

Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria

Giuseppe Barbaro

Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria, Dipartimento DICEAM, Via Graziella località Feo di Vito
giuseppe.barbaro@unirc.it

Introduzione

Nella memoria viene descritta la procedura di redazione del Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria con i principali risultati ottenuti.

La Calabria è una regione caratterizzata da un territorio prevalentemente collinare (49%) e montuoso (42%), con solo il 9% di pianure e con un notevole sviluppo costiero (oltre 700 km). La conformazione stretta ed allungata del territorio e la disposizione dei rilievi comportano l'assenza di fiumi con sviluppo significativo (ad eccezione di Crati e Neto) e la presenza di un numero elevato di corsi d'acqua a regime torrentizio. I litorali calabresi sono caratterizzati da un'alternanza di spiagge sabbiose e ciottolose e di coste alte (concentrate prevalentemente nei promontori di Capo Vaticano e Capo Rizzuto e nel tratto tra Palmi e Scilla) e sono fortemente antropizzati (in particolare nei capoluoghi di provincia di Crotone, Reggio Calabria e Vibo Valentia e nella fascia tirrenica cosentina), con presenza di numerose attività turistiche e di stabilimenti balneari che rendono la fascia costiera di fondamentale importanza nell'economia regionale. Negli ultimi decenni gran parte dei litorali ha subito rilevanti fenomeni di arretramento della linea di riva a causa di:

- antropizzazione a fini turistici e industriali;
- riduzione dell'apporto solido fluviale;
- subsidenza di origine tettonica.

Per contrastare i fenomeni erosivi sono state realizzate svariate opere di difesa costiera ma, nella maggior parte dei casi, si tratta di "interventi tampone" realizzati con carattere di urgenza ed in aree limitate, che rimandano la soluzione del problema erosivo in quanto molti di essi sono privi di una progettazione oculata ed efficace e di una visione generale del problema. È ormai riconosciuto che, pur in presenza di una pluralità di soggetti che operano nel governo del territorio, le strategie corrette sono quelle in cui è individuato un unico soggetto istituzionale che conserva, coordina e documenta le diverse attività in materia di difesa del suolo, fungendo da collegamento fra tutti gli altri soggetti. Pertanto, il Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera si pone l'obiettivo di pianificare il riequilibrio complessivo dei litorali calabresi, mediante la redazione di uno strumento conoscitivo di medio-lungo termine che consenta di valutare in maniera chiara e completa le conseguenze delle diverse soluzioni progettuali e di fondare, quindi, le scelte su analisi attendibili, documentate ed estese agli aspetti fisici, ambientali, sociali ed economici, tra loro strettamente connessi.

Nella memoria sarà descritta la metodologia adottata nella redazione del Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria, approfondendo in particolare le fasi di analisi morfologica, di caratterizzazione e classificazione del clima ondoso di largo e di individuazione delle aree a rischio erosione costiera, che rivestono interesse scientifico in quanto prevedono la definizione di specifici indici. La procedura descritta ha permesso di ottenere un valido livello di conoscenza delle problematiche che interessano i litorali calabresi ma è, tuttora, passibile di miglioramenti, illustrati nella sezione in cui vengono analizzati i risultati ottenuti.

Metodologia adottata

La redazione del Master Plan si sviluppa in due parti, la prima delle quali si articola in:

- raccolta dati (reperimento cartografico; raccolta del materiale disponibile su indagini batimetriche, topografiche, sedimentologiche, meteomarine e su progetti di opere marittime realizzate o in corso di esecuzione; raccolta di dati ondametrici, anemometrici, correntometrici e mareografici);
- indagini conoscitive (indagine sullo stato attuale della linea di costa; indagine storiografica sull'evoluzione della linea di costa; censimento delle opere marittime esistenti; indagine e caratterizzazione dei bacini idrografici per quantificare, approssimativamente, il relativo apporto di materiale sui litorali limitrofi);
- studi preliminari (caratterizzazione del moto ondoso di largo; analisi della propagazione del moto ondoso da largo a riva; analisi approssimata della dinamica costiera in senso trasversale e longitudinale e valutazione del trasporto solido; analisi della tendenza evolutiva della linea di costa);
- analisi speditiva degli aspetti insediativi e socio-economici della fascia costiera (indagine sugli usi del suolo; analisi del tessuto urbano, del sistema infrastrutturale, delle attività economiche presenti, dei vincoli con individuazione di parchi, riserve naturali, piani paesistici, aree archeologiche, vincoli idrogeologici delle aree protette presenti sul territorio oggetto di studio);
- implementazione di un Sistema Informativo Geografico.

