

## Scenari di vulnerabilità e rischio da mareggiata nell'area costiera nord marchigiana

Cesare Bisiccia<sup>1</sup>, Davide Baioni<sup>2</sup>, Pietro Alesi<sup>3</sup>, Giorgio Fontolan<sup>4,5</sup>, Mario Tramontana<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>Ordine Regionale dei Geologi delle Marche (ORGM)

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DiSPeA), Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo"

<sup>3</sup>Via Candigliano n.8, Fossombrone (PU)

<sup>4</sup>Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

<sup>5</sup>CoNISMa, Piazzale Flaminio 9, Roma

### Riassunto

E' stata condotta un'analisi della vulnerabilità da mareggiata nel settore costiero delle Marche settentrionali compreso tra la foce del fiume Foglia e la foce del fiume Metauro. La metodologia utilizzata, già applicata da altri Autori in alcune aree dell'Adriatico settentrionale, impiega una serie di variabili. In particolare, sono stati utilizzati alcuni parametri morfologici attuali e recenti relativi alla spiaggia emersa e sommersa, i caratteri batimetrici e la pressione d'uso delle zone di spiaggia. I dati sono stati elaborati attraverso software GIS. Dagli studi effettuati risulta una vulnerabilità potenziale generalmente elevata, spesso mitigata dai sistemi di difese costiere molto sviluppati nell'area. Sulla base dei risultati ottenuti, valutando anche l'entità di esposizione dei diversi settori costieri, è stato possibile realizzare degli scenari di rischio che, in alcuni casi, può risultare piuttosto elevato. Emerge, pertanto, l'importanza di estendere questo tipo di indagine ad aree più ampie, al fine di ottenere indicazioni per una gestione a lungo termine della zona costiera, anche nell'ottica del possibile innalzamento relativo del livello marino.

**Parole chiave:** costa nord marchigiana, morfologia, vulnerabilità, rischio

### Abstract

*Sea storm vulnerability in the coastal area of northern Marche between the mouths of Foglia and Metauro rivers has been analysed. The method used had already been applied by other authors in some areas of the northern Adriatic region and utilizes a series of different variables, in particular: present and recent morphodynamic parameters of beach and shoreface, bathymetric characteristics and pressure of use at beaches. Data were processed using GIS software. Results point to high potential vulnerability, often mitigated by coastal protection systems that are highly developed in the area. Moreover, considering the amount of exposure of different coastal sectors, it was possible to obtain risk scenarios that, in some cases, result to be high. This emphasizes the importance of extending this type of investigation to larger areas in order to get indications for long-term coastal area management, also in the context of relative sea level rise.*

**Key words:** *vulnerability, risk, morphology, northern Marche coast*

### Introduzione

Il forte sviluppo che si è verificato nelle aree costiere dell'area marchigiana negli ultimi 60 anni, se da un lato ha prodotto ricchezza e benessere per le popolazioni coinvolte, per contro ha generato una forte pressione sugli ambienti naturali e sul contesto morfo-dinamico generale del sistema costa.

Appare utile ricordare che sui 172 km di costa delle Marche, 144 km sono rappresentati da coste basse e di queste più della metà (54%; pari a 78 km) è attualmente considerata in erosione. Si sottolinea che molti dei tratti non ritenuti in erosione, lo sono solo in conseguenza alla realizzazione di opere di difesa

(a partire dal 1907 con la “Legge per la difesa degli abitati dall'erosione marina”). Tali interventi hanno d'altra parte contribuito ad alterare la dinamica generale dei litorali (Antonioli e Silenzi, 2007), producendo frequentemente anche effetti discutibili dal punto di vista dell'efficacia. Nel presente lavoro l'attenzione è stata rivolta alla valutazione della Vulnerabilità e del Rischio da mareggiata in un tratto costiero delle Marche settentrionali, attraverso l'applicazione di una metodologia già utilizzata in altri litorali del Mare Adriatico. Tra gli scopi del lavoro è compresa la valutazione dell'efficacia del modello utilizzato nel contesto costiero marchigiano, attraverso un adeguato confronto dei risultati teorici ottenuti con la reale situazione del litorale.

