

Piano Regionale per la Gestione delle Coste della Basilicata: Analisi delle criticità costiere

**Michele Greco¹, Giovanni Martino¹, Carmen Santoro²,
Salvatore Gravino², Corinne Corbau³, Umberto Simeoni³**

¹Università della Basilicata, Scuola di Ingegneria, Via dell'Ateneo Lucano 10, Potenza, Italia, e-mail michele.greco@unibas.it

²Regione Basilicata, Dipartimento ambiente e territorio, infrastrutture, opere pubbliche e trasporti, Viale Verrastro, Potenza, Italia, e-mail carmen.santoro@regione.basilicata.it

³Università di Ferrara, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Via Giuseppe Saragat 1, Ferrara, Italia, e-mail g23@unife.it

Sommario

Il lavoro si colloca nell'ambito degli studi e valutazioni propedeutiche alla definizione dei possibili scenari di criticità per la valutazione del rischio di erosione e di inondazione delle aree costiere e riporta la sintesi ed i risultati ottenuti nell'applicazione di metodologie consolidate nel settore scientifico ed operativo al caso della costa lucana. Lo studio ricade nell'attività di più ampio respiro di definizione del livello di vulnerabilità sistemica della costa, ai fini della redazione del Piano Regionale di Gestione delle Coste della Basilicata, e si basa sull'analisi di dati territoriali regionali disponibili ad alta risoluzione, relativi a tempi distinti, e di valutazioni indirette del clima ondoso incidente l'arco costiero. Il prodotto finale si sintetizza nella produzione di una mappatura digitale della pericolosità della fascia costiera, sia per fenomeni di inondazione sia di erosione, in relazione al clima ondoso incidente in condizioni di mareggiate ordinarie ed estreme. L'analisi condotta sull'intera fascia costiera individuata come rilevante e critica per le problematiche in studio ha consentito, altresì, di definire una mappatura delle criticità sistemiche e strutturali della costa lucana con particolare riferimento alla fascia ionica di costa bassa e sensibilmente più vulnerabile a fronte di quella tirrenica alta e autodifesa.

Parole chiave: gestione delle coste, vulnerabilità, rischio inondazione, rischio erosione, criticità costiera

Summary

The paper deals with the propaedeutic phases for the preliminary risk scenarios assessment in coastal areas and refers to the results obtained by the combined application of classical methodologies for coastal flooding and erosion risks analyses on Lucanian coast. The study is part of the activities carried on to define the systemic vulnerability of the Lucanian-Ionian coast useful to prepare the Regional Coast Management Plan. The work is based on high-resolution terrain data processing, referred to different times, and meteorological and wave climate analyses in order to define the driving forces acting along the shore. Coastal hazard maps, for both flooding and erosion, referred to different scenarios corresponding to different return periods of the wave climate, are proposed. Then, the coastal weakness assessment is obtained by composing both hazard factors, flood and erosion, allowing the systemic and structural criticalities hazard mapping of both high and low Ionic-Lucanian coast.

Keywords: coast management, vulnerability, flooding risk, coastal erosion risk, coastal weakness

Introduzione

Le indicazioni nazionali ed internazionali in materia di gestione delle aree costiere, propongono con rilevanza specifica l'attenzione alla valutazione dei fattori di pericolosità territoriali ed ambientali al fine di tutelare

e difendere il patrimonio antropico ed eco-sistemico attraverso la promozione e l'attuazione di politiche coerenti di integrazione dei fabbisogni umani e dei sistemi naturali. La gestione e pianificazione delle aree costiere (GIZC, 2002/413/CE; 2008/56/CE), quindi, risente di molteplici fattori condizionanti e di problematiche coesistenti di tutela e valorizzazione delle risorse naturali e di salvaguardia degli ambienti naturali, terrestri e marini, ed antropici, ponendo particolare attenzione alla previsione e prevenzione dai rischi antropici e naturali ed alla definizione delle misure di mitigazione e contrasto.

Nel caso specifico della problematica legata alla valutazione del rischio di alluvione la direttiva alluvioni (2007/60/CE – D.lgs. 49/2010), in particolare, pone l'accento sulla necessità da parte delle Autorità competenti di procedere alla mappatura delle zone di pericolosità all'inondazione e del relativo rischio di alluvione ponendo sullo stesso livello di attenzione le aree interessate dalle inondazioni causate da fiumi, torrenti di montagna, corsi d'acqua temporanei mediterranei e le inondazioni marine delle zone costiere.

La mappatura delle aree a rischio di alluvione (2007/60/CE) e i piani di gestione dei bacini idrografici (2000/60/CE), quindi, rappresentano i fattori principali che concorrono alla definizione della Gestione Integrata dei Bacini Idrografici sfruttando i benefici comuni che, nel rispetto degli obiettivi ambientali e strategici, garantiscono un razionale e sostenibile utilizzo delle risorse. D'altro canto, però, la peculiarità delle aree costiere risiede nella particolare esposizione a fonti di pericolosità che, pur non variando sensibilmente nell'ambito del paraggio di interesse, possono dare luogo a scenari di rischio fortemente eterogenei conferendo ad aree contigue differenti livelli di classificazione.

