

Aspetti evolutivi della spiaggia ubicata a sud-est del porto di Pesaro (Marche settentrionali)

Davide Baioni¹, Giuseppe Baldelli¹, Cesare Bisiccia¹, Olivia Nesci¹, Giulio Pappafico¹,
Francesco Stecchi², Barbara Tempesta¹ e Mario Tramontana^{1,3}

¹Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DiSPeA) Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

²PhD Sci. Ambientali, Via Castel San Pietro 54, 48121 Ravenna

³CoNISMa, Piazzale Flaminio 9, Roma

Riassunto

Il presente studio analizza dal punto di vista geomorfologico e batimetrico un settore del litorale pesarese di grande interesse socio-economico per la città. Obiettivo principale del lavoro è stato quello di definire i caratteri morfologici dell'area sommersa al fine di delinearne i principali aspetti evolutivi. Lo studio è stato condotto attraverso l'analisi diacronica di foto aeree e rilievi batimetrici eseguiti appositamente. Dall'analisi fotogeologica emerge la presenza di sistemi di barre, variabili nel tempo, di norma interrotte da canali di riflusso. Talora, nei pressi della riva si osservano canali longitudinali legati all'attività di correnti lungo-costa particolarmente intense. Gli elementi morfologici principali della spiaggia sommersa sono rappresentati da canali che fuoriescono dai varchi tra le scogliere realizzate per la difesa della costa. Le parti terminali dei canali sono caratterizzate da piccoli lobi deposizionali.

Parole chiave: spiaggia, fotogeologia, batimetria, Pesaro

Abstract

This article presents partial results of geomorphological and bathymetrical analysis in a sector of Pesaro coast (central Italy) which is of major social-economic interest to the city. The investigation focussed on the main features of the nearshore in order to understand the role of the main factors involved in its recent evolution.

Remote sensing analysis highlighted the presence of bars, which change along time and are usually cut by channels. At times longshore channels can be observed near the shoreline. The main morphological features of the nearshore are channels that flow through the gaps between existing breakwaters. Small depositional lobes are found in the offshore end of these channels.

Key words: beach, remote sensing, bathymetry, Pesaro

Introduzione

L'area di spiaggia è un ambiente complesso e in continua evoluzione, le cui variazioni sono correlate a un numero considerevole di fattori che interagiscono tra loro e che si manifestano con differente intensità. Risulta quindi di notevole importanza lo studio morfoevolutivo del "sistema spiaggia" vista la sua sensibilità dal punto di vista dinamico-ambientale sia alle variazioni naturali, sia a quelle antropiche. L'analisi della tendenza evolutiva di una spiaggia è fondamentale per interpretare e individuare i fattori che ne determinano e/o influenzano l'andamento, sia al fine sia di analizzare l'efficacia di interventi per la sua protezione già messi in opera, sia di progettare e programmare ulteriori interventi efficaci per la protezione della spiaggia stessa e degli interessi che ad essa sono correlati.

La città di Pesaro è una località affermata del turismo balneare nazionale e internazionale e la sua spiaggia, come il porto, rivestono una grande valenza socio-economica per la città e per il suo tessuto commerciale.

Inoltre, la presenza di insediamenti a ridosso della spiaggia, sia commerciali (alberghi, negozi, stabilimenti balneari), sia abitativi, rende necessario uno studio costante e di dettaglio, con particolare riferimento anche a possibili arretramenti della linea di riva causati da fenomeni erosivi e alle loro inevitabili conseguenze che si concretizzano in un potenziale rischio economico molto elevato.

L'area esaminata in questo lavoro è rappresentata da un tratto di spiaggia ubicata immediatamente a sud del Porto della città di Pesaro denominata "spiaggia di ponente" (Fig.1). Essa consiste in una fascia di costa bassa, stretta e allungata, che si estende per circa 1km in direzione NW-SE di cui il molo sud della struttura portuale ne costituisce il limite settentrionale, mentre il limite meridionale è rappresentato da un'altra struttura antropica denominata "il moletto", un pennello la cui costruzione risale alla fine dell'800. La spiaggia emersa, invece, è delimitata da strutture antropiche realizzate tra gli anni 60 e 70 del secolo scorso che hanno occupato completamente anche la zona di retro spiaggia.

Lo studio degli aspetti evolutivi dell'area investigata è stato realizzato mediante analisi integrata dei dati di alcune linee principali di ricerca rappresentate, in particolare, dall'analisi multi-temporale di immagini e da rilievi batimetrici.