La seconda parte si articola in:

- analisi dei dati raccolti;
- caratterizzazione generale dei litorali;
- evoluzione dei litorali negli ultimi decenni, con catalogazione dei tratti in erosione ed individuazione dei tratti critici sia su larga scala che su scala locale;
- definizione e classificazione delle aree di pericolosità e dei livelli di rischio associati a ciascuna area.

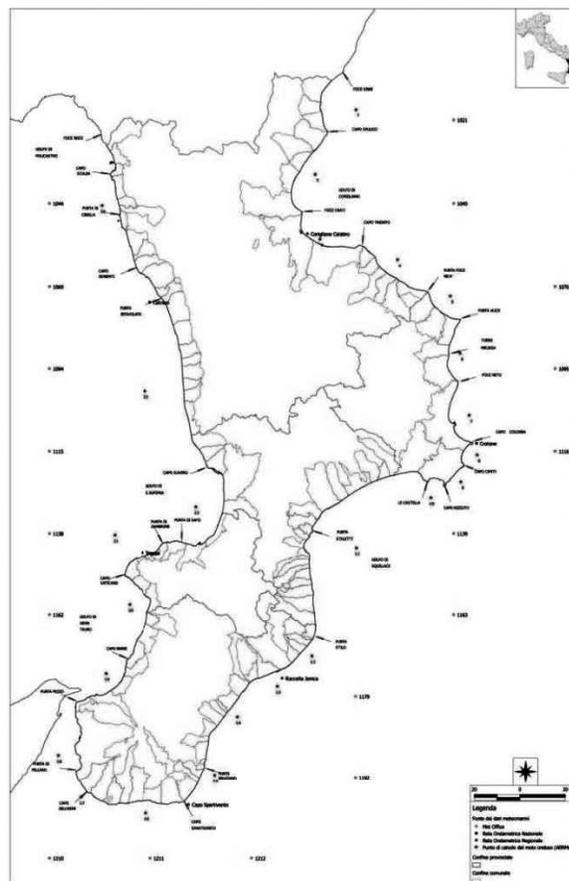


Figura 1 – Aree di studio in cui è stato suddiviso il litorale calabrese.

Analisi morfologica

L'analisi morfologica delle coste calabresi è stata articolata nelle seguenti fasi:

- digitalizzazione della linea di costa e della linea di retrospiaggia degli anni 2008, 2012 e 2013;
- analisi storica dell'evoluzione della linea di costa;
- creazione di un database delle opere di difesa costiera e delle infrastrutture portuali.

Nel corso dell'analisi sono stati presi in esame diversi parametri: area totale in erosione ed in avanzamento, lunghezza caratteristica della spiaggia in erosione ed in avanzamento, arretramento ed avanzamento della linea di riva e velocità media annua di erosione e di avanzamento (definendo: avanzamento per $\Delta L > 1$ m/anno, avanzamento debole per $0.5 < \Delta L < 1$ m/anno, stabile per $-0.5 < \Delta L < 0.5$ m/anno, arretramento debole per $-1 < \Delta L < 0.5$ m/anno, arretramento per $\Delta L < -1$ m/anno).

Per classificare dal punto di vista morfologico i litorali sono stati proposti due indici:

- indice di dinamicità del litorale – tiene conto della quantità effettiva di sedimenti movimentati, indipendentemente dalla tendenza evolutiva;
- indice di uniformità del litorale – tiene conto dell'omogeneità del comportamento di ciascun tratto di litorale ed è pari al rapporto tra la variazione netta della superficie di spiaggia (pari alla somma algebrica delle superfici erose ed accumulate) e la variazione totale della superficie di spiaggia (pari alla somma dei valori assoluti delle superfici erose ed accumulate).