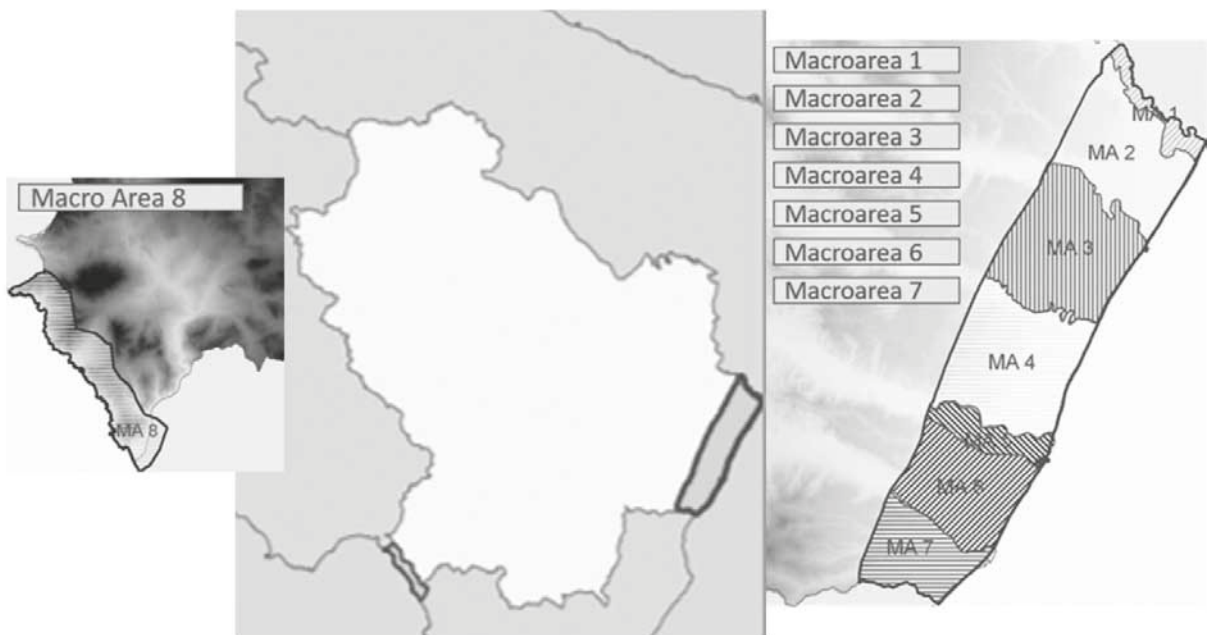


Figura 1. Suddivisione della fascia costiera -lucana in macroaree.

In tale visione, il lavoro proposto e sviluppato nell'ambito degli studi propedeutici alla stesura del progetto di Piano Regionale di Gestione delle Coste della Basilicata, ha mirato ad integrare due fattori di pericolosità che, generalmente, coesistono sistematicamente nella pianificazione delle aree costiere quali inondazione diretta da mareggiate e erosione del litorale, che può indurre modifiche sostanziali al grado di autoprotezione della costa stessa soprattutto in corrispondenza dei tratti di costa bassa quale la porzione ionica lucana. Lo studio è parte del complesso di attività propedeutiche alla definizione del livello di vulnerabilità sistemica

della costa ionica lucana e si basa sull'analisi di dati, certificati, territoriali regionali ad alta risoluzione relativi a tempi distinti e di valutazioni indirette del clima ondoso incidente l'arco costiero e comunque aggiornati al 2015. La metodologia proposta si basa sulla combinazione di indici complessi derivati, rispettivamente, per la valutazione del rischio di inondazione e del rischio di erosione assumendo un valore unitario dell'esposto, ovvero assumendone un valore indifferenziato lungo l'intero arco costiero in esame. In tale ipotesi, qualunque sia il modello di valutazione adottato (UNESCO, IPPC, MEDPLAN), il risultato ottenuto coincide con la pericolosità del territorio conseguente allo scenario di riferimento corrispondente alla probabilità di manifestarsi dell'evento meteomarinico, assunto quale unica forzante del sistema. In particolare, con riferimento alle indicazioni fornite dalla direttiva alluvioni combinata con i presupposti della direttiva acque, sono stati definiti gli scenari corrispondenti a mareggiate con tempi di ritorno 1, 10, 30 e 500 anni, procedendo alla valutazione disgiunta della pericolosità all'inondazione e all'erosione e della *pericolosità combinata* attraverso la mappatura dell'indice risultante definito di *criticità costiera*. Le analisi sono state condotte sull'intero sistema costiero lucano suddiviso in Macroaree risultanti dalla parzializzazione della linea di costa in relazione agli elementi morfologici deltizi fluviali ed alle infrastrutture portuali esistenti, così come riportato in Figura 1. I risultati sono stati successivamente impiegati dall'Autorità di Bacino della Basilicata nella definizione della mappatura del rischio di allagamento delle aree costiere lucane.

Indice di erosione

L'indice adottato per la valutazione della vulnerabilità della fascia costiera lucana all'erosione, è dedotto come combinazione di un set di indicatori compatti rappresentativi, ognuno per la propria struttura logico-analitica, dello stato di pressione naturale e/o antropica a cui è soggetto il litorale in esame anche al mutare delle condizioni meteomarine incidenti. I vari profili sono stati analizzati rispetto al "pericolo" dell'arretramento della linea di riva e della "vulnerabilità" sia morfologica-ambientale sia socio-economica senza differenziare il diverso valore dell'esposto.

Gli indicatori utilizzati per la determinazione delle zone di pericolosità all'erosione sono i seguenti (Ranieri, 2010; Greco e Martino, 2012):

1. Opere portuali (quantità di materiale trattenuta dal molo in funzione della distribuzione cross-shore del materiale trasportato e della distanza dal molo stesso)
2. Tasso di erosione (velocità di erosione - andamento del fenomeno nel tempo): il periodo di osservazione per la determinazione della velocità di arretramento è riferito agli anni 1997-2013.
3. Caratterizzazione litologiche (spiaggia rocciosa o sabbiosa - rigidità della costa)
4. Opere di protezione (lunghezza della spiaggia protetta da opere di difesa costiera)
5. Spostamento della linea di riva (posizione della linea di riva nel tempo)
6. Presenza di dune costiere (stato del cordone dunale)
7. Grado di impermeabilizzazione costiera (Superficie impermeabile)
8. Distanza della linea di riva dal limite della fascia attiva (larghezza della fascia costiera - isoipsa della quota raggiunta dalla massima marea annua + massimo setup annuo)
9. Perdita del valore del suolo (tasso annuo di perdita economica legata alla quantità di suolo edificabile eroso, per unità di lunghezza del tratto di costa)
10. Esposizione ed intensità delle mareggiate (somma delle aliquote di energia d'onda proveniente da tutte le direzioni che compongono il paraggio, discretizzato in porzioni di 10°, in relazione all'inclinazione media della costa del settore di costa)
11. Popolazione (intensità della popolazione residente nel settore di costa)
12. Variazione della lunghezza del cordone dunale (variazione dell'estensione delle dune nel tempo)
13. Pendenza spiaggia sommersa (pendenza media della spiaggia sommersa)
14. Attività turistiche (intensità delle aziende turistiche - stabilimenti balneari, hotels e B&B - presenti nel settore di costa)

15. Aree soggette a tutela (estensione delle aree costiere oggetto di tutela da parte dei strumenti pianificatori locali e/o regionali)

16. Attività produttive costiere (intensità delle aziende presenti nel settore)

Il risultato del calcolo di ogni indicatore è rappresentato da una mappa di “sensibilità ambientale”, che riporta per ogni macroarea i punteggi compresi nell’intervallo 0 (minima vulnerabilità) e 1 (massima vulnerabilità). Il calcolo della vulnerabilità costiera all’erosione discende, quindi, dall’aggregazione delle informazioni, distribuite lungo la costa ed aggregate per profilo, fornite da ciascun indicatore secondo un criterio che vede l’individuazione di tre classi definite come:

- H: tasso di erosione, spostamento della linea di riva, esposizione e intensità delle mareggiate;
- V: presenza di dune costiere, opere di protezione, variazione della lunghezza del cordone dunale, pendenza spiaggia sommersa, opere portuali, grado di impermeabilizzazione costiera, distanza della linea di riva dal limite della fascia attiva, aree soggette a tutela, caratteristiche litologiche.
- E: perdita del valore del suolo, attività turistiche, attività produttive e popolazione.

