porzione centrale antistante il lago di Caprolace assume un andamento intermedio rispetto alle aree adiacenti contraddistinto da variazioni volumetriche della spiaggia molto intermittenti;
- la porzione Sud (antistante il lago di Paola) beneficia di un maggiore disponibilità sedimentaria, in quanto tratto terminale di una falcata con trasporto sedimentario sud-vergente, è contraddistinto da una pendenza dei fondali maggiore che induce un campo idrodinamico locale caratterizzato da trasporto di tipo "a celle" da cui risulta una principale tendenza allo sviluppo di tipologie erosive "localizzate".

La manutenzione del litorale pontino andrebbe pianificata in un ambito più esteso, secondo quanto previsto dalle raccomandazioni del Tavolo dell'Erosione Costiera⁹, dagli obiettivi principali dei contratti di fiume/costa e dai vari protocolli d'intesa siglati tra la Comunità del Parco e altri enti locali, secondo uno schema di gestione del sedimento coordinato e che possa superare i confini comunali.

La gestione del litorale con interventi di gestione del sedimento.

Il litorale del PNC è caratterizzato dalla presenza di una serie di foci armate, in corrispondenza dello sbocco di corsi d'acqua e di canali mareali che permettono lo scambio delle acque tra il mare e i laghi costieri (Fogliano, Monaci, Caprolace e Sabaudia). La limitata lunghezza delle armature di foce determina una debole interferenza sul trasporto solido litoraneo, ma espone le imboccature stesse a fenomeni di interrimento da parte dei sedimenti sabbiosi. Inoltre, come accennato tra i

⁹ <http://www.erosionecostiera.isprambiente.it/linee-guida-nazionali>

risultati del progetto è stato evidenziato come ci siano degli stadi morfologici in cui il litorale è maggiormente esposto a fenomeni erosivi localizzati. La gestione del fenomeno dell'interrimento delle foci con una periodica manutenzione è finalizzata a fornire un apporto sedimentario sulle spiagge utile ad evitare fenomeni di erosione localizzata laddove si identificano degli stadi di criticità morfologica.

Infine, va ricordato che anche la gestione del sedimento e degli accessi al sistema dunale può contribuire ad evitare la dispersione di sabbia fuori dal sistema. Pertanto, un'attenta condivisione delle azioni da intraprendere deve essere portata all'attenzione di tutte le amministrazioni che hanno a che fare con la pianificazione del territorio costiero.

Raccomandazioni per interventi a difesa dei litorali

In linea con lo studio della Provincia di Latina (2009), la stima dell'efficacia di un intervento di difesa non può essere svincolata dalla valutazione delle alterazioni che possono essere provocate sull'ambiente costiero circostante, in particolare sopraflutto e sottoflutto alla zona di intervento. Allo stesso tempo, in funzione delle risultanze della presente Azione di Sistema, si raccomanda una gestione del sedimento finalizzata al mantenimento delle funzionalità stesse degli elementi di un sistema spiaggia, ovvero si sconsiglia la mobilitazione di sabbia dai fondali alla spiaggia in quanto abbatterebbe notevolmente la capacità di dissipazione energetica delle barre stesse inducendo un conseguenziale aumento dell'esposizione all'energia ondosa della porzione emersa della spiaggia.

In generale, uno scenario di ripascimento morbido è un intervento compatibile con la "naturalità" della zona di interesse. Generalmente un tratto litorale in cui viene implementato il budget sedimentario induce benefici "istantanei" nella zona di intervento e benefici "posticipati" nelle aree sottoflutto. L'effetto principale dell'opera, ovvero l'avanzamento della linea di riva, garantisce ulteriormente una maggiore protezione delle dune retrostanti nei confronti dell'attacco ondoso durante le mareggiate.

Differentemente, un intervento di ripascimento protetto da pennelli, oltre ad essere più oneroso comporta sicuramente un maggior impatto sul litorale. Ciò che viene modificato non è infatti il bilancio globale del litorale, ma la distribuzione dei sedimenti al suo interno, con benefici nel tratto protetto accompagnata da una contestuale accelerazione della crisi sottoflutto alle opere rigide. Infine, l'utilizzo di interventi con barriere sommerse con elementi di particolari caratteristiche idrauliche (Tecnoreef®, Reefball®, etc.), risulta sconsigliabile in quanto tali interventi interagendo con il trasporto solido ostacolano la naturale mobilità dei sedimenti nella spiaggia sommersa.

Va infine sottolineato che gli interventi di ripascimento dei litorali, poiché non risolvono a monte il problema del deficit sedimentario, ma mirano a tamponare il naturale processo di erosione delle coste, prevedono una perdita di sabbia fisiologica e progressiva in direzione del trasporto solido litoraneo prevalente e, in misura minore, verso mare. Tutti gli interventi di ripascimento, infatti, dovrebbero prevedere delle operazioni di manutenzione, con ricariche di sabbia da programmare in

modo opportuno a partire dalle previsioni dei modelli di evoluzione costiera e dai risultati dei monitoraggi, e devono essere effettuate con continuità nel tempo.