

# Studi costieri

Dinamica e difesa dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

N. 24  
2017



# Studi costieri

Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Collana diretta da:

**Enzo Pranzini**

Dipartimento di Scienze della Terra  
Via Micheli, 6 - 50121 Firenze  
Tel. 055 2756547

Redazione: **Marco Piccardi**

m.piccardi@tin.it

## Comitato scientifico

Segreteria: **Pierluigi Aminti**

Dipartimento di Ingegneria civile  
Via S. Marta, 3 - 50139 Firenze  
Tel. 055 2758840  
E-mail: aminti@dicea.unifi.it

**Carl Leonetto Amos** - Southampton (UK)

**Giorgio Anfuso** - Cadice (Spagna)

**Edoardo Benassai** - Napoli

**Antonio Brambati** - Trieste

**Mario Calabrese** - Napoli

**Lorenzo Cappiotti** - Firenze

**Nicola Corradi** - Genova

**Leandro D'Alessandro** - Chieti

**Giuliano Fierro** - Genova

**Leopoldo Franco** - Roma

**Giovan Battista La Monica** - Roma

**Alberto Lamberti** - Bologna

**Elvidio Lupia Palmieri** - Roma

**Alessandro Mancinelli**, Ancona

**Alberto Noli** - Roma

**André Ozer** - Liegi (Belgio)

**Piero Ruol** - Padova

**Giulio Scarsi** - Genova

**Umberto Simeoni** - Ferrara

**Adrian Stanica** - Bucarest (Romania)

**Sandro Stura** - Genova

**Giuseppe Roberto Tomasicchio** - Bari

**Lilian Wetzel** - Rio Grande (Brasile)

Finito di stampare nel mese di Febbraio 2017

**Tipografia Il Bandino**

## **Studi costieri N. 24**

### **Atti del Convegno**

**"Erosione costiera: difesa, adattamento o arretramento?"**

**San Benedetto del Tronto (AP) – 5 Giugno 2015**

**A cura di Carlo Bisci, Gino Cantalamessa e Federico Spagnoli**

Stampato con il contributo dell'Università degli Studi di Camerino, dell'Università Politecnica delle Marche e del Comune di San Benedetto del Tronto



**Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero**

# Studi costieri

Dinamica dei litorali - Gestione integrata della fascia costiera

Numero 24

## Indice

<b>Gli effetti antropici nell'evoluzione storica della costa "Picena"</b> Alessio Acciarri, Carlo Bisci, Gino Cantalamessa, Giorgio Di Pancrazio, Federico Spagnoli	p. 3 - 10
<b>Tendenza evolutiva della spiaggia della Riserva Naturale della Sentina (San Benedetto del Tronto, AP)</b> Alessio Acciarri, Carlo Bisci, Gino Cantalamessa, Giorgio Di Pancrazio, Federico Spagnoli	p. 11 - 14
<b>Aspetti evolutivi della spiaggia ubicata a sud-est del porto di Pesaro (Marche settentrionali)</b> Davide Baioni, Giuseppe Baldelli, Cesare Bisiccia, Olivia Nesci, Giulio Pappafico, Francesco Stecchi, Barbara Tempesta e Mario Tramontana	p. 15 - 20
<b>Scenari di vulnerabilità e rischio da mareggiata nell'area costiera nord marchigiana</b> Cesare Bisiccia, Davide Baioni, Pietro Alesi, Giorgio Fontolan, Mario Tramontana	p. 21 - 26
<b>Tutela e Pianificazione delle aree costiere: alcuni casi del Medio Adriatico</b> Rosalba D'Onofrio, Chiara Camaioni, Massimo Sargolini	p. 27 - 34
<b>Variazioni meteomarine recenti e climatologia dinamica nel bacino adriatico: primi risultati</b> Massimiliano Fazzini, Carlo Bisci, Marco Cardinaletti, Andrea Giuliacci	p. 35 - 42
<b>Evoluzione progettuale delle opere di difesa costiera</b> Alessandro Mancinelli, Sara Corvaro, Carlo Lorenzoni	p. 43 - 52
<b>Peculiarità dell'area marina antistante il Monte Conero</b> Elisa Punzo, Fabio Grati, Alessandra Spagnolo, Gianna Fabi	p. 53 - 58
<b>Ripristino della fascia dunale con tecniche di ingegneria naturalistica: il caso di Marina di Lesina in Puglia</b> Luciano Onori, Fabio Palmeri e Alfonso Russi	p. 59 - 68
<b>Realizzazione di modelli digitali topo-batimetrici da drone</b> Irene Mammì, Lorenzo Rossi, Giovanni Vitale, Antonio Zeoli	p. 69 - 74
<b>Difesa dei litorali e sicurezza della balneazione</b> Dario Giorgio Pezzini	p. 75 - 84
<b>La pocket beach di Portonovo (Ancona)</b> Andrea Dignani	p. 85 - 90
<b>Il Grande Progetto "Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno"</b> Domenico Ranesi	p. 91 - 100
<b>Ricerche preliminari di sabbie sui fondali del Golfo di Salerno per interventi di ripascimento</b> Alessio Valente, Valerio Catalano, Fabio Dentale, Franco Peduto, Francesco Sessa	p. 101 - 108
<b>L'impegno di Legambiente per una gestione sostenibile delle "Spiagge di Montalbano"</b> Antonino Duchi, Natalia Carpanzano	p. 109 - 114
<b>Escursione lungo il litorale "piceno"</b> Alessio Acciarri, Carlo Bisci, Gino Cantalamessa, Giorgio Di Pancrazio, Federico Spagnoli	p. 115 - 126
<b>Norme per gli Autori</b>	p. 127 - 128

Gruppo Nazionale per la  
Ricerca sull'Ambiente Costiero

ISSN 1129-8588

## Gli effetti antropici nell'evoluzione storica della costa "Picena"

Alessio Acciarri<sup>1</sup>, Carlo Bisci<sup>1</sup>, Gino Cantalamessa<sup>1</sup>, Giorgio Di Pancrazio<sup>1</sup>, Federico Spagnoli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università di Camerino, Scuola di Scienze e Tecnologie, Sezione di Geologia, via Gentile III Da Varano, 62032 Camerino e-mail: carlo.bisci@unicam.it

<sup>2</sup>ISMAR-Istituto di Scienze Marine, CNR, largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona

### Riassunto

Viene analizzata l'evoluzione storica del litorale adriatico compreso tra il M. Conero e la foce del F. Tronto, confrontandola con le modificazioni naturali e antropiche. Lo studio parte dalla ricerca, georeferenziazione e digitalizzazione in ambiente GIS di tutte le mappe storiche disponibili e delle osservazioni derivanti da testimonianze archeologiche e documentali, al fine di ricostruire la posizione della linea di riva in momenti successivi, soprattutto in corrispondenza delle foci fluviali. Ciò ci ha permesso di evidenziare che per gli ultimi due millenni gli interventi antropici hanno influenzato la dinamica costiera più delle fluttuazioni climatiche. Per tutti i siti studiati, è stata chiaramente mostrata una stretta relazione tra le variazioni della linea di costa e i processi di forestazione e disboscamento.

Tra l'altro, è emerso che la progradazione delle foci fluviali è proseguita fino al 1930, ben dopo la fine della "Piccola Età Glaciale" (intorno al 1850). La suddetta relazione è particolarmente evidente per gli ultimi due secoli, per i quali sono disponibili tanto mappe accurate, quanto censimenti delle superfici boscate. Durante il XIX secolo, nonostante il clima mite favorisse la protezione dei versanti, i diffusi disboscamenti hanno indotto un continuo avanzamento della linea di riva (con tasso medio di 4.95 m/anno per la prima metà del secolo e di 1.08 m/anno per la seconda metà). Nel XX secolo, si è avuto un comportamento più irregolare, con tendenza all'arretramento dopo gli anni '30, quasi esclusivamente in conseguenza degli interventi antropici attuati lungo i bacini idrografici (costruzione di dighe e briglie, escavazioni in alveo, rimodellamento delle aste fluviali, abbandono delle coltivazioni ecc.), che hanno indotto una forte riduzione del trasporto solido fluviale. Per le ultime decadi e attualmente, i fattori che maggiormente condizionano la dinamica costiera risultano essere i vari interventi effettuati lungo le spiagge e davanti ad esse per ridurre l'erosione.

**Parole chiave:** impatto antropico, evoluzione storica, linea di costa, Marche centro-meridionali, Mare Adriatico

### Abstract

*The historical evolution of the southern Marche shoreline (between the Conero promontory and the Tronto river mouth) has been investigated and evaluated with regards to natural and anthropic changes. All the available historical maps and observations deriving from archeological and documental findings have been researched, geo-referenced and digitized in a GIS environment, in order to reconstruct the position of the shoreline at different times, especially at fluvial mouths. This allowed us to highlight that for the last two millennia anthropic interventions influenced coastal dynamics more than climate variations. For all investigated sites a close relation between shoreline fluctuations and forestation/deforestation processes was clearly identified.*

*In addition, it emerged that river mouth progradation continued until 1930, well after the end of the "Little Ice Age" (around 1850). The above relation is particularly evident for the past two centuries, as we have accurate maps and census of forested areas for this period. During the XIX century, in spite of the warm climate having*

*favoured slope protection, widespread deforestation resulted in regular shoreline accretion (average rate of circa 4.95 mly for the first half of the century and 1.08 mly for the second half). In the XX century coastal behaviour was more irregular, with substantial retreat after the 1930s: this derives almost exclusively from anthropic interventions in river basins (construction of dams, riverbed quarrying, river reshaping, abandonment of crops etc.) leading to a severe decrease in solid load. For the past few decades and at present, the most important factors driving the behavior of coastlines resulted to be the various interventions carried out along and in front of beaches to reduce erosion.*

**Key words:** antropogenic impact, historical evolution, coastline, central-southern Marche, Adriatic Sea

### Introduzione

La fascia costiera italiana, caratterizzata da paesaggi di enorme valore naturalistico, è spesso minacciata dalla continua espansione dei centri urbani, dagli insediamenti di carattere industriale e turistico e dalle infrastrutture viarie; questa situazione è particolarmente evidente lungo il litorale marchigiano, dove l'ISPRA ha individuato il massimo consumo di suolo nei primi 300 m dalla linea di riva, essendone stato cementificato quasi il 41%. Buona parte dei circa 8000 km di coste italiane, e dei 172 km marchigiani, è poi soggetta a processi erosivi che purtroppo mostrano intensità sempre crescenti. Negli ultimi decenni, lo sviluppo del turismo di massa e la costante crescita del valore economico dei litorali hanno inoltre portato a una sempre maggiore richiesta di spiagge più ampie. Di pari passo con l'aumento della richiesta, sono però incrementati i fenomeni di erosione della linea di riva, per far fronte ai quali si è ricorso a diverse tecniche e modalità di intervento che, nei casi di inadeguata progettazione e/o realizzazione, hanno però aggravato le tendenze erosive dei litorali. L'interfaccia terra-mare è una delle zone più soggette a degrado ambientale, la cui fragilità è amplificata dagli innumerevoli interessi economici che vi si accentrano. Un'analisi puntuale e accurata dell'evoluzione storica dei litorali è pertanto un presupposto fondamentale e irrinunciabile per comprendere i fenomeni che vi intervengono e per effettuare previsioni riguardo alle tendenze evolutive.

### Evoluzione storica del litorale Piceno

La costa Picena, che si estende per circa 75 km (43% del totale della Regione) tra la discontinuità del Conero e la foce del F. Tronto, si presenta prevalentemente rettilinea con andamento NNO-SSE fino a Pedaso e circa N-S da qui sino al suo limite meridionale. Per il 99% è formata da coste basse: ampie spiagge ghiaioso-sabbiose sono rinvenibili solo di fronte alle piane alluvionali dei fiumi principali, mentre alla base delle falesie inattive parallele alla linea di riva sono presenti spiagge più strette (AA. VV., 1990). L'unica eccezione è costituita da una falesia attiva in prossimità di Pedaso.

La ricostruzione dell'evoluzione storica del litorale è iniziata con l'esame delle variazioni storiche delle foci fluviali, che ne rappresentano gli indizi principali: la loro forma, in assenza di significative variazioni eustatiche del livello del mare, dipende infatti dall'equilibrio tra la dinamica del sistema fluviale e quella costiera, rappresentando la memoria delle trasformazioni ambientali avvenute nei bacini idrografici. Dato che la diminuzione del trasporto solido fluviale è considerata la maggiore causa degli arretramenti occorsi nelle spiagge italiane in questi ultimi decenni, per comprendere il quadro evolutivo costiero risulta fondamentale la conoscenza dei parametri climatici, ambientali, geomorfologici e antropici da cui dipendono gli equilibri tra apporti solidi e azione del moto ondoso.

Durante l'ultimo massimo glaciale (18.000 anni BP), il livello del mare era circa 120 m più basso dell'attuale e tutti i fiumi marchigiani erano tributari del F. Po, che aveva la sua foce in prossimità di Pescara. Il rapido innalzamento marino avvenuto tra 18 e 6 mila anni fa ha poi portato un'ampia porzione dell'Adriatico centrale a essere progressivamente sommersa; al momento della massima ingressione marina (6000 anni BP), la costa si trovava in posizione più interna di circa 1-2 km rispetto alla posizione attuale, con foci a estuario bordate da falesie attive (Coltorti, 1997; Coltorti e Farabollini, 2008; Acciarri *et al.*, 2016), con morfologie simili alle attuali coste a rias spagnole.

Il passaggio a condizioni regressive (di origine antropica) ha avuto luogo circa 5000 anni orsono, quando l'aumento degli apporti sedimentari dovuti al disboscamento e all'uso agricolo del suolo ha consentito il riempimento degli estuari e la progradazione delle foci fluviali (Acciarri *et al.*, 2016).

Esaminando documenti storici e ritrovamenti archeologici si può ipotizzare che in epoca romana la linea di riva fosse molto più arretrata rispetto ad oggi (di circa 650 m alla foce del F. Chienti, 300 m alla foce del F. Potenza e 1200 m alla foce del Tronto; Figura 1), lambendo la base delle falesie costiere, specie nel tratto fra Pedaso e Grottammare, e insinuandosi all'interno degli sbocchi dei fossi e fiumi minori. Allo sbocco dei principali fiumi dovevano esistere vaste zone umide, dovute alla presenza di barre di foce (grossomodo allineate al resto della costa) che ostruivano il deflusso a mare delle acque, nella cui vicinanza sono sorti insediamenti abitativi e approdi, come *Potentia*, *Cluana* e *Castrum Truentum*, rispettivamente alle foci dei fiumi Potenza, Chienti e Tronto (Galiè, 1982).



Figura 1. Ricostruzione della linea di riva in epoca romana (linea bianca) alle foci dei F. Potenza, Chienti e Tronto.

Dall'epoca romana sino all'età medievale diversi fattori climatici e socio-economici hanno incrementato gli apporti solidi a mare da parte dei fiumi, favorendo lo sviluppo e l'avanzamento della linea di riva; fra il 400 e il 750 d.C. vi sono diverse testimonianze di catastrofi idrogeologiche che hanno coinvolto villaggi prossimi ai corsi d'acqua (Ortolani, 1947; Bisci *et al.*, 1995; Aringoli *et al.*, 2003). Tra l'800 e il 1200 d.C., il periodo caldo chiamato "*Optimum Climatico Medievale*" ha favorito l'antropizzazione delle colline e la ripresa delle attività umane come disboscamento e coltivazione dei campi, abbandonate con la caduta dell'impero romano. In seguito, durante la Piccola Era Glaciale (1550-1850 circa), proseguirono i disboscamenti data la necessità di legna per il riscaldamento e i profondi cambiamenti economici, sociali ed ambientali; in questo periodo, tra l'altro, ha avuto luogo il cosiddetto "appoderamento", ovvero la divisione dei terreni in appezzamenti autonomamente coltivati da singole famiglie. In particolare, si diffuse la tecnica detta "alberata", con la quale i confini degli appezzamenti venivano delimitati da allineamenti di piante ad alto fusto, anche nel tentativo di limitare l'erosione del suolo e il trasporto solido dei fiumi (Aringoli *et al.*, 2003; Acciarri *et al.*, 2016). Durante questo periodo, tuttavia, la linea di costa subì significativi avanzamenti (Fig. 2), forse a causa delle pratiche agricole più estese, soprattutto in corrispondenza delle foci dei maggiori corsi d'acqua; inoltre, grazie anche a opere di bonifica, le paludi retrostanti alle barre furono colmate dai sedimenti provenienti dai fiumi. Questa tendenza proseguì per tutto il XIX secolo e portò i maggiori fiumi a costruire delta protesi in mare anche centinaia di metri finché, sul finire del secolo (Acciarri, 2010; Acciarri *et al.*, 2016), si raggiunse lungo larga parte del litorale la massima estensione mai raggiunta con l'attuale livello del mare; le mappe del Catasto Gregoriano (comilate nel 1835 e nel 1874) mostrano infatti come l'intera costa in oggetto sia fortemente avanzata durante la prima metà del 1800 (Fig. 2).

Sul finire del XIX secolo, si manifestarono i primi segnali di arretramento costiero. La linea ferroviaria (inaugurata nel 1863 e costruita spesso in prossimità della linea di riva a causa delle colline prospicienti il litorale) oltre ad occupare parte della spiaggia ha difatti comportato l'eliminazione quasi totale delle dune

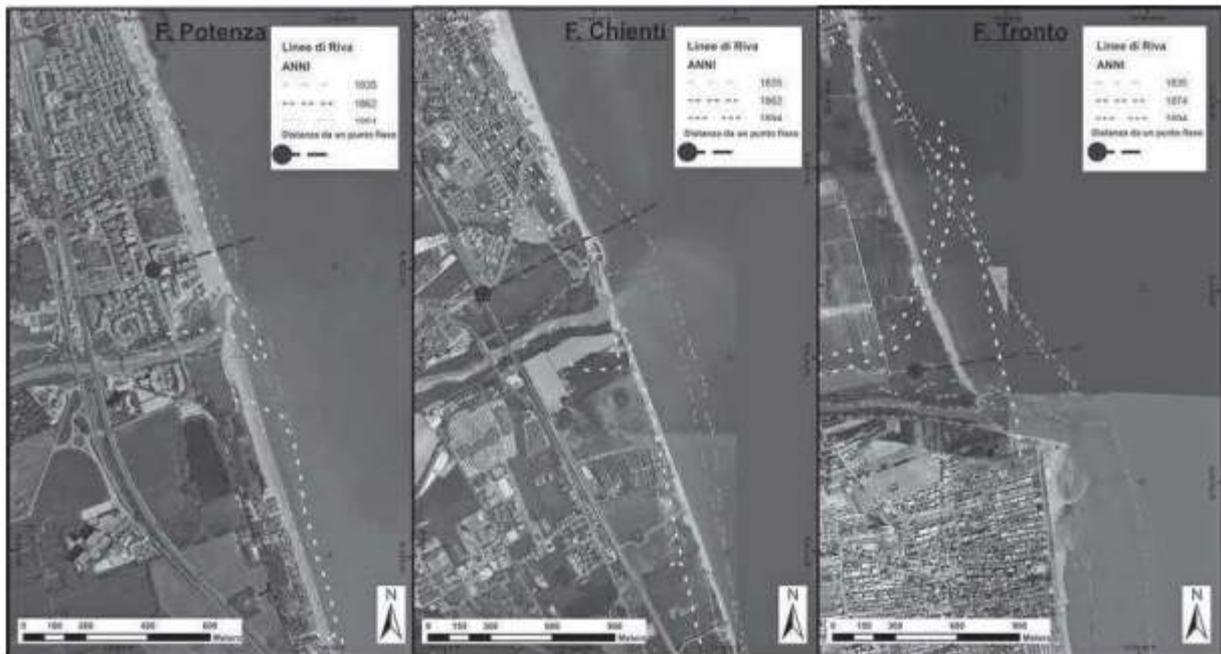


Figura 2. Evoluzione della linea di riva alle foci dei F. Potenza, Chienti e Tronto nel XIX secolo.

litoranee, serbatoi naturali di sedimenti per la dinamica costiera, di cui oggi si rinvencono solo ridottissimi lembi solo in corrispondenza delle foci dei fiumi Musone, Potenza e Tronto (Bisci *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016). Il rilevato ferroviario, impedendo la dissipazione dell'onda, ha inoltre favorito l'erosione della spiaggia, rendendo necessaria la realizzazione delle prime opere rigide di difesa costiera (muri e scogliere

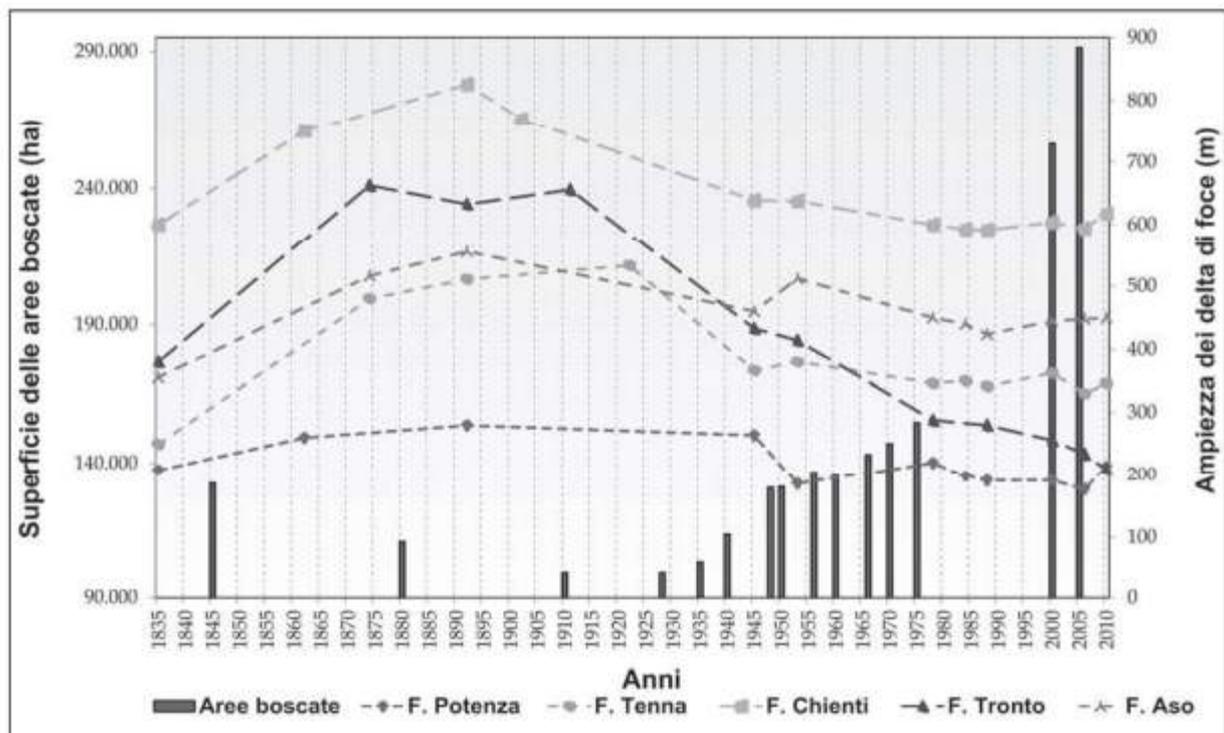


Figura 3. Evoluzione delle foci fluviali in relazione alle aree boscate della Regione Marche dal 1835 ad oggi (Arzeni et al, 2012).

aderenti), che a loro volta causarono un approfondimento dei fondali antistanti e la scomparsa, in molti tratti, della spiaggia emersa.

L'arretramento della costa si fece più intenso nei primi decenni del XX secolo (Acciarri, 2010; Acciarri *et al.*, 2016), quando una serie di attività antropiche ha fortemente ridotto gli apporti di sedimenti causando una generale inversione della tendenza alla progradazione della costa marchigiana e innescando, sia pure con fasi alterne di avanzata e ritiro, un diffuso processo di arretramento costiero. In alcune località, tuttavia, la linea di riva continuò ad avanzare sino al 1910 e, in pochi casi, sino al 1920. Negli anni '30 e nel secondo dopoguerra vi fu un rapido calo degli apporti solidi a mare da parte dei maggiori fiumi marchigiani. Le nuove pratiche agricole portarono difatti a un'intensa lavorazione dei campi e, soprattutto, allo sviluppo di nuove tecniche di regimazione delle acque superficiali, che indussero una diminuzione dell'erosione del suolo, specie per i materiali più grossolani. In questo periodo si osserva anche una stretta relazione fra l'espansione dei boschi (Arzeni *et al.*, 2012) e l'evoluzione delle foci fluviali. In particolare, dal 1845 al 1910 la superficie dei boschi marchigiani è passata da oltre 132.000 a meno di 100.000 ettari, mentre l'ampiezza delle foci fluviali ha raggiunto la massima estensione sul finire del XIX secolo (Acciarri *et al.*, 2016).

Nel XX secolo, viceversa, a una costante espansione delle aree boscate, favorita anche dalle numerose pratiche di rimboscamento dei versanti (ad es., R.D. n.3267 del 1923), è corrisposto un consistente arretramento delle foci fluviali (Fig. 4). Le opere di captazione idrica e gli invasi artificiali, realizzati dagli anni '30 agli anni '80, causarono poi una diminuzione della portata idrica dei fiumi con calo del trasporto solido (Acciarri *et al.*, 2016). Modelli e studi di dinamica fluviale hanno evidenziato che circa il 90% dei sedimenti generati nei bacini fluviali sono bloccati da dighe e briglie (realizzate per stabilizzare gli alvei e proteggere manufatti ad essi prossimi, come i ponti).

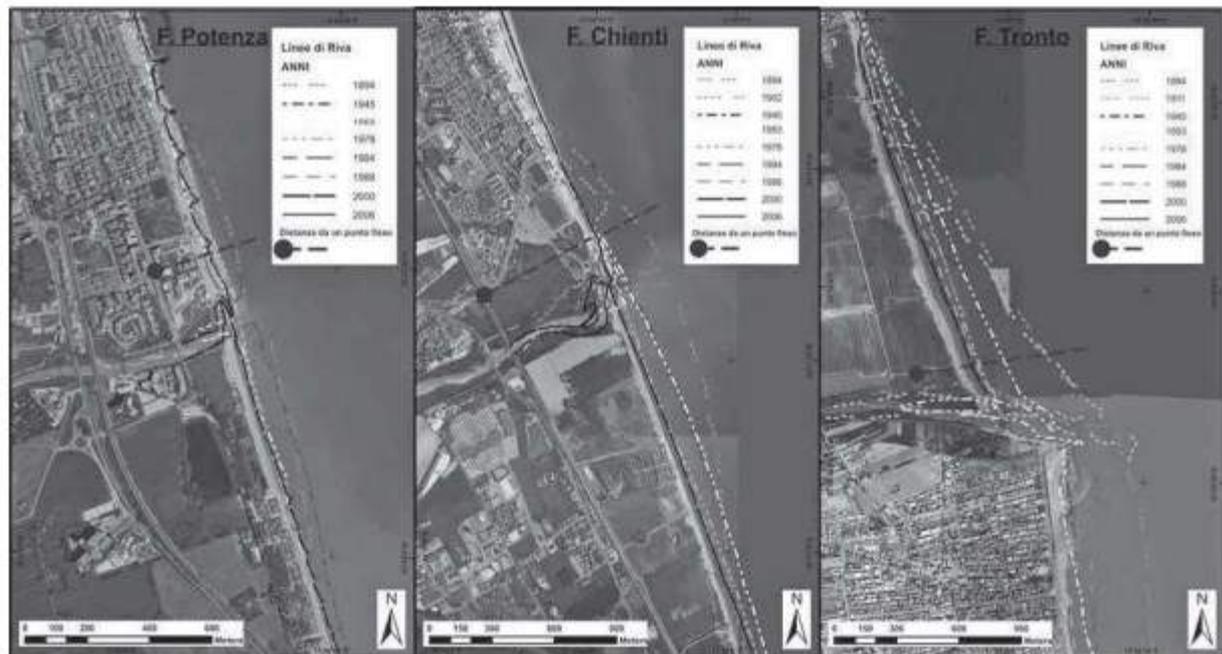


Figura 4. Evoluzione della linea di riva alle foci dei Fiumi Potenza, Chienti e Tronto nel XX secolo.

L'arretramento della linea di riva ha raggiunto tassi particolarmente elevati tra gli anni '60 e '70 del XX secolo, soprattutto a causa dell'intensa estrazione di ghiaie dagli alvei fluviali avvenuta nel periodo 1966-1975: da uno studio condotto dall'Aquater (1982) emerge che in dieci anni dagli alvei dei fiumi marchigiani sono stati prelevati circa 13 milioni di m<sup>3</sup> di inerti. Tale massiccia asportazione di sedimenti ha indotto un rapido approfondimento degli alvei che, oltre a causare danni a ponti e essiccare pozzi lungo le piane alluvionali, ha comportato una fortissima riduzione degli apporti solidi, anche perché tale approfondimento è spesso arrivato, nelle porzioni finali, a incidere il substrato, generalmente pelitico.

### Opere di difesa

L'arretramento dei litorali iniziato negli anni '30, insieme con lo sviluppo urbanistico dei centri costieri (anni '50 e '60) e alla crescente richiesta del turismo balneare (anni '30 e anni '60/'70), ha spinto sempre più le varie amministrazioni a intervenire mediante la realizzazione di opere rigide di difesa costiera. Visto l'insufficiente apporto solido da parte dei fiumi, l'evoluzione del litorale marchigiano negli ultimi cinquant'anni è stata quindi governata principalmente dalla costruzione di opere rigide di difesa costiera, che interessano ormai circa il 76% dell'intera costa Picena (circa 120 km su 180).

Inizialmente, oltre alle già citate opere aderenti poste a difesa della linea ferroviaria (1862-63), si trattava principalmente di moli, realizzati non per salvaguardare il litorale ma per garantire le attività marittime e l'approdo delle imbarcazioni da pesca.

I primi approdi portuali locali sono difatti nati come semplici moli aggettanti in mare per alcune decine di metri (a Numana nel 1890 e a San Benedetto del Tronto nel 1907); furono però immediati gli insabbiamenti nel lato sovrappiù (lato sud, dato che nella zona la deriva lungo costa dei sedimenti procede generalmente verso nord). Da qui si compresero le funzioni di difesa della spiaggia che tali opere potevano garantire, spingendo le amministrazioni locali a impiegarle a tal fine. Intorno al 1930, infatti, iniziò la realizzazione della prima serie di pennelli emersi posti a protezione del litorale di Porto Recanati, mentre le prime barriere foranee distaccate emerse sono comparse intorno agli anni '60 e solo negli anni '80 si ebbe la prima realizzazione di scogliere sommerse.

Osservando la comparsa delle varie opere di difesa costiera lungo il litorale marchigiano si può capire come vi sia stata una stretta relazione con l'evoluzione della linea di riva; in particolare, è da sottolineare come tali interventi abbiano subito una continua migrazione verso nord, a inseguire i processi erosivi che essi stessi innescavano nel lato sottopiù. Il protrarsi nel tempo delle attività suddette ha portato all'attuale situazione del litorale marchigiano che, nel suo complesso, può essere definito semi-artificiale, dato che la maggioranza del suo sviluppo è interessato da interventi di protezione o strutture portuali. Attualmente, infatti, si può osservare la presenza di numerose opere di difesa, tra cui pennelli sia emersi che sommersi (concentrati, soprattutto nella zona più a nord, ma anche isolati, in corrispondenza delle foci dei fiumi, come allo sbocco dei fiumi Potenza, Tenna, Ete Vivo, Aso, Tesino e Tronto); la restante parte del litorale (circa il 60%) è difeso da barriere longitudinali, la maggior parte delle quali emerse, dove sono presenti spiagge di un certo valore. Abbiamo poi opere aderenti a difesa delle infrastrutture, come strade e ferrovie, nei tratti in cui non sono presenti spiagge. Questa situazione è il chiaro sintomo dell'inadeguatezza della gestione della fascia costiera, effettuata finora senza una precisa pianificazione mirata alla sostenibilità degli interventi di protezione e con una visione spesso limitata al confine comunale o addirittura ai singoli manufatti da proteggere.

Recentemente, si è poi iniziato a intervenire sugli arenili riportandovi artificialmente materiale detritico in sostituzione di quello che la dinamica fluviale non è più in grado di apportare (Dramis *et al.*, 2011; Acciarri *et al.*, 2016). Questa tecnica di ripascimento artificiale però, dato che le spiagge hanno continuamente bisogno di materiale per rimpiazzare quello preso in carico dal moto ondoso, non rappresenta un intervento definitivo, ma necessita di sistematiche ripetizioni nel breve periodo (un ripascimento eseguito a regola d'arte, non è previsto che possa durare più di una decina di anni). Tuttavia tale tipologia di intervento, dati gli scarsi se non nulli input di sedimenti provenienti dai corsi d'acqua, è sempre da tenere in considerazione, anche qualora si volessero realizzare opere rigide di difesa costiera (scogliere, pennelli ecc.), a patto di scegliere accuratamente le proprietà tessiturali dei sedimenti sversati (granulometria, quantità, colore ecc.).