L'analisi multi-temporale delle immagini, eseguita principalmente dal punto di vista morfografico, è stata finalizzata all'individuazione delle strutture presenti nella spiaggia sottomarina, alla descrizione delle caratteristiche generali della spiaggia emersa e all'osservazione delle eventuali variazioni morfologiche verificatesi nel tempo. Sono state utilizzate immagini satellitari e foto aeree che è stato possibile reperire da diversi archivi. In particolare si è fatto riferimento a immagini disponibili presso l'Università di Urbino (1943-Volo Royal Air Force; 1955-Volo IGMI GAI; 1974-Volo Provincia di Pesaro e Urbino), a quelle del Geoportale Nazionale (1988-1989, 1994-1998, 2000, 2006, 2012) e a quelle dell'archivio di Google Earth (2003, n.2 immagini). In totale, sono state quindi selezionate dodici immagini corrispondenti a una copertura temporale di quasi 70 anni, estendendosi nel periodo dal 1943 al 2012.

Quest'analisi non è stata finalizzata alla ricostruzione cronologica dettagliata di tutte le variazioni della spiaggia, ma si è focalizzata sulla osservazione delle maggiori e meglio visibili strutture morfologiche e sullo studio delle variazioni della linea di riva, tentandone una interpretazione, osservando le modifiche e cercando di riconoscerne le principali cause.

La posizione della linea di riva, cartografata al fine della valutazione delle sue variazioni nel tempo, si riferisce all'interfaccia terra-mare, il cosiddetto limite tra sabbia asciutta e bagnata (Moore, 2000), considerando anche quanto descritto in Calabrese & Lorito (2010). Il rilievo delle forme sommerse è stato eseguito considerando unicamente le differenze di tonalità dei colori.

I rilievi batimetrici, che hanno interessato la parte nord-occidentale dell'area, sono stati eseguiti utilizzando un ecoscandaglio *singlebeam* (marca SyQwest, modello Bathy-500DF) munito di trasduttore P/N P01540 a frequenza 210Khz e ampiezza del fascio di 8°. I rilievi sono stati effettuati in modalità NRTK utilizzando il servizio di stazioni permanenti della rete nazionale NETGEO, inquadrato nel sistema di riferimento nazionale ETRF2000-RDN e proiettato nel reticolato UTM-33N, garantendo in questo modo una precisione dell'ordine di 2-3 cm. I rilievi batimetrici sono stati effettuati registrando la profondità a distanze fisse di 1 m, allineandosi su traiettorie per lo più circa perpendicolari alla costa e con una distanza dei transetti trasversali di circa 100 m. I rilievi sono stati eseguiti fino a una distanza dalla costa di circa 600 m, ricoprendo un'area di circa 420737 m² e sono stati finalizzati alla creazione di una serie di elaborati: i) carta batimetrica; ii) Digital Elevation Model (DEM); iii) carta delle pendenze.

Area di studio

L'area di spiaggia oggetto di questo studio è ubicata lungo la costa adriatica delle Marche settentrionali (Fig. 1) e si colloca in una zona di costa bassa sulla piana alluvionale del fiume Foglia, racchiusa tra due rilievi costieri, rappresentati dalla falesia attiva del Monte San Bartolo, a nord; e dalla falesia relitta del Colle Ardizio, a sud (Elmi e Gori, 1987; Colantoni et al., 2004;). La fascia costiera in esame è caratterizzata da depositi quaternari olocenici di spiaggia antica e di spiaggia attuale, costituiti in prevalenza da sabbie (AA.VV., 2009). Nell'ambito dei depositi di spiaggia antica, alle sabbie si associano limi e argille e subordinate ghiaie, riferibili ad ambienti deposizionali diversi, da dunali a palustri ad alluvionali.