### Area di studio

La zona costiera considerata è ubicata nelle Marche settentrionali (Fig. 1) ed è compresa tra la spiaggia subito a nord del porto di Pesaro (località Baia Flaminia), dove si colloca la foce del fiume Foglia e il tratto di litorale nei pressi di Fano immediatamente a sud della foce del Fiume Metauro (località Metaurilia). Il settore in esame ha una lunghezza di circa 19,5 km. L'area è prevalentemente caratterizzata da costa bassa, con spiagge sabbiose, ghiaiose e ciottolose; nel settore del Colle Ardizio, situato tra Fano e Pesaro, alle spalle delle zone di spiaggia è presente una falesia relitta. I corsi d'acqua più importanti sono i fiumi Foglia e Metauro ma sono anche presenti corsi d'acqua minori (torrenti Genica, Arzilla e Fosso Sejore).

### Metodologia

La metodologia utilizzata costituisce l'applicazione al contesto marchigiano di una procedura per la stima della Vulnerabilità e del Rischio da mareggiata sviluppata per la costa veneta (Fontolan, 2001; Fontolan et al., 2005, 2011). Benché siano state seguite le linee guida fondamentali previste dal metodo nella formulazione originaria di Fontolan et al. (2005; 2011), nell'ambito del presente lavoro sono state apportate alcune variazioni. Tali modifiche, necessarie al fine di adattare il modello originario alla realtà del tratto costiero in esame, sono relative alla metodologia di calcolo, al metodo di suddivisione dei tratti costieri, ai diversi coefficienti e “pesi” applicati alle variabili in gioco e agli intervalli di normalizzazione di queste ultime.

Volendo ricordare a fini introduttivi il concetto di rischio, in senso classico, possiamo indicare il Rischio (totale)  $R$  come:

$$R = H \times V \times E \quad (1)$$

dove (cfr. Varnes e IAEG, 1984):

$H$  (*Hazard*, Pericolosità): probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un dato periodo di tempo e in una data area;

$V$  (*Vulnerability*, Vulnerabilità): grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio, risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una data intensità;

$E$  (*Elements at risk*, Elementi a rischio; *Esposizione*): popolazione, proprietà e attività economiche a rischio in una data area.

La Pericolosità ( $H$ ), intesa come altezza d'onda attesa alla profondità di chiusura, in analogia a quanto adottato in Fontolan (2001) e Fontolan et al. (2005, 2011), nel modello applicato viene assunta costante lungo tutto il tratto costiero in esame ed è stata valutata sulla base della ricorrenza e dell'intensità delle mareggiate registrate per l'area (Bisiccia, 2012). L'assunzione di questo parametro è importante al fine della valutazione dell'efficacia delle opere di difesa anche se non viene utilizzato nel calcolo della vulnerabilità riportato in seguito.

La Vulnerabilità ( $V$ ) è definita come la capacità di risposta del sistema costa a un evento di mareggiata ed è quantificata dall'efficacia dello stesso nell'assorbire gli effetti del moto ondoso, in funzione delle caratteristiche del tratto costiero esaminato (tendenza evolutiva, geomorfologia, uso antropico, ecc.).

Nell'ambito della procedura di calcolo utilizzata vengono distinti due livelli di vulnerabilità:

$V_p$  (Vulnerabilità potenziale): vulnerabilità del litorale nell'ipotesi di assenza di difese costiere;

$V_r$  (Vulnerabilità reale): vulnerabilità potenziale mitigata dalla presenza di difese.

La Vulnerabilità viene quantificata con una regressione multipla del tipo:

$$V = v_1 * k_1 + v_2 * k_2 + v_3 * k_3 + \dots + v_n * k_n \quad (2)$$

dove:

$V$  = indice di vulnerabilità;

$v_n$  = valore della variabile;

$k_n$  = peso assegnato alla variabile (importanza all'interno del sistema generale).

Questo tipo di approccio, che può essere facilmente sviluppato anche attraverso procedure di implementazione in ambiente GIS, trova larga applicazione nel settore ambientale (Gornitz et al, 1994; Civita, 1994; Civita e De Maio, 1997).