### Conclusioni

Gli scenari di innalzamento del livello del mare per il prossimo secolo - che nel peggiore dei casi ipotizzano un aumento di 180 cm (Vermeer & Rahmstorf, 2009) mentre previsioni più realistiche ne fissano l'entità tra 30 e 60 cm (IPCC, 2014) - prevedono una migrazione verso terra dell'intero "sistema spiaggia", con conseguenze immaginabili. Non si può più, quindi, considerare l'ambiente costiero come un'entità statica e immutabile su cui progettare e pianificare come se si fosse in "terra ferma", ma bisogna riconoscere che qualsiasi intervento può scatenare, come già accaduto in passato, effetti anche molto negativi e inaspettati. Pertanto, sin da ora si deve iniziare a considerare la spiaggia come un bene mobile, in costante evoluzione e in precario equilibrio, che si adatta rapidamente alle variazioni climatiche, alle locali condizioni fisiche dell'ambiente (sia marino che atmosferico) e, soprattutto, alle attività antropiche dirette e indirette che la

influenzano. È pertanto indispensabile una caratterizzazione morfologica, sedimentologica ed idrodinamica delle spiagge per valutare la tendenza evolutiva di ciascuna unità fisiografica al fine di pianificare interventi sostenibili e con positivi risvolti futuri.

### Ringraziamenti

Lavoro effettuato nell'ambito del Progetto bandiera Ritmare, SP3 WP1 AZ1 UO8, Responsabile scientifico Prof. Carlo Bisci.

### Bibliografia

- Acciarri A. (2010) - *Le spiagge delle Marche meridionali: analisi evolutiva del litorale fra Numana e San Benedetto del Tronto*. Università di Camerino, Tesi inedita di laurea specialistica in Scienze Geologiche. 191 pp.
- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G. (2016) - *Anthropogenic influence on recent evolution of shorelines between the Conero Mt. and the Tronto R. mouth (southern Marche, Central Italy)*. Catena, 147: 545-555.
- Aquater (1982) - *Regione Marche: studio generale per la difesa della costa. Prima fase. Vol. 2. Rapporti di Settore.*, 706 pp.
- Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Di Celma C., Farabollini P., Fazzini M., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G. (2003) - *Recent variations of Italian central Adriatic coastline*. In: Castaldini D., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G. (Eds.). *Geomorphological sensitivity and system response*. CERG, Strasbourg, 21-34.
- Arzeni A., Bolognini T., Cortonesi A., Montresor A., Moscatelli U., Giorda M.C., Piermattei A., Romano R., Marongiu S. (2012) - *Fonte Avellana: dall'agricoltura medioevale alla moderna multifunzionalità rurale*. Osservatorio Foreste INEA. 255 pp.
- Bisci C., Dramis F., Romano M.A. (1995) - *Frane storiche nell'Appennino marchigiano: informazioni rilevabili a partire dall'analisi di una bibliografia sismologica aggiornata*. Studi montefeltrani 18: 117-132.
- Bisci C., Bovina G., Cantalamessa G., Cappucci S., Conti M., Sinatra A., Valentini E. (2010) - *Caratteristiche sedimentologiche e morfologiche, tendenza evolutiva della costa della Riserva Naturale della Sentina (Marche) e ruolo dell'habitat dunale per la riqualificazione ambientale*. Studi Costieri, 17: 149-164.
- Coltorti M. (1997) - *Human impact in the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche region, Central Italy*. Catena, 30: 311-335.
- Coltorti M., Farabollini P. (2008) - *Late Pleistocene and Holocene fluvial-coastal evolution of an uplifting area: The Tronto River (Central Eastern Italy)*. Quaternary International, 189, 39-55.
- Dramis F., Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Coltorti M., Farabollini P., Gentili B., Materazzi M., Nesci O., Pambianchi G., Pieruccini P., Savelli D., Troiani F. (2011) - *La costa delle Marche*. In: Ginesu S. (Ed.) *La costa d'Italia*. Carlo Delfino editore. 379-392.
- Galiè V. (1982) - *Insedimenti e strade romano-medievali tra il Potenza e il Chienti e lungo il litorale*. Atti XVI Convegno di Studi Maceratesi "La fascia costiera della Marca". 41-120.
- IPCC (2014) - *Climate Change 2014. Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 131 pp.
- Ortolani M. (1947) - *Le spiagge del litorale piceno da Ancona al F. Tronto*. In: Buli U., Ortolani M. (Eds.) - *Le spiagge marchigiane*. Coop. Tipografica Azzoguidi, Bologna, 93-147.
- Vermeer M., Rahmstorf S. (2009) - *Global sea level linked to global temperature*. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 106(51), 21527-21532.

**Ricevuto il 25/05/2016; accettato il 31/08/2016**

## Tendenza evolutiva della spiaggia della Riserva Naturale della Sentina (San Benedetto del Tronto, AP)

Alessio Acciarri<sup>1</sup>, Carlo Bisci<sup>1</sup>, Gino Cantalamessa<sup>1</sup>, Giorgio Di Pancrazio<sup>1</sup>, Federico Spagnoli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università di Camerino, Scuola di Scienze e Tecnologie, Sezione di Geologia, via Gentile III Da Varano, 62032 Camerino. e-mail: carlo.bisci@unicam.it

<sup>2</sup>ISMAR-Istituto di Scienze Marine, CNR, largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona

### Riassunto

La Riserva Naturale Regionale della Sentina, che si estende per una lunghezza di circa 1.7 km nella porzione meridionale del litorale di San Benedetto del Tronto (AP) al confine con l'Abruzzo, ospita uno dei pochi ambienti dunali ancora conservati nelle Marche. La spiaggia ghiaioso-sabbiosa risulta priva di opere di difesa costiera, ma è delimitata a nord da una lunga serie di scogliere distaccate emerse e a sud da un pennello aggettante in mare oltre 300 m, opere che contribuiscono sensibilmente al suo arretramento.

Nell'area è stato condotto un lungo monitoraggio (dal 2000) al fine di interpretare e quantificare le modificazioni della spiaggia emersa e sommersa. Nell'intero periodo la spiaggia della Sentina è costantemente arretrata: tra il 2000 ed il 2006 è stato calcolato un arretramento medio di 27.7 m, con picchi di 33.5 m, mentre nei successivi 6 anni, pur essendo stato realizzato nel 2008 un intervento di ripascimento, la linea di riva è continuata ad arretrare con una media di 22.2 m. Pertanto, in dodici anni si è avuta un'erosione di circa 50 m, a cui è corrisposta la scomparsa di circa 42000 m<sup>2</sup> di ambiente dunale.

È ipotizzabile, quindi, che, in assenza di interventi sostanziali, in relazione allo scarso se non nullo apporto solido da parte del F. Tronto, il prossimo futuro della Riserva della Sentina sia caratterizzato da erosione marina, con progressivo arretramento della spiaggia e perdita della duna costiera.

**Parole chiave:** erosione costiera, monitoraggio, Riserva della Sentina, dune costiere

### Abstract

*The Regional Natural Reserve "Sentina" stretches for circa 1.7 km along the southernmost end of the coastal area of San Benedetto del Tronto (AP), in the border with Abruzzo; it hosts one of the very few preserved coastal dunes in the Marche Region.*

*The gravelly sandy beach is still natural and free of coastal defense structures, but is limited in the north by a long series of emerged barriers and in the south by a long pier (of more than 300 m length); these structures remarkably influence the retreat of the shoreline at this beach.*

*The area was monitored for a long period (starting from year 2000) in order to analyse and quantify the modification occurred in the dry beach and the nearshore. During this time span, shoreline retreat occurred in all years. Retreat reached 27.7 m until 2006, with a local maximum of 33.5 m. In spite of artificial nourishment in 2008, in the following 6 years retreat continued at 22.2 m in average. Therefore, in 12 years wave erosion resulted in circa 50 m retreat in shoreline position; this also implied the loss of near 42.000 m<sup>2</sup> of coastal dunes. In face of the almost null sediment feeding from Tronto River, if no relevant intervention is carried out, the Sentina area will suffer progressive coastal erosion in the near future, with severe retreat of the shoreline and destruction of the coastal dunes.*

**Key words:** coastal erosion, monitoring, "Sentina" Reserve, coastal dunes

## Introduzione

La Riserva Naturale Regionale della Sentina ospita uno dei pochi ambienti dunali naturali (almeno, il poco che ne resta) ancora conservati nella Regione Marche; essa si estende per una lunghezza di circa 1.7 km nella porzione meridionale del litorale di San Benedetto del Tronto (AP), fino alla foce di F. Tronto che segna il confine con l'Abruzzo, e per circa un kilometro nell'entroterra. L'importanza della Riserva si estende anche all'avifauna migratoria, che trova nella Riserva l'unica possibilità di sosta costiera tra le aree umide del delta del Po e del Gargano. Qui sono state censite oltre 180 specie di uccelli, molti dei quali di interesse comunitario, oltre che diverse specie di anfibi, rettili, mammiferi e pesci.

Questo tratto di costa ghiaiosa e subordinatamente sabbiosa risulta privo di opere di difesa costiera ma è delimitato a nord da una lunga serie di scogliere distaccate emerse, poste a protezione dell'abitato di Porto d'Ascoli, e a sud da un pennello in sponda destra del Fiume Tronto, aggettante in mare oltre 300 m. Tali opere influenzano fortemente l'evoluzione della spiaggia della Sentina, contribuendo sensibilmente al suo arretramento (Bisci *et al.*, 2010). Si è poi evidenziato che il Fiume Tronto, unica possibile fonte di sedimenti per una spiaggia così "bloccata" da opere di difesa costiera, oltre ad essere interessato da briglie e dighe che bloccano la naturale discesa di sedimenti grossolani, nel suo tratto terminale scorre soprattutto su materiali pelitici; di conseguenza, il suo trasporto solido risulta troppo fine per poter ripascere naturalmente il litorale.

## Monitoraggio

Nel periodo 2000–2012 è stato effettuato un sistematico monitoraggio topografico basato su una fitta serie di 61 transetti trasversali alla linea di riva estendentisi in mare fino a una profondità di oltre un metro e su un grigliato di rilievi tramite ecoscandaglio fino alla batimetrica -10, entrambi affiancati da fitti campionamenti a cui hanno fatto seguito analisi sedimentologiche.

Nel 2009 e nel 2012 sono inoltre stati effettuati due rilevamenti topografici di dettaglio con stazioni totali e nel 2015 un rilievo tramite drone alare eBee. Le variazioni progressivamente rilevate, immesse in ambiente GIS, sono state analizzate utilizzando il software SDAS (Thieler *et al.*, 2009). Da questi studi è emerso che la spiaggia della Sentina è costantemente arretrata per tutto il periodo di indagine. In particolare, tra il 2000 ed il 2006 è stato calcolato un arretramento medio di 27.7 m, con picchi di 33.5 m registrati nella porzione centrale della spiaggia (Fig. 2, transetti 38-42), mentre nelle porzioni estreme, a nord e a sud, il tasso di arretramento si è mantenuto al di sotto dei 10 m. Nello specifico, i primi 150 m di spiaggia a nord risentono



Figura 1. Vista aerea della Riserva Naturale Regionale della Sentina.

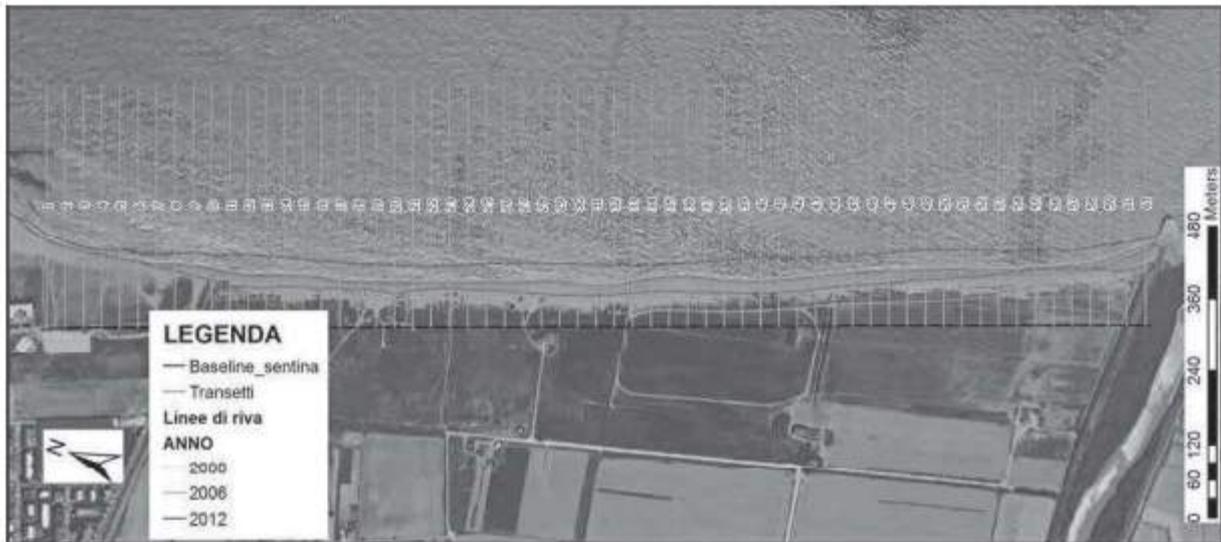


Figura 2. Evoluzione recente del litorale della Sentina e ubicazione dei transetti di misura.

dell'effetto di tombolizzazione indotto dalle limitrofe scogliere distaccate emerse.

Nei successivi 6 anni (2006-2012), pur essendo stato realizzato nell'ottobre del 2008 un intervento di ripascimento con 10000 m<sup>3</sup> di sabbia, la linea di riva è continuata ad arretrare con una media di 22.2 m. Pertanto, in dodici anni (2000-2012), la fascia costiera della Riserva Naturale Regionale della Sentina ha subito un'erosione di circa 50 m; inoltre, negli ultimi 17 anni, a un costante arretramento della linea di riva è corrisposta la scomparsa di circa 42000 m<sup>2</sup> di ambiente dunale. Nonostante l'intensa azione erosiva del mare, da rilievi batimetrici è stata evidenziata la presenza di una serie di barre sommerse parallele a costa (Fig. 3).

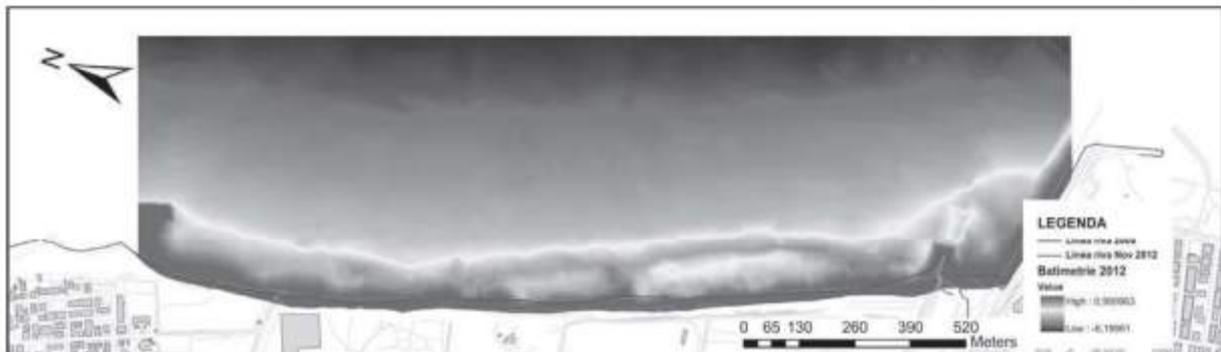


Figura 3. Mappa topografico-batimetrica relativa all'anno 2012.

### Evoluzione storica

Al monitoraggio è stato affiancato uno studio dell'evoluzione storica del litorale, basato sull'analisi di carte topografiche rilevate negli ultimi due secoli.

Nelle Figure 4 e 5 sono riportate le variazioni della foce del Fiume Tronto avvenute nel XIX e nel XX secolo. Da queste si evince come l'ottocento sia stato caratterizzato da un costante avanzamento della linea di riva, mentre nel secolo appena trascorso si è registrata un'inversione della tendenza.

Nel primo caso, l'avanzamento è legato al forte apporto di sedimenti del Fiume Tronto, in parte legato ai fenomeni climatici della piccola Era Glaciale ma soprattutto all'azione antropica (disboscamenti, sviluppo dell'agricoltura ecc.). Nel secolo successivo, invece, grazie ai rimboscamenti di inizio secolo la progradazione continua per poi invertire rapidamente la tendenza, soprattutto a causa delle attività antropiche degli anni '50-'80, quali sbarramenti, escavazioni in alveo, irrigidimento dell'asta fluviale e della costa ecc. (Acciarri *et al.*, 2016).



Figura 4. Evoluzione della foce del Fiume Tronto durante il XIX secolo (a sinistra) e il XX secolo (a destra)

## Conclusioni

Dagli studi effettuati è emersa una forte tendenza all'erosione costiera, con conseguente arretramento della linea di riva e progressiva distruzione dei lembi residui della duna costiera, che protegge efficacemente la zona umida retrostante. Questa tendenza deriva fondamentalmente dalla concomitanza di due fattori principali: il quasi nullo apporto solido efficace del F. Tronto (Acciarri *et al.*, 2016), che ormai è costituito quasi esclusivamente da materiale troppo fine per essere spiaggiato, e la presenza ad entrambi i lati di opere di difesa costiera che impediscono il trasporto lungo costa dei detriti. Ne consegue che, qualora non si intervenga rapidamente in modo efficiente, la spiaggia della Sentina continuerà ad essere soggetta a una forte erosione, arretrando ad ogni inverno e perdendo rapidamente la preziosa duna costiera (già fortemente ridotta), permettendo così alle acque marine di andare ad invadere le zone umide di acqua dolce retrostanti durante le tempeste più forti. Si è inoltre evidenziato che il modesto ripascimento effettuato nel 2008 utilizzando sabbia dragata dal vicino porto di S. Benedetto del Tronto non ha sortito effetti di rilievo, data anche la scarsa mole dell'intervento e la granulometria fine (sabbie) degli inerti sversati; anche sulla scorta di quest'ultima osservazione, a meno di non ripristinare il normale transito dei sedimenti (ad esempio intervenendo sulla foce armata del Tronto) sarà necessario intervenire con ripascimenti ben più sostanziosi di detriti compatibili con l'energia del moto ondoso, possibilmente proteggendo il ripascimento con barriere soffolte adeguatamente dimensionate.

## Ringraziamenti

Lavoro effettuato nell'ambito del Progetto bandiera Ritmare, SP3 WP1 AZ1 UO8, Responsabile scientifico Prof. Carlo Bisci.

## Bibliografia

- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G. (2016) - *Gli effetti antropici nell'evoluzione storica della costa "Picena"*. Studi Costieri, in questo volume, pp. 3-9.
- Bisci C., Bovina G., Cantalamessa G., Cappucci S., Conti M., Sinatra A., Valentini E. (2010) - *Caratteristiche sedimentologiche e morfologiche, tendenza evolutiva della costa della Riserva Naturale della Sentina (Marche) e ruolo dell'habitat dunale per la riqualificazione ambientale*. Studi Costieri, 17: 149-164.
- Thieler E.R., Himmelsstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. (2009) - *Digital Shoreline Analysis System (SDAS) version 4.0. An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

Ricevuto il 15/06/2016; accettato il 31/08/2016

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

Davide Baioni<sup>1</sup>, Giuseppe Baldelli<sup>1</sup>, Cesare Bisiccia<sup>1</sup>, Olivia Nesci<sup>1</sup>, Giulio Pappafico<sup>1</sup>,  
Francesco Stecchi<sup>2</sup>, Barbara Tempesta<sup>1</sup> e Mario Tramontana<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>PhD Sci. Ambientali, Via Castel San Pietro 54, 48121 Ravenna

<sup>3</sup>CoNISMa, 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 m<sup>2</sup> 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  $2^\circ$ ). 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  $\sigma_{\phi}$ , 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.

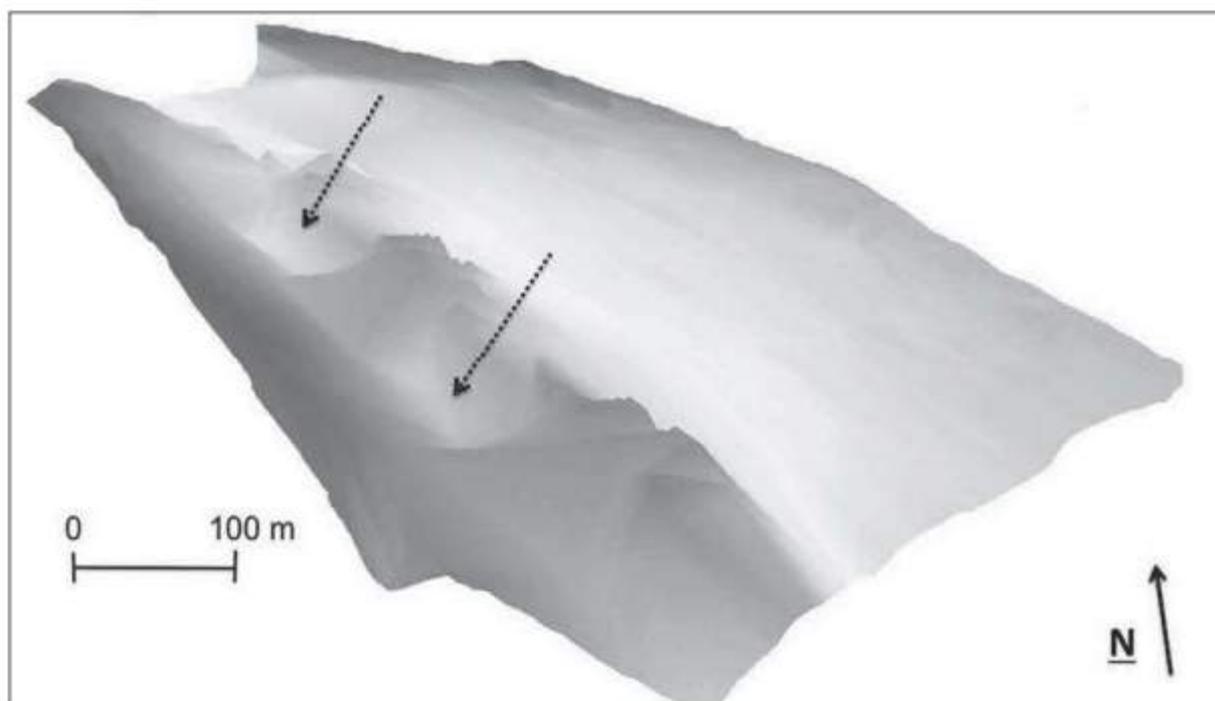


Figura 2. Digital Elevation Model della fascia sommersa in esame. Le frecce nere indicano le depressioni descritte nel testo ubicate all'interno delle scogliere.

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  $1^\circ$  e  $4^\circ$ ) 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.

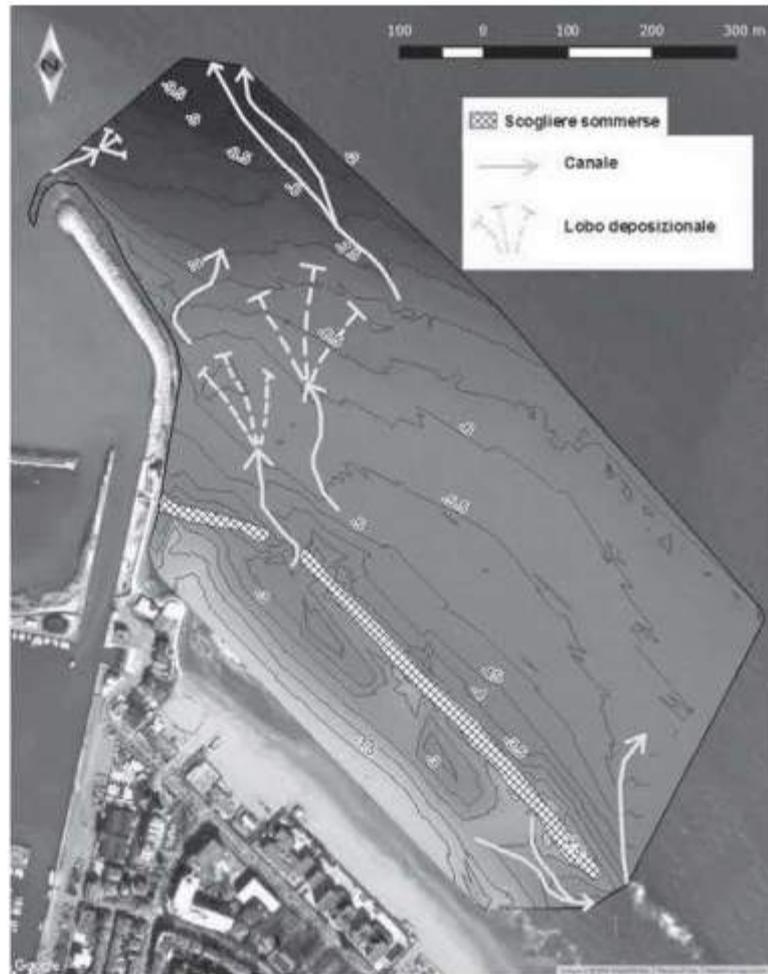


Figura 3. Carta batimetrica dell'area di studio (isobate 0,5 m) con indicati i principali canali e lobi deposizionali.

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

## 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, norther 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.

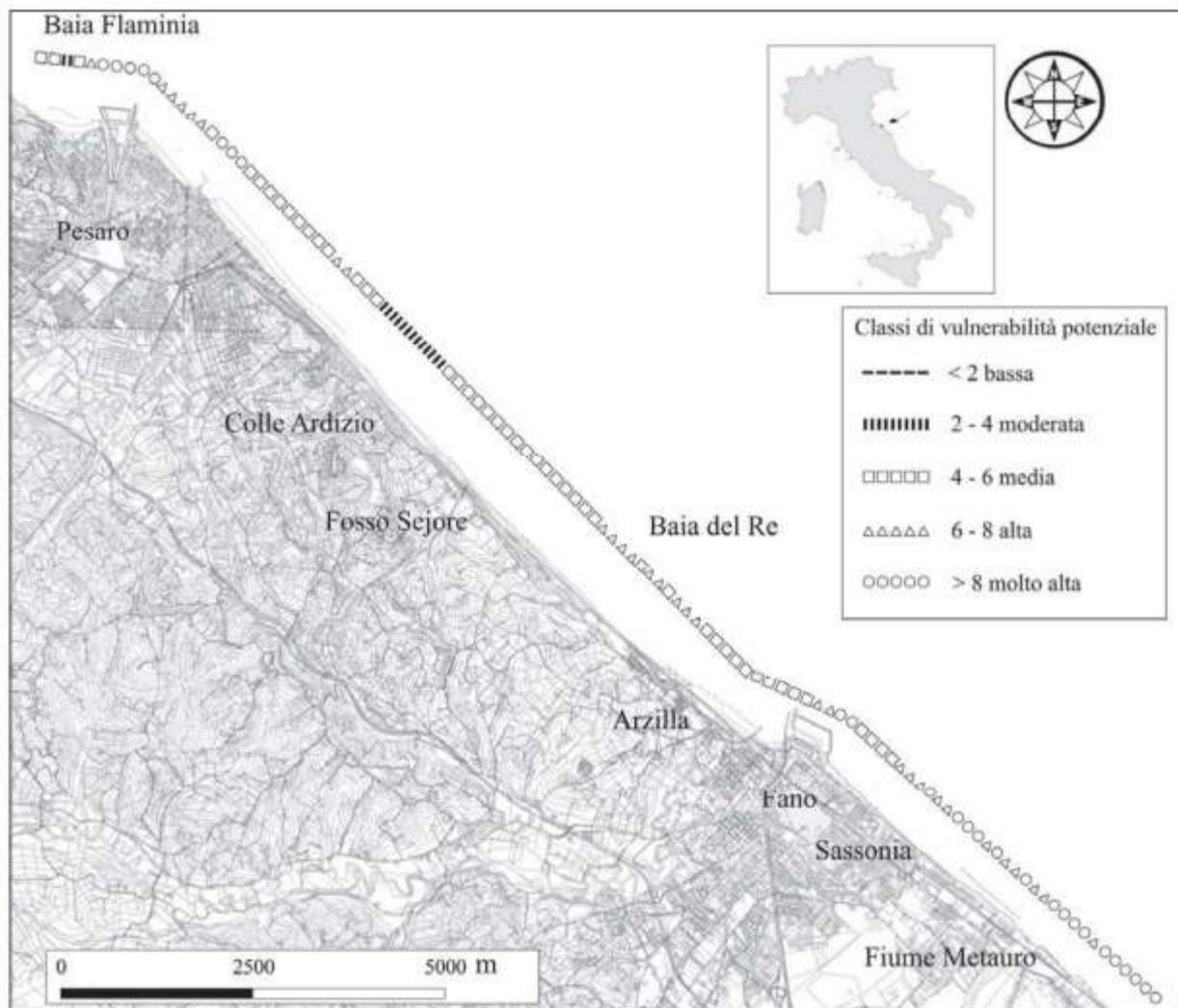


Figura 1. Carta della Vulnerabilità potenziale del litorale studiato. Nel riquadro è indicata l'ubicazione dell'area.

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.

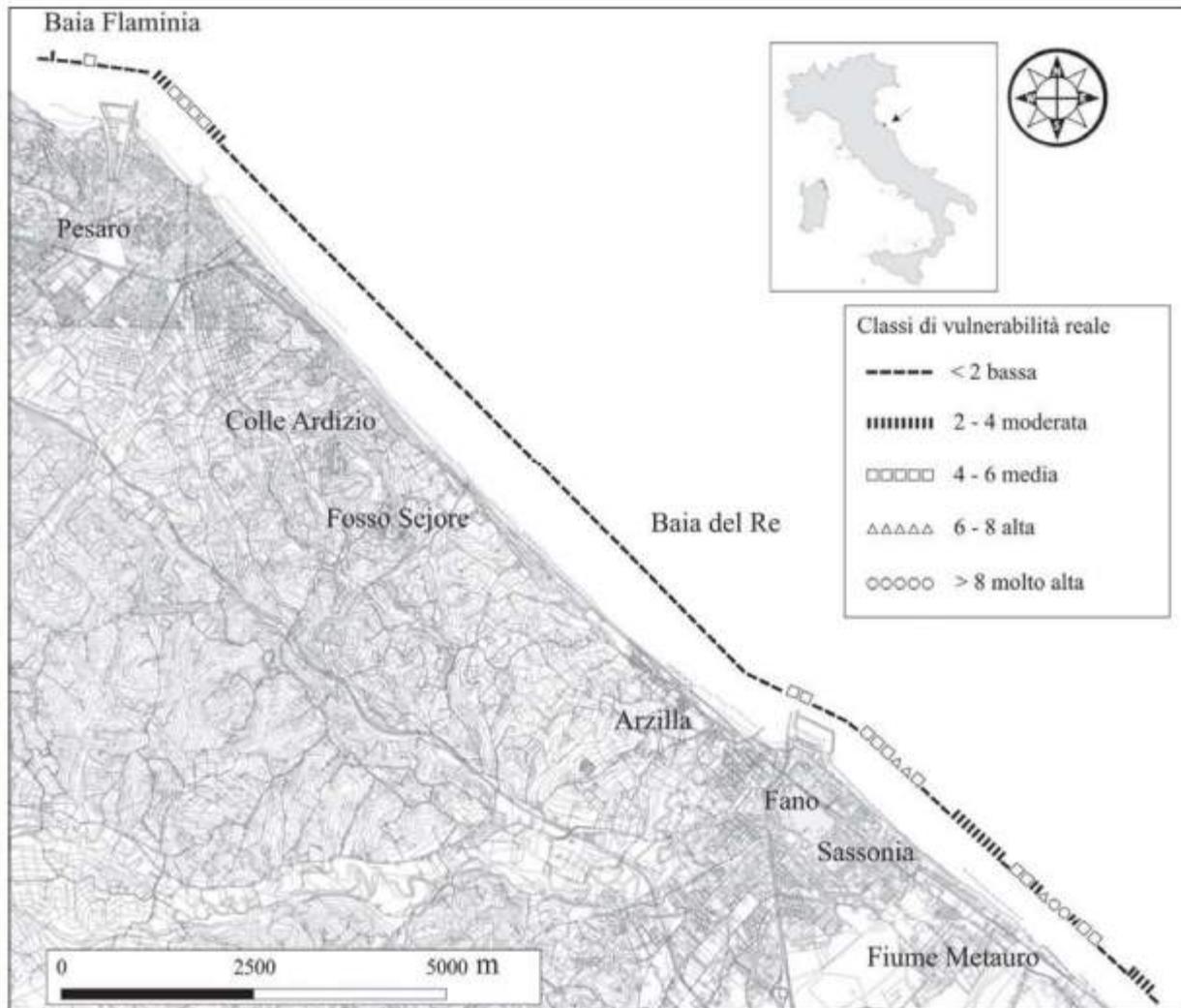


Figura 2. Carta della Vulnerabilità reale del litorale studiato.