L'estensione longitudinale dell'area di studio è di circa 1 km, mentre la sua ampiezza si presenta alquanto variabile, sia per effetto delle naturali fluttuazioni stagionali e giornaliere della linea di riva, che in questa



Figura 1. Ubicazione e caratteristiche dell'area di studio. Le cifre indicano la lunghezza della spiaggia emersa e la sua ampiezza alle terminazioni di NW (porto di Pesaro) e SE (il moletto). Immagine modificata dal sito <https://www.google.com/earth/>.

zona sono legate soprattutto al moto ondoso proveniente da NNE e da SE e dalle correnti indotte che determinano il maggior trasporto dei sedimenti (cfr. Colantoni et al., 2003), sia per l'irregolare distribuzione degli edifici nell'area costiera. Inoltre, la messa in posto come opere di difesa di scogliere soffolte, posizionate negli anni '90 parallelamente alla linea di costa, ha determinato alcune variazioni morfologiche significative. Il settore di spiaggia studiato, a seguito della presenza dei sedimenti sabbiosi, ha una inclinazione molto bassa (mediamente circa 2°). Questo la rende particolarmente sensibile alle variazioni di marea; infatti anche se i valori di escursione della marea sono localmente piuttosto contenuti (nel porto di Pesaro l'ampiezza di marea è di circa 50 cm; Colantoni et al, 2003), lo spostamento della linea di riva tra l'alta e la bassa marea è evidente e dell'ordine di 20-30 m. Attualmente la spiaggia mostra una certa stabilità anche se il trend evolutivo sembrerebbe mostrare un accumulo di sedimenti nel settore di NW e una tendenza all'erosione in quello di SE. Questo giustifica la maggiore ampiezza della spiaggia in prossimità del porto di Pesaro che raggiunge circa i 110 m, rispetto a quella adiacente alla struttura denominata "il moletto" che arriva a circa 70 m. Nell'area di studio non sono presenti strutture dunali che sono state sacrificate all'urbanizzazione e antropizzazione del territorio. Nei mesi invernali e autunnali si possono osservare degli accumuli di sabbia artificiali creati con lo scopo di proteggere le strutture antropiche (come gli stabilimenti balneari) più esposte a eventuali mareggiate.

Come sopra ricordato, i sedimenti di spiaggia sono prevalentemente sabbiosi. A luoghi si osserva una subordinata frazione ghiaiosa, costituita prevalentemente da gusci interi o frammenti di gusci di molluschi e, in subordine, da clasti di natura calcarea. L'analisi granulometrica di alcuni campioni prelevati nella zona di battigia ha permesso di stabilire che si tratta di sabbie (classificazione secondo Bosellini et al., 1989, modif.), principalmente a granulometria da media a fine, a cui si associano percentuali molto basse (dell'ordine

al massimo di circa 1 punto percentuale) di sabbia grossolana, molto grossolana e finissima e anche un bassissimo contenuto (tra lo 0,98% e l'1,21%) di pelite. I sedimenti sono unimodali ($Md_{\phi} 3$) e hanno una classazione (cfr. Folk e Ward, 1957) variabile da moderatamente buona a buona (coefficiente di cernita σ_{ϕ} , da 0,47 a 0,61).

Risultati e discussione

Il confronto multi temporale tra le immagini evidenzia la presenza di sistemi di barre, variabili nel tempo, di norma interrotte da canali di riflusso. Talora, nei pressi della riva si osservano canali longitudinali legati all'attività di correnti lungoriva particolarmente intense. Per quanto riguarda le variazioni della linea di riva, negli ultimi 70 anni queste delineano una storia piuttosto complessa evidenziando una tendenza generale all'erosione che si è attenuata dopo la realizzazione delle scogliere soffolte. Questa tendenza all'erosione, legata principalmente alla diminuzione del trasporto solido da parte dei fiumi e alla realizzazione di opere, non si è sviluppata in maniera costante e generalizzata su tutto il litorale, sia nel tempo, sia nello spazio. Inoltre, sia nei periodi di prevalente erosione, sia in quelli di moderato avanzamento o di stabilità, si osserva una evidente differenza in termini evolutivi tra il settore NW e quello SE dell'area studiata. La presenza del molo portuale ha infatti favorito, in tutto il periodo in esame, una deposizione di materiali che ha amplificato la spiaggia proprio nel suo settore nord occidentale.