Caratterizzazione e classificazione clima ondoso di largo

L'attività di caratterizzazione e classificazione del clima ondoso di largo ha richiesto, preliminarmente, la suddivisione dei litorali calabresi in aree di studio: allo scopo sono state individuate 24 aree, delimitate da significative variazioni della morfologia costiera (promontori, foci di corsi d'acqua, opere portuali) e numerate procedendo in senso orario a partire dal confine con la Basilicata sul litorale ionico.

Il clima ondoso di largo è stato caratterizzato a partire dai dati ricavati applicando il software ABRC-MACRO, sviluppato dalla società HR Wallingford Ltd, che permette di ricostruire, in ambiente GIS, serie temporali di dati meteomarini a partire dai dati di vento della banca dati del Met Office ed è stato tarato utilizzando i dati registrati dalle stazioni RON di Cetraro e Crotona e dalle stazioni della Rete Ondametrica Regionale della Calabria (Tropea, Capo Spartivento, Roccella Jonica, Corigliano Calabro). Per caratterizzare il clima ondoso di largo sono stati determinati:

- frequenze;
- altezze significative;
- periodi di picco;
- flusso di energia;
- settore di traversia principale;
- probabilità di superamento omnidirezionale e direzionale;
- periodo di ritorno omnidirezionale;
- persistenza media.

La procedura di classificazione del moto ondoso è stata articolata nelle seguenti fasi:

- suddivisione delle coste calabresi in oltre 700 transetti omogenei dal punto di vista morfologico e di esposizione al moto ondoso;
- raggruppamento dei transetti in 161 tratti con caratteristiche sufficientemente omogenee;
- valutazione dell'inclinazione media di ciascun transetto;
- calcolo dell'indice caratteristico del moto ondoso per ciascun tratto, ottenuto come media pesata degli indici dei transetti presenti in ciascun tratto e definito come:

$$I = I_{\Phi} I_{\alpha} I_{\lambda} I_{h(R)}$$

con:

$$I_{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{transetto}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad \text{indicatore del flusso di energia;}$$

$$I_{\alpha} = \frac{\alpha_{\text{transetto}}}{90^{\circ}} \quad \text{indicatore dell'inclinazione del settore di traversia principale;}$$

$I_{\lambda} = \frac{\lambda_{\text{trasetto}}}{\lambda_{\text{max}}}$ indicatore della pendenza del fondale;

$I_{h(R)} = \frac{h(R)_{\text{trasetto}}}{h(R)_{\text{max}}}$ indicatore della variazione di altezza significativa al variare di R.

La procedura di normalizzazione dei risultati ottenuti è stata condotta considerando separatamente le due macro-aree tirrenica e ionica a causa della differente esposizione al moto ondoso, ed inglobando lo Stretto di Messina (caratterizzato da clima ondoso medio annuo di modesta entità a causa dei fetch ridotti lungo la maggior parte delle direzioni) nella macro-area ionica.

Individuazione aree a rischio erosione costiera

L'individuazione delle aree a rischio erosione costiera è stata articolata nelle seguenti fasi:

- suddivisione delle coste calabresi in 3900 transetti (di lunghezza compresa tra 150 e 200 m), raggruppati in 21 macro-aree;
- individuazione delle classi di pericolosità da erosione costiera (che comprende la valutazione della velocità di avanzamento/arretramento della linea di riva per ciascun transetto, la determinazione dell'indice di pericolosità e l'inserimento dei fattori correttivi, dipendenti dalla disomogeneità spaziale dei principali fattori meteomarinari e dalla presenza di opere portuali e di difesa costiera);
- individuazione delle aree soggette a pericolosità da erosione costiera;
- individuazione delle aree a rischio erosione costiera.

La delle aree a rischio erosione costiera e degli elementi esposti ha permesso di valutare le priorità di intervento (sia a livello di macro-aree che di singoli comuni).