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

## Tutela e Pianificazione delle aree costiere: alcuni casi del Medio Adriatico

Rosalba D'Onofrio<sup>1</sup>, Chiara Camaioni<sup>2</sup>, Massimo Sargolini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scuola di Architettura e Design, Università di Camerino, <sup>2</sup>Università la Sapienza-Roma

### Riassunto

Il cambiamento climatico, senza dubbio, influenzerà la nostra vita nei prossimi decenni, incrementando l'entità dell'erosione costiera, delle inondazioni e dei fenomeni franosi. Gli eventi più disastrosi saranno associati ad una maggiore frequenza o intensità degli eventi estremi. Fino ad oggi si è corso ai ripari con opere rigide di difesa, che nel caso delle coste del medio adriatico hanno, spesso, provocato l'accelerazione dei processi erosivi in aree contigue. Di fronte a questi fenomeni si richiede un approccio metodologico diverso, capace di innescare una maggiore sinergia tra progetto dei luoghi e soluzioni tecnologiche avanzate. Ciò richiede una nuova responsabilità degli strumenti di pianificazione, chiamati ad accogliere misure di prevenzione/protezione del rischio all'interno del processo ordinario di regolamentazione delle trasformazioni del territorio e rappresenta una grande opportunità per il progetto di paesaggio come progetto di difesa, protezione e valorizzazione del territorio costiero. Le esperienze del Piano di Gestione della Riserva della Sentina e del Piano di Assetto Naturalistico della Riserva del Borsacchio nel medio adriatico, rappresentano delle sperimentazioni utili in tale direzione.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, paesaggi costieri, gestione del rischio, piano e progetto di paesaggio

### Abstract

*Climate change will undoubtedly influence our lives in the coming decades, increasing the amount of coastal erosion, floods, and landslides. The most disastrous events will be associated to greater frequency or intensity of extreme events. Up to now, hard structures were have been used for defense, but in the case of mid-Adriatic coasts they have often led to accelerated erosion in nearby areas. In face of these phenomena, a different methodological approach is needed, one that is capable of generating greater synergy between projects and advanced technological solutions. This requires new responsibility in planning instruments, to accept risk prevention/protection measures within the ordinary process of regulating territorial transformations. It also represents a great opportunity for the landscape project to defend, protect, and enhance the coastal territory. The Management Plan for the Sentina Reserve and the Nature Structure Plan for the Borsacchio Reserve in the mid-Adriatic area represent useful experiences in this direction.*

*The Sentina Reserve is located in the coastal area immediately north of the mouth of Tronto River, on the border between the Marche and Abruzzo Regions. Extending over a rolling terrain of about 178 hectares, the reserve presents the remains of ecological conditions that have now disappeared along the Marche coast due to anthropization. Starting in 1951, this area was the object of intensive modifications made by the Tronto Reclamation Consortium, which, in order to recover areas to begin cultivation, saw to its almost total burial and drainage. In addition to the difficulty of draining the area, marine invasion, which is produced by the strongest storm surges, has also been added in recent years. Other environmental problems linked to coastal risk are also added to the effects of hydraulic reclamation, intrusive marine mechanisms, and coastal erosion. The Borsacchio territory in the*

*Province of Teramo, further to the south, represents one of the few tracts in Abruzzo along the Adriatic coast that still retains a natural character and environmental and landscape integrity. Originally extending over about 1100 hectares, the reserve includes a hilly area with slopes that can be rather steep interspersed with waterways; it is used almost entirely for agricultural purposes. It also includes a substantially free coastal plain followed by the low, mostly sandy beach. While with different means, the measures implemented within the Management Plan and the Nature Structure Plan to counteract coastal erosion assume the content and form of "Landscape Plans and Projects". In fact, the plans establish the goal of activating resilient processes to contrast phenomena related to the disappearance of entire areas of natural worth in strongly anthropized territorial contexts. The interventions established do not deal with individual works, but rather a complex of works for the overall protection of the coastal ecosystem; they are connected to defining new means of territorial development centred on the theme of sustainable coexistence between humans and nature. All of this lies in a view of protection and renaturalization, but also of promoting and developing compatible anthropic uses and activities. In both cases, the landscape plan and projects constitute: the strategic framework of reference to manage the territorial context and identify the structural aspects to be protected; the regulatory framework, which expresses the discipline of uses, activities, and admissible interventions to recover, enhance, or transform the protected territory; and the justifying framework to orient the choices made at other sites and on behalf of other interested subjects.*

**Key words:** *climate change, coastal landscapes, risk management, landscape plan; landscape project*

## **Introduzione**

Lequilibrio tra terra emersa e mare non è stabile ma piuttosto è l'espressione di una continua evoluzione dinamica di condizioni locali e globali che variano per cause naturali e per cause indotte dall'uomo. L'arretramento della linea di costa del Medio Adriatico è un fenomeno non recente. Inizia negli anni '30 del secolo scorso con la progressiva diminuzione dei materiali provenienti dai fiumi, si è intensificato con lo sviluppo urbanistico dei centri costieri (anni '50 e '60), con la crescente richiesta del turismo balneare (anni '60/'70) (Bianchetti, 2009) e con l'intensa estrazione di ghiaie dagli alvei fluviali. Né il fenomeno si è arrestato in tempi più recenti.

Il Dossier di Lega Ambiente "Il Consumo delle aree costiere italiane 02-La Costa Marchigiana" del 2011 ci segnala come nel periodo 1988-2006 sono stati cancellati 7 km di costa, cioè il 6,5% dell'intera linea di costa regionale (Lega Ambiente, 2011).

L'emergenza dei cambiamenti climatici negli anni recenti, con ripetuti e ravvicinati eventi di mareggiate e di piene fluviali anche di rilevante intensità, costituisce oggi l'elemento principale di possibile crisi per le spiagge di ampiezza ridotta delle regioni adriatiche.

Gli effetti di questa emergenza possono essere paragonati ad un "bollettino di guerra". Nel 2014 la Regione Marche ha predisposto ed approvato la Variante al "Piano di gestione integrata delle aree costiere" per l'individuazione degli interventi prioritari a seguito degli intensi eventi meteo marini degli ultimi anni, ma all'inizio del 2015 ha richiesto lo stato di emergenza per oltre 90 mln di euro, per i danni conseguenti alle mareggiate dei mesi di febbraio-marzo.

L'evoluzione dei litorali negli ultimi cinquant'anni, è stata governata principalmente dalla costruzione di opere rigide di difesa costiera. Tali opere non sono state assistite da un'azione "pianificatoria coordinata", tant'è che le diverse azioni proposte hanno favorito, da un lato, il recupero parziale di tratti di spiaggia a beneficio soprattutto di alcuni; dall'altro hanno provocato l'accelerazione dei processi erosivi in aree contigue, spostando il problema altrove.

Di fronte all'emergenza coste, è tempo di adottare nuove strategie e modalità d'intervento.

L'Europa suggerisce di ricorrere a criteri differenziati sulla base delle peculiarità e delle condizioni di rischio presenti; fondamentale importanza viene attribuita alla ricerca scientifica e tecnologica, che deve mettere a disposizione di tecnici ed amministratori pubblici conoscenze, metodologie, strumenti di misura e modelli di simulazione sempre più sofisticati ed accurati. Alcuni progetti finanziati dalla UE si stanno preoccupando proprio di questo, cioè di individuare nuove metodologie, strumenti e approcci di gestione che siano in grado di ridurre i rischi generati dai processi di erosione dei litorali e dall'inondazione delle aree in prossimità della costa, al fine di aumentare la resilienza della fascia costiera in rapporto a fenomeni meteo-marini frequenti e distruttivi (sistemi di monitoraggio satellitari e in situ; strategie d'adattamento che prevedano interventi per la riduzione del rischio, ecc).

Uno di questi è il progetto RISC-KIT (Resilience-Increasing Strategies for Coasts – tool KIT). Si tratta di un progetto collaborativo del VII Programma Quadro della Commissione Europea che ha l'obiettivo di rafforzare la capacità di previsione delle mareggiate estreme e l'implementazione di sistemi di allerta in tempo reale. Inoltre, questo progetto punta ad un miglioramento delle conoscenze sui rischi costieri a lungo termine ed al corretto e sinergico utilizzo delle misure di prevenzione, mitigazione e preparazione per far fronte alle criticità della costa (Duo e Ciavola, 2015).

D'altra parte, oggi si sente la necessità di promuovere un rinnovamento culturale capace di creare condizioni favorevoli per l'attivazione di nuove modalità di gestione del rischio (in questo caso del rischio erosione), che possono aiutare ad affermare una nuova possibilità di reciprocità tra recupero ambientale paesaggistico e naturalistico e difesa del territorio.

Senza questo cambiamento culturale, che vuol dire superare l'attuale logica di interventi puntuali e non risolutivi, sarà molto difficile conciliare le esigenze di conservazione e difesa con le esigenze di sviluppo dei territori costieri. Un tale cambiamento presuppone di mettere in relazione i diversi strumenti che si occupano a diverso titolo dei sistemi costieri: dai piani urbanistici ai piani di gestione della costa. Sarà dunque necessario promuovere una corretta pianificazione territoriale, che dovrà contribuire a prevenire l'erosione (che è sempre da preferire a interventi «curativi» di difesa e ripristino della costa); prevedere una necessaria diversificazione degli interventi di mitigazione del rischio; proporre una nuova possibilità di reciprocità tra recupero ambientale paesaggistico e naturalistico e difesa del territorio.

Questa volontà di cambiamento è rintracciabile in alcuni piani e progetti che si occupano, sulla costa del medio adriatico, della difesa e/o della riproposizione dell'ecosistema naturale e del paesaggio delle dune costiere. Questa tipologia di intervento si configura spesso come una strategia di "adattamento" in cui, senza proporre la difesa statica di una determinata posizione di linea di riva, si creano le condizioni dinamiche per una sua "semi libera" variazione "controllata" entro un ambito spaziale stabilito. In questo caso non si assiste alla perdita di un territorio, ma alla costruzione della sua resilienza, alla riattivazione di cicli naturali interrotti, alla valorizzazione o alla creazione di nuovi paesaggi. La difesa delle dune e la ricostituzione dell'ecosistema naturale costiero diventano gli obiettivi del Piano di gestione della Riserva della Sentina a San Benedetto del Tronto nelle Marche e della proposta del PAN (Piano di Assetto Naturalistico della Riserva del Borsacchio), qualche decina di chilometri più a sud lungo la costa adriatica teramana.

#### **Piano di gestione della Riserva della Sentina a San Benedetto del Tronto**

La Riserva Naturale Regionale della Sentina, istituita dalla Regione Marche nel 2004, è ubicata nell'area costiera immediatamente a nord della foce del Fiume Tronto, al confine tra Marche e Abruzzo (Sargolini, 2008). Estesa su una superficie sub-pianeggiante di circa 178 ettari, l'area appartiene al sistema costiero marchigiano, caratterizzato da una costa piatta e rettilinea, fortemente contrassegnata da opere di difesa delle rive, soprattutto in prossimità dei porti ed alle foci dei fiumi. Per quanto profondamente alterata dall'azione antropica e parzialmente degradata, l'area della Riserva presenta condizioni ecologiche relittuali, ormai scomparse lungo la fascia costiera marchigiana, oggi quasi interamente antropizzata. Essa costituisce l'unica area umida residuale di una certa rilevanza nell'ampio tratto di costa adriatica, di oltre 400 km, compreso tra le Valli di Comacchio e le lagune di Lesina e Varano. E' occupata per una buona parte da territorio agricolo, caratterizzato dalla presenza delle tipiche case rurali marchigiane; rappresenta, inoltre, una tipica zona di bonifica costiera nella quale gli interventi di sistemazione idraulica hanno mutato progressivamente l'assetto idrogeologico e lo stesso paesaggio.

A partire dal 1951 quest'area è stata oggetto di profonde modifiche operate dal Consorzio di Bonifica del Tronto che, per recuperare aree da avviare alla coltivazione ha provveduto al suo quasi totale interrimento e prosciugamento. Negli ultimi anni, alle difficoltà di drenaggio dell'area, si è aggiunto il meccanismo di invasione marina che si produce in occasione delle mareggiate più forti. Agli effetti indotti dalla bonifica idraulica, ai meccanismi ingressivi marini e all'erosione costiera, si sommano altre problematiche ambientali sempre connesse al rischio costiero come: la contaminazione delle acque interne generata da scarichi civili; i carichi inquinanti legati alle attività agricole; la salinizzazione dei suoli agricoli e delle acque interne; i meccanismi di "desertificazione" dei suoli indotti da pratiche agronomiche "intensive". Un ulteriore aggravamento della tendenza all'arretramento della linea di costa è legato alla presenza di opere di protezione costiera, quali la lunga foce armata presente lungo la sponda abruzzese del Fiume Tronto e le barriere poste a protezione del litorale.

Alla "salvezza" della Sentina, nonostante il degrado, hanno contribuito la presenza di aree paludose e la sua collocazione geografica, a ridosso della foce del Fiume Tronto che la rende facilmente esondabile. Inoltre, ha giocato a favore della sua conservazione la complessa situazione amministrativa a cui è tuttora assoggettata che ha reso particolarmente farraginose le procedure per avviare trasformazioni urbanistiche: l'area è infatti per quasi 2/3 di proprietà del comune di Ascoli Piceno anche se amministrativamente ricade nel territorio di San Benedetto del Tronto. Dal punto di vista ambientale e paesaggistico, la Riserva costituisce un luogo di incontro di tre ecosistemi: fluviale, costiero ed agricolo. La sua fascia di costa presenta un cordone sabbioso con morfologia di duna piatta, dietro il quale si rinvengono piccoli lembi di ambienti umidi salmastri e di praterie salate, mentre il lato meridionale si affaccia sul Fiume Tronto, al confine con l'Abruzzo.

L'obiettivo che il Piano di Gestione (redatto da un gruppo di lavoro interdisciplinare dell'Università di Camerino con il coordinamento scientifico del Prof. Massimo Sargolini), approvato nel 2014, si è posto non è stato solamente quello di salvare tracce di ambienti incontaminati, bensì quello di riqualificare alcuni ambienti degradati, ripristinando o introducendo nuovi equilibri ecologici da coordinare con il disegno di suolo della città che si affaccia sulla Riserva con dinamiche di trasformazione e densificazione urbana talora molto intense. Il principio ispiratore del Piano di Gestione è stato quello di articolare i diversi gradi di tutela indicati dalla Legge Quadro regionale sulle aree protette sulla base di un *masterplan*, in cui alle azioni per la "conservazione" intesa come atto vincolistico, si sostituissero quelle per la "valorizzazione" quale espressione di un momento dinamico, evolutivo, di crescita e di sviluppo sostenibile, volto ad assicurare nuove connettività di tipo ecologico, naturale, percettivo, storico-architettonico. Quindi, un piano che, attraverso la regolamentazione del territorio e la programmazione delle azioni, diventa strumento di disciplina e di indirizzo, più che strumento di inibizione. Nell'area della Sentina il fenomeno legato all'erosione costiera, oltre al sensibile arretramento della linea di riva ha determinato la demolizione della pur modesta struttura dunale. L'analisi delle cartografie storiche hanno consentito di osservare come l'erosione tra gli anni '50 del secolo scorso e il 2007 abbia determinato un arretramento variabile da 90 a 150 metri della linea di riva, la perdita di oltre il 50% dell'area occupata originariamente dalle zone umide e la totale demolizione del sistema dunale.

I motivi di questa erosione sono diversi. La dinamica litorale è fortemente influenzata dalle opere presenti. Molto importante è l'effetto esercitato dal porto di San Benedetto del Tronto, che blocca il trasporto litoraneo verso Nord (direzione di trasporto prevalente per tutta la costa marchigiana) e quello delle barriere emerse, che offrono una buona protezione alla spiaggia emersa retrostante, che risulta quindi stabile. A Sud di Porto d'Ascoli, dove non sono presenti opere di difesa di alcun tipo, la spiaggia emersa ha un'estensione molto ridotta rispetto alla zona protetta dalle barriere emerse ed è soggetta a forte arretramento. Il Fiume Tronto, inoltre, ormai trasporta quasi esclusivamente materiale pelitico in sospensione (limi ed argille), troppo fine per poter stazionare lungo la costa e sostituire quello portato a largo dal moto ondoso, favorendo così i fenomeni di regressione costiera. L'insieme di tutte queste condizioni e di altre (che non sono solo ed esclusivamente di origine antropica) fa sì che il litorale della Sentina risulti sottoposto ad un intenso arretramento della linea di costa che non è pensabile possa naturalmente arrestarsi.

Partendo da queste considerazioni, il Piano di Gestione della Riserva Naturale Regionale, dopo aver indagato le principali criticità dell'area e le risorse, al fine di assicurare la continuità e le opportune relazioni ecologico-funzionali tra la riserva ed il contesto territoriale, si propone di:

- ricostituire l'ecosistema costiero caratterizzato dalla sequenza mare-spiaggia-duna-retroduna, a partire dalla acquisizione gratuita delle aree necessarie alla rinaturalizzazione;
- favorire la formazione, il potenziamento e la messa in continuità della rete ecologica;
- organizzare strutture e modalità di fruizione e percezione delle aree della Riserva, integrate con azioni di riqualificazione paesaggistico-ambientale, di promozione delle attività agricole e dei relativi prodotti, di offerta, di ricettività, attivate con il coinvolgimento dei soggetti operanti sul territorio;
- favorire lo sviluppo sostenibile dell'attività agricola e delle attività connesse, anche ai fini del recupero e della qualificazione del territorio rurale e dei relativi insediamenti;
- organizzare e diversificare l'offerta turistica come occasione di sviluppo socio-economico della Riserva e dei territori limitrofi;
- accrescere l'accessibilità e la fruibilità delle diverse parti dell'area della Riserva;
- attrezzare la Riserva per lo svolgimento di attività controllo e gestione, di ricerca scientifica e di educazione e comunicazione ambientale.

Il Piano della Riserva (Fig. 1), unitamente al Regolamento, ha valore di Piano Paesistico e di Piano Urbanistico in variante al PRG del Comune di San Benedetto del Tronto. E' chiaro quindi che il Piano di Gestione non può limitarsi a svolgere un compito meramente vincolistico ma deve piuttosto assumere il ruolo di orientamento e di coordinamento di azioni ed interventi, relativi ad aspetti naturalistico-ambientali, paesaggistici, urbanistici, di infrastrutturazione e fruizione del territorio, che competono ad una pluralità di soggetti diversi, pubblici e privati, operanti all'interno ed all'esterno della Riserva.



Figura 1. Riserva Naturale Regionale Sentina. Piano di Gestione-Ipotesi di Sviluppo.

### **Piano di Assetto Naturalistico della Riserva Naturale Regionale Guidata del Borsacchio a Roseto degli Abruzzi**

Quanto possa essere complessa un'operazione del genere lo possiamo verificare più a Sud della Sentina, in Provincia di Teramo, con la Riserva Naturale Regionale Guidata del Borsacchio. La storia di questa Riserva è molto complessa. E' stata istituita con Legge della Regione Abruzzo n. 6 dell'8 Febbraio 2005; il suo perimetro è stato approvato con Legge n. 34 del 1 ottobre 2007 per una estensione di circa 1100 ha; nel 2012, con la LR. N. 29 ne è stato ridefinito il perimetro e sono stati escluse dal suo territorio alcune aree fortemente antropizzate

come quella del quartiere dell'Annunziata di Giulianova, del crinale di contrada Giammartino di Cologna Paese e della zona su cui insistono le strutture turistiche del lungomare nord di Roseto degli Abruzzi.

Il territorio del Borsacchio rappresenta uno dei pochi tratti di tutto il litorale abruzzese che mantiene ancora caratteri di naturalità e che conserva caratteri di integrità ambientale e paesaggistica, piuttosto estesi e solo parzialmente intaccati dal caotico sviluppo insediativo che ha interessato questo territorio negli ultimi cinquanta anni. Quest'area comprende anche un'estesa area collinare con pendii a tratti piuttosto ripidi, incisa da corsi d'acqua e quasi completamente utilizzata per scopi agricoli e da una piana costiera alla quale segue la spiaggia bassa e prevalentemente sabbiosa. Questo breve tratto di costa, assume una estrema importanza dal punto di vista naturalistico ed è ancora libero da infrastrutture turistiche, nonostante le previsioni di trasformazione contenute nel PRG. La visione d'assetto elaborata dal PAN 2008 (il Piano d'Assetto Naturalistico redatto da un gruppo interdisciplinare coordinato dal Prof. Gianluigi Nigro, fu sottoposto all'attenzione del Consiglio Comunale nella seduta dell'8 ottobre 2008, ma non venne adottato per mancanza di numero legale. Nel 2016 il Comune di Roseto degli Abruzzi ha affidato ad altro gruppo di progettazione l'incarico di revisione del Piano di Assetto Naturalistico. In questo articolo si tratta del PAN 2008 redatto dal Gruppo Nigro) si basa sull'opportunità offerta dalle caratteristiche del territorio di riproporre la successione originaria tipica del paesaggio costiero adriatico che si articola in una fascia costiera prevalentemente naturale (spiaggia, duna, bosco retrodunale); in una pianura agricola, nella quale si concentrano le risorse naturalistiche e le risorse insediativo-funzionali che rappresentano un'offerta orientata a tipologie di turismo capaci di apprezzare e rispettare la delicatezza e la qualità paesaggistico-ambientale; una zona collinare, con il ruolo importantissimo di raccontare, far percepire e fruire la varietà delle risorse naturalistico-ambientali e paesaggistiche del territorio e di costituire il quadro dello sviluppo sostenibile di attività economiche legate all'agricoltura (D'Onofrio, 2012).

La visione progettuale definita dal PAN abbraccia, così, tre grandi temi:

- conservazione e potenziamento delle risorse naturalistiche;
- qualificazione e valorizzazione dei grandi spazi aperti agricoli;
- fruizione, conoscenza e percezione della Riserva.

Sono riconducibili al tema della conservazione e potenziamento delle risorse naturalistiche le seguenti azioni, progetti e regolamenti promossi dal piano:

- la rinaturalizzazione della costa per la ricostituzione del paesaggio costiero adriatico costituito dalla sequenza spiaggia, dune, bosco retrodunale e pianura agricola, finalizzato a perseguire un nuovo assetto fisico-funzionale complessivo, coerente con le finalità della Riserva, capace di integrare in modo compatibile spazi naturalistici e spazi attrezzati per il turismo;
- la riqualificazione naturalistico-ambientale delle foci del Torrente Borsacchio e del Fiume Tordino, finalizzata a migliorare le qualità naturali e il funzionamento dei cicli biologici dei corsi d'acqua, e, sempre nella fascia costiera, la riqualificazione urbanistico-ambientale e paesaggistica delle aree adiacenti alle stesse foci fluviali;
- la formazione della "rete ecologica locale" quale armatura di connessione e mantenimento di unità ecosistemiche di valore naturalistico al fine di assicurare le dinamiche biologiche e la vitalità della fauna.

Il Piano di Assetto Naturalistico ricorre al Progetto di Paesaggio per il perseguimento di parte degli obiettivi assunti e la costruzione di una parte significativa della visione di assetto.

Il Progetto Integrato Prioritario (PrInP - Rinaturalizzazione delle Costa), inteso come struttura logica di un insieme di contenuti progettuali e interventi di natura diversa, si propone la rinaturalizzazione della fascia a mare con il ripascimento della spiaggia, la ricostruzione del sistema dunale e del sistema retrodunale. Tale progetto si basa su una articolata manovra urbanistica che applica diffusamente e in modo uniforme i meccanismi della perequazione e della compensazione; rientra in questa interpretazione la rivisitazione delle previsioni urbanistiche del PRG per la fascia costiera finalizzata, da una parte ad assicurare gli spazi per la rinaturalizzazione della costa e, dall'altra, a dotare il territorio di attrezzature per forme di turismo diversificate e compatibili, a riqualificare dal punto di vista urbanistico i margini della Riserva verso gli insediamenti esistenti a nord e sud della pianura. Ai privati, interessati da previsioni di trasformazione urbanistica dal PRG vigente, vengono riconosciute quantità edificatorie turistico-ricettive, da esprimersi all'interno di aree prestabilite, in loco o a distanza, facendo riferimento a principi di sostenibilità e secondo criteri perequativi che tengono conto dello stato di fatto e di diritto dei luoghi, e cioè della localizzazione e della morfologia del suolo, nonché delle precedenti destinazioni urbanistiche (Fig. 2).

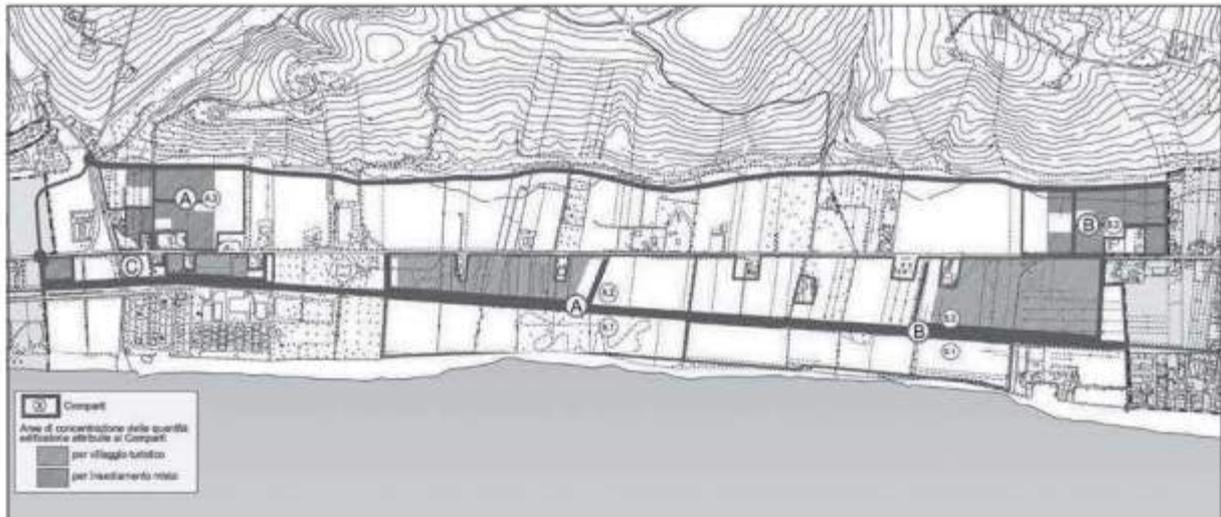


Figura 2. Riserva Naturale Guidata Borsacchio. PrinP/1 Rinaturalizzazione della Costa - Comparti di trasferimento dei diritti edificatori.

### Conclusioni

In entrambi i casi presi in esame, sebbene con modalità diverse, le misure messe in atto per contrastare l'erosione costiera assumono la forma e i contenuti di "piani e progetti di paesaggio", che hanno la finalità di attivare processi resilienti di contrasto al fenomeno di scomparsa di intere aree di valore naturalistico in contesti territoriali fortemente antropizzati. Gli interventi previsti in questi piani e progetti non riguardano una singola opera, ma un complesso di opere per la salvaguardia complessiva dell'ecosistema costiero e si legano alla definizione di nuove modalità di sviluppo dei territori con al centro il tema della convivenza sostenibile tra l'uomo e la natura, in un'ottica di salvaguardia e rinaturalizzazione, ma anche di promozione e sviluppo di usi ed attività antropiche compatibili. In entrambi i casi il Progetto di Paesaggio costituisce il quadro di riferimento strategico di gestione del contesto territoriale, in grado di individuare gli aspetti strutturali da tutelare; il quadro regolativo, che esprime la disciplina degli usi, delle attività e degli interventi di recupero, valorizzazione o trasformazione ammissibile nel territorio protetto; il quadro giustificativo per orientare le scelte da operarsi in altre sedi e da parte degli altri soggetti cointeressati.

### Bibliografia

- Bianchetti C. (2009) - "La fine della città dispersa. Temi ed esperienze" - In: Barbieri P. (a cura di), *Hiper adriatica. Opere Pubbliche e città adriatica. Indirizzi per la riqualificazione dei progetti urbani e territoriali*. List Laboratorio Internazionale Editoriale, Barcellona.
- D'Onofrio R. (2012) - "Un progetto di Paesaggio nel territorio del medioadriatico: la costa e le colline del Borsacchio" - In: Villari A, Arena M.A. (a cura di), *Paesaggio 150. Sguardi sul paesaggio italiano tra conservazione, trasformazione e progetto in 150 anni di storia*. Aracne, Roma, pp 709-713.
- Duo E., Ciavola P. (Eds.) (2015), *RISC-KIT. Resilience-Increasing Strategies for Coasts ToolKit* - In [http://www.risckit.eu/np4/file/23/RISC\\_KIT\\_D.1.1\\_V3\\_.pdf](http://www.risckit.eu/np4/file/23/RISC_KIT_D.1.1_V3_.pdf). Ultimo accesso 25 Gennaio 2017
- Lega Ambiente (2011) - *Il consumo delle aree costiere italiane. La Costa Marchigiana, da Gabicce a San Benedetto del Tronto: L'aggressione del cemento e i cambiamenti del paesaggio*. [http://www.legambientemarche.org/downloads/Dossier\\_%20Marche%20il%20consumo%20delle%20aree%20costiere%20italiane.pdf](http://www.legambientemarche.org/downloads/Dossier_%20Marche%20il%20consumo%20delle%20aree%20costiere%20italiane.pdf). Ultimo accesso 25 Gennaio 2017
- Sargolini M. (2008) - *La pianificazione per la gestione. Esperienze a confronto*. Urbanistica, 51: 90-160.

Ricevuto il 15/05/2016; accettato il 23/01/2017

## Variazioni meteomarine recenti e climatologia dinamica nel bacino adriatico: primi risultati

Massimiliano Fazzini<sup>1,2</sup>, Carlo Bisci<sup>1</sup>, Marco Cardinaletti<sup>3</sup>, Andrea Giuliacci<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Università di Camerino – Scuola di Scienze e Tecnologie, Via Gentile III da Varano - 62032 Camerino  
email: massimiliano.fazzini@unicam.it

<sup>2</sup>Università di Ferrara – Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Via Saragat, 1 – 44123 Ferrara

<sup>3</sup>Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, via Breccie Bianche,  
60131 Ancona

<sup>4</sup>Centro Epson Meteo – 20090 Segrate

### Riassunto

Le variazioni recenti del livello del mare sono un indicatore chiave del cambiamento climatico in atto e costituiscono uno dei più importanti aspetti scientifici, con grande impatto potenziale positivo per la società. Nel quinto rapporto di *assessment* del clima globale (AR5) dell'IPCC risulta evidente l'importanza dei record strumentali per l'analisi delle variazioni recenti del livello del mare. L'intenso riscaldamento globale registrato durante gli ultimi decenni ha concausato un forte scioglimento dei ghiacci continentali alle latitudini polari e, conseguentemente, un innalzamento del livello medio marino quantificabile in 1.2 – 2.0 mm/anno. Nel Mar Mediterraneo, tale valore è significativamente più basso di circa il 35% rispetto al valore medio globale. Nel bacino adriatico, e in particolare nel suo settore settentrionale, il segnale dipende però in maniera significativa da fenomeni di subsidenza e da altre variabili antropogeniche, responsabili di estesi fenomeni di eustasia.

Obiettivo principale di questo studio preliminare è quello di analizzare le serie di dati meteomarine relativi a nove stazioni di misurazione appartenenti alla Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA, situate tra Trieste e Taranto, in modo da verificare le tendenze medie a livello del mare e identificare gli eventi più significativi di mareggiata che si sono verificati a partire dal 2010 e dal 1995 per la stazione di misura di Ancona. Allo stesso tempo, sono state individuate e analizzate le situazioni sinottiche responsabili di questi intensi eventi per ogni settore del bacino. Dall'analisi complessiva del segnale, risulta probabile una maggiore persistenza di condizioni anticicloniche, alternata a una altrettanto maggiore frequenza di ciclogenesi, in quasi tutti i mesi dell'anno nel bacino Adriatico settentrionale o sull'alto Tirreno, molto probabilmente derivanti dall'aumento delle temperature della superficie del mare (SST) stimabile, nel periodo oggetto dello studio, intorno a 0.8°C.

**Parole chiave:** cambiamento climatico, innalzamento del livello medio mare, Mare Adriatico, ciclogenesi, mareggiate

### Abstract

*Recent sea level variations are a key indicator of global climate change. Estimating sea-level rise is one of the most important scientific issues, with potentially high positive social impact. The Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) underlines the importance of instrumental records to analyse recent sea-level changes.*

*The relatively intense warming recorded throughout the past 40 years (with widespread ice melting and relative glacial-hydro-isostatic rearrangement) has however induced global sea level rise of around 1.2-2.0 mm/yr. In the Mediterranean Sea, this value is approximately 35% lower than the global mean value. This is due to the Northern Atlantic Oscillation (NAO), inducing evident increase in atmospheric pressure and temperature, as well as of salinity variation at Adriatic latitudes, also taking into account the specific features of this almost enclosed shallow sea.*

However, relative sea level rise (RSLR) occurred along the entire shoreline of the Northern Adriatic Sea, locally interfering with land subsidence (natural and man-induced) and eustasy. Their combined effect has produced relative ground settlements ranging from centimetres to meters.

The aims of this study is to analyse the historic series of oceanographic records at 12 measuring stations that belong to the National Tidal Network organized by ISPRA (located between Trieste and Otranto) in order to verify trends in sea level variations and to identify the most significant storm events that occurred from 2010 to 2015. The synoptic situations responsible for these intense events at each basin sector have also been analysed. Persistence of subtropical high pressure conditions alternated with higher frequency of cyclogenesis have been detected for almost every month on the northern Adriatic basin as well as in the medium and high Tyrrhenian; this is most likely due to the increase in sea surface temperatures of circa  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the past fifteen years.