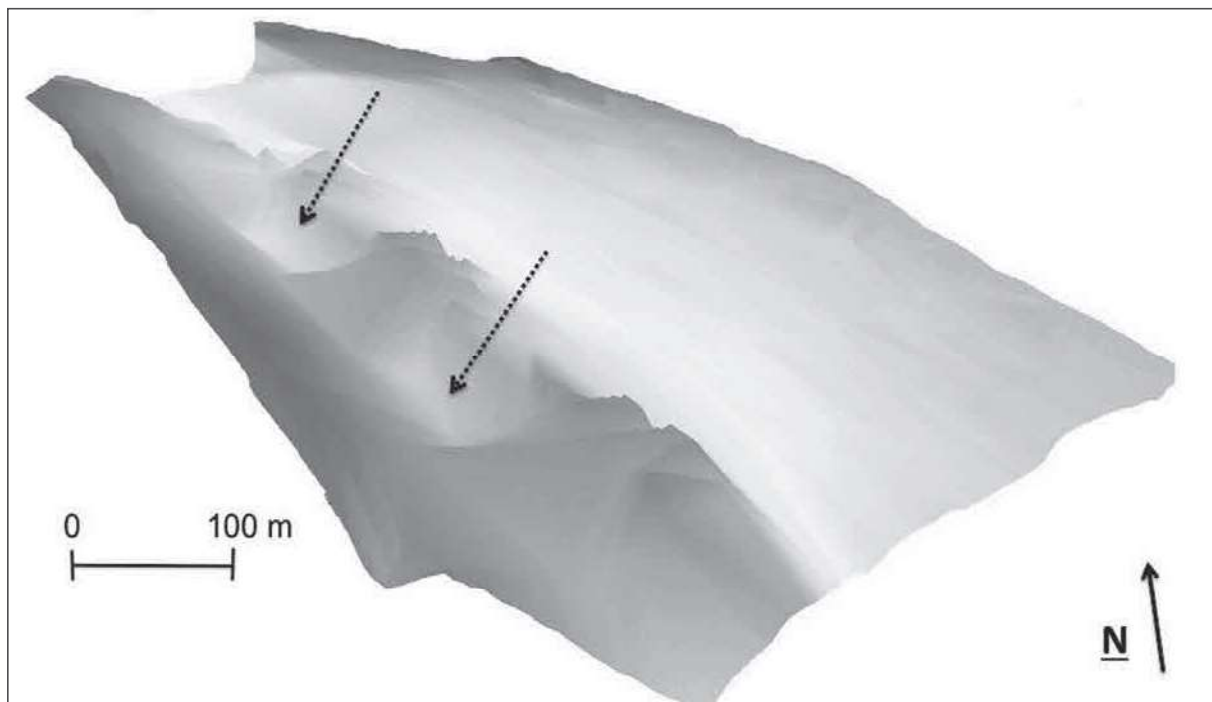


Figura 2. Digital Elevation Model della fascia sommersa in esame. Le frecce nere indicano le depressioni descritte nel testo ubicate all'interno delle scogliere.

I dati batimetrici, elaborati in ambiente GIS, hanno permesso la realizzazione di un DEM (Fig.2) e di una carta batimetrica (Fig.3), nella quale le isobate tracciate, alle quali si è scelto di applicare una equidistanza di 0,5 m, coprono un'area compresa tra -1 m e circa -9,5 m di profondità. Generalmente le inclinazioni maggiori si possono osservare sia nella fascia di spiaggia sottomarina compresa tra la spiaggia intertidale e le scogliere esistenti, sia nella zona immediatamente al largo delle scogliere stesse. In particolare, le pendenze maggiori sono state riscontrate nella zona del molo portuale. La maggior profondità dell'area studiata si osserva nel settore settentrionale dove si superano di poco i -9,5 m.

Al fine di favorirne la descrizione, l'area di studio è stata suddivisa in due zone distinte separate dalle scogliere sommerse esistenti.

La prima zona, compresa tra la linea di riva e le scogliere, è caratterizzata da un fondale con una inclinazione sempre di pochi gradi (circa compresa tra meno di 1° e 4°) ma mediamente più inclinato rispetto all'area situata al largo delle scogliere. Nell'area prossima al molo portuale si osserva una tendenza all'accumulo di sedimenti, evidenziata dalla convessità rivolta verso il largo delle isobate, che delinea una minore profondità del fondale rispetto alle zone adiacenti. In tutta la zona, comunque, si osserva generalmente un approfondimento regolare fino all'isobata dei -2 m, mentre più al largo, nella zona prossima alle scogliere il fondale diventa invece più articolato e sono presenti alcune depressioni piuttosto evidenti. Queste depressioni, in cui la profondità stimata varia da circa 3,50 a circa 4,10 m, si collocano lungo una fascia orientata NW-SE alle cui terminazioni si sviluppano canali che fuoriescono, con scorrimento in direzione opposta, in corrispondenza dei varchi predisposti a interruzione delle scogliere sommerse. Le depressioni sono interrotte dalla deposizione che si verifica alle spalle delle scogliere stesse. Le aree di separazione si trovano a profondità decrescente procedendo da NW verso SE (Fig. 3). La depressione più settentrionale è delimitata a NW dalla zona di basso fondale adiacente al porto.