In tutte le fasi è stato utilizzato un Sistema Informativo Territoriale appositamente predisposto, all'interno del quale sono state inserite:

- linea di costa degli anni 1954, 1985, 1998, 2003, 2008, 2013;
- linea di retro spiaggia degli anni 2003 e 2012;
- interventi di protezione delle coste ad oggi realizzati;
- Carta dell'Uso del Territorio della Regione Calabria;
- banca dati della Cartografia Tecnica Regionale.

Individuazione classi di pericolosità

L'individuazione delle classi di pericolosità è stata articolata nelle seguenti fasi:

- valutazione della velocità di avanzamento/arretramento della linea di riva per ciascun transetto (nei periodi 1998-2003, 2003-2008 e 2008-2013);
- determinazione dell'indice di pericolosità, pari al rapporto tra la lunghezza della spiaggia ed il valore massimo della velocità di spostamento della linea di riva (esprime la dinamicità dell'evoluzione della linea di riva e rappresenta il tempo necessario affinché l'intera spiaggia venga erosa nell'ipotesi di velocità di erosione pari al valore massimo rilevato in condizioni di fenomeno evolutivo costante);
- inserimento dei fattori correttivi:

- fattore locale, assume valori compresi tra 0.2 e 0.8 e tiene conto della disomogeneità delle diverse macro aree riguardo:

- energia del moto ondoso;
- apporto di sedimenti dai corsi d'acqua;
- pendenza del fondale;
- tipologia della spiaggia;
- fattore delle opere portuali, tiene conto dell'effetto di protezione garantito dalla presenza di opere portuali ed è pari a 0 nel caso di presenza di opere portuali e pari a 1 nel caso di loro assenza;
- fattore delle opere di difesa dei litorali, tiene conto della presenza di opere di protezione realizzate in passato e di quelle che saranno realizzate in futuro (permette, quindi, di riclassificare la pericolosità da erosione

costiera in funzione della realizzazione di nuove opere);

- definizione delle classi di pericolosità, determinate in funzione dell'indice di pericolosità (ottenuto accorpando i transetti in macrotransetti con lunghezza media di circa 1 km ed operando sul valor medio di 5 transetti consecutivi invece che sul valore ottenuto per ogni singolo transetto).

Tabella 1. Classi di pericolosità in funzione dell'indice di pericolosità corretto.

INDICE DI PERICOLOSITÀ CORRETTO	CLASSE DI PERICOLOSITÀ
$I_{pc} < 20$	P3 (alta pericolosità)
$20 < I_{pc} < 40$	P2 (media pericolosità)
$40 < I_{pc} < 60$	P1 (bassa pericolosità)

Individuazione aree soggette a pericolosità

Per individuare le aree soggette a pericolosità sono stati seguiti i seguenti criteri:

- la spiaggia, cioè l'area compresa tra la linea di riva più recente (2012 – 2013) e la linea di retro-spiaggia, è stata perimetrata come area ad alta pericolosità (P3);
- nei transetti con associata una qualsiasi classe di pericolosità, a ridosso della linea di retro-spiaggia è stata individuata una fascia, di ampiezza pari all'ampiezza della spiaggia (LFP), soggetta alla pericolosità massima;
- nei transetti con classe di pericolosità alta o media, è stata individuata una seconda fascia, di larghezza pari a LFP/2, soggetta rispettivamente a media o bassa pericolosità;
- nei transetti con classe di pericolosità alta, è stata individuata anche una terza fascia, di ampiezza pari a LFP/2, soggetta a bassa pericolosità.

Individuazione aree a rischio erosione costiera

Per individuare le aree a rischio erosione costiera, le aree a diversa pericolosità da erosione costiera sono state sovrapposte agli elementi vulnerabili, estratti dalla Carta dell'Uso del Territorio della Regione Calabria e dalla banca dati della Cartografia Tecnica Regionale. Le diverse classi di rischio sono state individuate secondo lo schema riportato nella figura sottostante.

Tabella 2. Classi di rischio in funzione delle classi di pericolosità e delle classi di danno.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITÀ		
		P2	P1	
P3				
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R2
	D3	R4	R3	R2
	D2	R3	R2	R1
	D1	R2	R1	R1

Tale metodologia ha permesso di valutare:

- aree soggette ai vari livelli di rischio (da R1, minimo, a R4, massimo);
- superficie di strade e ferrovie ricadenti nelle aree soggette a rischio;
- numero di edifici ricadenti nelle aree soggette a rischio.