**Key words:** climate change, mean sea level rise, Adriatic Sea, cyclogenesis, storm surges

### Introduzione

Non considerando le componenti idro-glacio-isostatiche e tettoniche, responsabili della maggiore percentuale dell'innalzamento indiretto del livello medio marino negli ultimi 2000 anni (Antonioli et al 2011), e soffermando l'attenzione sulla componente antropogenetica *ss*, risulta evidente che l'aumento della temperatura registrato nel sistema combinato terra-oceano-atmosfera, e più in particolare negli oceani, abbia determinato una significativa espansione termica e, relativamente alle terre emerse, un fenomeno di riduzione dell'estensione e degli spessori degli apparati glaciali continentali (*inlandsis*) presenti alle latitudini polari dei due emisferi. Negli ultimi due secoli - da quando cioè sono disponibili misure strumentali e, successivamente, dati satellitari - il livello medio del mare mostra una risalita media complessiva di circa 1.0-1.5 mm/anno. Scendendo nel dettaglio, la media mondiale delle misure mareografiche (centinaia di stazioni in tutto il mondo, alle quali è stata sottratta la componente isostatica) e satellitari mostra un valore medio recente di 1.8 mm/anno (Bonaduce et al., 2016; Pinardi et al., 2014; Church et al., 2013).

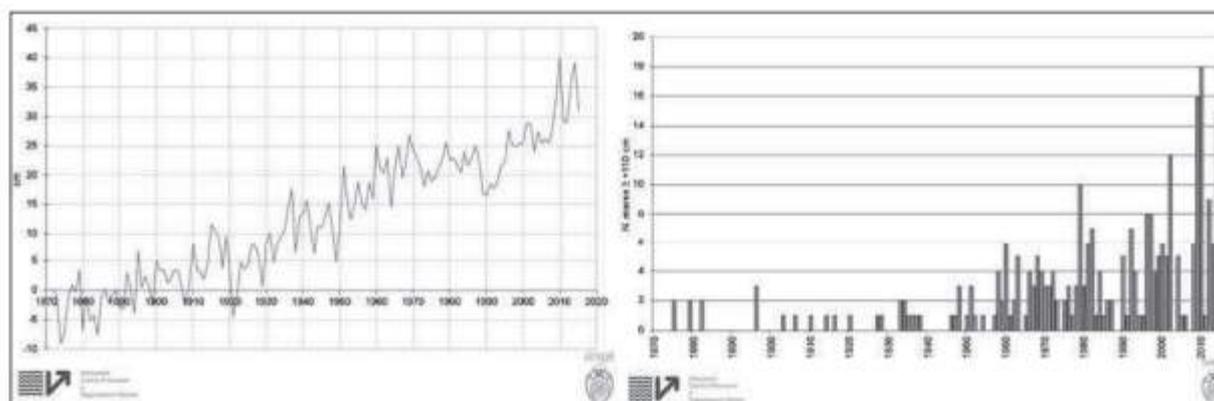


Figura 1. Raffronto per il periodo 1875 – 2010 tra le variazioni del livello medio del mare, a sinistra, e il numero di eventi di forte sollevamento del livello del mare (almeno 110 cm), a destra. Da: Città di Venezia, Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Grafici e Statistiche – [www.comune.venezia.it/archivio/2966](http://www.comune.venezia.it/archivio/2966).

Nel bacino Mediterraneo, la complessa fisiografia e la presenza di condizioni meteo-climatologiche del tutto particolari, nonché il bilancio idrogeologico negativo (dal mare evapora più acqua di quanta ne arriva dai fiumi) contribuiscono a determinare un sollevamento del livello medio marino superiore di almeno il 50% rispetto a quello globale. Alle dinamiche sopra esposte vanno poi aggiunte, come evidenziato in precedenza, le componenti locali. Il Mediterraneo è un'area tettonicamente attiva: lungo le coste italiane i movimenti sollevamento o abbassamento tettonico hanno tassi negativi di circa 1 mm/anno, o positivi limitatamente ai settori più settentrionali del bacino Adriatico, dove pure è intenso il fenomeno della subsidenza antropica, specie nell'area compresa tra il litorale ravennate e la laguna di Venezia (Simeoni et al., 2003; Carbognin et al., 2014).

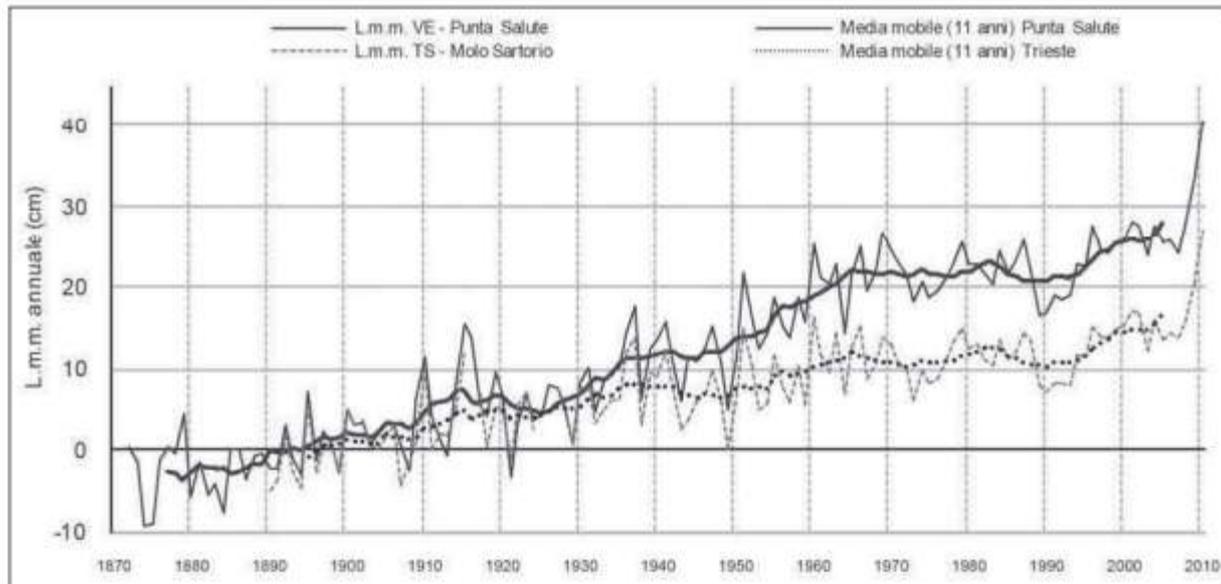


Figura 2. Valori medi annuali del livello medio mare rilevati a Venezia – Punta Salute e Trieste – molo Sartorio. Da: Cordella e Crosato, 2012.

Considerando, ad esempio, il segnale mareografico di Venezia - Punta Salute, si osserva che nell'intero periodo 1872-2005, il tasso medio di crescita relativa del livello medio del mare (LMM) è stimabile in  $2.5 \pm 0.2$  mm/anno, con un intervallo di confidenza di 0.94, pari a un totale di oltre 31 cm (Ferla *et al.*, 2007; Masina e Lamberti, 2013). È poi evidente e significativa la relazione esistente tra frequenza degli eventi di acqua alta con  $LMM > 110$  cm e innalzamento del LMM  $R^2 = 0.87$  (Cordella e Crosato, 2012; Fig. 1).

Se si paragona la variazione del LMM di Punta Salute con quella di Trieste - Molo Sartorio (Fig. 2) si osserva che, nel medesimo periodo, in quest'ultima stazione di misura esso è molto inferiore (circa  $1.3 \pm 0.2$  cm/anno, con un intervallo di confidenza di 0.82, pari a oltre 19 cm) nonostante che relativamente al periodo 1992 – 2006 l'incremento del LMM sia stato di  $4.5 \pm 2.7$  mm/anno seppure con un intervallo di confidenza di 0.62, statisticamente non significativo (Masina e Lamberti, 2013).

Disponendo quindi di serie storiche - certamente non definibili "climatologiche", visto che non sono temporalmente estese per almeno 30 anni (WMO, 2012) ma pur sempre estese temporalmente per quindici anni, oltre che caratterizzate da omogeneità e mancanza di lacune temporali significative – si è ritenuto possibile e opportuno effettuare una prima analisi dei dati relativi alle variazioni dell'altezza idrometrica.

#### Dati utilizzati e metodologie di studio

L'area oggetto di studio si identifica con la porzione di costa adriatica compresa tra il golfo di Muggia a Nord ed il capo d'Otranto a Sud (Fig. 3), con uno sviluppo complessivo di oltre 1400 km, approssimativamente tra  $40^\circ$  e  $46^\circ$  di latitudine Nord. I dati utilizzati per l'analisi partono dal 2000 e si estendono sino al 2015; per la stazione meteo marina di Ancona, esclusivamente per evidenziare gli eventi di *storm surge* significativi (identificati con un  $LMM > 0.5$  m) è stato considerato il ventennio 1996-2015.

Per tutte le stazioni della rete mareografica nazionale (RMN) utilizzate, dal Gennaio 2010 il parametro di livello idrometrico pubblicato viene monitorato con un nuovo sensore di livello a microonde (radar) con precisione millimetrica. Il sensore radar è installato in coppia con un secondo sensore di livello a galleggiante basato su tecnologia *shaft-encoder* (con la funzione di *back-up*); è inoltre mantenuto in funzione il sensore idrometrico storico ad "ultrasuoni" presente nella RMN dal 1998.

Dal confronto delle misure di questi tre sensori, di cui quello ad ultrasuoni usato come verifica, si è in grado di ottenere una precisa taratura del sensore radar tale da garantire una perfetta continuità delle serie dati di livello e di conseguenza la sua omogeneità (ISPRA, sito web). I dati disponibili sono stati

analizzati con passo temporale orario, relativamente al LMM, e giornaliero per ciò che concerne le temperature medie dell'aria e dell'acqua. Sono stati in seguito calcolati i valori medi mensili dei tre parametri oggetto dello studio. In questo lavoro vengono presentati i risultati preliminari relativi al primo parametro (ovvero il livello medio del mare, evidenziando che in tale lasso temporale, le temperature medie dell'aria sono aumentate di circa  $0.7^{\circ}\text{C}$  e quelle della superficie del mare di circa  $0.8^{\circ}\text{C}$ .

A completamento della ricerca, si presenta un'analisi preliminare delle situazioni sinottiche responsabili dei fenomeni di mareggiata aventi magnitudine significativa. A tal proposito sono state utilizzate le re-analisi GFS, disponendo di dati in formato GRID relativamente ai campi di pressione al livello del mare e ai livelli geopotenziali a 500 hPa. Ad essi è stata applicata una *cluster analysis* di tipo *k-means* che ha portato alla definizione di situazioni caratteristiche per l'intero bacino.

#### Analisi critica del dato

Il risultato medio dell'analisi del dato quindicennale oggetto dello studio risulta essere piuttosto allineato con quello relativo al primo decennio del XXI secolo, relativo a tutti i bacini che contornano la penisola italiana e ben correlato in maniera inversa con l'andamento barometrico medio registrato (Fig. 4).

L'innalzamento medio del livello medio del mare si attesta su valori abbastanza elevati, mediamente di  $0.75\text{ cm/anno}$ , con picchi superiori a  $1\text{ cm/anno}$  nelle aree maggiormente affette da prelievi di falda a scopi idraulici e/o di prelievi di idrocarburi nella aree immediatamente limitrofe, con conseguenti maggiori fenomeni di subsidenza (ad esempio, a Venezia e Taranto rispettivamente  $1.31$  e  $1.08\text{ cm/anno}$ ), mentre la variazione minima, circa  $0.15\text{ cm/anno}$ , si osserva nel sito di Otranto (Tab. 1).



Figura 3. Carta dalla distribuzione delle stazioni mareografiche considerate.

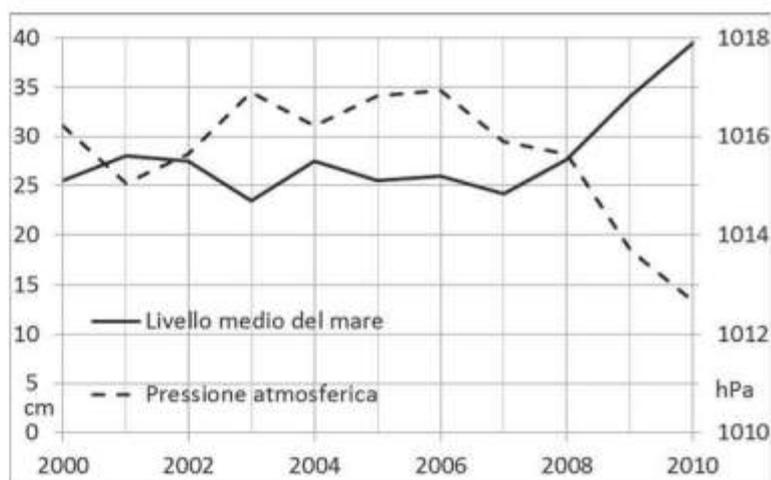


Figura 4. Andamento del livello medio del mare e della pressione atmosferica dal 2000 al 2010 nel Mediterraneo settentrionale.

Anno	Ancona	Bari	Ortona	Otranto	Ravenna	Taranto	Trieste	Venezia	Vieste	S.B.d.T.	Media
2000	-0.06	-0.21	-0.10	-0.11	0.04	-0.29			-0.17	n.d.	-0.13
2001	-0.01	-0.17	-0.07	-0.23	0.07	-0.23	0.11	0.14	-0.12	n.d.	-0.06
2002	-0.03	-0.18	-0.08	-0.26	0.05	-0.28	0.13	0.06	-0.14	n.d.	-0.08
2003	-0.06	-0.22	-0.10	-0.24	0.02	-0.28	0.09	0.03	-0.16	n.d.	-0.10
2004	-0.03	-0.17	-0.07	-0.20	0.06	-0.27	0.11	0.10	-0.02	n.d.	-0.06
2005	-0.12	-0.19	-0.09	-0.26	0.03	-0.28	0.04	0.11	-0.13	n.d.	-0.10
2006	-0.05	-0.19	-0.09	-0.25	0.04	-0.27	0.03	0.11	-0.13	n.d.	-0.09
2007	-0.07	-0.18	-0.10	-0.26	0.03	-0.25	0.05	0.10	-0.14	n.d.	-0.09
2008	-0.11	-0.11	-0.08	-0.26	0.07	-0.23	0.06	0.13	-0.11	n.d.	-0.07
2009	0.00	-0.11	-0.01	-0.20	0.14	-0.14	0.08	0.19	-0.07	n.d.	-0.01
2010	0.09	-0.06	0.05	-0.15	0.21	-0.11	0.11	0.27	-0.02	0.11	0.05
2011	0.00	-0.12	-0.01	-0.18	0.11	-0.18	0.00	0.17	-0.08	0.00	-0.03
2012	-0.02	-0.13	-0.03	-0.21	0.10	-0.16	-0.02	0.16	-0.09	-0.02	-0.04
2013	0.05	-0.09	0.03	-0.20	0.14	-0.16	0.05	0.20	-0.04	0.06	0.00
2014	0.05	-0.05	0.06	-0.17	0.12	-0.13	0.11	0.28	-0.02	0.08	0.03
2015	0.01	-0.12	-0.02	-0.21	0.04	-0.17	0.00	0.19	-0.07	-0.19	-0.05
cm/Anno	0.64	0.87	0.89	0.15	0.58	1.08	0.56	1.31	0.71		0.75

Tabella 1 – Altezza media annua del livello medio mare e trend medi relativi nelle stazioni di misura analizzate per il periodo 2000-2015. La stazione di San Benedetto del Tronto ha iniziato a funzionare solo nel 2010. Dati ISPRA.

Tuttavia, da una più accurata analisi del dato relativo alle oscillazioni dei valori medi annui nelle varie stazioni di misura (Tab. 1, Fig. 5), in particolare per la stazione di San Benedetto del Tronto, si osserva che nell'ultimo quinquennio sono aumentate notevolmente le variabilità inter-annuali dei LMM ma soprattutto si assiste ad una decisa controtendenza del segnale (Fig. 6), con un evidente calo dei valori, mediamente quantificabili in circa 1.8 cm/anno relativamente alle stazioni di misura di Ancona, San Benedetto, Ortona e Vieste, pur permanendo un innalzamento medio di circa 7.4 mm/anno.

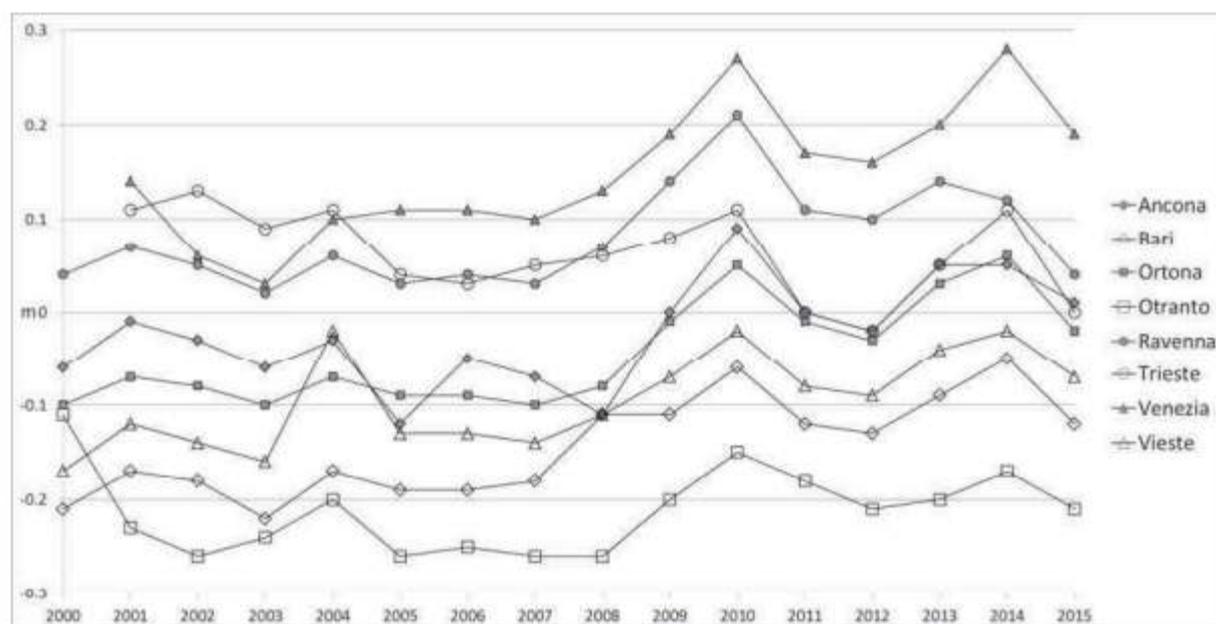


Figura 5. Variazioni del livello medio annuale del mare dal 2000 al 2015 nelle stazioni di misura esaminate (sono escluse San Benedetto del Tronto (periodo di osservazione troppo breve) e Taranto (esterna al bacino Adriatico)).

Se si cerca una relazione tra tale segnale ed il valore medio annuale della NAO secondo Jones, si osserva che nell'ultimo quinquennio le sempre più comuni configurazioni bariche che determinano valori positivi di NAO hanno subito un evidente aumento medio dell'intensità. Sembrerebbe altresì confermata la relazione prima evidenziata tra variazioni bariche e variazioni del LMM alla scala del bacino mediterraneo.

Relativamente alle situazioni sinottiche che determinano sul bacino adriatico gli eventi di mareggiata più intensi (oltre che significative condizioni di "acqua alta" sulla laguna di Venezia), risulta evidente una condizione media a livello di bacino che può essere ben rappresentata dalla situazione-tipo del 10-12 novembre 2013, che ha apportato dapprima condizioni di "acqua alta" eccezionale sull'alto Adriatico e mareggiate particolarmente intense e distruttive sui litorali tra il Ravennate e l'Abruzzo citeriore. A tal proposito, per caratterizzare dettagliatamente l'evento, si sono analizzati i dati relativi al mareografo di San Benedetto del Tronto.

L'evento di mareggiata avente un'eccezionale estensione spaziale è stato provocato da una bassa pressione chiusa di natura dinamica e complessivamente barotropica, derivante in quota da un *cut off* dal fronte polare, peraltro successivamente privo di ondulazioni meridiane degne di nota.

Durante la giornata dell'undici novembre, essa ha teso ad approfondirsi ulteriormente, centrandosi sul basso Tirreno, con valori barici al suolo di circa 1000 hPa al suolo e altezza del geopotenziale 500 hPa inferiore ai 5500 m. La struttura barica non ha mostrato, durante le dodici-diciotto ore successive, apprezzabili cenni di movimento verso levante (Fig. 7). Al suolo si osserva un forte gradiente di pressione tra questa struttura ciclonica e un ponte di alta pressione esteso dal vicino Atlantico portoghese sino alla Bielorussia (accenno di Ponte di Weikoff).

L'evoluzione alla scala di bacino mediterraneo mostra come una linea di instabilità collegata al centro depressionario nella tarda serata del giorno 10 sia transitata nell'area oggetto dello studio. I valori di pressione al suolo hanno raggiunto il minimo (circa 996 hPa; Fig. 8); contemporaneamente, si è avuta una prima rotazione del vento da scirocco a maestrale (Fig. 9). Il centro depressionario ha poi iniziato a migrare lentamente verso sud-sudovest; già nelle prime ore del giorno 11, la depressione al suolo si è spostata con moto parzialmente retroattivo, andando a centrarsi sul basso Tirreno (Fig. 7).

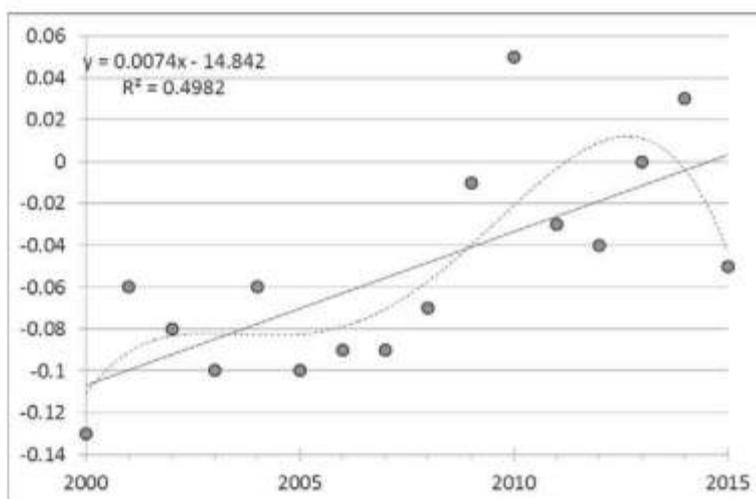


Figura 6. Andamento del livello medio mare annuale in metri (media delle stazioni in Tab. 1) rispetto allo zero idrometrico, con regressione lineare ( $R^2$  circa 0.5) e polinomiale di 3° ordine.

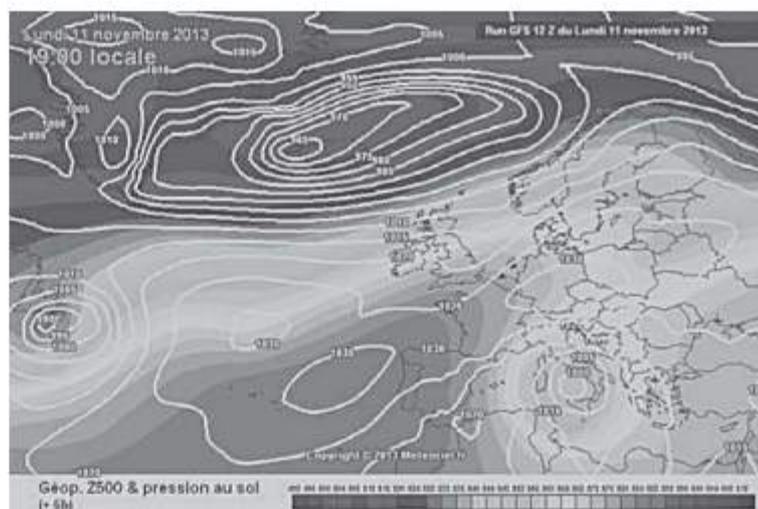


Figura 7. Andamento del geopotenziale 500 hPa e della pressione atmosferica al suolo nel pomeriggio dell'11 novembre 2013. Da [www.meteociel.fr](http://www.meteociel.fr).

Ciò ha causato una seconda rotazione dei venti da Maestrale a Tramontana e, di seguito, a Bora (direzione media di provenienza 48°); essi hanno avuto la tendenza a intensificarsi rapidamente, raggiungendo alle ore 7 del mattino una velocità media di circa 14 m/sec (circa 50 km/h, Fig. 9). Il quadro anemometrico si è poi stabilizzato tanto in direzione di provenienza quanto in intensità, favorendo un rapido incremento della pressione atmosferica (Fig. 8).

Tali condizioni, unite alla notevole estensione dell'area di *fetch* efficace (l'intera porzione centro-orientale del bacino adriatico settentrionale), hanno favorito un forte e repentino innalzamento del LMM, quantificato, dalle 6:30 alle 9:30 AM, in circa 60 cm, passando da valori di 0.37 m. a 0.97 m. Nel corso della giornata, i livelli hanno poi subito variazioni moderate, risentendo anche delle forze di marea e mostrando un lieve decremento nelle ore pomeridiane per tornare a crescere in serata sino a toccare il picco massimo di 1.04 metri appena dopo le 22 (Fig. 8).

Successivamente al raggiungimento di tale picco, si è osservato un repentino calo dei valori, favorito da una graduale attenuazione della velocità del vento e dalla sua rotazione da levante (Fig. 9), derivanti dalla ripresa dello spostamento della depressione verso oriente. Fin dalle prime ore del giorno 12, l'evento meteoromarinò principale era da considerarsi terminato.

### Conclusioni

Evidentemente, una comprensione più approfondita e completa delle cause che comportano continue variazioni del LMM sulle coste adriatiche italiane non può basarsi esclusivamente sull'identificazione e la successiva analisi delle situazioni sinottiche che apportano *storm surge* di elevata magnitudine. A tal proposito sarebbe auspicabile raffrontare i dati già analizzati non solo con l'indice NAO ma anche con l'indice AO (*Arctic oscillation*) ed eventualmente creare un nuovo indice troposferico che possa essere magari utilizzato anche come strumento di previsione di future situazioni bariche foriere di forti eventi di *storm surge* sul bacino adriatico. Occorrerà poi necessariamente approfondire l'analisi dell'evoluzione termometrica del sistema complesso mare – atmosfera, del quale nel presente lavoro si sono solo accennati i risultati dello studio del trend quindicennale, così da potere tentare una quantificazione percentuale dell'effetto sterico, probabilmente più significativo in un bacino marittimo chiuso e mediamente poco profondo come quello Adriatico rispetto ad estesi bacini oceanici e anche all'intero Mar Mediterraneo.

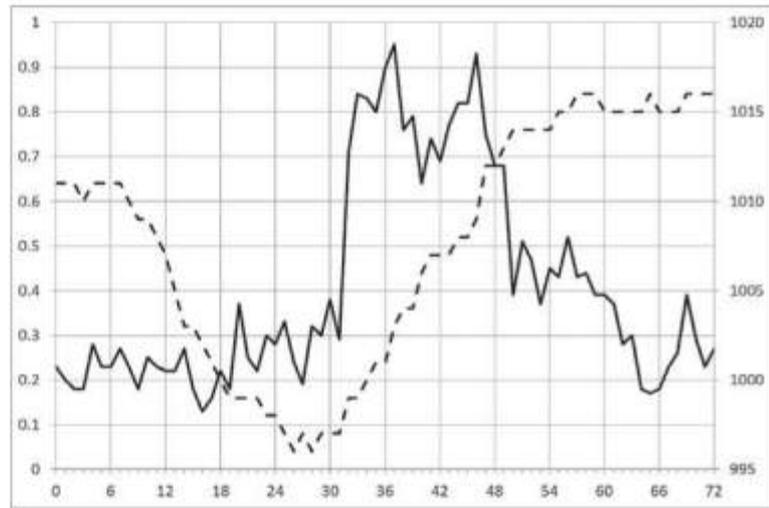


Figura 8. Pressione atmosferica in millibar (linea tratteggiata) e livello del mare in m (linea continua) registrati presso la stazione di S. Benedetto del Tronto nei giorni dal 10 al 12 novembre 2013. Dati ISPRA.

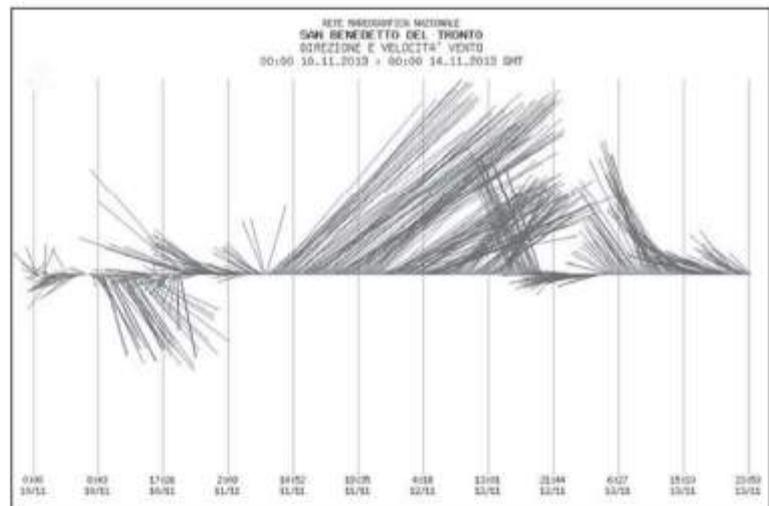


Figura 9. Direzioni e velocità del vento registrate presso la stazione meteo di S. Benedetto del Tronto nei giorni dal 10 al 12 novembre 2013. Da ISPRA, [www.mareografico.it](http://www.mareografico.it).

Sarebbe inoltre auspicabile recuperare e analizzare le intere serie storiche relative a tutte le stazioni di rilevamento ubicate sulle coste adriatiche e balcaniche ma, soprattutto, sarebbe fondamentale implementare il riscato numero di boe ondametrische attualmente presenti e attive in maniera continua, come peraltro già in fase di progettazione e/o attuazione da parte delle regioni Friuli – Venezia Giulia, Veneto, Emilia Romagna, Marche e Puglia.

Strumentazioni più economiche ma comunque molto utili per calcolare indirettamente le variazioni dei LMM si possono identificare nei pressimetri da fondale ubicati in prossimità della costa. Questi ultimi, quando integrati da profilatori acustici ad effetto Doppler (ADCP), risulterebbero fondamentali anche per l'analisi del clima d'onda locale.

### Bibliografia

- Antonoli F., Faivre S., Ferranti L., Monaco C. (2011) - *Tectonic contribution to relative sea level change*. *Quat. Int.* 232: 1-4.
- Battistin D., Canestrelli P. (2006) - *1872-2004. La serie storica delle maree a Venezia*. Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Venezia, 207 pp.
- Bonaduce L., Pinardi N., Oddo P., Spada G., Larnico G. (2016) - *Sea-level variability in the Mediterranean Sea from altimetry and tide gauges*. *Climate Dynamics*, 47: 2851–2866.
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L., Strozzi T., Tomasin A. (2014) - *Present Relative Sea Level Rise in the Northern Adriatic Coastal Area*. *Climate Dynamics*, 35: 1039-1047 .
- Church J., Clark P., Cazenave A., Gregory J., Jevrejeva S., Levermann A., Merrifield M., Milne G., Nerem R., Nunn P., Payne A., Pfeffer W., Stammer D., Unnikrishnan A. (2013) - *Sea level change*. In: Stocker T., Qin D., Plattner G., Tignor M., Allen S., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. (Eds) - *Climate change 2013: The Physical Science Basis. -Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 1137-1216.
- Ferla M., Cordella M., Michielli L., Rusconi A. (2007) - *Long-term variations on sea level and tidal regime in the lagoon of Venice*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 75: 214-222.
- IPCC (2014) - *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [R.K. Pachauri e L.A. Meyer (eds)]. IPCC, Ginevra (CH), 151 pp.
- Cordella M., Crosato F. (2012) – *2010: un anno da ricordare per l'eccezionale crescita del livello medio mare a Venezia e nel nord Adriatico*. ISPRA, Quaderni Ricerca Marina, 4: 18pp.
- Masina M., Lamberti A. (2013) - *Nonstationary analysis for the Northern Adriatic extreme sea levels*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118: 3999–4016.
- Pinardi N., Bonaduce A., Navarra A., Dobricic S., Oddo P. (2014) - *The mean sea level equation and its application to the mediterranean sea*. *J. Climate*, 27: 442-447.
- Simeoni U., Del Grande C., Gabianelli G. (2003) - *Variazioni ed ipotesi evolutive dell'assetto altimetrico del litorale emiliano-romagnolo*. *Studi Costieri*, 7: 81-93.
- WMO (2015.) - *Technical Regulations, Vol. I*. WMO, 49; Basic Documents, 2. Geneva, 59 pp.