Per ciascun indicatore, quindi, è stato assegnato un valore di incidenza in relazione al set di attributi riportati di seguito:

- RA: rappresentazione dello stato dell’ambiente (Incidenza 5);
- FP: facilità di popolamento (Incidenza 1);
- SI: semplicità di interpretazione (Incidenza 2);
- SC: sensibilità ai cambiamenti (Incidenza 5);
- DF: applicazione a differenti scale (Incidenza 1);
- VS: confrontabilità con valore soglia (Incidenza 2);

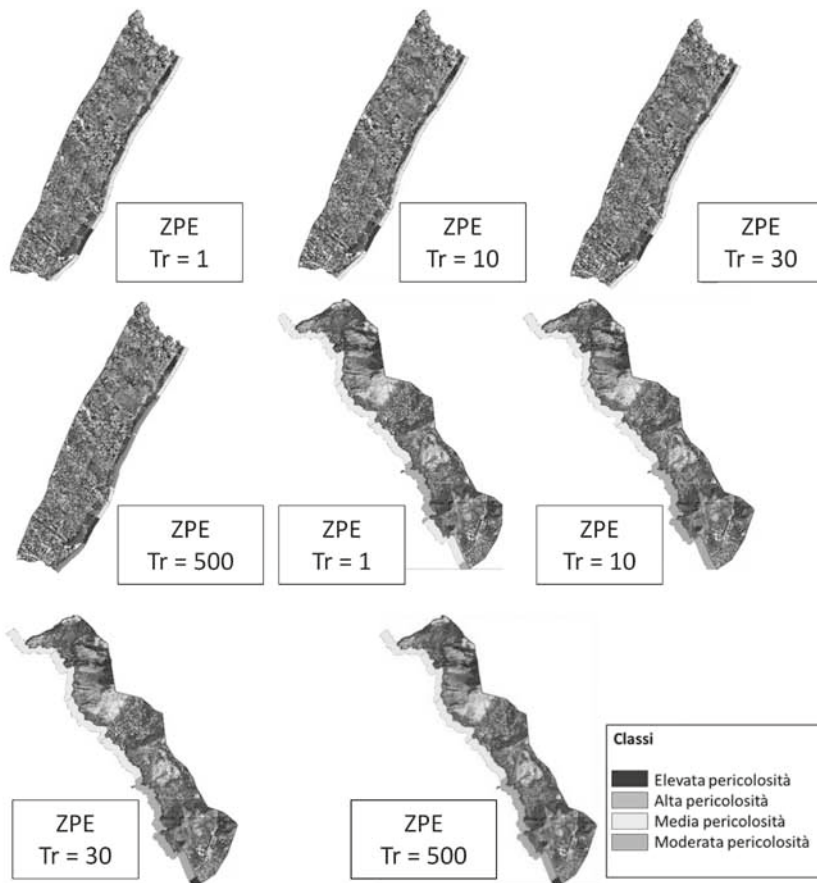
Il valore di classifica (Punti) è stato ottenuto mediante la somma dei prodotti tra i cinque attributi, in termini di incidenza, e il relativo giudizio assegnato per ogni indicatore, classificato come:

- Elevato 4;
- Discreto 3;
- Buono 2;
- Basso 1.

Una volta raggruppati i sedici indicatori, sia per l’arco ionico sia per quello tirrenico, secondo gruppi di significatività (GS), come riportato nelle tabelle 1 e 2, in base all’individuazione di affinità interpretative, si è proceduto alla determinazione del corrispondente coefficiente di significatività (CS) normalizzato al valore massimo. La Figura 2 riporta la distribuzione lungo la costa ionica e tirrenica delle zone di pericolosità all’erosione in relazione ai scenari $Tr = 1, 10, 30$ e 500 . La lettura combinata delle succitate figure, meglio se riferita agli elaborati del piano, con le risultanze tabellari evidenzia:

- $Tr=1$: una classe di pericolosità che va da media ad alta sull’intero arco ionico, ad eccezione dei Lido Policoro e Sx Sinni, che presentano una elevata pericolosità, mentre l’arco tirrenico evidenzia una diffusa media pericolosità ad eccezione del profilo in Sx Noce che presenta una alta pericolosità e del profilo in corrispondenza dell’area protetta SIC Santojanni con una moderata pericolosità;
- $Tr=10$: una pericolosità analoga al $Tr=1$ per l’arco ionico, mentre l’arco tirrenico evidenzia una diffusa media pericolosità ad eccezione del profilo in Sx Noce e del profilo in Dx Noce che presentano una alta pericolosità e per il SIC Santojanni che presenta una moderata pericolosità;
- $Tr=30$: una generalizzata alta pericolosità sull’intero arco ionico ad eccezione dei profili in prossimità del Lido Policoro e Sx Sinni che presentano una elevata criticità interposti ai profili Dx Agri e Dx Sinni caratterizzati da una criticità media; mentre l’arco tirrenico evidenzia una diffusa media-pericolosità ad eccezione dei profili in Sx Noce che presenta una elevata pericolosità, del Dx Noce con una alta pericolosità e del profilo SIC Santojanni che presenta una moderata pericolosità;
- $Tr=500$: una generalizzata alta-elevata pericolosità ad eccezione del profilo in Dx Sinni che presenta una media criticità, mentre l’arco tirrenico evidenzia una pericolosità analoga a $Tr=30$.

Figura 2. Arco jonico e tirrenico – ZPE: classificazione delle zone di pericolosità all’erosione.



Indice di inondazione

La vulnerabilità all’inondazione costiera per il tratto lucano, è stata valutata come combinazione della *vulnerabilità morfologica* con la *vulnerabilità socio-economica*.