La seconda zona, che si estende dalle scogliere sommerse verso il largo, presenta isobate con un andamento più irregolare. In particolare, nell'area meridionale della zona sottomarina indagata, a ridosso della scogliera, le isobate denotano una maggiore inclinazione del fondale rispetto alle aree più al largo dove le isobate si distanziano notevolmente assumendo una evidente convessità verso NE. Questo è ben osservabile nella fascia compresa tra l'isobata dei -5 m e quella dei -6 m di profondità dove le isobate, a forma arcuata, sono delimitate a NW e a SE da canali con prevalente orientazione meridiana.

L'osservazione dei dati sembra mostrare una continuità sostanziale tra i canali maggiori osservati nella spiaggia sottomarina al largo delle scogliere sommerse e le principali depressioni riscontrate nella zona compresa tra la riva e le scogliere. Il collegamento è rappresentato dai varchi nelle scogliere dove si osserva un brusco approfondimento del fondale. In particolare, dal varco presente nel settore sud-orientale si sviluppa un canale orientato circa N-S che tende a disporsi verso il largo in direzione SW-NE. La profondità in corrispondenza del varco tra le scogliere è circa 3,5 m. Dal varco del settore nord-occidentale, dove la profondità raggiunta è pari a circa 4-4,5m, fuoriesce un canale inizialmente orientato SE-NW, che più al largo si dispone in direzione N-S e alla cui terminazione settentrionale si sviluppa un piccolo lobo deposizionale (Fig. 3). In quest'area si osserva un ulteriore canale, sub-parallelo e a NE del precedente, anch'esso caratterizzato alla sua terminazione da un lobo deposizionale. Altri piccoli canali, infine, si riscontrano nella parte settentrionale e più profonda della zona studiata.

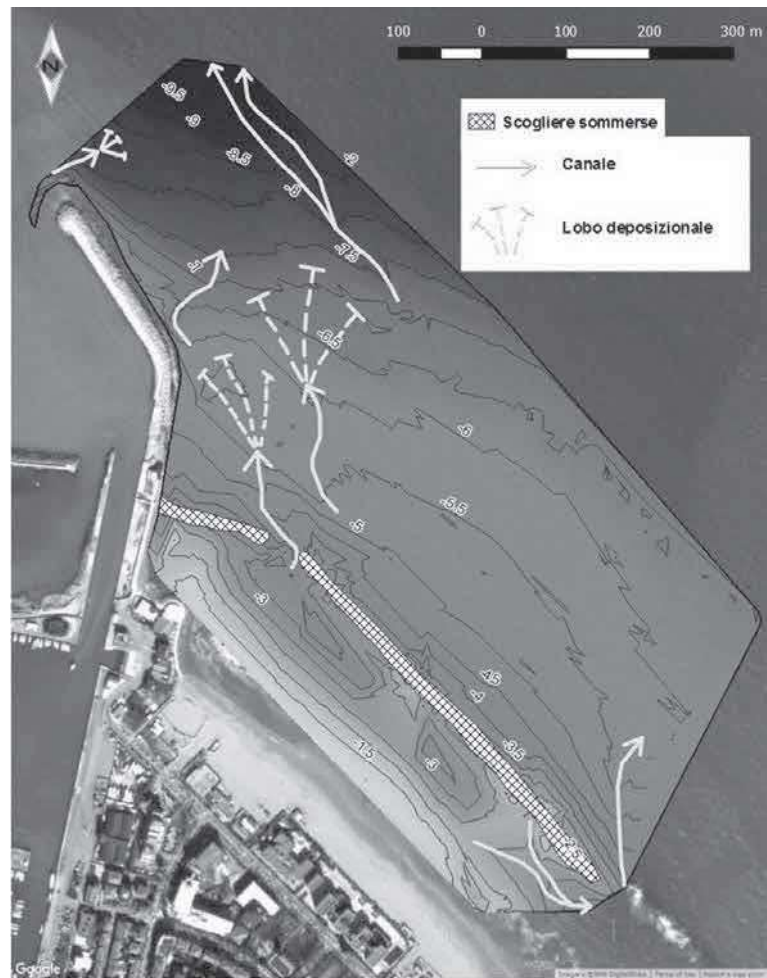


Figura 3. Carta batimetrica dell'area di studio (isobate 0,5 m) con indicati i principali canali e lobi deposizionali.