Le variabili che entrano nella definizione della vulnerabilità potenziale da mareggiata sono le seguenti: Pendenza dei Fondali (PF); Evoluzione dei fondali (EF); Ampiezza della spiaggia emersa (AS); Evoluzione recente della linea di riva (ER); Evoluzione storica della linea di riva (ES); Pressione d'uso della spiaggia (PU). Alle diverse variabili, come espresso alla (3), viene attribuito un valore (da 1 a 4) sulla base della rilevanza che esse assumono ai fini del calcolo della vulnerabilità. In particolare, questi valori da 1 a 4 vengono attribuiti in funzione degli effetti di ogni singola variabile sulla vulnerabilità potenziale (ad esempio, AS molto elevata=1=favorisce la diminuzione della vulnerabilità; PU molto elevata=4=favorisce l'aumento della vulnerabilità).

Tramite sistemi GIS è stato implementato il seguente algoritmo di calcolo in raster analisi (Fontolan et al, 2005; 2011):

$$V_p = PF + AS + 0,5 * EF + 0,5 * ER + 0,1 * ES + 0,2 * PU \quad (3)$$

Il risultato dell'applicazione della suddetta procedura è la vulnerabilità potenziale ( $V_p$ ) del settore di costa analizzato.

Una volta definita la vulnerabilità potenziale ( $V_p$ ) a cui è soggetto un certo tratto di litorale, la vulnerabilità reale ( $V_r$ ) si ottiene sottraendo a  $V_p$  l'effetto mitigante cumulato delle difese costiere presenti in corrispondenza dello stesso tratto costiero.

Le difese costiere considerate sono le seguenti: difese a mare ( $D_m$ ); difese radenti ( $D_r$ ); difese morbide ( $D_m$ ); difese dell'entroterra ( $D_e$ ).

Il valore difensivo è rappresentato dall'efficacia di ogni difesa ( $D_i$ ):

$$D_i = d * 13,2/4 \quad (4)$$

dove  $d$  rappresenta la quota della difesa normalizzata e il rapporto  $13,2/4$  è un coefficiente di normalizzazione dei valori delle difese in funzione del valore massimo di vulnerabilità potenziale possibile. Per le difese morbide, il valore dell'efficienza effettiva della difesa è determinato non solo dall'altezza relativa della stessa, ma anche dall'insieme dei seguenti 5 fattori: indice di ripidità; grado di copertura vegetale; indice di discontinuità; presenza di avandune incipienti; presenza di staccionate. Il processo conduce alla determinazione del cosiddetto "Indice di efficienza e stabilità" (Fontolan et al, 2005; 2011), variabile da 0 a 1 e definito nel seguente modo:

$$IES = \sum V_i / 20 \quad (5)$$

dove  $V_i$  indica i valori relativi alle 5 diverse variabili in gioco e 20 (derivante dalla somma dei valori massimi di tutte le variabili) indica il denominatore che serve per normalizzare l'indice **IES** nell'intervallo 0 – 1.

Ad ogni tipologia di difesa viene infine attribuito un coefficiente di efficacia ( $C_i$ ), che indica la misura secondo la quale una difesa è in grado di ridurre il potenziale effetto distruttivo di un'onda di mareggiata.

Nel presente lavoro tenendo in considerazione la realtà del tratto costiero considerato e le caratteristiche delle opere difensive presenti, sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di efficacia ( $C_i$ ): difese rigide a mare,  $C_m = 0,4$ ; difese rigide radenti,  $C_r = 0,8$ ; difese rigide dell'entroterra,  $C_e = 0,8$ ; difese morbide,  $C_d = 0,1$ .

Anche per il calcolo della vulnerabilità reale si è utilizzato l'approccio proposto da Fontolan et al, (2005; 2011):

$$V_r = V_p - (D_d * IES * C_d + D_m * C_m + D_r * C_r + D_e * C_e) \quad (6)$$

Per la definizione del parametro Esposizione ( $E$ ), è stato utilizzato un approccio speditivo attraverso la suddivisione in 4 classi di importanza relativa delle aree del litorale e dell'immediato entroterra, basate sulla presenza o meno di centri abitati e strutture viarie: aree naturali o non abitate ( $E=1$ ); case sparse ( $E=2$ ); nuclei di case ( $E=3$ ); centro abitato ( $E=4$ ). Il 67,5 % del litorale esaminato rientra nelle classi di vulnerabilità 3 e 4.