Vulnerabilità morfologica

La vulnerabilità morfologica, che dipende dalla probabilità di accadimento dell’evento calamitoso nonché dalla interazione morfo-dinamica del fondale e della spiaggia, è stata valutata attraverso l’indice di impatto (I_i):

$$I_i = IR_U + IR + ID + ELT \quad (1)$$

dove: I_{RU} è l’indice di distanza associata alla risalita del moto ondoso, I_R l’indice di erosione a breve termine, E_{LT} l’indice di erosione a lungo termine e I_D l’indice di efficienza delle opere di difesa costiera;

Per il calcolo dell’indice d’impatto, quindi, è stato necessario effettuare una caratterizzazione della fascia costiera, nonché l’acquisizione del clima ondoso al largo ed al frangimento, per i diversi tempi di ritorno.

Il litorale ionico è stato suddiviso in tredici profili, mentre quello tirrenico in sette, le cui caratteristiche di spiaggia emersa, in termini di larghezza e pendenza media.

L’analisi dei singoli indicatori è sinteticamente fornita di seguito.

Indice di distanza associata alla risalita del moto ondoso I_{RU}

Tale indice valuta la distanza orizzontale X_{max} associata alla quota di run up relativa ai valori dei sovralti corrispondenti al massimo superamento del 2% delle onde in arrivo sulla costa, $R_{2\%}$, e al valore medio, R_{med} (che dipende dall’angolo di incidenza, dalla pendenza e permeabilità della spiaggia) corrispondente alla media di tutte le altezze d’onda in arrivo sulla costa.

Sebbene l'analisi sia stata condotta con riferimento ad entrambi i valori $R_{2\%}$ e R_{med} , i risultati finali, relativi all'indice di vulnerabilità all'inondazione, sono riferiti al solo R_{med} , ritenendo le valutazioni relative al 2% del superamento troppo penalizzanti ai fini del piano.

Per determinare i valori dell'altezza massima di risalita (*run up*) sono state utilizzate le seguenti relazioni (CERC, 2002):

$$\frac{R_{med}}{H_0} = 0.88 \xi_0^{0.69}; \quad \frac{R_{2\%}}{H_0} = 1.86 \xi_0^{0.71}; \quad \xi_0 = \frac{m_0}{\sqrt{H_0/L_0}}; \quad L_0 = \frac{g T^2}{2\pi} \quad (2)$$

dove H_0 è l'altezza d'onda in acque profonde, m_0 la pendenza della spiaggia sommersa, ξ_0 l'indice di Iribarren, H_0/L_0 la ripidità dell'onda e L_0 la lunghezza d'onda in acque profonde.

L'indice I_{RU} calcolato ha assunto un valore dipendente dalla percentuale di spiaggia inondata con una ripartizione secondo la classificazione riportata in tabella 1.

Tabella 1. Intervalli di valutazione del punteggio dell'indice di run-up in relazione alla percentuale di spiaggia interessata dalla risalita dell'onda.

Run up orizzontale %	$X_{max} < 20$	$20 \leq X_{max} < 40$	$40 \leq X_{max} < 60$	$60 \leq X_{max} < 80$	$X_{max} \geq 80$
Indice di risalita I_{RU}	0	1	2	3	4

Indice di erosione a breve termine IR

Tale indice misura l'erosione a breve termine della linea di riva dovuta ad un attacco diretto da mareggiata. L'arretramento della linea di riva è stato calcolato seguendo il metodo di convoluzione di Kriebel e Dean (1993; CERC 2002) mediante le seguenti relazioni opportunamente implementate sui profili di riferimento, sia ionici sia tirrenici:

$$R_{\infty} = S \frac{w_b - \frac{d_b}{m_0}}{B + d_b - \frac{S}{2}}; \quad W_b = y_0 + \left(\frac{d_b}{A}\right)^{\frac{3}{2}} y_0 = \frac{(4A)^3}{27 m_0^3} \quad (3)$$

dove S sovrizzo del livello del mare, B altezza della berma e W_b ampiezza della zona di frangimento. La soluzione di Kriebel e Dean è data da:

$$\frac{R_{(t)}}{R_{\infty}} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\beta^2}{1 + \beta^2} \exp\left(-\frac{2\sigma t}{\beta}\right) - \frac{1}{1 + \beta^2} [\cos(2\sigma t) + \beta \sin(2\sigma t)] \right\} \quad (4)$$

in cui β è il rapporto tra la scala temporale dell'erosione e la durata della mareggiata, fornita da $\beta = 2\pi T_s / T_D$, in cui T_D è la durata della mareggiata e T_s è dato dalla relazione:

$$T_s = 320 \frac{H_b^{\frac{3}{2}}}{g^{\frac{1}{2}} A^3} \left(1 + \frac{d_b}{B} + \frac{m_0 W_0}{d_b} \right)^{-1} \quad (5)$$

con A parametro di equilibrio e ovvio significato dei restanti termini.

La valutazione del parametro di equilibrio, A , è avvenuta attraverso l'abaco riportato nel CERC (2002) avvalendosi delle determinazioni dei diametri medi relativi alla porzione di spiaggia sommersa determinati nell'ambito dello studio oceanografico commissionato dalla Regione Basilicata (Metapontum Agrobios, 2004; 2005; 2007) per l'intero arco Ionico-Lucano.

L'indice I_R calcolato ha assunto un punteggio compreso tra 1 e 3 sulla base del valore dell'arretramento della linea di riva in relazione alla percentuale di spiaggia emersa (Tabella 2).

Tabella 2. Intervalli di valutazione dell'indice di erosione a breve termine.

Indice di erosione IR	Arretramento linea di riva %		
	$R_{max} < 15$	$15 \leq R_{max} < 30$	$R_{max} \geq 30$
	1	2	3

In particolare, rimandando i dettagli ai documenti del PRGC, si è proceduto alla valutazione dell'indice in corrispondenza degli eventi con i tempi di ritorno prestabiliti valutando il valore della spiaggia emersa come differenza tra il valore di riferimento ed il run-up medio orizzontale corrispondente alla mareggiata considerata.

Indice di erosione a lungo termine E

L'indice di erosione a lungo termine E stima la velocità di erosione della spiaggia ed è stato stimato attraverso la sovrapposizione delle linee di riva relative all'intervallo di 16 anni 1997-2013. Assunto un valore di soglia per la velocità di erosione pari a 2 m/anno, il punteggio assegnato all'indice E è stato 0 se la velocità di erosione risultava minore di 2 m/anno ed 1 in caso contrario.