**Ricevuto il 27/11/2016; accettato il 23/01/2017**

## Evoluzione progettuale delle opere di difesa costiera

Alessandro Mancinelli, Sara Corvaro, Carlo Lorenzoni

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura (DICEA) – Università Politecnica delle Marche, via Brecce Bianche, 60131 Ancona (AN), E-mail: a.mancinelli@univpm.it; s.corvaro@univpm.it; c.lorenzoni@univpm.it

### Riassunto

Le opere di difesa della costa hanno come scopo principale la protezione dei litorali dall'azione del moto ondoso. La memoria esamina l'evoluzione delle strutture foranee di difesa analizzando quelle che sono state le criticità dei sistemi adottati, con particolare attenzione alle opere di difesa applicate nella costa adriatica. La maggior parte delle strutture foranee dissipa l'energia prevalentemente attraverso il frangimento ondoso il quale innesca, soprattutto nelle opere sommerse, un sistema di circolazione idrodinamica responsabile dell'erosione nelle testate e nei varchi e della formazione di correnti di *rip* molto intense. Per tutte le opere analizzate un'altra criticità è costituita dalla sopraelevazione del livello medio marino durante eventi estremi. In seguito a tali problematiche, lo sviluppo e l'evoluzione delle opere costiere ha portato a ricercare sistemi di protezione costiera capaci di abbattere l'energia del moto ondoso attraverso altri meccanismi, come l'elevata scabrezza o la permeabilità del fondo. Specifiche prove di laboratorio sono state eseguite con lo scopo di studiare il comportamento e l'idrodinamica indotta da tali sistemi di dissipazione graduale del moto ondoso. Le variazioni climatiche nel lungo e breve periodo potrebbero mettere in crisi le numerose opere marittime esistenti, la memoria riporta alcuni cambiamenti registrati nel clima meteomarinico dell'Adriatico nell'ultimo decennio.

**Parole chiave:** protezione costiera, dissipazione, permeabilità, scabrezza, variazioni climatiche

### Abstract

*Maritime protection works have been applied as main protection system of beaches and coasts. The work focus on the evolution of maritime structures by analyzing the criticism with particular attention on the coastal works used on the Adriatic coast. The majority of defences produce wave dissipation through the breaking phenomena which induces an hydrodynamic circulation responsible of the erosion and the formation of intense rip currents in the gaps. Another problem is the sea-level rise during storm events. As a result of these problems, the development and the evolution of coastal works has led to seek dissipating wave energy systems that do not involve the use of wave breaking phenomenon but other dissipation mechanism: high roughness and high permeability of the seabed. Specific laboratory tests were carried out on these dissipative systems with the aim of studying the hydrodynamics. Climate change could affect the efficiency of the maritime structures; in the present paper some results about the variation of the sea-level and of the significant wave height observed in the last decades on Adriatic Sea have been reported.*

**Key words:** coastal protection, wave damping, permeability, roughness, climate change

### Introduzione

Nel corso del secolo scorso, tra le opere di protezione costiera, hanno avuto un importante sviluppo quelle longitudinali emergenti, grazie al notevole grado protettivo offerto con opere relativamente semplici da

progettare e da porre in opera. Ciò ne ha decretato il grande successo e la conseguente notevole diffusione lungo molti litorali, con la disposizione di lunghissime estensioni di setti contigui di barriera in successione, specialmente nei tratti di spiagge basse e costituite da sedimenti sottili (sabbiose soprattutto). Tali opere, però hanno mostrato notevoli effetti negativi, tra cui la facile formazione di tomboli o salienti molto protesi in mare, la ridotta qualità dell'acqua e dei sedimenti depositati nella zona protetta, con conseguenti problemi di balneazione nelle spiagge, la formazione di profondi canali di erosione attraverso i varchi fra le barriere multiple disposte in posizione contigua, infine il grave effetto dell'erosione nei litorali limitrofi e sottoflutto alle opere realizzate. Tali problematiche hanno spinto la ricerca e la sperimentazione verso opere che riducessero gli inconvenienti evidenziati dalle barriere foranee emerse.

La memoria presenta alcune soluzioni alternative alle scogliere emerse largamente utilizzate nella protezione dei litoranei ed i risultati di ricerche effettuate sull'idrodinamica dei fondali porosi che potrebbero supportare la progettazione di nuove opere di difesa dei litorali. Tutte le opere, tradizionali ed alternative dovranno comunque rispondere a condizioni ambientali che stanno cambiando, sia nel breve che nel lungo periodo, la memoria analizza le variazioni del clima ondoso rilevate alla boa ondometrica della rete R.O.N. al largo di Ancona in due finestre temporali successive.

### Opere foranee di difesa dei litorali

Le opere di difesa dei litorali sono realizzate con lo scopo principale di ridurre l'energia del moto ondoso incidente attraverso la dissipazione per frangimento. Si riducono così sia l'energia nella zona di *swash* sia i valori estremi del *run-up* che rappresenta la componente critica dell'inondazione della spiaggia emersa e quindi dell'erosione delle dune e dei danni alle infrastrutture balneari. Le numerose prove sperimentali hanno dimostrato che la dissipazione di energia dipende, per le barriere foranee emerse, dalla quota di sommità della struttura (sommergenza), dalla larghezza dei varchi attraverso cui le onde si propagano per diffrazione e dalla permeabilità della struttura.

*Overlapping*, funzione della sommergenza e delle caratteristiche del moto ondoso (altezza e periodo dell'onda incidente), attiva le correnti di circolazione nell'area protetta dalle scogliere emerse con correnti di ritorno dirette verso il largo attraverso i varchi. L'effetto combinato della diffrazione e dell'*overlapping* determinano la formazione di salienti o tomboli in funzione della lunghezza dei setti di scogliera, delle larghezze dei varchi, della distanza da riva della barriera e della granulometria dei sedimenti. La formazione del tombolo riduce la qualità ambientale della spiaggia protetta perché favorisce il deposito delle frazioni fini dei sedimenti, lo specchio d'acqua rimane confinato in prossimità dei varchi dove si trovano subito profondità elevate rendendo pericolosa la balneazione. La pendenza della mantellata e la permeabilità determinano inoltre la riflessione delle onde verso mare e quindi l'approfondimento dei fondali al largo delle barriere emerse. In molte situazioni reali le scogliere emerse sostengono la spiaggia emersa diventando dei piccoli *reef*, le alte profondità lato mare rendono difficoltosi gli interventi di risanamento anche ambientale delle aree protette. La progettazione di un nuovo sistema di difesa con scogliere foranee emerse richiederebbe un'analisi dettagliata dei fattori sopra richiamati per evitare la formazione del tombolo e mantenere quindi una circolazione idrica efficiente. L'inconveniente più grave delle opere foranee rimane comunque lo spostamento dell'erosione sottoflutto prodotto ancora dalla diffrazione e dal gradiente di portata solida dovuto al deposito dei sedimenti nella zona protetta. L'erosione sottoflutto prodotta dai numerosi porti canali o foci fluviali armate presenti sulla costa (le cause dell'erosione sono molteplici e ben descritte nei piani di difesa e di gestione della costa dell'Emilia Romagna delle Marche e dell'Abruzzo) è stata contenuta all'inizio con pochi setti di scogliere emerse che sono diventate nel corso del '900 oltre 150 km sulle regioni Adriatiche: si insegue l'erosione sottoflutto con la costruzione di nuovi setti (es. a nord del porto di Rimini, di Fano, di Senigallia, di Pescara, ecc.).

Con tale sviluppo, la ricerca in ambito costiero ha affrontato le criticità riscontrate nell'applicazione delle scogliere foranee emerse attraverso due approcci principali. Nel primo approccio si sperimentano strutture prefabbricate in c.a. di diversa forma e caratteristiche, ma con lo scopo principale di sopperire all'esaurirsi delle cave di prestito dei massi naturali e di aumentare la permeabilità della struttura. Quest'ultimo aspetto, favorendo una migliore circolazione idrodinamica, dovrebbe evitare il deposito dei limi e permettere il passaggio delle sabbie (le sperimentazioni sono effettuate su litorali sabbiosi). Strutture in c.a. di tipo permeabile sono state realizzate lungo i litorali marchigiani: le barriere in elementi prefabbricati incrociati realizzate dall'ente Ferrovie dello Stato nel litorale di Fontespina di Civitanova Marche (MC) negli anni '60-'70 (Fig. 1a) e le barriere

“Ferran”, in elementi prefabbricati composti da pali verticali infissi e stelle a tre punte in superficie (Cipriani et al., 1984), realizzati in due distinti interventi nella spiaggia di Porto Recanati (MC) negli anni '80 (Fig. 1b). I due interventi con le barriere “Ferran” sono ancora funzionanti, i dissesti che alcuni pali hanno subito sono dovuti all'insufficiente sezione resistente ed alla limitata lunghezza di infissione dei pali.

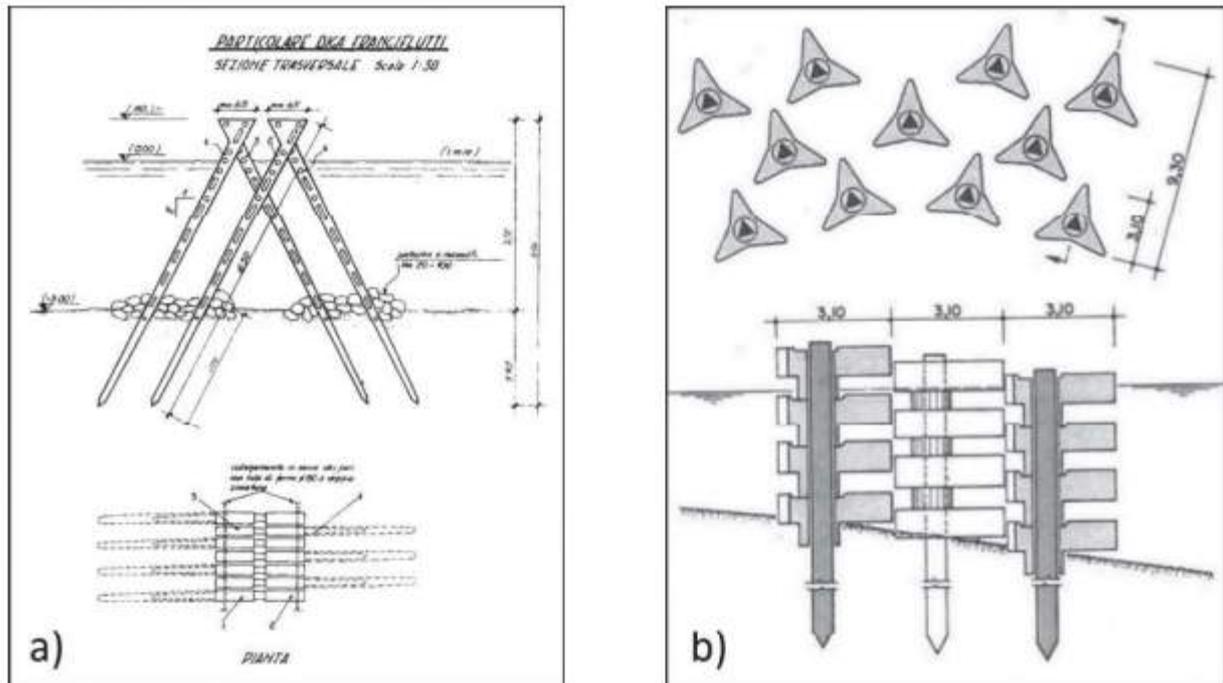


Figura 1. Schemi di pianta e sezione di: a) barriera permeabile in elementi prefabbricati realizzata sull'arenile di Fontespina di Civitanova Marche (MC); b) barriere c.d. Ferran realizzate sul litorale di Porto Recanati (MC)

L'altro approccio, molto più importante per le numerose applicazioni, sperimentazioni, studi e progetti di ricerca effettuati, è quello dell'introduzione delle barriere foranee sommerse, la cui quota di sommità viene portata sotto il livello medio del mare. In genere, si tratta ancora di scogliere (vedi Fig. 2a). Lo scopo è quello di dissipare solo l'energia delle onde più alte attraverso il frangimento sulla berma e la mantellata mantenendo quindi una circolazione idrodinamica più attiva con le onde non frangenti. Le prime applicazioni, con larghezza della berma insufficiente, evidenziano forti erosioni lato terra delle strutture, il frangente prodotto sopra la berma defluisce a cascata nella parte interna con formazioni di grandi fosse di erosione. La larghezza della berma pari a 3 m nelle prime opere viene portata a 10+14 m nelle successive realizzazioni riducendo significativamente il problema. Grandi erosioni si evidenziano nei varchi e nelle testate, non si formano tomboli ma l'effetto sottoflutto è comunque presente anche se più attenuato rispetto alle barriere foranee emerse.

Le numerose sperimentazioni effettuate nei laboratori marittimi in Italia ed all'estero contribuiscono a chiarire il funzionamento delle barriere emerse e sommerse (*Low-Crested Structures*) come riassunto da Burcharth et al. (2007). Le prime sperimentazioni sulle barriere sommerse si concentrano sulla fisica delle onde e sulla modifica degli spettri delle onde incidenti, l'energia dello spettro incidente viene trasferita per effetto della barriera alle alte frequenze (Liberatore e Petti, 1992), il fenomeno è più evidente per le onde lunghe, la barriera riduce il periodo delle onde trasmesse, non è chiaro il ruolo giocato dalla permeabilità delle strutture. Successivamente le sperimentazioni su canale si concentrano sulla determinazione del coefficiente di trasmissione e sul *piling up* (Ruol et al., 2004) che risulta fondamentale per capire la circolazione idrodinamica prodotta da una serie di barriere sommerse foranee. Il complesso sistema delle due circolazioni idriche, primaria e secondaria con la formazione di forti correnti di *rip* attraverso i varchi, viene individuato e chiarito, come schematizzato nella Fig. 2b e approfondito in Lorenzoni et al. (2005).

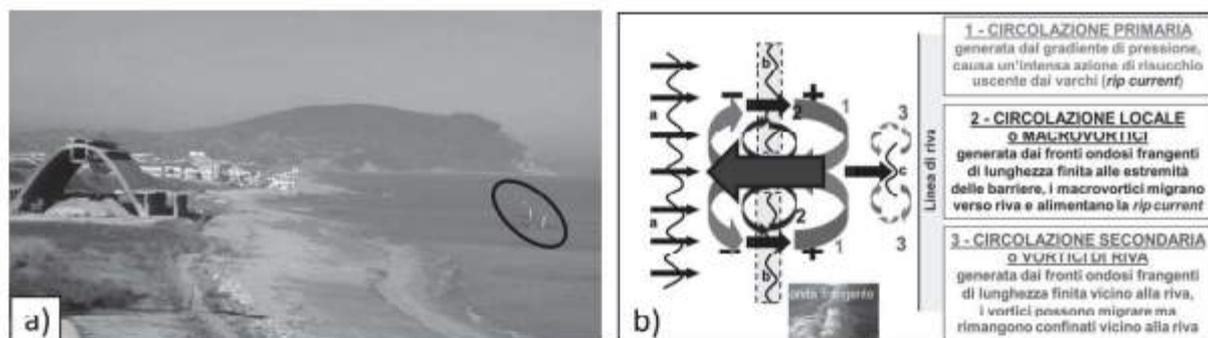


Figura 2. Litorale di Scossicci di Porto Recanati con indicata la scogliera sommersa realizzata a partire dalla primavera del 1983, con i pali di segnalazione in sostituzione degli originali isolotti in scogli (a); circolazione idrodinamica con barriere sommersa in batteria (b), schema modificato da Haller et al. (1997)

La sopraelevazione del livello medio mare nella zona protetta lato costa alle barriere dipende dall'altezza e dal periodo dell'onda incidente, dalla sommergenza, dalla profondità dell'acqua, dalla larghezza della berma e dal diametro medio dei massi che formano la struttura. Le correnti di *rip* attraverso i varchi sono molto pericolose per i bagnanti, in tratti di costa difesi da scogliere sommerse si sono verificati anche alcuni incidenti mortali in occasione di mareggiate intense. Le forti erosioni verificatesi in molti casi, in corrispondenza delle testate, viene correlata alla formazione di vorticità prodotta dalla differenza di frangimento alle estremità della scogliera. La vorticità a grande scala prodotta dal frangimento intensifica la circolazione idrodinamica dietro le barriere. Il fattore che comunque riduce maggiormente l'efficacia di un sistema di difesa con barriere foranee sommerse è la sopraelevazione del livello marino (*storm surge*) che si verifica in occasione di particolari mareggiate. Nell'Adriatico i massimi valori di *storm surge* si verificano per mareggiate provenienti da est-sudest, manifestandosi con dislivelli dell'ordine di 0.80+1.30m. Aumentando la sommergenza, aumenta l'energia ondosa trasmessa verso la spiaggia. Il coefficiente di trasmissione  $K_t$  (rapporto tra altezze dell'onda incidente e di quella trasmessa) dipende infatti dalla sommergenza, dall'altezza e dal periodo dell'onda incidente, dalla larghezza della berma, dal diametro dei massi e dalla profondità a cui è posta la struttura (Van der Meer et al. 2005; Buccino e Calabrese, 2007; Cappiotti et al., 2009). La combinazione di scarsa protezione a cui risulta soggetta la spiaggia durante le mareggiate più intense (la frequenza dei fenomeni di *storm surge* sembra aumentata in frequenza e altezza) e di effetti negativi prodotti dalla circolazione idrodinamica (erosioni localizzate nelle testate e nei varchi, trasmissione elevata con *storm surge*, ecc.) non è stata in grado di assicurare risultati sempre positivi nelle applicazioni delle strutture sommerse nella difesa dei litorali. Le maggiori criticità si sono avute quando le barriere sommerse sono state realizzate abbassando alcune scogliere emerse preesistenti: il comportamento idrodinamico delle due tipologie, emerse e sommerse, è molto diverso e quindi la progettazione richiederebbe distanza dalla riva e larghezza dei varchi diverse nei due casi.

### Soluzioni non tradizionali o soluzioni alternative di protezione

Le criticità di tipo ambientale dovute sia alle difese con scogliere foranee emerse (bassa qualità di acqua e sedimenti nella zona protetta, spostamento sottoflutto dell'erosione, ecc.) e sia nella difesa con opere sommerse (erosioni localizzate, forti correnti di *rip*, debole dissipazione dell'energia ondosa con *storm surge*) hanno indirizzato la ricerca verso soluzioni alternative. Si può pensare di adottare sistemi di protezione costiera alternativi che lavorino su altri fenomeni dissipativi diversi da quello del frangimento ondoso (Postacchini et al., 2011).

Tra le soluzioni per il sistema di difesa del litorale, vi sono quelle che ipotizzano una dissipazione graduale dell'energia ondosa in sostituzione del frangimento repentino sulle opere, al fine di evitare il fenomeno del *piling up* ed attivare una circolazione idrodinamica con le correnti dirette verso riva.

Le particolari barriere longitudinali foranee sommerse costituite da lame rigide verticali o inclinate verso il largo, come proposto da Nobuoka et al. (2000) offrono un esempio di questo tipo. Questo sistema, comunque di non facile ingegnerizzazione nella realtà prototipale, è stato oggetto di prove sperimentali su modelli fisici in scala ridotta, sia in Giappone che in Italia, nel Laboratorio di Idraulica e Costruzioni marittime dell'Università Politecnica delle Marche, Ancona (Lorenzoni et al., 2010), fornendo esiti incoraggianti per molte delle

condizioni ondose testate. Il sistema, essendo in grado di generare macrovortici ad asse orizzontale con verso alternato, a seconda del passaggio di cavo e cresta ondosa, sulla sommità delle lame, ha fornito, risultati positivi sul dislivello idrico nella zona protetta con un sovrizzo di trascurabile entità o addirittura un abbassamento, attivando la riduzione o l'inversione del verso della corrente di ritorno attraverso i varchi tra le barriere contigue (Fig. 3a). Rimangono non risolte le problematiche legate alla stabilità delle lame ed allo *storm surge*.

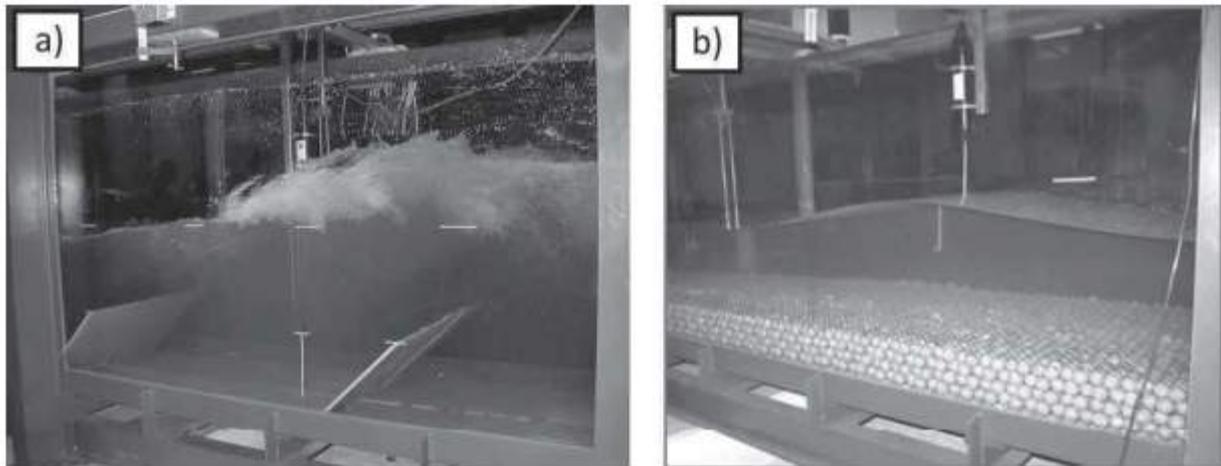


Figura 3. Fasi delle prove sperimentali su modello fisico in scala ridotta nella canaletta per onde del sistema di difesa sommerso a lame rigide inclinate verso il largo (a) e di un tratto di fondale permeabile (b)

La dissipazione graduale dell'energia delle onde può essere attivata in presenza di fondali scabri ed assorbenti, naturali o artificiali, che consentono di sfruttare i contributi dissipativi dell'attrito di fondo (Piatella e Mancinelli, 2006) e le dissipazioni che si instaurano all'interno del mezzo poroso (Corvaro *et al.*, 2010, 2014), producendo forti riduzioni dell'altezza d'onda anche in assenza del frangimento. Le prove sperimentali effettuate con fondale permeabile hanno fornito risultati sicuramente positivi sull'efficacia di tali sistemi sulla dissipazione dell'energia ondosa (Fig. 3b), si è infatti osservata una riduzione dell'altezza d'onda incidente comparabile con quella prodotta dalle tradizionali barriere sommerse, a parità di volume di materiale impiegato. Tali studi possono ritenersi propedeutici alla progettazione di isole sommerse in cui sia possibile sfruttare la permeabilità e la scabrezza del fondo per attenuare gradualmente l'energia ondosa. Negli ultimi anni le amministrazioni competenti e gli operatori turistici hanno realizzato numerosi interventi di difesa delle spiagge di tipo provvisorio e temporaneo, da utilizzare durante le stagioni invernali e da rimuovere dalla spiaggia in prossimità della stagione estiva. A partire dalla fine del secolo scorso, lungo le spiagge centro-settentrionali dell'Adriatico italiano, si usano realizzare, in autunno, delle dune artificiali

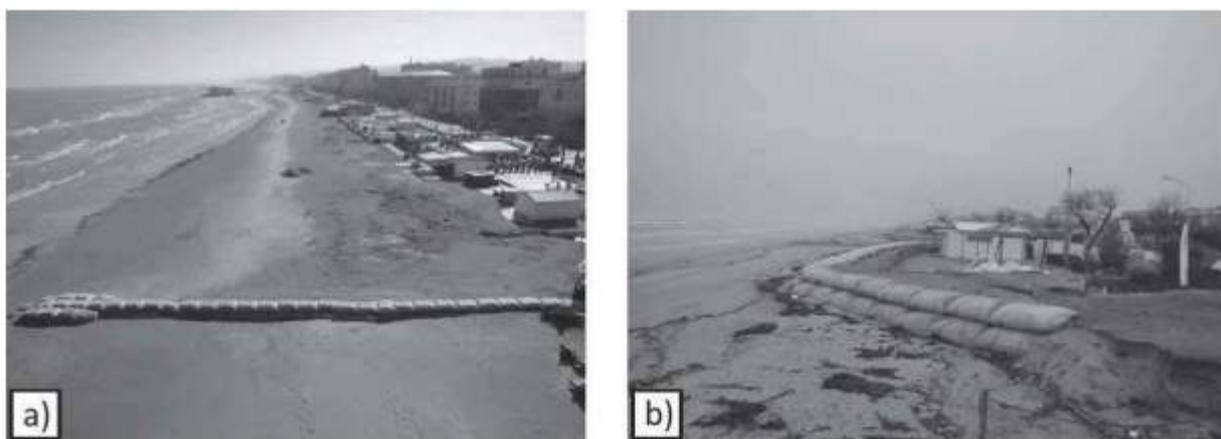


Figura 4. Applicazioni di un pennello (a) e di una barriera radente (b) realizzate sul litorale di Senigallia (AN) con geocentonitori a forma di sacchi in geotessuto riempiti di sabbia

mediante il semplice accumulo del sedimento della spiaggia stessa, in modo da costituire una protezione provvisoria delle strutture balneari e/o di quelle presenti sulla spiaggia. In via sperimentale, nel litorale di Senigallia (AN), su iniziativa del locale Comune, sono state realizzate delle opere di tipo provvisorio, in particolare un pennello ed una barriera radente, costituiti da sacchi di geotessuto, riempiti di sabbia sfruttando quella presente nella spiaggia stessa. Il geotessuto, di cui sono costituiti i sacchi, ha caratteristiche tecniche tali da resistere a qualsiasi atto vandalico e di contenere efficacemente la sabbia di riempimento con perdite praticamente nulle (Fig. 4).

Tale sistema di protezione è risultato di estrema efficacia, versatilità e facilità di impiego, a partire dalle semplici operazioni di riempimento e del relativo svuotamento in prossimità della stagione. Un altro vantaggio dei geocontenitori è che, una volta vuotati, essi possono essere facilmente rimossi e depositati. Questo tipo di intervento ha avuto un forte successo, infatti è stato riproposto nelle successive stagioni invernali, anche a protezione temporanea di diversi altri tratti di litorale.

### Fattori meteomarini

La complessità della progettazione di un sistema di difesa della costa è incrementata dalle variazioni dei parametri ambientali nel breve e nel lungo periodo. Le previsioni sull'innalzamento del livello del mare sembrano convergere a valori di notevole rischio, in tempi relativamente brevi, soprattutto per l'Adriatico settentrionale.

Ciò comporterà una serie di adeguamenti delle strutture di protezione esistenti da prevedere e progettare sin da ora. Nel breve periodo si è registrata, nell'Adriatico, una variazione dell'intensità e della frequenza degli eventi estremi di moto ondoso, l'analisi che segue evidenzia questo fenomeno.

Relativamente alle misure ondometriche nel Mare Adriatico centrale, si dispone dei rilievi della Rete ondometrica nazionale (R.O.N.) dalla stazione di misura della boa posta al largo di Ancona in due distinti periodi pluriennali di funzionamento degli ultimi decenni: prima finestra temporale di durata di 7 anni fra il marzo 1999 ed il marzo 2006 e seconda finestra temporale di durata di 4 anni fra il dicembre 2009 ed il novembre 2013.

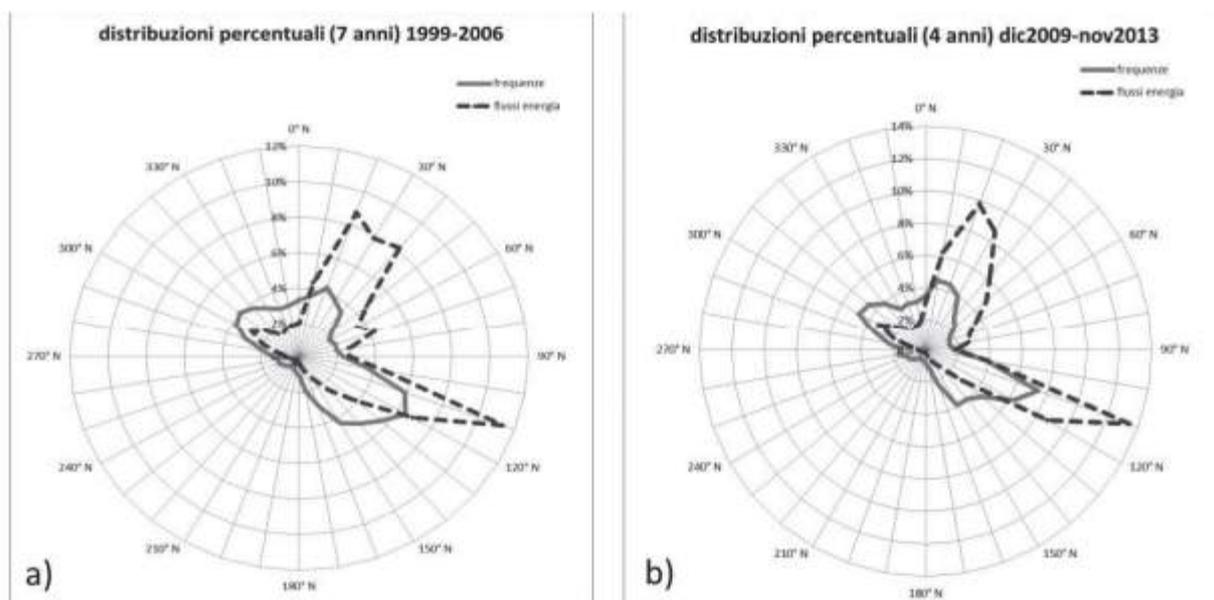


Figura 5. Distribuzioni direzionali percentuali della frequenza e del flusso di energia per metro di lunghezza di cresta delle onde registrate dalla stazione di misura ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona nei 2 periodi di funzionamento di 7 anni dal marzo 1999 al marzo 2006 (a) e di 4 anni dal dicembre 2009 al novembre 2013 (b)

Dal loro confronto, evidenziato dai grafici della Figura 5 e della Figura 6, si rileva, nonostante l'esiguità del periodo di osservazione, che il regime ondoso direzionale medio si è mantenuto sostanzialmente

invariato nelle due finestre temporali, sia in frequenza che in flusso di energia, mentre, sembra che l'altezza ondosa media delle stagioni con mareggiate più intense (invernali) si sia evoluta verso un progressivo aumento: in 3 dei 5 inverni più recenti (secondo periodo temporale) sono stati superati i valori massimi mensili dei 7 inverni precedenti (primo periodo temporale). Anche la frequenza degli eventi ondosi più intensi (mareggiate), mostra una progressiva tendenza all'intensificazione. Infatti, nel periodo temporale più recente (dicembre 2009-novembre 2013) si sono verificati 612 eventi di mareggiata in cui le onde hanno superato il metro di altezza d'onda significativa (cioè, mediamente, ben 153 all'anno), mentre nel primo periodo (marzo 1999-marzo 2006) se ne contarono 497 (cioè 71 all'anno).

Così proseguendo l'analisi, essa mostra che nel periodo temporale più recente si sono contati 115 eventi in cui l'altezza d'onda ha superato i 2m di valore significativo (cioè 28,75 all'anno), 35 eventi con picchi superiori ai 3m (8,75 all'anno), 9 eventi con picchi superiori a 4m (2,25 all'anno) e 5 volte superiori ai 5m di altezza d'onda significativa (1,25 all'anno). In confronto, nel primo periodo temporale gli eventi superiori ai 2m erano stati 133 (19 all'anno), 37 superiori ai 3m (circa 5,3 all'anno), 5 superiori ai 4m (circa 0,7 all'anno) e 2 volte superiori ai 5m (circa 0,3 all'anno). In definitiva, limitatamente ai soli periodi di monitoraggio che è stato possibile analizzare, la frequenza degli eventi di mareggiata più intensi sembrano essersi all'incirca raddoppiati. Limitatamente ai periodi analizzati, le misure ondametrische a disposizione sul Mare Adriatico, mostrano come il regime ondoso marino stia subendo una progressiva evoluzione, che sembra portare ad una intensificazione soprattutto degli eventi ondosi più intensi, anche se tale variazione risulta molto altalenante e poco stabile, quindi non ci sono conferme che si tratti di un processo di cambiamento climatico generale in atto, soprattutto per la carenza di misure prolungate.

Per quanto riguarda i fenomeni dello *storm surge* si può citare, a titolo di esempio, un evento verificatosi di recente nel Medio Adriatico. La notte fra il 5 ed il 6 febbraio 2015, per effetto di una circolazione ciclonica con bassa pressione centrata sulle coste tirreniche centro-meridionali, l'Adriatico è stato interessato da importanti venti sciroccali, che hanno alimentato una notevole mareggiata accompagnata da un notevole ingorgo da vento, soprattutto lungo le coste fra il Medio e l'Alto Adriatico. Il mareografo di Ancona della Rete mareografica Nazionale (R.M.N., vedi ISPRA, 2015) ha mostrato, in corrispondenza con il passaggio del minimo barometrico, fra le ore 1:00 e 3:00 del mattino del giorno 6, un sovrizzo superficiale oltre il metro di dislivello, piuttosto elevato ed inconsueto per il paraggio in questione (si veda la Fig. 7). Se questi cambiamenti del regime delle onde saranno confermati nel prossimo futuro sarà necessario adeguare i sistemi di difesa esistenti e/o ricorrere alle difese provvisorie in modo più sistematico utilizzando materiali idonei a questo tipo di intervento.