Una volta definita l'esposizione, è stato introdotto il relativo valore nel seguente algoritmo per il calcolo del Rischio:

$$R = V_r * E \quad (7)$$

ottenendo così il livello di rischio atteso.

Oltre al livello di rischio reale, ottenuto in base alla vulnerabilità reale, si è proceduto anche al calcolo del rischio potenziale ( $R_p$ ) tramite la seguente relazione:

$$R_p = V_p * E \quad (8)$$

Il rischio potenziale mostra quella che sarebbe la situazione del litorale nel caso in cui non fossero presenti le difese costiere a riduzione degli effetti delle mareggiate; tale definizione fornisce quindi un quadro dei possibili effetti nel caso di eventuale parziale o totale inefficacia o collasso delle difese attualmente presenti.

### Discussione

L'applicazione degli algoritmi visti in precedenza, ha permesso la determinazione dei valori di vulnerabilità e rischio in corrispondenza del tratto di litorale analizzato (Bisiccia, 2012).

Sono state definite 5 classi di vulnerabilità (potenziale e reale):  $\leq 2,0$  – Bassa;  $> 2,0 \leq 4,0$  – Moderata;  $> 4,0 \leq 6,0$  – Media;  $> 6,0 \leq 8,0$  – Alta;  $> 8,0$  – Molto alta.

Il range di valori ottenuti per la vulnerabilità potenziale (Fig. 1) è compreso fra 2,425 (Moderata) e 11,288 (Molto alta). Circa il 24% dell'area ha una vulnerabilità potenziale molto alta (4.750 m di litorale su un totale di circa 19.500 m) e circa il 93% presenta una vulnerabilità potenziale da media a molto alta.