Risultati ottenuti e sviluppi futuri

Dall'analisi dei risultati ottenuti è possibile osservare che:

- l'alto Tirreno presenta i fenomeni di evoluzione più intensi (indice di maggiore instabilità) mentre i litorali ionici presentano un'evoluzione, mediamente, meno marcata;
- le opere di difesa non risultano distribuite in maniera omogenea in quanto il litorale ionico è caratterizzato da una minore densità di opere rispetto al litorale tirrenico mentre la maggiore densità si osserva nella parte meridionale della Calabria, dove le pressioni ambientali hanno comportato la realizzazione di numerose

opere eseguite con carattere di urgenza e senza un preciso programma funzionale degli interventi;

- le opere portuali esistenti sono ubicate principalmente nella fascia ionica e nel basso Tirreno;
- la zona della Calabria maggiormente soggetta ad interventi di ripristino delle opere di difesa esistenti e di costruzione di nuove opere è quella tirrenica; gli interventi previsti sulle infrastrutture portuali interessano, principalmente, strutture esistenti (ampliamenti di banchine, dragaggi, prolungamento di moli);
- il clima ondoso di largo che caratterizza le macro-aree ionica e tirrenica presenta significative differenze: nei litorali tirrenici si raggiungono le soglie di altezza significativa maggiori, inoltre i valori del flusso sono maggiori ma sono concentrati su poche direzioni mentre, nel litorale ionico, i valori del flusso sono, generalmente, inferiori ma esiste un maggior numero di direzioni da cui proviene moto ondoso di entità rilevante.