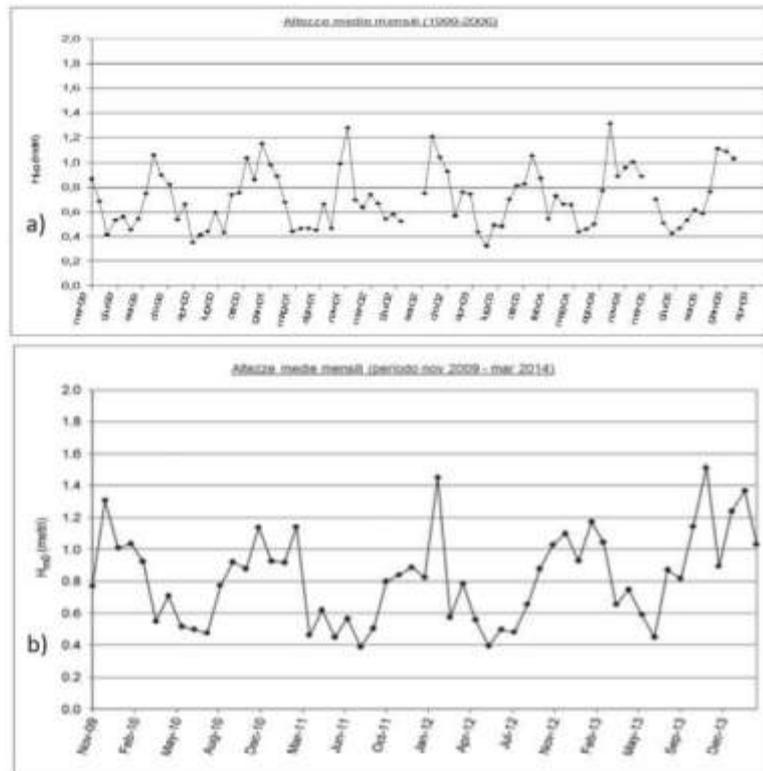


Figura 6. Andamento cronologico dei valori dell'altezza d'onda significativa media mensile rilevati dalla boa ondometrica della R.O.N. al largo di Ancona nei due periodi di funzionamento dal marzo 1999 al marzo 2006 (a) e dal novembre 2009 al marzo 2014 (b).

### Conclusioni

L'ampia diffusione delle scogliere foranee emerse nella costa adriatica ha posto notevoli problemi ambientali. La ricerca di soluzioni che eliminassero le criticità legate all'utilizzo delle difese emerse ha portato principalmente all'utilizzo di scogliere sommerse. Tali opere hanno prodotto dei benefici, ma introdotto nuove problematiche. Tali questioni sono state affrontate approfonditamente nelle numerose ricerche analitico-sperimentali che consentono oggi di avere strumenti più adeguati per affrontare la progettazione di tali sistemi di difesa. Qualsiasi trasformazione delle opere foranee esistenti (da emerse a sommerse o viceversa) richiede un'analisi dettagliata di tutti i fattori in gioco (tracimazione, trasmissione, sovrizzo del livello superficiale, ecc.) per ottimizzare il risultato. Negli ultimi anni si sono ricercati sistemi alternativi di dissipazione dell'energia ondosa, sfruttando la permeabilità e la scabrezza. L'ingegnerizzazione di tali sistemi è ancora carente, l'unica possibilità sarebbe quella di formare delle isole ecologiche in cui si sfruttino le macroscabrezze e la permeabilità per dissipare gradualmente l'energia ondosa. I cambiamenti climatici sembrano indurre variazioni anche nel breve periodo, come risulta dall'analisi dei dati ondametrici al largo di Ancona. Tutto ciò induce gli operatori economici ad optare per sistemi di difesa provvisori, da utilizzare d'inverno, per contrastare i fenomeni di allagamento della spiaggia emersa forniti da livelli eccezionali di *storm surge*.

### Bibliografia

- Burcharth H. F., Hawkins S. J., Zanuttigh, B., Lamberti, A. (2007) - Environmental design guidelines for low crested coastal structures, Elsevier, Oxford, U.K., pp. 448.
- Buccino M., and Calabrese M. (2007) - Conceptual approach for prediction of wave transmission at low-crested breakwaters, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 133: 213–224.
- Cappietti L., Aminti P.L.; Gironella X., Arcilla A.S. (2009) - Large and Small Scale experiments on wave transmission at submerged wide-crested breakwaters, *Proc. 31st International Conference Coastal Engineering, ASCE.*, Stolberg Zillekens, pp. 323-330.
- Cipriani M., Mancinelli A. e Vitale A. (1984) - Strutture in elementi prefabbricati per la difesa delle spiagge: risultati sperimentali conseguiti con l'impiego della barriera frangiflutti nell'arenile di Porto Recanati (Macerata) e considerazioni sul dimensionamento di tali strutture, XIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Pavia, C-22, pp. 1-11.

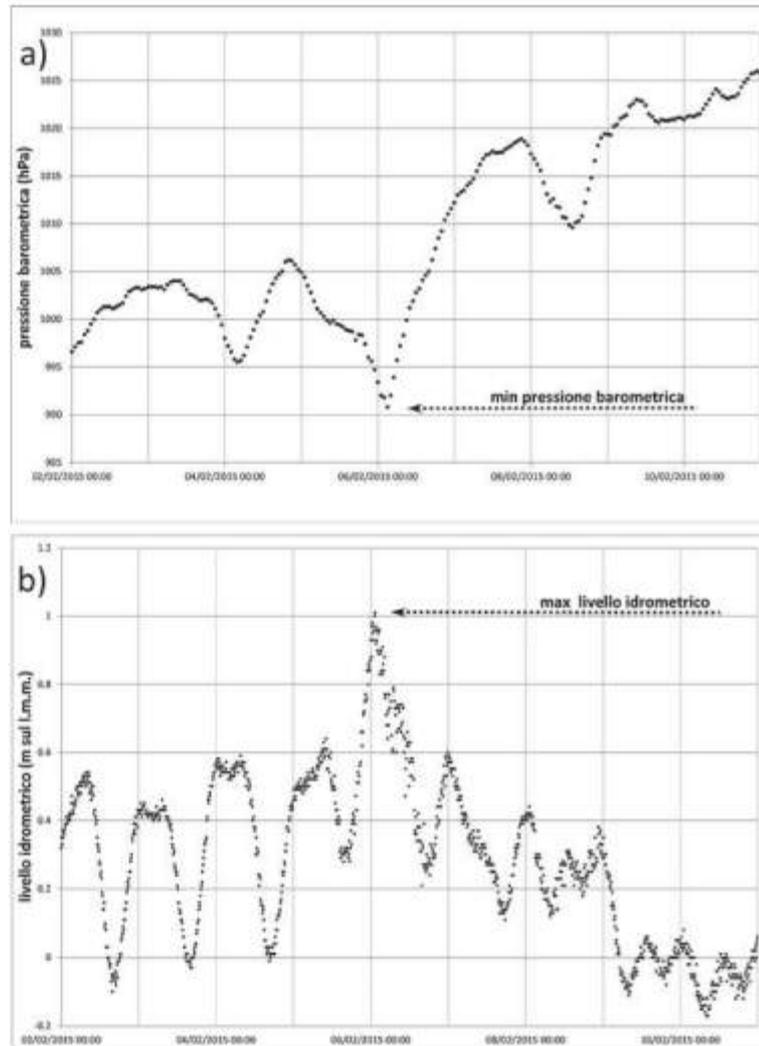


Figura 7. Andamento cronologico delle misure di pressione barometrica (a) e del livello idrometrico superficiale (b) rilevate alla stazione di misura di Ancona della Rete Mareografica Nazionale nel periodo dal 2 al 10 febbraio 2015 con il fenomeno di sovrizzo del livello medio superficiale del 5-6 febbraio 2015.

- Corvaro S., Mancinelli A., Brocchini M., Seta E. e Lorenzoni C. (2010): On the wave damping due to a permeable seabed, *Coastal Engineering*, Elsevier, volume 57: 1029-1041.
- Corvaro S., Seta E., Mancinelli A. e Brocchini, M. (2014): Flow dynamics on a porous medium, *Coastal Engineering*, Vol. 91, 280-298.
- ISPRA (2015) - Rete mareografica nazionale (RMN), [www.mareografico.it](http://www.mareografico.it).
- Haller M.C., Dalrymple R.A., Svendsen I.A. (1997) - Rip channels and nearshore circulation, *Proceedings of Coastal Dynamics'97*, ASCE, 1, 594-603.
- Liberatore G., Petti M. (1992) - Wave transformations over a submerged bar: experiments and theoretical interpretations, *Proc. of 23rd International Conference Coastal Engineering*, ASCE., vol. 1, pp. 447-459.
- Lorenzoni C., Piattella A., Soldini L., Mancinelli A. e Brocchini M. (2005) - An experimental investigation of the hydrodynamic circulation in the presence of submerged breakwaters, *Proceedings of the Fifth International Symposium WAVES 2005*, Madrid, 3-7 July 2005, CD-ROM.
- Lorenzoni C., Soldini L., Brocchini M., Mancinelli A., Postacchini M., Seta E. e Corvaro S. (2010) - Working of defence coastal structures dissipating by macro-roughness, *Journal of Waterways Port Coastal and Ocean Engineering*, 136: 79-90.
- Nobuoka H., Irie I., Kato H. e Mimura N. (1996) - Regulation of nearshore circulation by submerged breakwater for shore protection, *Proceedings of the 25th International Conference of Coastal Engineering*, Orlando, Florida, 2394-2403.
- Piattella A. e Mancinelli A. (2006) - Idrodinamica costiera generata da strutture dissipative, *Atti del 30° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, IDRA 2006, Roma, CD-ROM.
- Postacchini M., Brocchini M., Corvaro S., Lorenzoni C. e Mancinelli A. (2011) - Comparative analysis of sea wave dissipation induced by three flow mechanisms, *Journal of Hydraulic Research*, 49: 554-561.
- Ruol P., Faedo A., Paris A. (2004) - Prove sperimentali sul comportamento di una scogliera a cresta bassa e sul fenomeno del piling-up a tergo di essa, *Studi Costieri*, 7, 41-59.
- Van der Meer J. W., Briganti R., Zanuttigh B., Wang B. (2005) - Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change, *Coastal Eng.*, 52, 915-929.

**Ricevuto il 04/08/2016; accettato il 9/02/2017**

## Peculiarità dell'area marina antistante il Monte Conero

Elisa Punzo, Fabio Grati, Alessandra Spagnolo, Gianna Fabi

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Istituto di Scienze Marine (ISMAR),  
Largo Fiera della Pesca, 1 – 60125 Ancona

### Riassunto

La fascia costiera del Conero rappresenta il più rilevante tratto di costa rocciosa presente tra Venezia e il Promontorio del Gargano.

L'area è influenzata dalle acque continentali provenienti dai fiumi del Nord che ne condizionano le dinamiche fisiche e chimiche e i processi biologici. Da un punto di vista geomorfologico tutta la costa è una falesia costituita da formazioni calcaree e marnose-arenacee lungo la quale si alternano promontori e piccole baie. I fondali sono caratterizzati dalla presenza di numerosi affioramenti rocciosi intervallati a conche sabbiose.

Sui fondali rocciosi fino a 6 m di profondità si rinvencono due biocenosi principali: la "Biocenosi Fotofila della Roccia Infralitorale Superiore in Moda Calma senza dominanza di uno strato di *Fucales*" e la "Biocenosi Fotofila della Roccia Infralitorale Superiore in Moda Calma con dominanza di *Cystoseira*". Oltre i 6 m si ritrovano fondamentalmente due popolamenti: uno dominato dal mitilo con una scarsa presenza algale e l'altro, in cui il mitilo è assente, dominato da altri organismi filtratori, come antozoi e policheti sedentari.

Sui fondi mobili domina la biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate fino ai 10 m di profondità, mentre oltre i 10 m sono presenti specie legate ad un certo grado di infangamento e tipiche della biocenosi dei Fondi Mobili Instabili.

Grazie all'elevata eterogeneità dei fondali la fauna neotonica è molto diversificata, includendo specie tipiche di fondi sabbio-fangosi con organismi di substrato duro. Nell'area sono presenti alcune Specie di Interesse Comunitario per la conservazione della biodiversità e degli habitat naturali, come *Palinurus elephas* e *Homarus gammarus*.

**Parole chiave:** Geomorfologia, Biocenosi, Popolamento ittico, Mare Adriatico

### Abstract

Conero Promontory represents the only location from Venice to Gargano Promontory with a steep cliff coast. The area is influenced by continuous input of organic material from rivers discharge, especially from the Po River. These waters are an important source of nutrients, favouring primary and secondary production in the ecosystem and affecting physical and chemical dynamics as well as biological processes.

From a geomorphological point of view, the Conero cliffs are made of a succession of stratified marine sedimentary rocks, mostly marls and limestones. The seabed is characterised by numerous rocky outcrops interspersed with sandy depressions.

Two main biocenosis characterise the rocky bottoms up to 6 m depth: "Biocenosis of photophilic upper infralittoral rock community in calm waters without *Fucales*" and "Biocenosis of photophilic upper infralittoral rock community in calm waters with *Cystoseira*". Over 6 m depth two assemblages of species are present: the first is dominated by mussels with low presence of algae whereas the second, where mussels are absent, is dominated by other filter feeder organisms, such as anthozoans and sedentary polychaetes.

*On mobile bottoms, the 'Biocenosis of well-sorted fine sand' dominates up to 10 m depth, while the 'Biocenosis of unstable soft bottoms' predominates over 10 m depth.*

*The high seabed heterogeneity in the area favours diversification of fish assemblages, comprising species that are typical of sandy-muddy bottoms together with those representative of hard substrates. Finally, in this area some species of Community interest have been recorded, such as the spiny lobster *Palinurus elephas* and the common lobster *Homarus gammarus*.*

**Key words:** *marine area, geomorphology, biocenosis, fish assemblages, Adriatic Sea*

### Introduzione

In questo lavoro si riportano i risultati delle indagini condotte nell'area antistante il Promontorio del Conero e finalizzate a fornire un quadro dettagliato dell'area, prendendo in considerazione i diversi aspetti che la caratterizzano, dal punto di vista geologico e geomorfologico a quello oceanografico e biologico, per l'eventuale istituzione dell'Area Marina Protetta "Costa del Monte Conero" da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

### Area di studio

La fascia costiera del Conero costituisce il più rilevante tratto di costa rocciosa presente tra Venezia e il Promontorio del Gargano, e il Monte Conero, arrestando la lineare e sabbiosa costa adriatica, va a costituire il più importante promontorio italiano dell'Adriatico insieme a quello del Gargano assumendo un importante significato ecologico lungo tutta la costa.

L'area è influenzata dalla circolazione generale del bacino adriatico, con due correnti dominanti: una diretta verso Nord lungo le coste dell'Albania e della Croazia e l'altra verso Sud lungo la costa italiana con caratteristiche idrologiche diverse (Russo e Artegiani, 1996; Cushman-Roisin et al, 2001). La corrente che scorre verso Sud, trasporta le acque continentali provenienti dai fiumi del Nord, in particolare dal Po, mescolate alle acque marine costiere (Marini et al, 2008). Queste acque continentali condizionano le dinamiche fisiche e chimiche e i processi biologici dell'area in esame. La zona, infatti, è caratterizzata da ampie variazioni dei parametri fisici e da una grande instabilità idrologica ed è

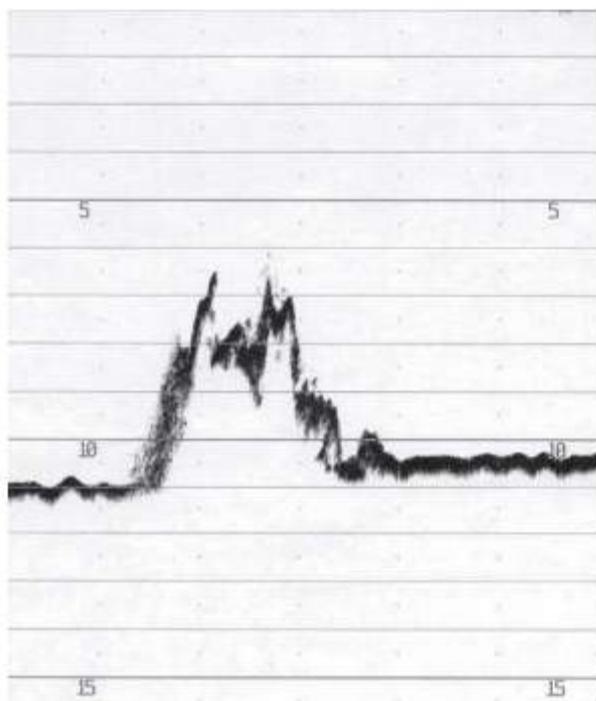


Figure 1 e 2. Lo scoglio del Trave in un profilo batimetrico eseguito con ecoscandaglio idrografico e in una immagine subacquea.

sede di acque diluite di origine fluviale che influenzano le concentrazioni di nutrienti e i processi di assimilazione e rigenerazione associati (Zavatarelli et al, 1998; Marini et al, 2000) soprattutto in inverno e primavera (Artegiani et al, 1993). Di conseguenza, i parametri fisici e chimici sono soggetti a una forte stagionalità, con valori massimi di nutrienti in inverno e in superficie e inferiori in estate lungo tutta la colonna d'acqua, sia per il minore apporto fluviale, sia per la maggior presenza di popolamenti fitoplanctonici in questa stagione.

Da un punto di vista geomorfologico tutta la costa è una falesia costituita da formazioni calcaree e marnose-arenacee lungo la quale si alternano promontori e piccole baie. Alla base dei promontori sono presenti piccole spiagge costituite da ciottoli, blocchi e/o brecce a spigoli vivi, mentre le baie sono caratterizzate da "pocket beaches" con materiali più fini ma raramente sabbiose (Ciabatti e Curzi, 2003).

Il litorale può essere suddiviso in 5 tratti principali. La zona da Ancona allo scoglio del Trave è caratterizzata da rocce a picco sul mare con pendii ripidissimi con scarsa vegetazione e numerosi scogli localizzati a circa 200-250 m dalla linea di costa. La zona compresa tra lo scoglio del Trave e Portonovo, più a Sud, presenta un'ampia falciatura con falesia ripida. Caratteristico è lo scoglio del Trave, un complesso di strati calcarenitici inclinati a 40-45° a SSO (Fig. 1). Il tratto di Portonovo deve la sua attuale fisionomia a seguito di una grande frana preistorica staccatasi dalle pendici del Monte Conero che, insieme alle correnti e al moto ondoso, ha portato alla formazione di due insenature successivamente colmate in parte da detriti. Nelle zone rimaste scoperte sono presenti due laghetti salmastri denominati Lago Profondo e Lago a Mare. Tra Portonovo e Numana la costa si presenta ripida sino a Sirolo, a volte subverticale, con rari scogli isolati. Infine, da Numana alla foce del Musone la costa è invece poco elevata e ricca di vegetazione, con una spiaggia sabbioso-ghiaiosa.

Anche da un punto di vista geologico la costa presenta una notevole diversità, passando dalla cosiddetta "Scaglia rossa" presente nella zona delle "Due Sorelle", alla "Maiolica" della Spiaggia degli Schiavi, alle marne e marne argillose presenti nella spiaggia di Mezzavalle, alle argille marnose dello scoglio del Trave.

Il modellamento della falesia dipende da diverse fattori, tra i quali la litologia delle rocce affioranti, l'erosibilità sotto gli effetti delle piogge e delle acque dilavanti, la franosità e l'azione del moto ondoso.

L'elevata franosità è principalmente causata dall'erosione operata dal mare alla base delle pareti rocciose. I tipi di frana variano in funzione delle caratteristiche geotecniche delle varie unità rocciose e si possono distinguere principalmente frane di crollo e colate o scivolamenti.

Anche nella parte marina l'area del Conero presenta una buona diversità da un punto di vista geologico, mostrando differenti tipi di spiagge: dalla spiaggia emersa con sabbie molto grossolane e ghiaie fini e molto fini della spiaggia Urbani e dei Sassi neri, fino ad arrivare a quella con ghiaie medio-fini di Mezzavalle.

I fondali sono caratterizzati dalla presenza di numerosi affioramenti rocciosi, generalmente disposti parallelamente alla costa e intervallati a conche sabbiose aventi larghezza di alcune decine di centimetri. Assieme a queste formazioni sono presenti vere e proprie secche rocciose, come ad esempio la "Secca dei Bianconi" e la "Secca della Madonna". Notevole importanza riveste anche lo "Scoglio del Trave" caratterizzato da pareti verticali alte 9-10 metri che scendono a picco fino al fondo (Fig. 2).

### Biocenosi

Da un punto di vista biocenotico, per quanto riguarda i fondi duri, fino a 6 m di profondità si evidenzia la presenza di due biocenosi principali. La prima è la "Biocenosi Fotofila della Roccia Infralitorale Superiore in Moda Calma senza dominanza di uno strato di *Fucales*", caratterizzata dalla presenza di facies con dominanza di specie quali l'alga *Dichthyota dichotoma*. Specie caratteristica di questo popolamento è *Mytilus galloprovincialis*. L'altra è la "Biocenosi Fotofila della Roccia Infralitorale Superiore in Moda Calma con dominanza di *Cystoseira*" (Fig. 3) associata a una abbondante presenza di mitili (*M. galloprovincialis*), che arrivano a formare coperture spesso del 100%.

Caratteristica dell'area marina del Conero è anche l'associazione composta dal mitilo e dall'alga *Ulvetum rigidae*, situazione molto particolare legata al livello trofico tipico dell'Adriatico centro-settentrionale e caratterizzata da una copertura dei mitili fino al 100%.

Oltre i 6 m di profondità, invece, si ritrovano fondamentalmente due popolamenti: uno dominato dal mitilo con una scarsa presenza algale e l'altro, in cui il mitilo è assente, dominato da organismi filtratori, come gli antozoi *Anemonia viridis* e *A. sulcata* e il polichete *Spirographis spallanzanii* (Fig. 4)

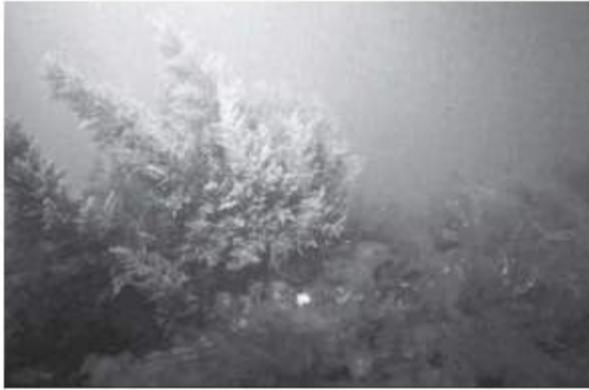


Figure 3 e 4. Popolamento a *Cystoseira* e *Ulva rigida* (3) e a spirografi (4).

Importante da segnalare è la presenza presso la Secca dei Bianconi, situata prima del Trave, di numerose colonie di *Cladocora caespitosa*, un madreporario di notevole importanza ecologica che può arrivare a costruire vere e proprie scogliere di origine biologica.

Altre specie da evidenziare sono il dattero bianco *Pholas dactylus* e il dattero di mare *Lithophaga lithophaga*, quest'ultimo spesso associato a *P. dactylus* sebbene presente in quantitativi notevolmente inferiori. *P. dactylus* è un organismo perforatore che scava fori in rocce tenere calcaree e marnose (Fig. 5) ed è molto apprezzato per le sue qualità organolettiche, anche se è meno noto del dattero di mare, con il quale ha in comune il comportamento fossorio su substrati duri (Roeder, 1977; Savazzi, 1982; Bombace et al., 1995a). Entrambe sono specie di interesse comunitario e sono considerate "vulnerabili" dallo IUCN (International Union for Conservation of Nature) e inserite sia nella Convenzione di Berna (19/09/1979), che prevede la protezione di determinate specie e degli habitat da esse occupate, che nel protocollo ASPIM (Convenzione di Barcellona per il Mar Mediterraneo, 1995) relativo alle Aree Specialmente Protette e alla Biodiversità nel Mediterraneo. Il prelievo, la detenzione, la commercializzazione e il consumo di questi bivalvi sono vietati dal 1988 (D.M. del 20/08/1988 e successive proroghe del 02/08/1990, 07/08/1992, 14/09/1994, 26/09/1996, 16/10/1998; Reg. CE 1967/2006), in quanto la loro raccolta comporta la distruzione dei substrati rocciosi naturali e la conseguente degradazione dell'ambiente marino subacqueo. Nonostante ciò, la pesca illegale di queste specie viene tuttora effettuata in alcune aree a causa del loro elevato valore commerciale. *P. dactylus* ha un accrescimento più rapido rispetto a *L. lithophaga*, raggiungendo in Adriatico centrale una taglia di 50,0 mm LC in circa 30 mesi. Studi condotti in Adriatico centro-settentrionale (Bombace et al., 1995a; 1995b; Fabi e Fiorentini, 1997; Fabi et al., 2001; Fabi e Spagnolo, 2001a; 2001b; Punzo, 2011) hanno dimostrato che blocchi artificiali in composto cenere di carbone



Figura 5. Tane di esemplari selvatici di *P. dactylus* sulle rocce sommerse del Promontorio del Conero.

sono idonei alla colonizzazione da parte di *P. dactylus*, le cui larve si insediano e crescono spontaneamente sui moduli senza alcuna manipolazione da parte dell'uomo, evidenziando la possibilità di iniziative di allevamento estensivo di questa specie.

Per quanto concerne i fondi mobili, i dati raccolti hanno evidenziato nell'area la coesistenza di diverse biocenosi. Fino ai 10 m di profondità la biocenosi dominante è quella delle "Sabbie Fini Ben Calibrate", caratterizzata dalla presenza della lumachina di mare *Nassarius mutabilis*, del paguro *Diogenes pugilator* e della vongola comune *Chamelea gallina*. Alle isobate più profonde (oltre i 10 m) è possibile osservare la comparsa di specie legate a un certo grado di infangamento, come il bivalve *Corbula gibba* e lo scafopode *Anthalis inaequicostata*, specie tipiche della biocenosi dei "Fondi Mobili Instabili".

L'area è anche vulnerabile all'introduzione di specie alloctone conseguente all'intensificazione dei traffici marittimi, in particolare con l'Oriente, lungo il Canale di Suez. Ne rappresentano un esempio i bilvalvi *Scapharca inaequivalvis* e *Rapana venosa*, entrambe specie di origine asiatica insediate stabilmente nell'area ormai da tempo (Ghisotti, 1972; Rinaldi, 1972; Ghisotti e Rinaldi, 1976) e *Scapharca demiri* e *Lomentaria hakodatensis*, specie provenienti dal Mare della Cina (Morello e Solustri, 2001).

Grazie all'elevata eterogeneità dei fondali il popolamento ittico assume caratteristiche peculiari derivanti dalla coesistenza di specie bentoniche tipiche di fondi sabbio-fangosi come la triglia di fango, *Mullus barbatus*, e la sogliola, *Solea solea*, e la seppia, *Sepia officinalis*, con specie bentoniche e necto-bentoniche di substrato duro (es.: *Parablennius rouxi*, *P. gattorugine*, *Scorpaena porcus*, *Octopus vulgaris*, *Homarus gammarus*, *Sciaena umbra*, *Umbrina cirrosa*, *Diplodus* spp.) e specie pelagiche (es.: *Mugil cephalus*, *Liza* spp., *Sarda sarda*, *Scomber* spp., *Oblada melanura*, *Seriola dumerilii*).

Le pozze di scogliera rappresentano un ambiente peculiare perché costituite da cavità più o meno ampie e di profondità variabile, che si riempiono di acqua saltuariamente in funzione del moto ondoso e della marea. Tali cavità sono popolate da una fauna particolare in grado di sopportare variazioni notevoli di temperatura, pH e salinità come i blennidi *Microlipophrys adriaticus*, *Salaria pavo*, *P. incognitus* e il gobide *Gobius cobitis*. Alcune delle specie rinvenute nel corso delle indagini sono Specie di Interesse Comunitario per la conservazione della biodiversità e degli habitat naturali, come *Palinurus elephas* e *H. gammarus* sono specie rigorosamente protette dalla Convenzione di Berna. Tra tutte le specie censite 11 non erano mai state segnalate nell'area: *Raja asterias*, *P. rouxi*, *P. incognitus*, *Ophidion barbatum*, *Labrus merula*, *M. adriaticus*, *Dasyatis pastinaca*, *S. sarda*, *Pomatomus saltatrix*, *Pagellus bogaraveo* e *Hippocampus ramulosus*.

Infine, all'interno dell'area sono presenti due Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e una Zona di Protezione Speciale (ZPS), quest'ultima finalizzata al mantenimento di idonei habitat per la conservazione e gestione delle popolazioni di uccelli selvatici migratori.

## Bibliografia

- Artegiani A., Gacic M., Michelato A., Kovacevic V., Russo A., Paschini E., Scarazzato P. e Smircic A. (1993) - *The Adriatic Sea hydrography and circulation in spring and autumn (1985-1987)*. Deep-sea Research II, 40: 1143-1180.
- Bombace G., Fabi G. e Fiorentini L. (1995a) - *Osservazioni sull'insediamento e l'accrescimento di Pholas dactylus L. (Bivalvia, Pholadidae) su substrati artificiali*. Biologia Marina Mediterranea, 2: 143-150.
- Bombace G., Fabi G. e Fiorentini L. (1995b) - *Artificial reefs and mariculture: the Italian experiences*. ECOSET '95 Proceedings, II: 830-835.
- Ciabatti M. e Curzi P.V. (2003) - *Caratteri geologici, geomorfologici e sedimentologici dell'area costiera del Monte Conero*. pp.3-18, In: Fabi G., Marini M., Palladino S. (Ed). L'area marina antistante il Promontorio del Monte Conero. Quaderni dell'Istituto Ricerche Pesca Marittima, Ancona, Nuova Serie. pp.139.
- Cushman-Roisin B., Gačić M., Poulain P.M. e Artegiani A. (2001) - *Physical Oceanography of the Adriatic Sea: Past, Present and Future*. Springer Ed., New York. pp.304.
- Fabi G. e Fiorentini L. (1997) - *Molluscan aquaculture on reefs*. pp.123-140, In: Jensen A.C. (Ed.) European Artificial Reef Research - Proceedings of the I EARRN Conference. University of Southampton, Southampton, UK.
- Fabi G. e Spagnolo A. (2001a) - *Artificial reefs and mariculture*. pp.91-98, In: Coimbra J. (Ed.). Modern Aquaculture in the Coastal Zone. NATO Science Series: Series A: Life Sciences. Vol. 314. IOS Press, Nieuwe Hemweg 6B Amsterdam 1013 BG The Netherlands.

- Fabi G. e Spagnolo A. (2001b) - *Le barriere artificiali*. pp.454-466, In: Cataudella S., Bronzi P. (Eds.), *Acquacoltura responsabile - verso le produzioni acquatiche del terzo millennio*. Unimar Uniprom, Roma.
- Fabi G., Panfili M., Solustri C. e Spagnolo A. (2001) - *Osservazioni sulla fauna bentonica rinvenuta nei fori scavati da *Pholas dactylus* (Bivalvia, Pholadidae) in substrati artificiali*. *Biologia Marina Mediterranea*, 8: 271-274.
- Ghisotti F. (1972) - *Rinvenimenti malacologici nel Mediterraneo*. *Conchiglie*, 8: 20-21.
- Ghisotti F. e Rinaldi E. (1976) - *Osservazioni sulla popolazione di *Scapharca insediatasi* in questi ultimi anni su un tratto del litorale romagnolo*. *Conchiglie*, 12: 183-195.
- Marini M., Jones B.H., Campanelli A., Grilli F. e Lee C.M. (2008) - *Seasonal variability and Po River plume influence on biochemical properties along western Adriatic coast*. *Journal of Geophysical Research*, 113, C05S90.
- Marini M., Totti C. e Artegiani A. (2000) - *Variazioni interannuali del livello di eutrofizzazione lungo un transetto posto all'altezza di Senigallia (Adriatico settentrionale): 1988-1994*. *Atti Associazione Italiana Oceanologia e Limnologia*, 13: 333-341.
- Morello E., Solustri C. (2001) - *First record of *Anadara demiri* (Piani, 1981) (Bivalvia: Arcidae) in Italian waters*. *Bollettino Malacologico*, 37: 231-234.
- Punzo E. (2011) - *Sperimentazione di moduli artificiali per l'allevamento di *Pholas dactylus* (Bivalvia, Pholadidae) in medio Adriatico*. Tesi di Laurea. Università Politecnica delle Marche. 118 pp.
- Rinaldi E. (1972) - *Osservazioni relative a molluschi appartenenti al genere *Anadara* viventi in Adriatico*. *Conchiglie*, 8: 121-124.
- Roeder H. (1977) - *Zur Beziehung zwischen Konstruktion und Substrat bei mechanisch bohrenden Bohrschalen (Pholadidae, Teredinidae)*. *Senckenb. Marit.*, 9(3-4): 105-213.
- Russo A., Artegiani A. (1996) - *Adriatic Sea hydrography*. *Scientia Marina*, 60: 33-43.
- Savazzi E. (1982) - *Adaptation to tube dwelling in the Bivalvia*. *Lethaia*, 15: 275-297.
- Zavatarelli M., Raicich F. Bregant D., Russo A., Artegiani A. (1998) - *Climatological biogeochemical characteristics of the Adriatic Sea*. *Journal of Marine Systems*, 18: 227-263.