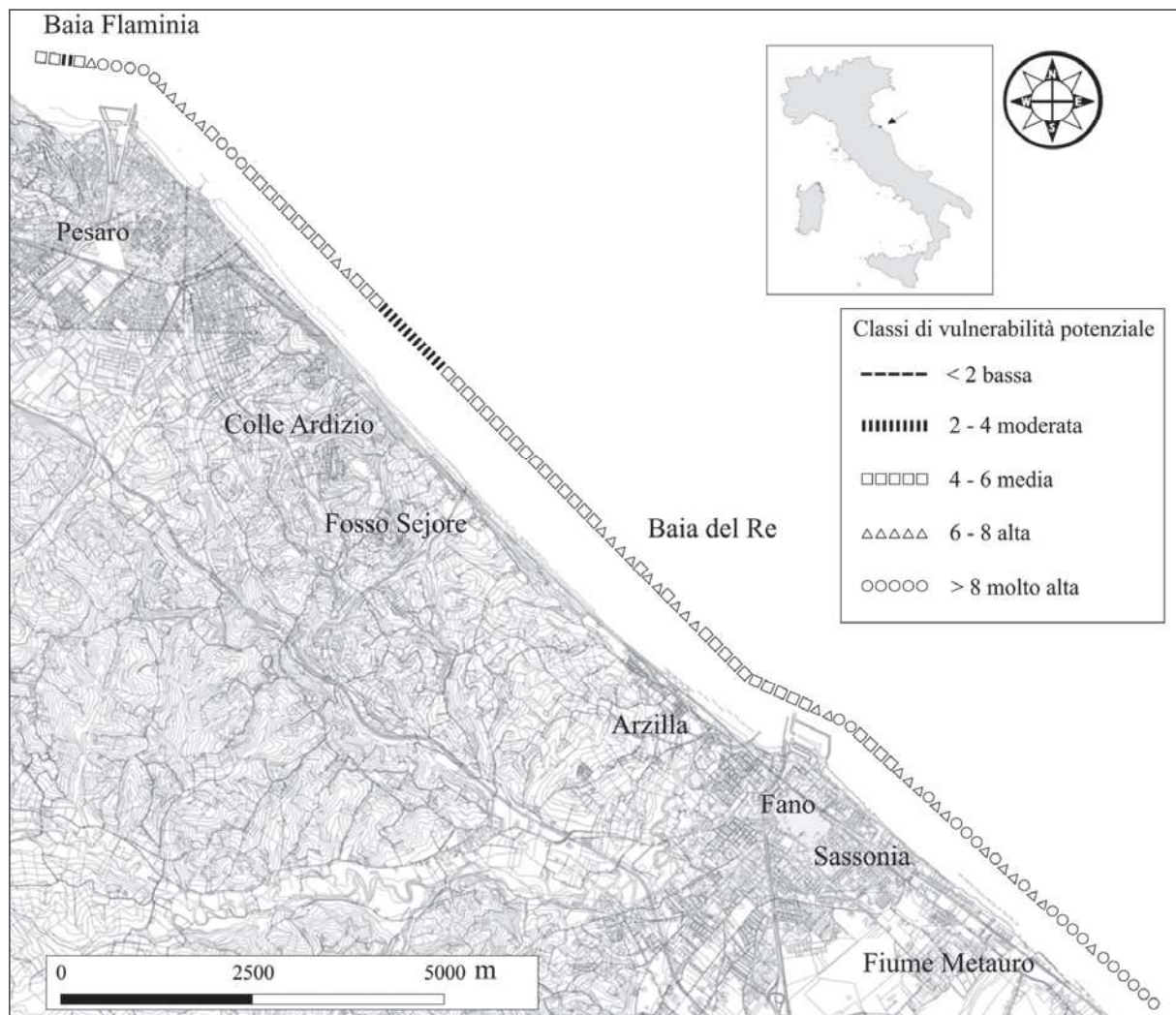


Figura. 1. Carta della Vulnerabilità potenziale del litorale studiato. Nel riquadro è indicata l'ubicazione dell'area.

La Vulnerabilità reale relativa al tratto studiato (Fig. 2) risulta bassa per il 69% della sua lunghezza, mettendo in evidenza come la presenza delle difese costiere sia virtualmente in grado di diminuire la vulnerabilità potenziale del litorale. In particolare, il range di valori ottenuti è compreso fra valori negativi (Bassa) e 10,1 (Molto alta) e solo il 19 % del litorale, pari a poco più di 300 m, vengono indicati a vulnerabilità molto alta.



La vulnerabilità reale più elevata si riscontra in corrispondenza dei settori che non presentano particolari strutture difensive, mentre i livelli di vulnerabilità minore si riscontrano in presenza delle difese costiere più imponenti.