La tabella 3 riporta in sintesi la variazione della linea di costa nell'intervallo 1997-2013, riferita ai profili ricadenti nelle singole macroaree, in termini di indice di erosione a lungo termine, ed evidenzia il marcato stato di sofferenza del litorale ionico a fronte di quello tirrenico, quest'ultimo particolarmente vulnerabile in corrispondenza dell'area deltizia del fiume Noce che rappresenta, nei fatti, l'unico lembo di spiaggia bassa lungo il litorale tirrenico lucano.

Tabella 3. Indice di erosione a lungo termine.

Macroarea 1	Sx Bradano	0	avanzamento
Macroarea 2	Profilo 1- Ds Bradano	0	arretramento
	Profilo 2- Metaponto Lido Hermitage	1	arretramento
	Profilo 3- Metaponto Lido Rotonda	1	arretramento
	Profilo 4- Metaponto Lido Katy	1	arretramento
	Profilo 5- Sx Basento	1	arretramento
Macroarea 3	Profilo 6- Dx Basento	0	avanzamento
	Profilo 7- Sx Cavone	1	arretramento
Macroarea 4	Profilo 8- Dx Cavone	0	arretramento
	Profilo 9- Sx Agri	1	arretramento
Macroarea 5	Profilo 10- Dx Agri	1	arretramento
Macroarea 6	Profilo 11- Lido Policoro	1	arretramento
	Profilo 12- Sx Sinni	1	arretramento
Macroarea 7	Profilo 13- Dx Sinni	1	arretramento
Macroarea 8	Profilo 1- Sx Noce	0	arretramento
	Profilo 2- Dx Noce	0	arretramento
	Profilo 3- Santojanni	0	pocket beach
	Profilo 4- Porto	0	falesia
	Profilo 5- Cersuta	0	falesia
	Profilo 6- Acquafredda	0	falesia
	Profilo 7- Confine Regionale	0	falesia

Indice di efficienza delle opere di difesa costiera ID

Tramite tale indice è stata valutata la capacità delle opere di difesa costiera di proteggere le strutture e le opere presenti nel retrospiaggia. L'indice è stato determinato sulla base della presenza e stabilità delle opere di difesa in relazione all'altezza d'onda incidente secondo la classificazione riportata in Tabella 4.

Tabella 4. Classificazione dell'Indice di efficienza delle opere di difesa costiera.

	Danno alle opere di difesa		Nessuna opera presente
	No	SI	
Indice di danno ID	0	1	1

Si noti che tale indice assume punteggio 1 anche nel caso in cui il tratto di costa non sia protetto da alcuna opera e pertanto la quasi totalità della costa ionica presenta valore unitario.

Pertanto, per ogni profilo, utilizzando l'equazione (1), sono stati valutati i valori dei singoli indicatori e successivamente l'indice d'impatto. Al valore dell' I_i , è possibile assegnare un corrispondente valore della vulnerabilità morfologica (V) corrispondente alla configurazione media, R_{med} , secondo la classificazione proposta in Tabella 5 ottenendo, così, la distribuzione lungo costa.

Tabella 5. Classificazione della vulnerabilità morfologica in funzione del valore dell'indice di impatto.

$I_i < 5$ - vulnerabilità bassa V1	$6 \leq I_i < 8$ - vulnerabilità alta V3
$5 \leq I_i < 6$ - vulnerabilità media V2	$I_i \geq 8$ - vulnerabilità molto alta V4

Vulnerabilità socio economica

In accordo con la metodologia adottata, la vulnerabilità socio-economica (S) è definita come il prodotto del danno potenziale (D) per il valore esposto (E).

Esposto

Premesso che nel presente documento di piano ci si riferisce all'individuazione della classe di vulnerabilità sistemica della fascia costiera, rimandando ad una successiva fase la determinazione del livello di rischio che meglio compete alla definizione di esposto, in tale ambito, per quanto concerne il valore esposto, questo è da intendersi come il valore associato agli elementi del territorio, vite umane e/o beni, interessati da inondazione.

I criteri per la determinazione del valore esposto variano a seconda della natura degli elementi da valutare, pur tuttavia, in tale fase di valutazione, i è preferito assumere un valore indistinto dell'esposto e pari al massimo (1) in maniera da pervenire alla valutazione della vulnerabilità del sistema costiero, rimandando l'analisi del rischio all'autorità competente.

Indice di danno costiero

Il danno potenziale misura la predisposizione al danneggiamento degli elementi presenti in un territorio, a seguito di un particolare evento calamitoso. L'applicazione della metodologia, inoltre, richiede la definizione di un ambito territoriale (Radius of Influence of Coastal Erosion - RICE) che rappresenti il dominio fisico all'interno del quale sono confinati gli effetti delle forzanti e, di conseguenza, sono racchiusi gli elementi fisici e socio-economici suscettibili e vulnerabili in relazione agli scenari adottati (EUROSION, 2004).

L'analisi del danno potenziale è stata effettuata attraverso la valutazione di un indice di danno costiero, IDC, che misura il potenziale impatto dell'erosione delle coste e gli effetti dell'antropizzazione dell'area costiera che si intende esaminare.

L'IDC è dato dalla combinazione dei seguenti indicatori:

$$IDC = P_{rice} + U_{rice} + E_{rice} + U_{10km} \quad (6)$$

in cui, con riferimento al RIECE: P_{rice} rappresenta la popolazione residente della Macroarea, U_{rice} rappresenta la percentuale di area urbanizzata e/o industrializzata rispetto al totale della superficie della Macroarea, E_{rice} rappresenta la percentuale di area ad alto potenziale ecologico presente nell'area rispetto al totale della superficie della Macroarea e U_{10km} rappresenta l'incremento percentuale di area comunale urbanizzata e/o industrializzata all'interno della fascia costiera di 10 km nel periodo 2000-2006.

In accordo a quanto previsto dai progetti EUROSION (2004) e FLOODSITE (2005, 2007), a ciascun in-

dicatore è stato successivamente attribuito un punteggio in funzione dei rispettivi valori, di modo che l'IDC assumesse valori compresi tra 1 (danno basso) e 12 (danno molto elevato).