**Ricevuto il 13/05/2016; accettato il 17/07/2016**

## Realizzazione di modelli digitali topo-batimetrici da drone

Irene Mammì<sup>1</sup>, Lorenzo Rossi<sup>1,2</sup>, Giovanni Vitale<sup>1</sup>, Antonio Zeoli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze,

<sup>2</sup>GeoCoste S.n.c.,

<sup>3</sup>Officina Tecnica S.r.l.

### Riassunto

Il presente lavoro costituisce una sperimentazione di rilievo combinato di spiaggia, topografico e batimetrico, attraverso l'utilizzo di immagini da fotocamera da drone e rilievo GPS.

Il rilievo, il DSM (Modello Digitale della Superficie) e l'ortofoto della zona di interesse sono stati realizzati applicando la tecnica fotogrammetrica su foto aeree di prossimità (bassa quota) acquisite mediante un Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto. I singoli fotogrammi vengono ortorettificati seguendo la procedura della triangolazione aerea di un blocco di immagini che ricostruisce l'orientamento interno ed esterno della presa e utilizzano un modello digitale del terreno ottimizzato iterativamente per le correzioni delle deformazioni dovute alla morfologia del territorio. Il modello è stato quindi scalato e georiferito tramite punti di appoggio acquisiti contemporaneamente e nella stessa area con GPS.

La validità di questo sistema di acquisizione è stata testata confrontandolo con il modello digitale della spiaggia emersa e dei fondali ottenuto con rilievo GPS RTK unito ad un rilievo single-beam per la parte idrografica. La comparazione è stata effettuata calcolando le differenze in quota tra il rilievo da drone ed i punti acquisiti tramite rilievo tradizionale prima sul DEM originale e poi su una versione ottimizzata.

**Parole chiave:** Drone, Rilievo topo-batimetrico, Fotogrammetria

### Abstract

*This study describes a new test for combined topo-bathymetric beach survey, using drone camera images and GPS. A photogrammetric technique on low altitude aerial photos acquired through an Unmanned Aerial Vehicle. Survey was applied in order to obtain survey DSM (Digital Surface Model) and orthophotos in the area of interest. The camera was especially modified through filters in order to obtain a greater penetration into the water. The acquired images were further processed to fix deformation errors in the air-water passage. The model was then scaled and georeferenced through the support of ground control points acquired simultaneously in the same area with GPS on land and with a single beam echo-sounder in the submerged area. The validity of this acquisition system has been tested, comparing it to a digital model of the dry beach and the nearshore that had been obtained in a single-beam/RTKGPS combined survey. For this comparison, height differences between the drone survey and points acquired through traditional survey were calculated, considering the original elevation model and the control points optimized version.*

**Key words:** Drone, UAV, topo-bathymetric survey, photogrammetry, remote sensing

### Introduzione

La mappatura superficiale del fondo marino risulta di fondamentale importanza per la comprensione dei processi sedimentologici come il trasporto dei sedimenti e la distribuzione ed estensione degli habitat bentonici (Dartnell e Gardner, 2004).

I metodi geofisici, ed in particolare quelli acustici, sono ampiamente utilizzati per lo studio e il monitoraggio delle aree marine e costiere (Morang et al., 1997). L'impossibilità di acquisire omogeneamente dati nella fascia di transizione da fondali profondi a poco profondi e nella zona intertidale rappresenta senza dubbio la maggiore limitazione nell'impiego di strumenti acustici tradizionali.

A tal scopo, sono spesso associati a rilievi classici single beam e multibeam i rilievi da remoto come quello LIDAR e multispettrale (Lyzenga, 1985). Entrambe le tecnologie di telerilevamento presentano diversi svantaggi: nel caso del LIDAR batimetrico, ad esempio, la densità e la profondità di campionamento è in funzione della torbidità delle acque, mentre il tasso di copertura è limitato dall'altezza del velivolo e dall'angolo di apertura con il quale lo scanner opera (Lyzenga, 1985), mentre le immagini satellitari multispettrali non forniscono ancora l'accuratezza richiesta.

L'acquisizione di superfici e l'elaborazione di DSM (Digital Surface Model) ad alta risoluzione è stata dominata, fino a poco tempo fa, dall'uso del LIDAR terrestre e batimetrico e da ecoscandagli multi fascio (Haala e Rothermel, 2012). Oggi invece, l'introduzione dei sistemi Sistemi a Pilotaggio Remoto (SAPR) e i diversi sensori associati forniscono un nuovo potente strumento per il monitoraggio costiero degli habitat e per la mitigazione di aree sottoposte a dissesto (Lomax et al., 2005).

I SAPR sono sistemi a basso costo e facilmente trasportabili che, utilizzando la tecnica fotogrammetrica, permettono di acquisire dati territoriali in tempi rapidi e a basso costo.

L'utilizzo combinato delle nuove tecnologie presenti oggi in commercio permette un'integrazione nell'ambito del monitoraggio costiero consentendo di valutare con maggior dettaglio e da differenti prospettive le informazioni delle aree indagate.

Un rilievo eseguito mediante Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto, SAPR si compone in una preliminare pianificazione del volo, nell'acquisizione delle immagini ad una quota funzione della risoluzione a terra richiesta ed infine nella creazione di un DSM.

Nel marzo 2015 è stata effettuata, dalla società GeoCoste snc per conto di FUGRO Spa, un'indagine finalizzata alla progettazione del percorso per utenze telefoniche sottomarine di SubCom LLC.

L'area di studio è una piccola baia di 300 m di lunghezza fortemente antropizzata e ubicata in località San Giorgio a sud di Bari. E' caratterizzata da una spiaggia di sabbia grossolana e dalla presenza di affioramenti rocciosi anche nella spiaggia sommersa. Lo studio fa parte di una indagine più ampia per l'approdo di un cavo sottomarino (Fig. 1).



Figura 1. Tratto di costa interessato dal rilievo.

### Materiali e Metodi

Il principale obiettivo del lavoro riguarda l'integrazione di due metodologie: il rilievo da drone e quello batimetrico mediante *single beam*, al fine di arrivare ad ottimizzazione nell'esecuzione dei rilievi idrografici in acque molto basse.

Per il rilievo topo-batimetrico, il DSM (Modello Digitale della Superficie) e l'ortofoto ad alta risoluzione della zona di interesse sono stati realizzati applicando una tecnica fotogrammetrica su foto aeree di prossimità (bassa quota) acquisite mediante un SAPR.

Il SAPR utilizzato (drone) è un velivolo a sei rotori a propulsione elettrica equipaggiato con un sistema automatico di stabilizzazione, un GPS, un "camera mount" stabilizzato per fotocamera ed un ecoscandaglio di precisione. Il sistema di guida prevede sia il completo controllo dell'operatore a terra che la navigazione autonoma su rotte pre-impostate.

In questo lavoro sono stati effettuati tre voli a quote diverse (30, 50, e 80 m) con transetti in direzioni perpendicolari (NS, EW e NS). Insieme al rilievo aereo, sono stati acquisiti dei GCP (Ground Control Point) marini per la georeferenziazione e la creazione del DTM batimetrico. Questo è stato possibile avvicinando il drone alla superficie del mare in modo che l'ecoscandaglio si immergesse di circa 30 cm e rilevasse il punto. I singoli fotogrammi sono stati ortorettificati seguendo la procedura della triangolazione aerea di un blocco di immagini che ricostruisce l'orientamento interno ed esterno della presa e utilizzando un modello digitale del terreno ottimizzato iterativamente per le correzioni delle deformazioni dovute alla morfologia del territorio. Grazie all'utilizzo dei parametri di assetto del velivolo acquisiti dalla IMU/GPS di bordo e l'inserimento dei GCP (sia terrestri che marini) sono stati eliminati gli effetti dovuti alla distorsione della lente e all'orientamento della macchina fotografica.

Le fasi di elaborazione sono state: allineamento scatti, generazione mesh triangolari e modello digitale del terreno (5 x 5 cm), estrazione curve di livello ed orto rettifica, creazione del mosaico georeferenziato delle ortofoto. (Fig. 2).



Figura 2. DEM topo-batimetrico con curve di livello ottenuto da rilievo con drone.

L'accuratezza del modello ottenuto è evidenziata dalla distribuzione dell'errore nelle tre coordinate, calcolato come differenza fra i valori rilevati a terra con rilievo GPS RTK dei punti di controllo e la posizione stimata

dal processo di estrazione del modello digitale. In Tabella 1 sono riportati i valori ottenuti per i soli punti a terra utilizzati per il processo di *scaling* e georeferenziazione.

N°	X/EAST	Y/NORTH	Z	X_ERROR	Y_ERROR	Z_ERROR
point_1	2763911.36	3996847	0.35	0.079511	-0.081956	-0.01648
point_2	2763891.66	3996837	1.47	0.050812	0.051949	0.018196
point_3	2763820.4	3996845	1.79	-0.041808	-0.00663	-0.096473
point_4	2763754.65	39968506	1.14	-0.00174	0.026209	0.01611
point_5	2763744.29	3996812	2.84	0.033239	-0.050176	-0.010212
point_6	2763823.64	3996844	1.6233	-0.005795	0.057851	-0.00654
point_7	2763880.32	3996837	1.5082	-0.121416	-0.016788	-0.002708
point_8	2763918.28	3996829	1.4766	0.016796	0.062863	0.019433
			<b>Total error</b>	<b>0.06122</b>	<b>0.054009</b>	<b>0.013312</b>

Tabella 1 – Stima dell'accuratezza nei punti di controllo a terra.

### Analisi dei dati e discussione

Il rilievo batimetrico da drone si è esteso fino a circa 4 m di profondità. La fotocamera è stata dotata di particolari filtri sulle frequenze del blu e del verde per una maggiore penetrazione in acqua e per l'utilizzo di diverse bande. Le immagini sono state quindi elaborate attraverso il software ENVI per evidenziare ulteriormente le forme di fondo. Sono state inoltre apportate modifiche per la correzione radiale e per la rifrazione aria-acqua. Il vantaggio della bassa quota di volo (50 m) rispetto alle immagini satellitari ha consentito inoltre di trascurare correzioni atmosferiche e di ottenere accuratèzze di ordine centimetrico. Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Agisoft PhotoScan ed alcuni applicativi proprietari. Ulteriori sviluppi del metodo prevedono estrazione di dati batimetrici da rapporti spettrali fra bande di immagini digitali nonché da semplici regressioni polinomiali che legano l'intensità del pixel alla profondità.

L'accuratezza del sistema di acquisizione da drone è stata testata confrontandolo con il modello digitale della spiaggia emersa e dei fondali ottenuto con rilievo GPS RTK unito ad un rilievo single-beam per la parte idrografica.

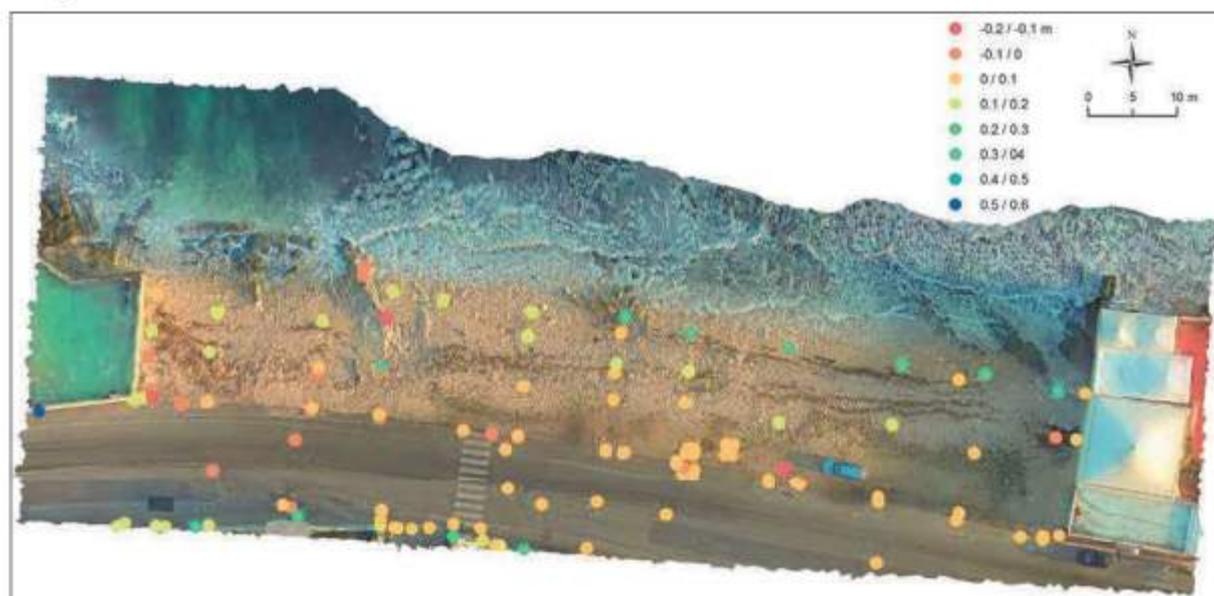


Figura 3. Differenze di quota fra i punti del DEM realizzato da drone e rilievo GPS su spiaggia emersa.

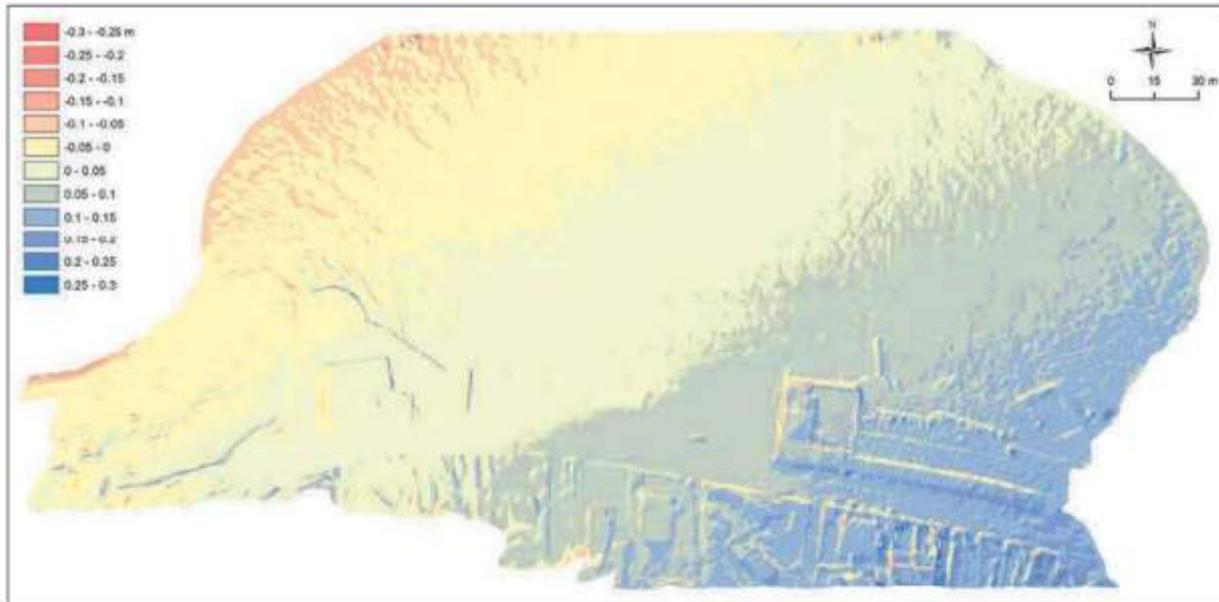


Figura 4. Differenze in quota fra il DEM ottenuto da drone e la sua versione corretta con punti di controllo.

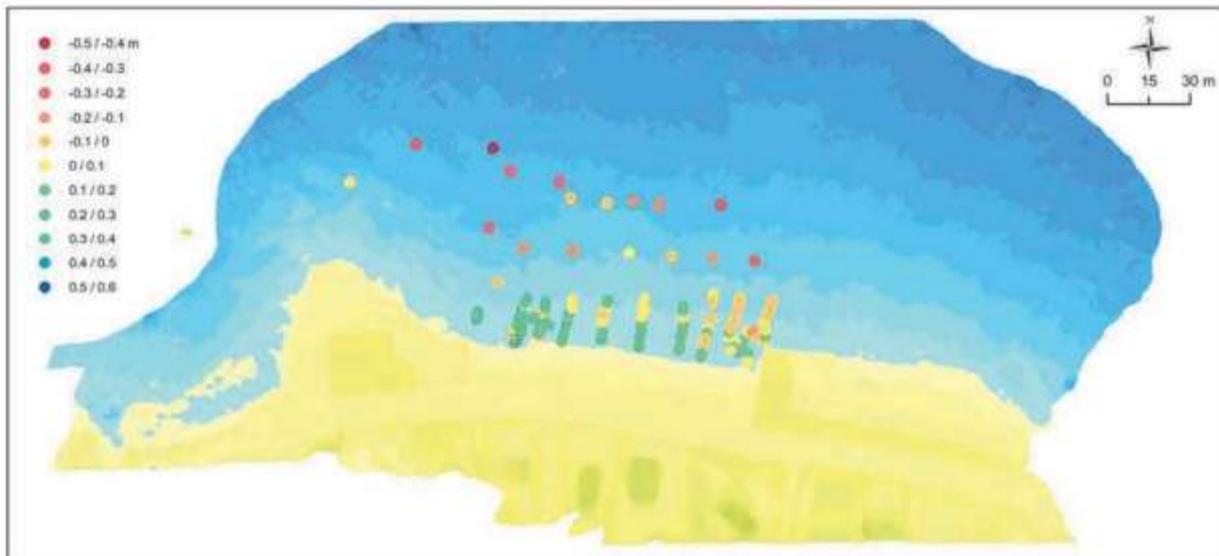


Figura 5. Differenze di quota fra i punti del DEM realizzato da drone, corretto con punti di controllo, e rilievo single-beam su spiaggia sommersa.

La comparazione è stata effettuata calcolando le differenze in quota tra il rilievo da drone ed i punti acquisiti tramite rilievo tradizionale, prima sul DEM originale e poi sulla versione ottimizzata calibrando il modello sia con dei GCP a terra che in mare. Considerando la sola spiaggia emersa, la differenza media tra i valori del modello DEM ottenuto da drone e il rilievo topografico, misurata su 126 punti, è pari a 8 cm, con un errore massimo di 52 cm (Fig. 3).

Per quanto riguarda la spiaggia sommersa, per ottenere delle differenze di ordine di grandezza accettabili bisogna considerare la versione calibrata con i GCP. Questa mostra variazioni fino a  $\pm 30$  cm rispetto all'originale (Fig. 4) nelle aree più lontane ai punti di controllo. In questo caso, calcolando le differenze in 127 punti sotto la quota zero ed entro la profondità di 2 m, si ottiene una differenza media di 16 cm ed una massima anche in questo caso di 52 cm (Fig. 5).

I confronti puntuali fra misure dirette topografiche e batimetriche e i DTM estrapolati da drone non sono da

ritenersi completamente indicativi a causa dell'elevata rugosità dei fondali dovuta alla loro natura sabbioso-rocciosa ed a quella ciottolosa della spiaggia emersa. Ovvero è difficile individuare dei punti di raffronto esatti.

### Conclusioni

La tecnica proposta offre notevoli vantaggi soprattutto in aree come quella in oggetto in cui un rilievo di dettaglio in acqua bassa non è ottenibile attraverso nessuna altra tecnologia. I risultati ottenuti mostrano un grado di accuratezza equiparabile ad un rilievo tradizionale. Tale vantaggio può essere sfruttato anche per creare DTM di alta precisione di strutture poco accessibili, come le dighe foranee o le scogliere parallele emerse e soffolte (Fig. 6).



Figura 6. Modello 3D di una scogliera parallela.



Figura 7. Ortofoto di un tratto di mare con plume di dragaggio.

Il rilievo batimetrico da drone permette inoltre di restituire mappe di pericolosità per la balneazione sia in coste alte che basse, identificando e mostrando la presenza di buche o scogli sommersi.

Attraverso le immagini da drone è possibile inoltre monitorare in tempo reale i *plume* di sedimento durante i dragaggi (Fig. 7); un campionamento diretto della torbidità permette di associare al colore del pixel un valore di riferimento. Altro campo di applicazione è quello della *beach litter*, dove i primi test hanno dato interessanti risultati.

### Bibliografia

- Dartnell P., Gardner J.V. (2004) - *Predicting Seafloor Facies from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70: 1081–1091.
- Haala N., Rothermel M. (2012) - *Dense Multi-Stereo Matching for High Quality Digital Elevation Models*. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 4: 331–344.
- Lizenga D.R. (1985) - *Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data*. Int. J. Remote Sensing, 1985: 115.125.
- Lomax A.S., Corso W., Etno J.F. (2005) - *Employing unmanned aerial vehicles (UAVs) as an element of the Integrated Ocean Observing System*. Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE. Vol. 1, pp 184-190.
- Morang A., Larson R., Gorman L. (1997) - *Monitoring the coastal environment; Part III; Geophysical and research methods*. Journal of Coastal Research, 13: 1064-1085.

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

## Difesa dei litorali e sicurezza della balneazione

Dario Giorgio Pezzini

Società Nazionale di Salvamento  
Via Luccoli 24/4 - 16123 Genova  
E-mail: dpezzini@alice.it; sede.nazionale@salvamento.it

### Riassunto

Tante sono le variabili che incidono sul fondale prospiciente una spiaggia (granulometria dei sedimenti, regime dell'onda, ampiezza della zona dei frangenti, ecc.). Sfortunatamente gli uomini hanno aggiunto del loro costruendo strutture artificiali per difendere le spiagge dall'erosione alterando il regime circolatorio in prossimità della battigia.

Questa zona del fondale è anche la zona dove la maggior parte delle persone fanno il bagno e dove accade la maggior parte degli annegamenti (il 90% degli incidenti si verificano entro 30 - 40 m dalla riva). Rispetto alla protezione della spiaggia, le strutture rigide non hanno sempre prodotto risultati esaltanti però, modificando il modello circolatorio delle acque nella zona del bagno hanno prodotto pericoli mortali per i bagnanti. In lunghi tratti delle coste italiane sono state artificialmente prodotte correnti di ritorno precedentemente assenti.

In nessun progetto per la difesa della costa mediante strutture rigide sono stati presi in considerazione i rischi e i costi della vita umana, monetariamente enormi, eticamente incommensurabili. Su circa 50 casi di annegamento dovuti alle correnti di ritorno ogni estate, in Italia, 15 - 20 casi sono provocati da strutture artificiali.

**Parole chiave:** correnti di ritorno, strutture rigide, annegamenti

### Abstract

*The variables affecting the sea bottom in the nearshore are numerous (sediment size, wave regime, breaker and surf zone amplitudes, etc.). Unfortunately men have added their own variables by building hard structures to defend beaches from erosion, thus altering circulation in the nearshore. The nearshore is also the "bathing zone", where most people bathe and where drowning accidents are more numerous (90% of accidents occur within 30 - 40 m from the shore). As to beach protection, hard structures have not always produced efficient outcomes, but, as it modifies the circulatory model in the bathing zone, they have been even too successful in causing lethal danger to swimmers. In long portions of the Italian seashore, natural rip currents used to be absent but can now be observed as they have been artificially created.*

*Plans to defend beaches by means of hard structures have not considered the costs of human life. These costs – extremely high in monetary terms – are incommensurable from an ethical point of view. Every summer, from 15 to 20 people die in Italy due to artificial defence structures (out of near 50 drowning accidents caused by rip currents).*

**Key words:** rip currents, hard defence structures, drowning

### Gli annegamenti durante la balneazione

Le cause degli incidenti di annegamento sono numerose e possono essere raccolte in gruppi che identificano tre tipi di annegamento:

- *annegamento di non nuotatori:*<sup>1</sup> quando una vittima che non sa nuotare si trova improvvisamente in acqua profonda. In Italia questo tipo di annegamento riguarda circa la metà degli eventi;
- *annegamento improvviso:* per perdita di coscienza, dovuta ad un malore o in seguito ad un *incidente acquatico*,<sup>2</sup> che provoca la sommersione e il conseguente annegamento della vittima (circa il 10% degli eventi);
- *annegamento di nuotatori:* quando una vittima, pur sapendo nuotare, non riesce a tornare a riva perché la corrente o un altro ostacolo glielo impedisce trasformandola, con un processo caratteristico, in un non nuotatore incapace di reggersi a galla (circa il 40% degli eventi).

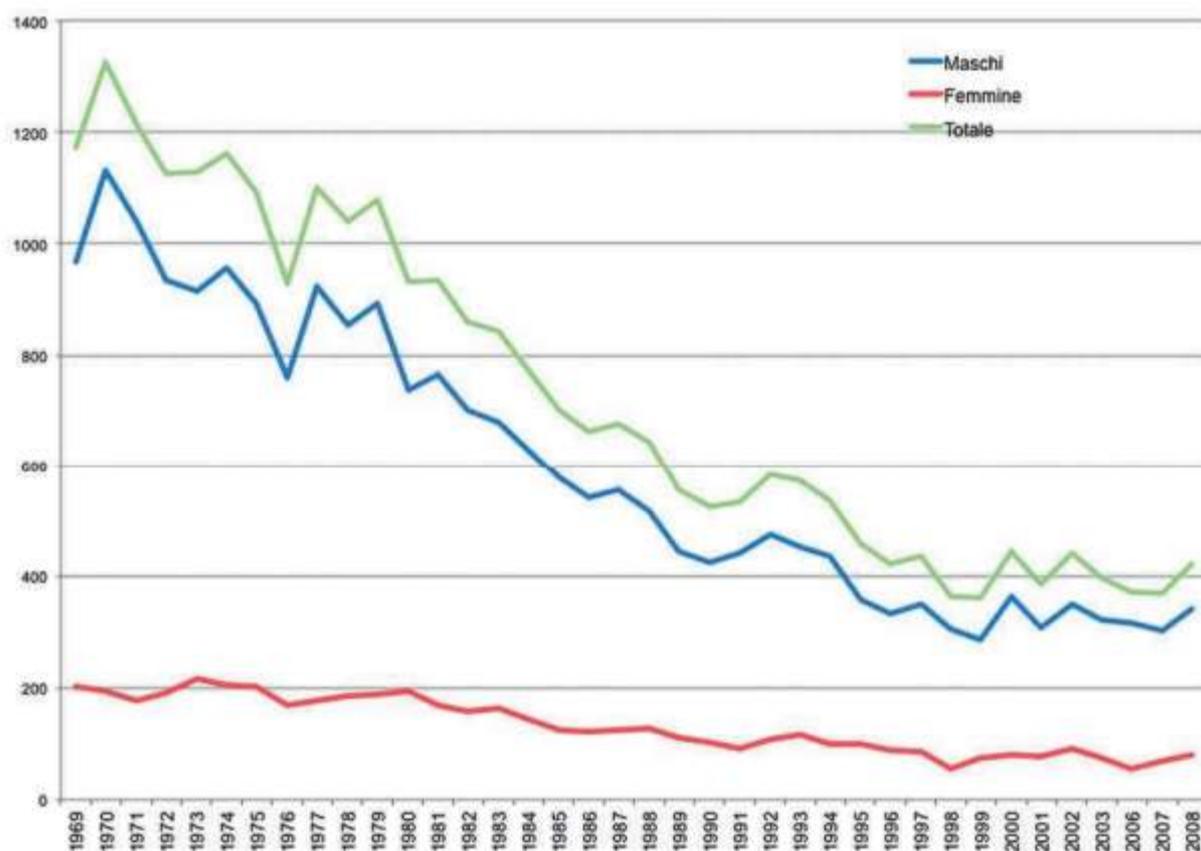


Figura 1. Andamenti della mortalità per annegamento in Italia (anni 1969 – 2007; da Funari e Giustini, 2011).

Nel primo tipo di annegamento la vittima è una persona che non sa nuotare, ma crede di fare il bagno o di tuffarsi in una zona sicura: fa il bagno, per esempio, vicino a riva ignorando la presenza di una buca o di un salto (*drop*), un dislivello improvviso nel fondale. Nella grande maggioranza dei casi si trova a brevissima distanza dalla *linea di sicurezza* (ovverosia dove si tocca), talvolta a meno di un metro! L'annegamento di un non-nuotatore, inoltre, è caratteristico dell'acqua ferma: sulla spiaggia è normalmente un incidente di mare calmo. Si tratta infatti di *vittime prudenti* che, solo per errore, si trovano in una situazione a loro fatale.

Il settore in cui questo tipo di incidente si verifica abitualmente è la *zona del bagno*, vicino alla riva. Nella fascia di mare adibita alla balneazione esistono tre settori distinti. Il primo è frequentato da *bagnanti*. *Fare il bagno* è una continuazione in acqua della vita terrestre (si sta in posizione verticale, coi piedi che toccano il fondo), ed è un'attività sociale: il bagnante è insieme ad altri bagnanti (bambini e genitori, nonni e nipoti, coppie, gruppi di amici, ecc.). La zona del bagno si estende fin dove i bagnanti (adulti) toccano e ospita la stragrande maggioranza delle persone che entrano in acqua (normalmente più del 90%). L'estensione di que-

<sup>1</sup>Non nuotatore" indica la persona non in grado di galleggiare, né di fare spostamenti minimi in acqua fonda.

<sup>2</sup>Gli incidenti acquatici (sincope per sbalzo termico, sincope per apnea prolungata, tuffo in acqua bassa, ipotermia) non sono dovuti alla crisi di una malattia di cui la vittima è affetta, ma ad un comportamento imprudente.

sto settore dipende dalla pendenza del fondale: su spiagge sabbiose a lento declivio può estendersi anche per cento o duecento metri, laddove su una spiaggia ripida può ridursi a una ventina di metri, e su una spiaggia molto ripida è di qualche metro soltanto. In questo settore (o in quello immediatamente limitrofo) si verifica la quasi totalità degli incidenti di annegamento.

Un secondo settore è la *zona dei nuotatori* dove l'acqua è profonda (ovverosia non si tocca) ed è frequentata solo da persone che nuotano con sicurezza. Sono frequenti i casi di nuotatori isolati. Questa zona si estende - diradandosi progressivamente i nuotatori - fino alle boe (i gavitelli rossi che segnalano in tutta Italia la zona riservata alla balneazione, normalmente collocati dai 100 ai 300 m dalla battigia). La *zona oltre le boe* costituisce un terzo settore, tra la spiaggia balneabile e il mare aperto, di cui non ci occuperemo. (Fig. 2)



Figura 2. Settori di balneazione.

Una sincope - la perdita di coscienza - in acqua è la causa di un secondo tipo di annegamento, chiamato *annegamento improvviso* perché la vittima scivola sott'acqua in silenzio in un tempo brevissimo, misurabile in secondi. In questo tipo di incidente la profondità o altre caratteristiche del fondale sono del tutto irrilevanti: basta un velo d'acqua per annegare una persona colpita da crisi epilettica o che ha impattato violentemente il fondo tuffandosi.

Una terza situazione, infine, è data da quei casi in cui la vittima - che sa nuotare ed è in buona salute - non riesce a tornare a riva perché è trascinato dalla corrente verso il mare aperto o perché un altro ostacolo (il vento di terra, gli scogli, una struttura artificiale) gli impedisce di recuperare la riva. Questi incidenti sono tipici della zona dei frangenti e, per lo più, si verificano col mare mosso, anche se questo incidente occorre molto più vicino alla riva di quanto si creda: il 90% dei casi si verifica entro i 30 - 40 m. dalla battigia.

Questo tipo di annegamento copre il 40% circa dei casi fatali. Il caso del "ritorno impedito", cioè quando un nuotatore si trova in difficoltà perché non riesce a tornare a riva rischiando di annegare, è, d'altra parte, la causa dei più frequenti salvataggi effettuati dai bagnini. In Italia, l'85% circa dei salvataggi (stimati in varie decine di migliaia per stagione balneare) viene effettuato perché un pericolante, pur sapendo nuotare, non riesce a recuperare la battigia con le proprie forze. Quasi sempre, l'ostacolo è una corrente di ritorno.

Il numero di incidenti mortali che si verificano su un litorale (cfr. Fig. 3) non dipende soltanto dalle caratteristiche morfologiche di un fondale - cioè dai pericoli oggettivi esistenti - bensì dal "rischio", cioè dall'esposizione al pericolo dei bagnanti.

Il *rischio balneare* dipende in pratica da tre ordini di fattori:

1) il modo in cui un pericolo viene vissuto - soggettivamente - da una vittima: l'acqua profonda è pericolosa soltanto per chi non sa nuotare; una debole corrente non mette in crisi un ottimo nuotatore, ma se inattesa crea difficoltà alla grande maggioranza dei bagnanti. La componente emotiva negli incidenti di annegamento è un dato fondamentale. Tutti questi fattori, di ordine culturale o psicologico, sono indicati come la *componente soggettiva del rischio*;

2) la frequenza degli utenti che è in grado di moltiplicare o di ridurre le *occasioni di annegamento* su una

spiaggia: una spiaggia deserta, inaccessibile, può anche essere oggettivamente molto pericolosa, ma non è a rischio di incidenti;

3) la probabilità di prevenire il pericolo: un compito che, in Italia, è affidato prevalentemente ai bagnini di salvataggio e ad altre, scarse, misure di prevenzione.

Tutti questi elementi devono essere presi in considerazione quando si analizza una spiaggia sotto il profilo del *rischio annegamento*.