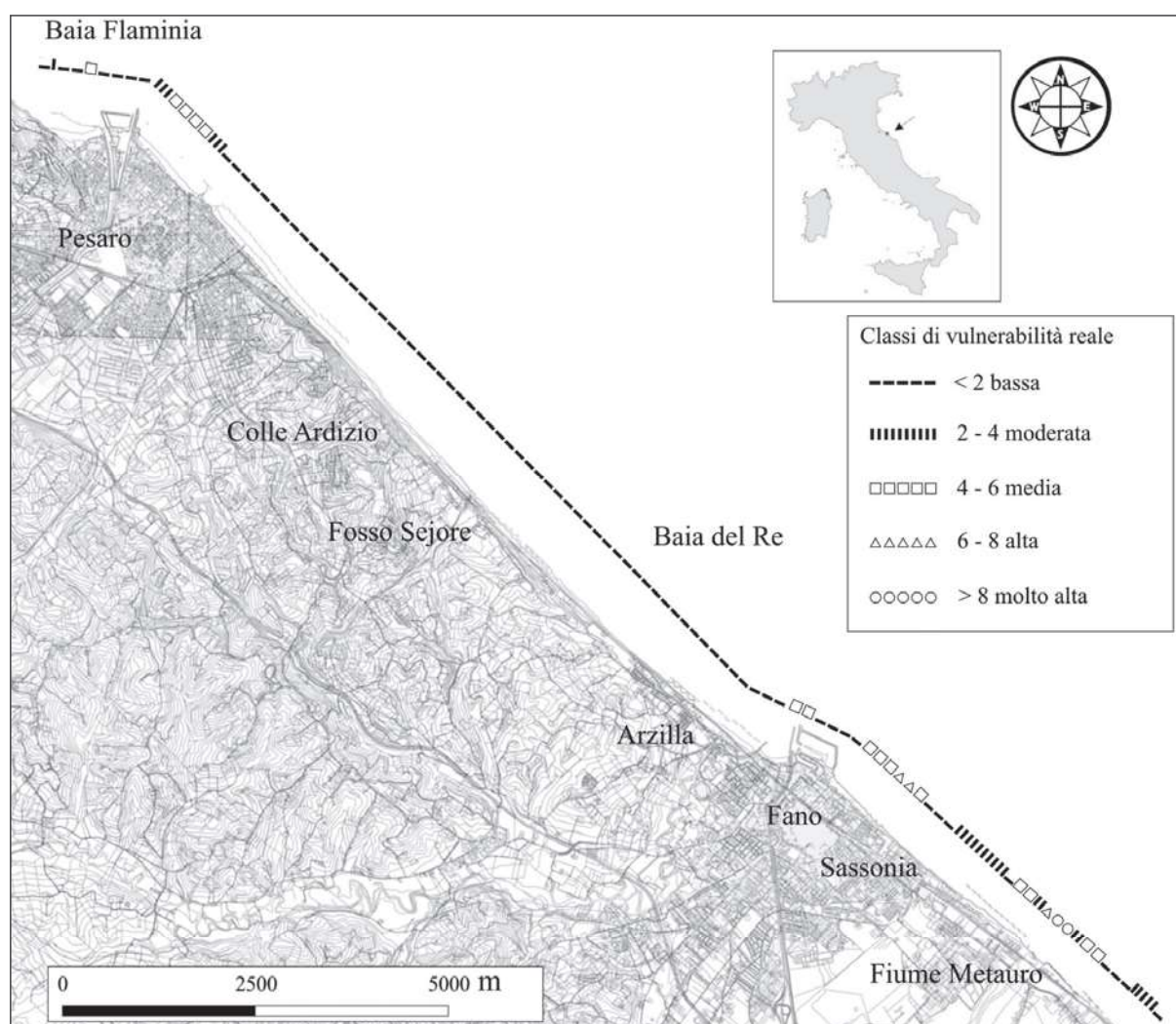


Figura 2. Carta della Vulnerabilità reale del litorale studiato.

Attraverso l'osservazione diretta sul campo si può notare che, in realtà, la presenza di difese costiere, anche di dimensioni importanti, non sempre fornisce garanzia di una riduzione degli effetti di una mareggiata, perché spesso tali difese risultano sottoposte ad un forte stress da usura che ne determina una significativa riduzione dell'efficacia. Le aree che presentano la maggiore Esposizione sono quelle corrispondenti ai centri abitati di Pesaro e Fano e quei settori che sono interessati dalla presenza di infrastrutture viarie di elevata importanza poste alla distanza di pochi metri dalla linea di riva.

Anche per quanto riguarda la determinazione del livello di Rischio si è deciso di conservare un approccio biunivoco, basato sulla quantificazione sia del Rischio reale che del Rischio potenziale, per i quali sono state definite le seguenti 5 classi:  $\leq 10,0$  – Basso;  $> 10,0 \leq 20,0$  – Moderato;  $> 20,0 \leq 30,0$  – Medio;  $> 30,0 \leq 40,0$  – Alto;  $> 40,0$  – Molto alto.

Il range di valori ottenuti per il Rischio potenziale è compreso fra valori negativi (Basso) e 56,44 (Molto alto), mentre per il Rischio reale è compreso fra valori negativi e 46,85. Il confronto tra rischio potenziale e rischio reale porta a considerazioni paragonabili a quelle che emergono dalle valutazioni relative alla vulnerabilità. Infatti anche in questo caso la presenza delle difese tende a mitigare in maniera evidente il rischio potenziale.