Ai fini del calcolo, i dati relativi all'uso del suolo sono stati ricavati dalle carte di uso del suolo Corine Land Cover mentre per la popolazione, invece, sono stati utilizzati i dati ISTAT riferiti al 31 Dicembre 2011. Pertanto:

1) P_{rice} rappresenta la popolazione della macroarea residente nell'area del RICE stimata in base alla seguente relazione:

$$P_{rice} = D_u A_{aurice} + D_a A_{arice} + D_n A_{nrice}$$

in cui, con riferimento al RICE: A_{aurice} = area urbanizzata della Macroarea, A_{arice} = area agricola della Macroarea, A_{nrice} = area naturale della Macroarea, D_u = densità degli abitanti nelle aree urbanizzate pari a 0,7485 Pop/ A_u , D_a = densità degli abitanti nelle aree agricole pari a 0,217 Pop/ A_a , D_n = densità degli abitanti nelle aree naturali pari a 0,035 Pop/ A_n , A_u = area urbanizzata della Macroarea, A_a = area agricola della Macroarea, A_n = area naturale della Macroarea e Pop = popolazione comunale ed al suo valore è associato un punteggio secondo la scala riportata in Tabella 6.

Il valore più elevato dell'indice si registra per la macroarea 2 nel comune di Bernalda, il più basso per la macroarea 4 nel comune di Scanzano Ionico.

Tabella 6. Scala dei punteggi per classe di Price.

Indicatore	1 punto	2 punti	3 punti
Popolazione in RICE	<5000	5000÷20000	>20000

2) $L'U_{rice}$ indica la percentuale di area urbanizzata e/o industrializzata presente in RICE rispetto al totale della superficie della macroarea interna al RICE stesso ed è classificata secondo lo schema di tabella 7.

Tabella 7. Scala dei punteggi per classe di Urice.

Indicatore	0 punti	1 punto	2 punti	3 punti
% area urbanizzata in RICE	<10%	10÷20%	20÷40%	>40%

Le macroaree 2 e 7, rispettivamente nei comuni di Bernalda, Nova Siri e Rotondella, presentano la maggiore percentuale di urbanizzazione del tratto costiero. Per le macroaree 1,4,5 e 6 si registra, invece, un valore dell'indice pari a 0. Tale situazione è determinata indubbiamente dalla prevalenza nelle stesse di aree ad alto potenziale ecologico, come testimoniato dai corrispondenti valori di E_{rice} .

3) $L'E_{rice}$ rappresenta la percentuale di area ad alto potenziale ecologico (SIC e ZPS) presente nell'area del RICE rispetto al totale della superficie della macroarea interna al RICE stesso ed è classificata secondo lo schema di tabella 8.

Tabella 8. Scala dei punteggi per classe di Erice.

Indicatore	0 punti	1 punto	2 punti	3 punti
% area ad alto valore ecologico in RICE	<5%	5÷20%	20÷30%	>30%

I risultati evidenziano la presenza preponderante di aree di elevato pregio ambientale nella maggior parte delle macroaree. In particolare l'indice si attesta su valori superiori al 75% per quattro di esse, raggiungendo in alcuni casi il 100%.

4) U_{10km} indica l'incremento percentuale di area comunale urbanizzata e/o industrializzata all'interno della fascia costiera di 10 km nel periodo di riferimento.

Sono state, quindi, confrontate le superfici urbanizzate rientranti nei 10 km dalla costa, dei comuni in cui ricadono le macroaree valutando il valore dell'indice sulla base della graduatoria riportata in tabella

$L'U_{10km}$ delle macroaree considerate è stato associato un punteggio calcolato sulla base del prospetto di tabella 9.

Tabella 9. Scala dei punteggi per classe di U10km.

Indicatore	0 punti	1 punto	2 punti	3 punti
% incremento area urbanizzata nella fascia costiera di 10 km	<5%	5÷10%	10÷15%	>15%

I risultati mostrano che, nel periodo considerato, il processo di urbanizzazione costiera è continuato in quasi tutte le macroaree. Si evidenzia, in particolare, il notevole incremento della superficie urbanizzata nelle macroaree 3 e 7. Ciò premesso, è stato, infine, determinato l'Indice di Danno Costiero associando alla somma dei punteggi dei precedenti indicatori il corrispondente livello di danno potenziale, secondo il prospetto di tabella 10.

Tabella 10. Scala dei punteggi per classe il danno potenziale.

Danno potenziale	Indice di danno costiero IDC			
	<=3	4÷6	7÷9	>=10
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄

In cui D₁ = Danno basso, D₂ = Danno moderato, D₃ = Danno elevato e D₄ = Danno molto elevato. Determinato l'indice di danno costiero e il valore esposto delle macroaree oggetto di studio, si è quindi proceduto al calcolo dell'indice di vulnerabilità socio-economica che è rappresentato dal prodotto matriciale dei due suddetti indici e riportato in Tabella 10 il cui risultato è riportato in termini di mappe di zone di pericolosità all'inondazione (ZPI) nella Figura 3.

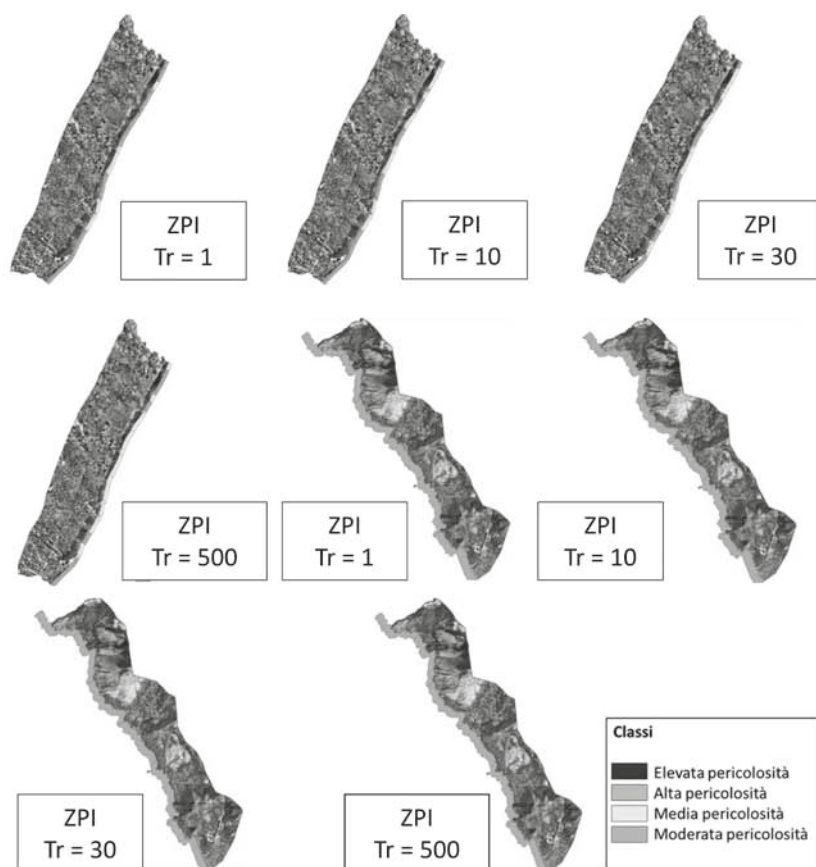


Figura 3. ZPI: classificazione delle zone di pericolosità all'inondazione.