In tutti i casi i canali osservati al largo delle scogliere costituiscono forme erosive non molto evidenti che, verso il largo si attenuano piuttosto rapidamente.

In particolare, i canali che fuoriescono dai varchi tra le scogliere sono visibili fino alla profondità di circa 5,5m e suggeriscono la presenza di forti correnti legate al moto ondoso che porta durante le tempeste grandi quantità di acqua all'interno delle scogliere, innescando quindi un forte riflusso delle acque attraverso i varchi. Questi costituiscono pertanto una "corsia preferenziale" oltre la quale la corrente prosegue comunque il suo corso, andando a modellare la spiaggia sottomarina e creando le forme morfologiche precedentemente descritte.

Conclusioni

La porzione della spiaggia di Pesaro oggetto del presente studio, situata immediatamente a SE del porto, rappresenta una unità confinata, con al largo un sistema di scogliere soffolte, dove la spiaggia emersa è costituita da sedimenti prevalentemente sabbiosi, unimodali con classazione da moderatamente buona a buona che migliora, procedendo da SE verso NW, nel senso del trasporto prevalente lungo costa.

L'interpretazione di immagini aeree e da satellite evidenzia la presenza di sistemi di barre, variabili nel tempo, di norma interrotte da canali di riflusso. Talora, nei pressi della riva si osservano canali longitudinali interpretati come conseguenza dell'attività di correnti lungoriva particolarmente intense.

L'evoluzione della linea di riva negli ultimi 70 anni ha avuto una storia piuttosto complessa ed è il frutto dall'interazione di un insieme di fattori di diversa natura. Tra questi vi è un effetto integrato tra l'antropizzazione eccessiva delle aree costiere e l'impatto prodotto sulle correnti costiere dalle scogliere sommerse, che si sommano al minore apporto di sedimenti provenienti dai fiumi adiacenti l'area di studio (Colantoni et al., 2004). Attualmente, l'erosione predomina sulla sedimentazione e agisce in modo non uniforme. L'erosione prevale nella parte SW della spiaggia, ossia l'area del "Moletto", rispetto a quella di NW adiacente il porto di Pesaro.

La spiaggia sottomarina mostra una morfologia piuttosto articolata e attualmente gli elementi principali sono rappresentati da canali ben definiti che fuoriescono dai varchi tra le scogliere. Questi canali sono interpretati come strutture erosive formate dal riflusso di grandi quantità di acqua che si accumula lungo la costa durante le mareggiate e che fuoriesce dai varchi esistenti. Tra le strutture deposizionali sono degni di nota alcuni piccoli lobi che in certi casi caratterizzano la parte terminale dei canali.

Ringraziamenti. Il presente lavoro è stato realizzato con il contributo finanziario dell'Università di Urbino (Fondi Ricerca Scientifica, Responsabile Mario Tramontana). Gli Autori ringraziano il Sig. Ettore Trebbi della Società Sub Tridente di Pesaro per aver messo a disposizione l'imbarcazione utilizzata nel corso delle indagini batimetriche.

Bibliografia

- AA.VV. (2009) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 268 Pesaro e note illustrative*. ISPRA, Roma.
- Bosellini A., Mutti E., Ricci Lucchi F. (1989) – *Rocce e successioni sedimentarie*. UTET, Torino, 395 pp.
- Calabrese L., Lorito S. (2010) – Mappatura della linea di riva da foto aerea. In Perini L., Calabrese L. (a cura di), *Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna, Pendragon, pp. 43-56.
- Elmi C., Gori U. (1987) – *Variazioni della morfologia costiera prodotte da opere di difesa sul litorale pesarese*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 417-426.
- Colantoni P., Mencucci D., Baldelli G. (2003) - *Idrologia e idraulica costiere, processi litorali attuali e deposizione dei sedimenti*. Quaderni del Centro di Geobiologia, Univ. Urbino, pp. 15-39.
- Colantoni P., Mencucci D., Nesci O. (2004). - *Coastal processes and cliff recession between Gabicce and Pesaro (northern Adriatic Sea): a case history*. Geomorphology, 62, 257-268.
- Folk R., Ward W.C. (1957) – *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. J. Sed. Petrology, 27, 3-26.
- Moore L.J. (2000) – *Shoreline mapping techniques*. J. Coastal Res., 16, 111-124.

Ricevuto il 03/05/2016; accettato il 05/02/2017