## Conclusioni

L'applicazione del modello adottato al litorale analizzato, ha permesso di giungere ad una dettagliata valutazione della vulnerabilità e del rischio da mareggiata e, allo stesso tempo, ha reso possibile realizzare importanti valutazioni sul contesto dinamico-evolutivo del settore costiero in esame, evidenziandone i punti di criticità e mettendo in luce il basso grado di naturalità del sistema.

Il tratto di costa analizzato mostra elevati livelli di Vulnerabilità e Rischio potenziale che nella maggior parte dei casi si rivelano mitigati dalle difese costiere presenti; tale aspetto evidenzia la forte dipendenza dell'attuale sistema costiero dalle difese costruite negli anni passati e, quindi, le criticità che potrebbero sussistere a seguito di una parziale o totale inefficacia delle stesse, anche in relazione al possibile futuro innalzamento del livello marino.

I dati derivanti dall'elaborazione teorica trovano una buona corrispondenza con le situazioni direttamente osservabili sul litorale tranne alcune eccezioni in aree di estensione piuttosto limitata che attualmente mostrano una tendenza all'erosione, forse proprio legata a una locale inefficacia delle barriere esistenti.

Comunque, nella zona in esame emergono alcune aree a particolare criticità, in cui l'erosione marina si è verificata in maniera molto accentuata durante l'arco temporale 1954–2010 e si esplica anche attualmente in maniera significativa. Tali aree sono rappresentate dal settore a sud del porto di Pesaro, da Baia del Re (tra Pesaro e Fano), dal litorale di Sassonia di Fano e dalla zona alla foce del Fiume Metauro.

## Ringraziamenti

La presente Ricerca è stata realizzata con il contributo finanziario dell'Università di Urbino (Fondi Ricerca Scientifica, Responsabile Mario Tramontana) e con i fondi del Consorzio Conisma relativi al Progetto FISR-MIUR VECTOR (Vulnerability of the Italian coastal area and marine ecosystems to Climate changes and Their role in the Mediterranean carbon cycles) e al progetto bandiera CNR Ritmare.

## Bibliografia

- Antonoli F., Silenzi S. (2007) – *Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane*. Quaderni della Società Geologica Italiana, 2: 1-29.
- Bisiccia C. (2012) – *Analisi della Vulnerabilità e del Rischio da mareggiata nell'area costiera compresa tra le foci dei Fiumi Foglia e Metauro (Marche settentrionali), attraverso l'utilizzo di sistemi informativi geografici opensource e considerazioni sul previsto innalzamento relativo del livello marino*. Tesi PhD Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo".
- Civita M. (1994) – *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora Ed., Bologna, 7, 325 pp.
- Civita M., De Maio M. (1997) – *SINTACS. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale*. Pitagora Ed., Bologna, 60: 191.
- Fontolan G. (2001) – *Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile – Rischio da Mareggiata*. Provincia di Venezia, Unità operativa Difesa del Suolo e Protezione civile. Università degli Studi di Trieste; DiSGAM - Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine.
- Fontolan G., Bezzi A., Pillon S., Schiozzi L., Delli Quadri F. (2005) – *Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile – Rischio da Mareggiata – Aggiornamento*. Provincia di Venezia, Settore Tutela e valorizzazione del Territorio – Ufficio Protezione Civile. Università degli Studi di Trieste; Coastal Group – Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine.
- Fontolan G., Bezzi A., Pillon S. (2011) *Rischio da mareggiata*. In: (a cura di A. Vitturi) *Atlante Geologico della Provincia di Venezia. Cartografie e Note illustrative*. Provincia di Venezia: pp. 581-600 + Tavola 16. ISBN 978-88-907207-0-3.
- Gornitz V.M., Daniels R.C., White T.W., Biedwell K.R. (1994) – *The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast*. In: C.W. Finkl Ed., *Coastal hazards: perception, susceptibility and mitigation*. Journal of Coastal Research, Special Issue n. 12: 327-338.
- Varnes D.J., IAEG Commission on Landslide (1984) – *Landslide Hazard Zonation – a review of principles and practice*. UNESCO, pp. 63.

Ricevuto il 15/12/2016; accettato il 05/02/2017