Ciò valutato, si definiscono 4 livelli di pericolosità o meglio di zone a diversa pericolosità di inondazione, secondo la seguente classificazione:

- ZPI 1: zone ad elevata pericolosità di inondazione per le quali sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche.
- ZPI 2: zone ad alta pericolosità di inondazione per le quali sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione della funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- ZPI 3: zone a media pericolosità di inondazione per le quali i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali
- ZPI 4: zone a moderata pericolosità di inondazione per le quali i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono irrilevanti;

Le varie zone vengono dunque determinate incrociando rispettivamente i valori di vulnerabilità costiera (V), correlata alla pericolosità dell'evento con la vulnerabilità socio-economica (S), considerando l'impatto dell'evento sul tessuto sociale ed economico ed in relazione al tempo di ritorno della forzante.

La Figura 4, riporta la distribuzione lungo la costa ionica e tirrenica delle zone di pericolosità all'inondazione in relazione ai soli scenari $Tr = 1, 10, 30$ e 500 . La lettura combinata delle figure, meglio se riferita agli elaborati del piano, con i risultati delle elaborazioni analitico-numeriche per la valutazione degli indici evidenzia:

- $Tr=1$: una classe di pericolosità che si alterna con moderata e media su tutto l'arco costiero ionico, ad eccezione dei profili 5 Sx Basento e 13 Dx Sinni che presentano un'alta pericolosità all'inondazione;
- $Tr=10$: per il tratto ionico una classe di pericolosità che si alterna con moderata e media. In particolare si evidenziano le zone Metaponto Lido Hermitage, Sx Basento e in Dx Sinni definite ad alta pericolosità;
- $Tr=30$: per il tratto costiero ionico una pericolosità analoga a $Tr=25$
- $Tr=500$: per il tratto ionico una classe di pericolosità media-alta ad eccezione del profilo 11 Lido Policoro che presenta una moderata pericolosità all'inondazione;
- per l'arco tirrenico una moderata pericolosità per tutti i tempi di ritorno (Tr) di 1, 10, 30 e 500 e per ogni profilo considerato.

Criticità della costa lucana

L'analisi della vulnerabilità del sistema costiero lucano ha evidenziato, in primis, un differente assetto tra l'ambito ionico e quello tirrenico a fronte di una inevitabile maggiore stabilità di quest'ultimo dettata, inesorabilmente, dalla morfologia dominante della costa che, tra l'altro, l'espone a criticità indotte dai fattori di dissesto idrogeologico piuttosto che marittimo.

Viceversa, la fascia costiera ionica si presenta maggiormente vulnerabile ed esposizione in relazione alle differenti sorgenti di pressione indotte sia dagli elementi ambientali e territoriali sia dai fattori antropici di uso del suolo. In una visione d'area vasta, non sfugge all'occhio dell'osservatore come il sistema territoriale costituente l'area di studio del presente piano, sia delimitato e frazionato da elementi morfologici ed infrastrutturali fortemente controllanti le dinamiche evolutive e le risposte del territorio stesso. Spostandosi dall'entroterra verso la costa, il sistema infrastrutturale di comunicazione, stradale e ferroviario, marca vistosamente le interazioni tra i fiumi, che drenano e/o alimentano idraulicamente la fascia costiera, e l'ambito costiero retrodunale rappresentando un rilevante fattore di rischio per inondazioni ed allagamenti ingenerati dalla precaria efficacia dei sistemi di arginatura ovvero indotti dalla scarsa capacità di deflusso delle reti di bonifica.

Di seguito sono discussi gli elementi di criticità riscontrati dalle analisi condotte nel documento di piano che hanno condotto alla definizione delle zone di pericolosità.

Indice di Criticità Costiera della fascia ionica lucana

L'indice di criticità costiera è stato determinato come combinazione lineare dei due indici di erosione e di inon-

dazione, ottenendo, così, una zonizzazione complessiva della costa che, sempre a meno della definizione del valore dell'esposto, fornisce una rapida mappatura del livello di pericolosità della fascia costiera ionica-lucana. La valenza di tale indicatore risiede nel fornire in un'unica visione il livello di pericolosità complessiva delle aree costiere generalmente assoggettate contestualmente sia a fattori erosivi sia a inondazioni per mareggiate ordinarie o estreme. In altri termini, l'indice di criticità pone meglio in evidenza la capacità di autodifesa del litorale, laddove il processo erosivo, di per se attivo su dinamiche di medio-lungo termine, può essere enfatizzato dalla incapacità di difesa, spontanea o indotta, dalle mareggiate, ingenerando un elevato grado di vulnerabilità del sistema costiero, sia per la componente abiotica sia biotica, e di relativa pericolosità del territorio retrostante. L'incapacità di difesa, così come richiamata, è altresì da individuarsi nei fattori morfologici prevalenti, quali, ad esempio, la lunghezza e la pendenza della spiaggia emersa in relazione alle caratteristiche batimetriche dei fondali, ovvero in quelli idrodinamici conseguenti all'intensità degli eventi meteomarinari, o, ancora, dai fattori di pressione antropica legati, principalmente, all'uso del suolo ed al grado di urbanizzazione della costa.