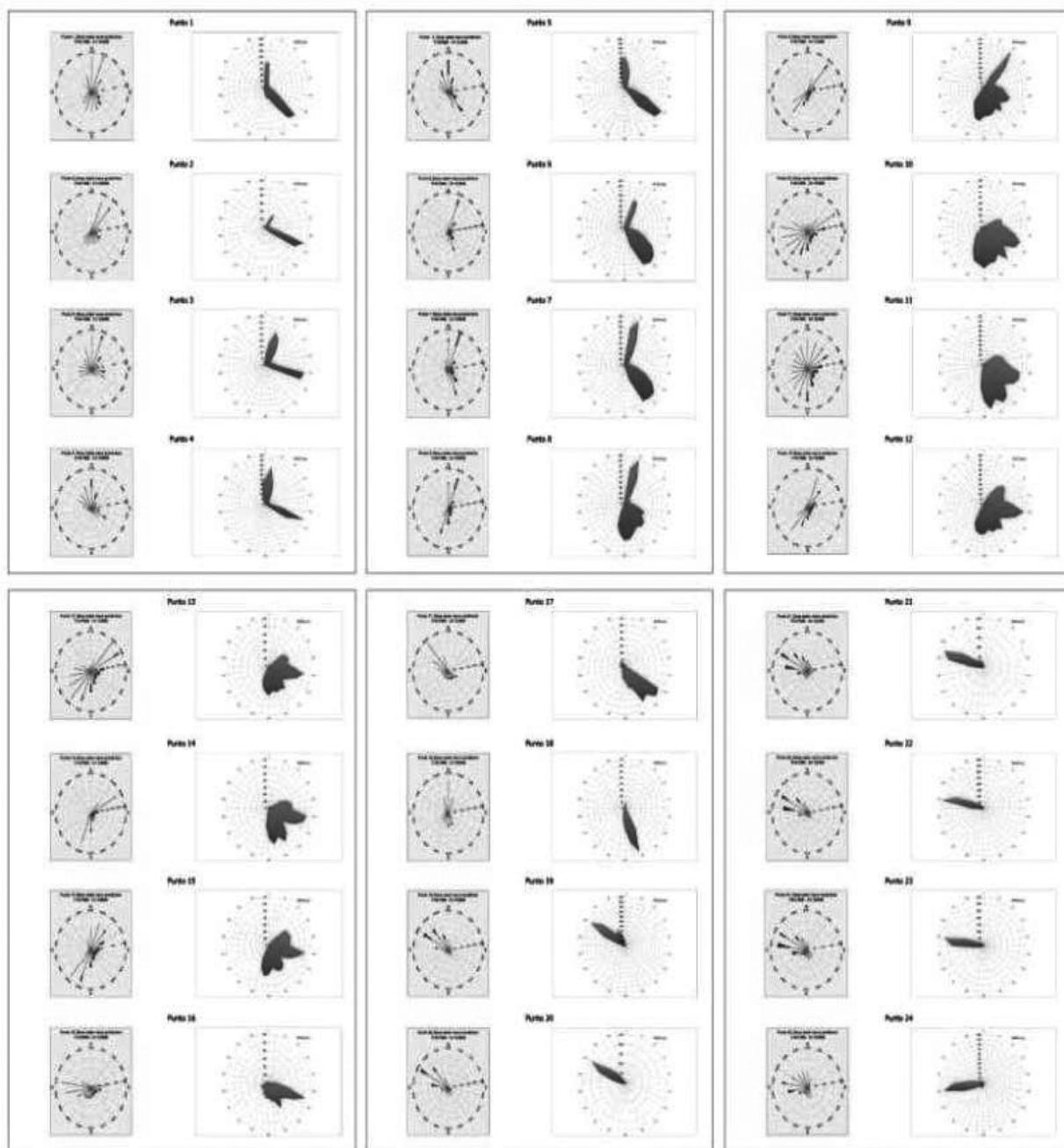


Figura 2. Clima ondoso di largo per ciascuna delle 24 aree in cui sono stati suddivisi i litorali calabresi.

Tabella 3. Indice caratteristico del moto ondoso per ciascun'area in cui sono stati suddivisi i litorali calabresi.

	AREA	I	I_{ϕ}	I_{α}	I_{λ}	$I_{h(R)}$
MAR IONIO	1	0.411	0.725	0.586	0.021	0.508
	2	0.364	0.187	0.782	0.028	0.378
	3	0.253	0.171	0.269	0.073	0.279
	4	0.179	0.238	0.156	0.026	0.337
	5	0.266	0.476	0.147	0.045	0.370
	6	0.411	0.534	0.458	0.053	0.374
	7	0.365	0.525	0.373	0.026	0.362
	8	0.471	0.629	0.556	0.040	0.508
	9	0.440	0.401	0.843	0.034	0.513
	10	0.376	0.322	0.268	0.023	0.607
	11	0.395	0.421	0.469	0.038	0.507
	12	0.401	0.469	0.630	0.082	0.527
	13	0.353	0.448	0.377	0.111	0.547
	14	0.471	0.622	0.709	0.090	0.549
	15	0.506	0.591	0.846	0.057	0.528
	STRETTO DI MESSINA	17	0.293	0.151	0.081	0.435
18		0.266	0.076	0.060	0.446	0.317
MAR TIRRENO	19	0.604	0.640	0.676	0.339	0.677
	20	0.592	0.628	0.609	0.214	0.829
	21	0.610	0.791	0.500	0.071	1.000
	22	0.588	0.974	0.725	0.028	0.667
	23	0.645	0.966	0.647	0.029	0.796
	24	0.413	0.336	0.861	0.044	0.467

Tabella 4. Velocità di avanzamento/arretramento, lunghezza dei tratti in avanzamento/arretramento e relativa percentuale.

	VELOCITÀ ARRETRAMENTO	LUNGHEZZA COSTA	% COSTA
	m/anno	m	%
AVANZAMENTO		48661	6.78
ARRETRAMENTO	0 – 1	211840	29.54
	1 – 5	399147	55.65
	5 – 10	42608	5.94
	10 – 20	10428	1.45
	20 – 30	1376	0.19
	30 – 40	1289	0.18
	40 – 50	682	0.10
	> 50	1158	0.16
TOTALE		717189	100.00

Tabella 5. Classi di pericolosità e relative lunghezza e superficie.