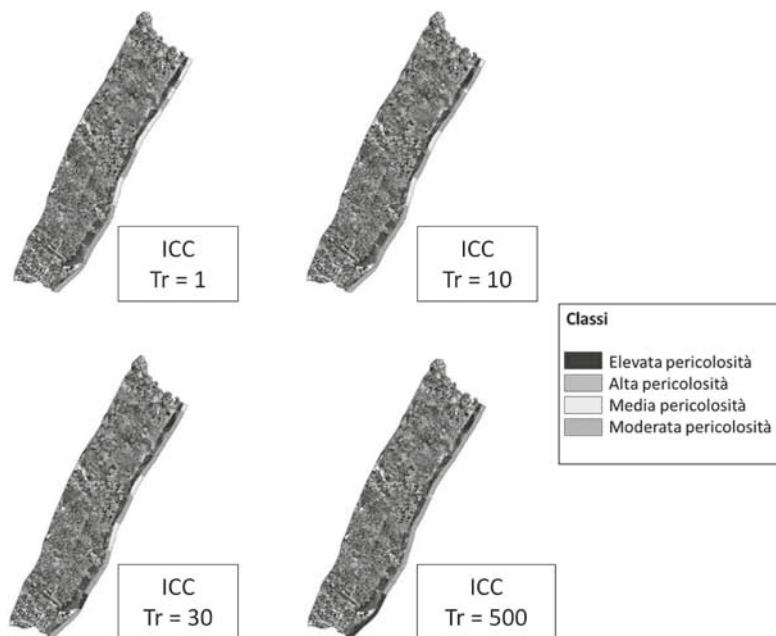


Figura 4. Distribuzione dell'Indice di Criticità Costiera, ICC lungo l'arco ionico.

Considerazioni conclusive e criticità strutturali della fascia costiera lucana

Il lavoro si propone di formulare una prima ipotesi di valutazione e relativa mappatura della criticità costiera dell'arco ionico e tirrenico lucano, attraverso la formulazione di un Indice di Criticità Costiera ottenuto come combinazione lineare di indicatori già consolidati nell'ambito della valutazione del rischio costiero. La mappatura, così come l'analisi, viene riferita a scenari corrispondenti a mareggiate con diversi tempi di ritorno, variabili da 1 a 500 anni, e pone in evidenza come la fascia costiera ionica lucana presenta già in condizioni ordinarie ($Tr=1$) una media criticità generalmente diffusa, che diviene elevata in corrispondenza dei tratti litoranei di Metaponto Lido e in destra foce Sinni, mentre quella tirrenica risulta, per sua natura morfologica, decisamente meno vulnerabile, ad eccezione dei pochi lembi di costa bassa in corrispondenza della foce del Fiume Noce. Alla proposizione di scenari via via più gravosi, quali quelli corrispondenti a mareggiate con tempi di ritorno di 10, 30 e 500, l'intero arco costiero ionico lucano evolve verso condizioni di alta criticità ad eccezione di Policoro Lido. Allo stesso tempo, secondo l'analisi condotta, è altresì possibile selezionare il livello di criticità in relazione alla dominanza del contributo di inondazione a fronte di quello erosivo e viceversa anche in relazione alle morfologie costiere analizzate. L'analisi del sistema costiero lucano, in sintesi, risente, ancorché in maniera diversificata tra il versante ionico e quello tirrenico, della presenza di criticità strutturali territoriali ed infrastrutturali che condizionano sensi-

bilmente le dinamiche costiere e che possono essere ricondotte alle seguenti macro tipologie:

- elementi territoriali ricadenti nell'ambito della fascia costiera e delle macroaree: presenza di corsi d'acqua naturali, infrastrutture lineari di tipo stradale e ferroviario, sistemi irrigui e di bonifica discontinuità dei sistemi ambientali dunali e retrodunali, viabilità secondaria di accesso ai litorali ed interconnessione con i sistemi agricoli e forestali costieri e irrigidimento degli elementi naturalistici e eccessiva antropizzazione di contesti naturali costieri;
- interconnessione degli insediamenti produttivi ed antropici con i sistemi fluviali principali e le dinamiche di versante: aree inondabili di pertinenza fluviale, aree di laminazione e di espansione e generale dissesto idrogeologico;
- azione diretta del moto ondoso sui sistemi naturali ed antropici costieri e riduzione degli apporti solidi e del trasporto litoraneo: riduzione apporto solido per presenza di infrastrutture idrauliche ed idraulico-forestali (dighe, traverse, briglie, etc.) presenti lungo i corsi d'acqua naturali ionici e tirrenico e infrastrutture costiere trasportistiche e di difesa costiera.

Bibliografia

- Benassai G., Chirico F., Corsini, S., 2009. *Una metodologia sperimentale per la definizione del rischio da inondazione costiera*. Studi costieri, 16: 51-72.
- Breil M., Catenacci M., Travisi C., 2007. *Impatti del cambiamento climatico sulle zone costiere: Quantificazione economica di impatti e di misure di adattamento – sintesi di risultati e indicazioni metodologiche per la ricerca futura*. APAT, Centro Euro Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, 96 pp.
- EuroSION, 2004, *Living with Coastal erosion in Europe: Sand and Space dot Sustainability. Guidance document for quick hazard assessment of coastal erosion and associated flooding*. Service Contract B4-3301/2001/329175/MAR/B3 “Coastal erosion – Evaluation of the need for Action” Directorate General Environment European Commission, 30 pp.
- FLOODSITE, 2007, *Methodology for Decision Support System for Flood Event Management*. FLOODsite report, 21 January 2007. 25 pp.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report Summary for Policy-makers. Bruxelles, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 987 pp.
- IPCC Guide 73, 2002, *Risk management – Guidelines for use in standards*. 16 pp.
- MEDPLAN, 2008, *Processus d'analyse et de gestion des zones côtières: méthodes d'évaluation des risques, de réduction des impacts et d'aménagement du territoire*. Rapport de Phase C, Interreg III C – Sud, Projet Beachmed-e (BMe-3S0155R-3.1). 152 pp.
- Greco M., Martino G., 2012. *Valutazione della criticità costiera della fascia ionica lucana*. L'Acqua, vol. 3, pp 55-65.
- Greco M., Martino G., 2014. *Assessment of maritime erosion index for Ionic-Lucanian coast*. Engineering Geology for Society and Territory: Marine and Coastal Processes, Springer. Vol. 4, pp 41-44, International Publishing Print,
- Greco M., Martino G., 2016. *Vulnerability assessment or preliminary flood risk mapping and management in coastal areas*. Natural Hazards, Vol. 82, Issue 1, pp. 7-26,
- Montoya A. L., 2004, *Natural disasters and development in a globalizing world*. Ed. M. Pelling, Routledge, London. In: Habitat international: a journal for the study of human settlements, 28 (3). pp. 499-500.
- Ranieri G., 2010, *Il calcolo del rischio di erosione applicato al tratto di costa tra Margherita di Savoia e Barletta*. XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre. pp. 14-17
- Unesco (1972) Report of consultative meeting of experts on statistical study of natural hazards and their consequences. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization Document SC/WS/500.

Ricevuto il 20/07/2016; accettato il 31/03/2017