CLASSE PERICOLOSITÀ	LUNGHEZZA COSTA	% COSTA	SUPERFICIE
	m	%	km ²
N.P.	80446	11.22	nd
P1	180971	25.23	13007
P2	162964	22.72	14439
P3	292808	40.83	48420
TOTALE	717189	100.00	75886

Tabella 6. Superfici esposte alle diverse classi di rischio.

CLASSE DI RISCHIO	EDIFICI	STRADE	FERROVIE	SUPERFICIE
	Numero	km ²	km ²	km ²
R1	999	0.000	0.000	13374
R2	6589	0.898	0.467	44391
R3	6589	0.000	0.000	2403
R4	306	2.608	1.267	15699
TOTALE	14483	3.506	1.733	75866

La procedura descritta prevede degli aggiornamenti semestrali che tengano conto dei fattori non analizzati nella prima stesura, in particolare:

- trasporto solido litoraneo e fluviale;
- tipologie di edifici esposti al rischio;
- numero di abitanti residenti esposti al rischio.

Inoltre, per migliorare la valutazione della pericolosità sono previste:

- taratura dei pesi da assegnare alle grandezze in gioco nel calcolo del fattore locale;
- calibrazione dei valori dei fattori correttivi.

Conclusioni

Nella memoria è stata descritta la metodologia adottata nella redazione del Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria, approfondendo in particolare le fasi di analisi morfologica, di caratterizzazione e classificazione del clima ondoso di largo e di individuazione delle aree a rischio erosione costiera, che rivestono interesse scientifico in quanto prevedono la definizione di specifici indici.

Il Master Plan degli interventi di mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria si pone l'obiettivo di pianificare il riequilibrio complessivo dei litorali calabresi, mediante la redazione di uno strumento conoscitivo di medio-lungo termine che consenta di valutare in maniera chiara e completa le conseguenze delle diverse soluzioni progettuali e di fondare, quindi, le scelte su analisi attendibili, documentate ed estese agli aspetti fisici, ambientali, sociali ed economici, tra loro strettamente connessi.

L'analisi dei risultati ottenuti ha messo in evidenza che l'alto Tirreno presenta i fenomeni di evoluzione più intensi (indice di maggiore instabilità) mentre i litorali ionici presentano un'evoluzione, mediamente, meno marcata. In termini di clima ondoso, nei litorali tirrenici si raggiungono le soglie di altezza significativa maggiori, inoltre i valori del flusso sono maggiori ma sono concentrati su poche direzioni mentre, nel litorale ionico, i valori del flusso sono, generalmente, inferiori ma esiste un maggior numero di direzioni da cui proviene moto ondoso di entità rilevante. Le opere di difesa non risultano distribuite in maniera omogenea in quanto il litorale ionico è caratterizzato da una minore densità di opere rispetto al litorale tirrenico mentre la maggiore densità si osserva nella parte meridionale della Calabria, dove le pressioni ambientali hanno comportato la realizzazione di numerose opere eseguite con carattere di urgenza e senza un preciso programma funzionale degli interventi. Inoltre, la zona della Calabria maggiormente soggetta ad interventi di ripristino delle opere di difesa esistenti e di costruzione di nuove opere è quella tirrenica.

La procedura descritta ha permesso di ottenere un valido livello di conoscenza delle problematiche che interessano i litorali calabresi ma è, tuttora, passibile di miglioramenti e prevede aggiornamenti semestrali che tengano conto dei fattori non analizzati nella prima stesura (trasporto solido litoraneo e fluviale, tipologie di edifici esposti al rischio, numero di abitanti residenti esposti al rischio). Inoltre, per migliorare la valutazione della pericolosità sono previste una fase di taratura dei pesi da assegnare alle grandezze in gioco nel calcolo del fattore locale ed una fase di calibrazione dei valori dei fattori correttivi.

Ringraziamenti

L'Autore ringrazia l'Autorità di Bacino della Regione Calabria e la società HR Wallingford Ltd per il prezioso supporto e per il materiale fornito nell'ambito della Convenzione "Modellazione del moto ondoso e indagini per la mitigazione del rischio di erosione costiera in Calabria".