### Le spiagge artificializzate

La nostra associazione (SNS) ha classificato le spiagge italiane in sei tipi sulla base di caratteristiche morfologiche e dei pericoli per la balneazione (Pezzini, 2012). A questi sei tipi fondamentali di spiaggia – dei quali non parleremo in questa occasione – si devono aggiungere le *spiagge artificializzate*. Queste indicano le spiagge dove sono presenti manufatti che, in Italia, sono prevalentemente in massi o cemento (moli, barriere parallele, pennelli ecc.) e che hanno per lo più lo scopo di proteggerle dall'erosione, ed è per questo che affrontiamo l'argomento in questo contesto. Queste strutture artificiali, *rigide*, saranno brevemente esaminate solo per la parte che ci compete: esse modificano i naturali meccanismi idraulici delle spiagge, il sistema delle correnti in prossimità della battigia e altri meccanismi circolatori provocando micidiali pericoli per i bagnanti. Non ci risulta, d'altra parte, che nella loro progettazione siano state presi in considerazione i costi provocati dalle eventuali vittime di annegamento, costi che non sono solo valutabili monetariamente e comunque ingenti ma anche, e soprattutto, in termini etici e morali incommensurabili. Circa un terzo degli annegamenti di "ritorno impedito" che accadono in Italia sono imputabili alla presenza di queste strutture rigide e lo scopo di queste pagine è la sensibilizzazione di chi progetta queste strutture. Tutti e sei i tipi di spiaggia possono essere *artificializzati*: strutture rigide sono diffuse su tutte le coste italiane. Merita sottolineare che una struttura artificiale provoca risultati differenti a seconda del tipo di spiaggia in cui si inserisce. Al di là della lunghezza o della profondità dell'acqua raggiunta, ad esempio, da un pennello, è la sua estensione nella zona dei frangenti (ovvero quanto questi intercetti la corrente di deriva litorale) ad essere importante. Si tratta di una variabile che dipende dal tipo di spiaggia su cui si opera. Inoltre non è solo il tipo di struttura (pennello o barriera, per esempio) che può determinare episodi di annegamento ma anche le dimensioni sono importanti: la lunghezza di un pennello o la spaziatura tra una serie di pennelli devono essere valutate con attenzione.

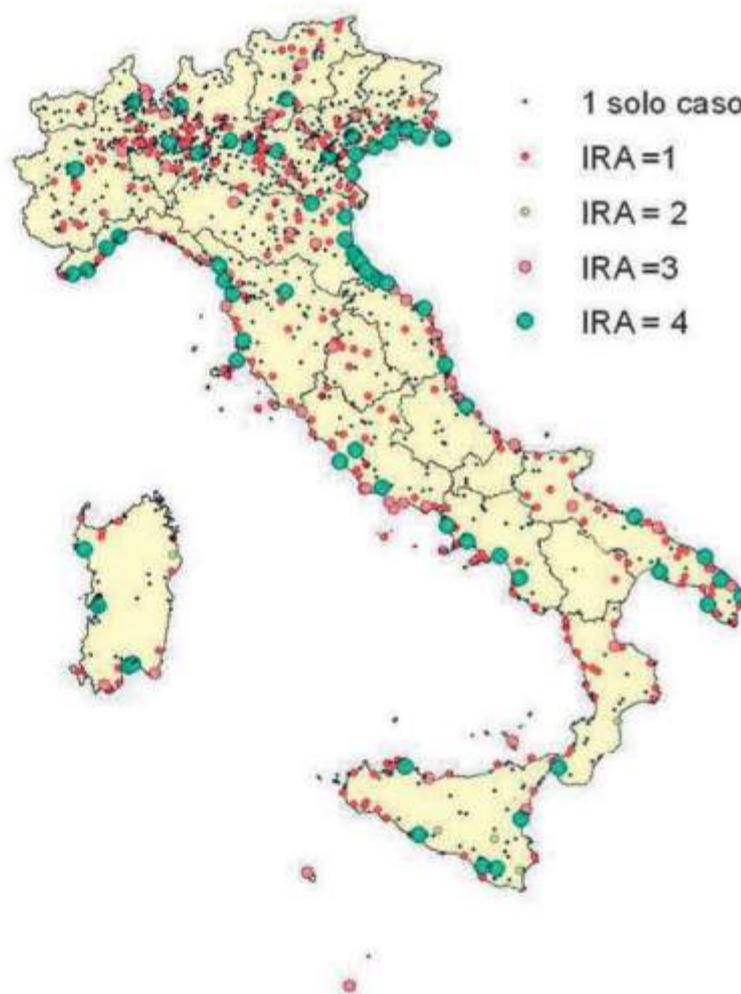


Figura 3. Distribuzione geografica dell'indice IRA nei Comuni italiani (anni 2000 -2006; da Funari et al., 2012).

L'Indice di Rischio per Annegamento (IRA) 1 indica un rischio molto basso: quando in un comune si verifica occasionalmente un episodio di annegamento; IRA 2 (rischio basso) indica l'annegamento occasionale di più persone; IRA 3 (rischio medio), quando si contano più decessi, ma in media non più di due, per anno; IRA 4 (rischio alto) indica quei comuni dove tutti gli anni si verificano più di due decessi l'anno. L'indice mette in relazione il numero dei decessi con la continuità del fenomeno (Funari e Giustini, 2011).

E' relativamente facile descrivere le possibili conseguenze generalmente prodotte dai pennelli (così per la deviazione della corrente litoranea verso il largo che si trasforma in una temibile corrente di ritorno per i bagnanti; Figure 4 e 5), ma il punto veramente importante è cercare di stabilire, prima della costruzione, perché un pennello produce questi effetti, e un altro no, e questo dipende dal tipo di spiaggia su cui si opera e dalle sue caratteristiche strutturali.

Questi due fattori, combinandosi tra loro, rendono la casistica molto complessa. Uno degli errori più frequenti è quello di generalizzare, utilizzando osservazioni localizzate, per costruire ipotesi valide in un contesto ma non esportabili altrove. Nel prosieguo dell'articolo non avremo perciò la pretesa di essere esaustivi (rinviando il lettore ad un'opera ancora *in progress*), ma analizzeremo, brevemente, solo alcuni esempi di un caso importante.

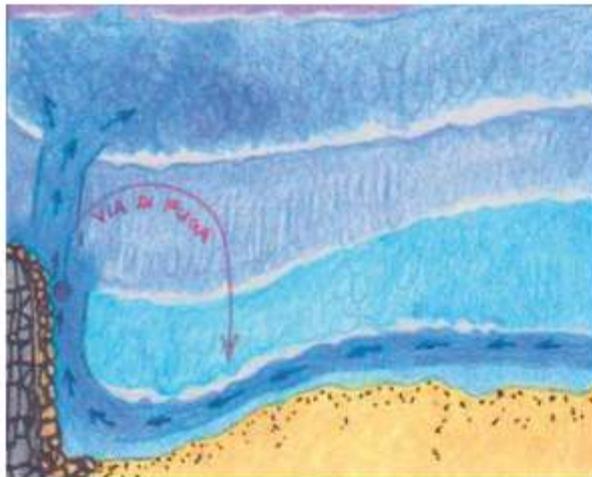


Figura 4. Effetti di un pennello su una corrente di deriva litoranea.



Figura 5. Levanto (SP); il pennello intercetta la corrente di deriva proiettandola verso il largo.

### I pericoli creati dalle strutture artificiali

Prenderemo in considerazione brevemente solo un caso di struttura rigida, *le vasche* correlando gli effetti prodotti da questa struttura a tipi di spiaggia diversi. *Le vasche* (Fig. 6) indicano, nella nostra terminologia - una terminologia adeguata agli scopi delle nostre ricerche, solo in parte coincidente con quella della geomorfologia costiera (per noi le spiagge non sono fatte solo di sabbia, ma di sabbia e bagnanti) - un'area delimitata da una barriera parallela, emergente o soffolta che viene collegata a terra da altre strutture per lo più perpendicolari alla battigia.



Figura 6. "Vasca", spiaggia della Partaccia, Massa.

Le barriere parallele vengono costruite per ridurre l'impatto delle onde sulla spiaggia creando una zona a bassa energia tra la scogliera e la battigia dove i sedimenti possano depositarsi. Sono normalmente costruite in serie e le variabili rilevanti, connesse alle dimensioni, sono *la segmentazione, la lunghezza di ciascun segmento, l'ampiezza dei varchi, la distanza dalla battigia* (French, 2001; Pathick e Burd, 1993; Paskoff e Clus-Auby, 2007; Pilkey e Dixon, 1996). La correlazione ai tipi diversi di spiaggia ha un effetto moltiplicatore su una casistica già di per se complicata.

La barriera, durante le mareggiate, impedisce l'allargamento della zona dei frangenti in direzione della battigia. Poiché la zona dei frangenti ne risulta compressa verso il largo, di fronte alla barriera può prodursi una zona ad altissima energia con onde di mare aperto e correnti litoranee fortissime.

Nella Figura 7, il frangente raggiunge, nella parte destra, quasi 3 m di altezza: una dimensione che, sul tipo di spiaggia su cui è collocata la struttura, troveremmo *naturaliter* a più centinaia di metri dalla riva. Di fronte alla scogliera, quasi continua per la notevole lunghezza dei segmenti, la profondità dell'acqua va da 8 a 12 m; la profondità dentro la vasca, in prossimità dei radi e stretti varchi, oscilla tra 6 e 8 metri. Queste dimensioni rivelano fortissime correnti di deriva litoranea (lungo la scogliera) ma, soprattutto, formidabili *correnti di uscita* (cioè, correnti di ritorno che attraversano i varchi *uscendo* dalla vasca verso il mare aperto). La vasca stessa è solcata da *correnti interne* che disegnano sul fondale i meccanismi circolatori prevalenti, indotti dalle strutture artificiali. (Fig. 8).



Figura 7. Spiaggia della Partaccia, Massa.



Figura 8. Tracciate delle correnti interne, spiaggia della Partaccia, Massa.

Questa spiaggia indica uno scenario tipico che, nel gergo dei bagnini, si chiama *di non ritorno*. Si tratta di spiagge in cui, se col mare molto mosso o agitato si entra in acqua e si prende il largo, non è più possibile recuperare la riva, e in pratica si è morti (con scientifica certezza, se sparati fuori da un varco, la morte sopraggiunge entro qualche minuto).



Figura 9. Corrente di uscita, Marina di Pisa.

La formazione di cellule circolatorie pericolosissime per la balneazione vengono prodotte da queste strutture, se capaci di creare un *effetto vasca* con mare mosso, cioè un innalzamento del livello del mare dentro il bacino. Dentro la vasca, contenuta dalla spiaggia e dalle strutture che la delimitano sugli altri tre lati, le onde che scavalcano la barriera o vi filtrano provocano un sovrizzo eccezionale d'acqua. L'acqua in sovrizzo fluisce poi come un fiume in piena verso il mare aperto, attraverso varchi troppo stretti, con una corrente di uscita fortissima che può raggiungere i 9 km orari (Fig. 9). Di regola, su questo tipo di spiaggia, più una barriera è vicina alla riva, maggiori sono i pericoli per la balneazione (a meno che non si formino, tra la barriera e la battigia, dei tomboli che rendono la barriera assai meno pericolosa). Le cause sono diverse ma la più evidente è che una vasca "stretta" si riempie più facilmente aumentando il gradiente tra il dentro e il fuori.

Una vasca può essere *semiaperta*, come nella Figura 10, dove due *isole di scogli*, attaccate a terra da pennelli, sono congiunte da una soffolta, una barriera parallela sommersa, quasi occultata, nella foto, da un frangente. La soffolta permette un buon ricircolo d'acqua senza produrre, normalmente, quegli spiacevoli effetti legati all'acqua quasi stagnante prodotta da strutture meno permeabili, ed è visivamente più apprezzabile: per lo meno dalla spiaggia si vede l'orizzonte. Ciononostante - nell'esempio che proponiamo nella foto - i frangenti entrano da un lato, *riempiono* la vasca e provocano una corrente di uscita dall'altro. Anche in questo caso, la vasca produce una situazione di *non ritorno*: un bagnante, se sbalzato fuori, non riuscirà più a recuperare la riva, ed è in pratica condannato.



Figura 10. Vasca semichiusa, Marina di Massa.

Un sovrizzo d'acqua può essere provocato dalla diversa permeabilità di vasche contigue (o dalla diversa capacità di vasche contigue nello smaltire l'acqua in sovrizzo), com'è illustrato nella Figura 11. La vasca a sinistra della foto (che ha l'aspetto apparente di acqua calma) ha un livello di circa 20 – 30 cm più alto di quella a destra, che appare invece turbolenta. Anche in questo caso la fortissima corrente provocata dalla tracimazione di una vasca sull'altra può sparare fuori da un varco un bagnante cui non viene concesso scampo. Inserirle su spiagge "piatte", cioè, su spiagge con una pendenza del fondale inferiore a 1,5 % e un'altezza significativa delle onde inferiore a 1,30 m (misure prese nella zona dei frangenti della spiaggia), le stesse strutture

Figura 11. Tracimazione tra vasche contigue, Nettuno (Roma).



possono presentare ancora, in modo meno accentuato, i rischi per la balneazione appena descritti. Possono presentarne, però, anche altri. Mentre nei casi esaminati sopra, il rischio più grande è di essere “sparati fuori” (cioè il pericolo è soprattutto in prossimità dei varchi e la morte sopraggiunge fuori dalla barriera), nell'esempio che prenderemo adesso in considerazione, il rischio di annegare sussiste anche a ridosso delle strutture, cioè nell'intero tratto compreso tra le scogliere e la battigia.

Su questa spiaggia (Lido di Classe, Ravenna; Figg. 12 e 13), una barriera terminale eccessivamente lunga (non segmentata), assai lontana da riva (oltre 200 m), forma una zona di acqua bassa o bassissima (ovverosia dove toccano i bambini”, la profondità è inferiore a 0,90 m), su cui scorre una corrente di deriva, parallela alla battigia che sposta lentamente e trascina i bagnanti lungo la vasca senza che questi ne siano coscienti. L'acqua è bassa su gran parte del fondale delimitato dalle barriere e la battigia ma presenta dei “fossati” lungo le strutture rigide (profondi anche più di 2 m) e degli avvallamenti dentro la vasca (cioè, delle zone di acqua più fonda).



Figura 12. Lido di Classe, Ravenna.

La struttura presenta due pennelli terminali che deviano la corrente di deriva verso il mare aperto trasformandola - con un effetto che è tipico dei pennelli - in una corrente di ritorno, diretta verso il largo. I bagnanti

Figura 13. Lido di Classe, Ravenna (da Google earth).



vengono sistematicamente trasportati e spinti verso i pennelli e le strutture *affossate* (Fig. 14). La parte terminale dell'intera struttura, facilmente identificabile dalla barriera parzialmente soffolta e i due pennelli, nella Figura 14, è, come in una tonnara, la camera della morte, dove vengono spinti i bagnanti che sono, su questo tipo di spiaggia, pessimi nuotatori o non nuotatori affatto. Una vera e propria trappola. In assenza di un servizio di salvataggio tra i più efficienti d'Italia, sarebbe davvero una mattanza (Pezzini e Simonini, 2011).

Quando soffia anche un modesto Scirocco, tutta l'acqua della vasca si sposta verso NW: la corrente di deriva si somma agli effetti del vento che provocano su tutta la vasca una corrente degli strati più superficiali dell'acqua, efficacissima per spostare bagnanti "che giocano": il bagnante, quando solleva i piedi da terra, viene spostato dalla corrente in direzione del vento che spira. Un moltiplicatore di questi effetti, provocati dal vento e la corrente di deriva, è l'uso di giocattoli galleggianti (ciambelle, materassini, braccioni, ecc.), molto diffusi tra nuotatori scadenti e i bambini.

Il litorale ravennate (circa 37 km, distribuiti su otto *lidi*, solo 2 dei quali, oltre la bella spiaggia della Bassona, sono liberi da strutture artificiali) presenta una varietà enciclopedica di strutture che possono fornire un ottimo elemento di confronto con le spiagge sopra descritte del Tirreno che hanno subito analoghi maltrattamenti artificiali. La spiaggia caratteristica di questo tratto dell'Adriatico (del tipo 1 nella nostra classificazione: minima



Figura 14. Recupero di un bagnante in pericolo aggrappato a uno scoglio (foto sezione di Ravenna, SNS).

pendenza del fondale, inferiore a 1,50%) non offrirebbe, se allo stato naturale, grossi pericoli (anche se entro quei limiti che rendono l'acqua comunque pericolosa per gli uomini, animali terrestri). In assenza di strutture artificiali, le basse onde incidenti e la scarsa pendenza del fondale non sono in grado di provocare correnti di ritorno (o provocano solo *minirip*, poco pericolose per la balneazione); il fondale degrada in modo abbastanza regolare senza presentare *drops*, dislivelli improvvisi o buche. I pericoli oggettivi offerti non reggono il paragone con quelli di *non ritorno* delle spiagge toscane o laziali, esposte peraltro a *fetch* molto più lunghi. Eppure questo tratto di costa presenta indici di annegamento tra i più alti d'Italia (Cfr. Fig. 3). Dobbiamo allora chiederci perché gli incidenti su questo litorale siano così frequenti. Ecco alcune risposte:

- gli annegamenti avvengono anche dentro la vasca - cioè nella zona del bagno - che è intensamente frequentata;
- i bagnanti sono difficili da sorvegliare perché la zona del bagno è artificialmente allargata dalla barriera che la estende, in certi tratti, per più di 200 m (mentre, nelle vasche descritte precedentemente, il controllo dei bagnini si incentra quasi esclusivamente sui varchi dai quali, a mare mosso, i bagnanti devono essere tenuti lontani: un compito *repressivo*, di prevenzione, relativamente facile da svolgere). I pericoli non sono circoscritti, ma distribuiti pressoché sull'intera zona;

- la difficoltà del controllo è accentuata da *settori di sorveglianza* delle postazioni di salvataggio<sup>3</sup> che - pur svolti da bagnini preposti di ottimo livello professionale - è eccessivo: 200 - 220 m (ex *Ordinanza balneare Regione Emilia Romagna 2015*), contro gli 80 m previsti dalle ordinanze di sicurezza balneare delle Capitanerie di porto del Tirreno. La grande estensione della zona del bagno (in direzione del mare aperto) e quella del settore di sorveglianza (misurata lungo la riva) producono "settori di controllo" fino a 40.000 m<sup>2</sup> per bagnino!<sup>4</sup>

- la grandissima affluenza degli utenti, e la presenza tra questi di un'alta percentuale di non-nuotatori che, dentro la vasca, si sentono - per un effetto caratteristico provocato dalla zona del bagno - erroneamente al sicuro (una sensazione di falsa sicurezza spesso incrementata dall'uso di giocattoli galleggianti);

- le situazioni di pericolo, scarsamente percepite dai bagnanti, si producono con uno stato del mare appena mosso: le giornate di "bandiera rossa" sono quindi molto più numerose di quelle sul litorale toscano, o laziale dove è necessaria una mareggiata, o comunque mare molto mosso, per produrre un effettivo pericolo sui varchi; a questi pericoli è esposta, per tempi molto più lunghi, la massa che fa il bagno, e non l'élite dei nuotatori.

Lunghi tempi di esposizione al pericolo, una zona del bagno molto estesa, grande massa di bagnanti, la difficoltà di sorveglianza, la scarsa percezione dei pericoli: quanto basta per capire perché, su questo tratto di litorale, l'indice di annegamento sia tra i più grandi delle spiagge italiane.

### Bibliografia

French P.W., 2001 - *Coastal Defences*, Routledge, Londra.

Funari E., Giustini M. (a cura di), 2011 - Rapporto Istisan 11/13, *Annegamenti in Italia, epidemiologia e strategie di prevenzione*, Istituto Superiore di Sanità, Roma.

Funari E., Giustini M., Pezzini D. G. (a cura di), 2012 - Rapporto Istisan 12/23, *Annegamento e pericoli di balneazione*, Istituto Superiore di Sanità, Roma.

Paskoff R., Clus-Auby C., 2007- *L'érosion des plages*, Institut océanographique, Parigi.

Pethick J., Burd F., 1993 - *Coastal Defences and the Environment*, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, U.K.

Pezzini D.G., 2012 - *Manuale di salvamento*, Società Nazionale di Salvamento, Genova.

Pezzini D.G., Simonini P.A., 2011 - *Attività di salvamento nel territorio nazionale*, pagg. 39 - 46.

Pilkey O.H., Dixon K.L., 1996 - *The Corps and the Shore*, Island Press, Washington.

**Ricevuto il 14/06/2016; accettato il 22/01/2017**

<sup>3</sup>Il "settore di sorveglianza" indica il tratto di fronte mare coperto da una postazione di salvataggio stabilito da ordinanze balneari.

<sup>4</sup>Un decreto del Ministero dell'Interno (16 marzo 1996) impone la presenza di due bagnini se lo specchio acqueo di una piscina supera i 400 m<sup>2</sup>, 3, se oltre 1.000 m<sup>2</sup>.

## La pocket beach di Portonovo (Ancona)

Andrea Dignani

Geologo libero professionista, Jesi (AN) [www.geostudiodignani.it](http://www.geostudiodignani.it)

### Riassunto

Il tratto di spiaggia di Portonovo tra la Torre De Bosis (Torre di Portonovo) e la Chiesa di Santa Maria di Portonovo risulta interessato da periodiche erosioni, fenomeno questo che fa insorgere preoccupazioni e allarmismi da parte degli operatori turistici dell'area. La conseguenza di tale situazione ha portato a più riprese gli organi di governo competenti, Regione Marche e Comune di Ancona, a considerare diversi aspetti tecnici di mitigazione, tra questi quello dei ripascimenti. I ripascimenti rappresentano una delle azioni di gestione delle coste di maggiore complessità e delicatezza per gli impatti che possono generare, per queste problematiche dei Comitati di cittadini hanno voluto analizzare e monitorare la costa per valutare l'esatta dinamica geomorfologica.

**Parole chiave:** pocket beach GPS RTK, Portonovo, Promontorio del Conero, Marche, Mare Adriatico

### Abstract

*The stretch of beach between Portonovo De Bosis Tower (Tower of Portonovo) and Santa Maria's Church in Portonovo is affected by periodic erosion, a phenomenon that worries and alarms tour operators. This situation has convinced government organs, Marche Region and the Municipality of Ancona, to take in consideration different technical aspects of mitigation, including nourishment, several times. Beach nourishment is one of the actions to manage the increased complexity and delicacy coasts for the impacts that can be generated. For these problems, citizens committees wanted to analyze and monitor the coast to assess the exact geomorphological dynamic.*

**Key words:** pocket beach, GPS RTK, Portonovo, Conero Mt., Marche, Adriatic Sea

### Introduzione

Il presente lavoro nasce dalla richiesta dei Comitati "Mare Libero" e "Mezzavalle Libera" di analizzare la costa di Portonovo (Ancona) tra il promontorio della Torre De Bosis (Torre di Portonovo) a NW e il promontorio della Chiesa di Santa Maria di Portonovo a SE.

Il tratto di costa esaminato (Fig. 1) è compreso all'interno della unità fisiografica n. 13 - Promontorio del Monte Conero, del Piano di gestione integrata delle aree costiere della Regione Marche (Fig. 2).

### La morfologia della costa

La fascia costiera del Monte Conero è caratterizzata per le sue falesie composte da due diversi substrati: marne arenacee e calcari, detriti di versante e/o corpi di frana in raccordo morfologico con la spiaggia. Dall'analisi del piede delle falesie si rileva che queste sono attive con produzione di sedimenti, sia da parte della dinamica marina che degli agenti atmosferici, che alimentano le limitate spiagge.

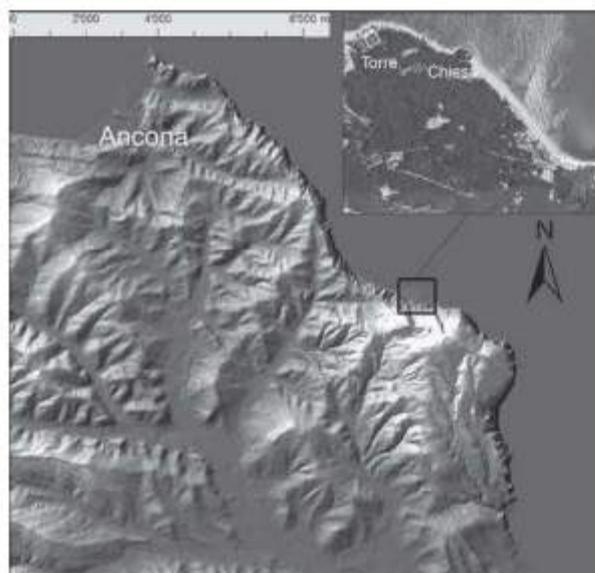


Figura 1. Modello digitale del terreno (DEM) dell'area del Monte Conero. In alto particolare del tratto di costa analizzato.



Figura 2. Unità fisiografica n. 13 - Promontorio del Monte Conero.

La linea di costa di Portonovo interessata dal rilievo si sviluppa per circa 500 m con una spiaggia costituita da ghiaie e sabbia grossolana.

Il profilo della spiaggia risulta fortemente condizionato dagli eventi meteomarinari, e possiamo individuare un profilo invernale ed uno estivo (APAT, 2007) come espressione delle diverse condizioni stagionali.

La morfologia invernale ha un tipico profilo di tempesta a forma concava, mentre la morfologia estiva è caratterizzata dalle berme tipiche dell'accrescimento della spiaggia.

### Metodologia del rilievo della costa

Per il periodo di analisi considerato (Tab. 1), sono stati utilizzati i dati acquisiti dal Comune di Ancona tra il 1999 ed il 2012, mentre i rilievi effettuati sul campo, realizzati per mezzo un GPS RTK (Fig. 4) con precisione operativa di 2-4 cm, sono stati effettuati tra il giugno 2013 e luglio 2016, scegliendo momenti di neutralità delle maree.



Figura 3. Vista fotografica del tratto di costa analizzato.

I dati acquisiti dal rilievo GPS RTK sono stati quindi georeferenziati, per dare continuità alle precedenti analisi, sulla carta della “Manutenzione Straordinaria del litorale di Portonovo” del Comune di Ancona, che raccoglie anche le analisi svolte, come detto, tra il 1999 ed il 2012.

Tabella 1. Cronoprogramma dei lavori svolti

<i>Comune di Ancona</i>	<i>Geol. A. Dignani</i>
Rilievo su base C.T. Comune di Ancona maggio 1999	
Rilievo su base C.T. Regione Marche aprile 2000	
Rilievo su base AGEA Regione Marche aprile 2010	
Rilievo strumentale luglio 2012	
Rilievo strumentale dicembre 2012	
	Rilievo GPS RTK, giugno 2013
	Rilievo GPS RTK, febbraio 2014
	Rilievo GPS RTK, luglio 2014
	Rilievo GPS RTK, febbraio 2015
	Rilievo GPS RTK, luglio 2015
	Rilievo GPS RTK, gennaio 2016
	Rilievo GPS RTK, luglio 2016



Figura 4. Fase del rilievo con GPS RTK.

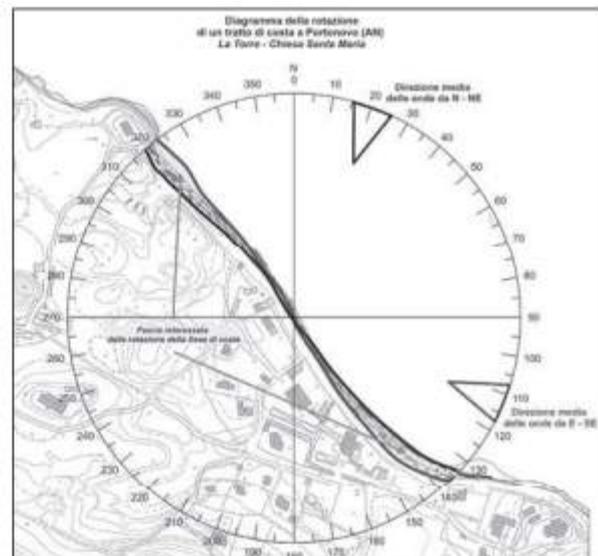


Figura 5. Restituzione grafica dei dati dello studio effettuato su base CTR.

### Analisi dei dati

Dalle analisi condotte tra il promontorio Torre e il promontorio Chiesa, si rileva un equilibrio dinamico, fenomeno caratterizzato da una ciclica alternanza tra deposizione/avanzamenti ed erosioni/arretramenti della linea di costa che si mantiene all'interno di una fascia di spostamento ben definita, per una ampiezza massima di 23 – 25 metri con direzioni comprese tra N 135 e N 145 (Fig. 5).

Dall'analisi dei dati acquisiti si può classificare la spiaggia del settore Torre De Bosis - Santa Maria di Portonovo come una *pocket beach* (Fig. 6; Simeoni *et al.*, 2012).

Queste spiagge sono tipiche delle coste alte a falesia attiva, la loro forma è diretta espressione della direzione del moto ondoso, dell'assetto morfologico dei promontori che la delimitano, dei materiali delle falesie. Le *pocket beach* rispondono alle variazioni delle condizioni meteomarine con rotazioni della linea di riva per cui il materiale si sposta periodicamente verso un'estremità o l'altra tra due promontori.

Tali variazioni sono generate dalle diverse direzioni di provenienza delle onde che inducono un trasporto sedimentario lungo riva che va ad accumularsi a ridosso del promontorio sottoflutto; la variazione nella direzione di provenienza dell'onda determina un accumulo in corrispondenza dell'opposto promontorio.

Nel caso di Portonovo le oscillazioni tra i due promontori, Torre De Bosis – Chiesa Santa Maria, avvengono con ritmi stagionali condizionati dai venti da N – NE e da E – SE che generano direzioni di onda che in modo alternato producono avanzamento della linea di costa rispettivamente verso la Chiesa e verso la Torre, in maniera inversa si produce l'arretramento della costa sul lato opposto (Fig. 5).

I promontori hanno la funzione naturale di ostacolare la fuoriuscita del sedimento dall'interno della *pocket beach*, ma durante la rotazione non si escludono scambi sedimentari, in uscita o in entrata, con le baie contigue. Dall'analisi effettuata possiamo definire questa *pocket beach* secondo le seguenti caratteristiche:

- Semi-naturale, i promontori hanno morfologie naturali ma con difese costiere,
- Lunghezza media (tra 300 m e 1000 m)
- Forma rettilinea ( $Sl_{\text{lunghezza linea di costa}} / Cl_{\text{distanza tra i promontori}} < 1.15$ )

## Conclusioni

Le *pocket beach* sono spiagge di modesta estensione e hanno una particolare sensibilità alle variazioni del bilancio sedimentario ed alle condizioni meteo marine. Spesso, per la loro particolare conformazione, sono aree di pregio e sede di attività turistiche che le rendono particolarmente fragili dal punto di vista geomorfologico.

Le *pocket beach* necessitano quindi di appropriate metodologie per la comprensione della morfodinamica evolutiva e delle diverse criticità anche alla luce nel nuovo scenario meteoambientale che di anno in anno si sta oramai consolidando nella nostra area (Tab. 2).

Lo studio conferma l'equilibrio dinamico della costa, e allo stesso tempo suggerisce un approccio razionale alla questione per evitare reazioni emozionali che potrebbero portare a scelte di intervento poco opportune.

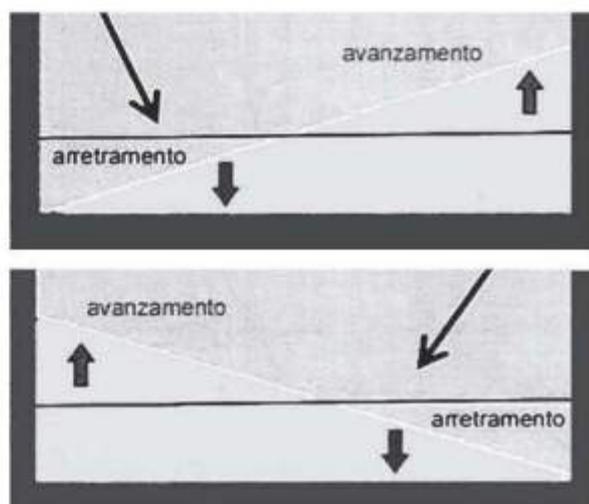


Figura 6. Modello semplificato di rotazione della forma di spiaggia (Simeoni et al., 2012).

Tabella 2. Principali criticità naturali e gestionali delle *pocket beach* (da Simeoni et al., 2012, ridisegnata)

Criticità naturali	Criticità gestionali
Fragilità del sistema	Assenza di piani di gestione
Scarsa conoscenza dei processi morfodinamici	Appartenenza ad aree protette e naturali
Dinamica evolutiva specifica	Occupazione e usi della spiaggia
Perdite di materiali dal sistema	Sicurezza per la balneazione
Ciclicità evolutiva	Qualità delle acque
Fenomeni erosivi	Accessibilità e viabilità
Limitata estensione della spiaggia	Regolazione dei flussi turistici
Elevata sensibilità a variazioni modeste degli input sedimentari e meteomarine	Mancanza di specifiche tipologie difensive
	Presenza di porti e opere di difesa

**Bibliografia**

APAT (2007) - *Atlante delle opere di sistemazioni costiera*, 177 pp.

Regione Marche (2009) - *Piano di gestione integrata delle aree costiere*, pp 167

Simeoni U., Corbau C., Pranzini E., Ginesu S. (2012) - *Le pocket beach*. Ed. Franco Angeli, 176 pp.

Comune di Ancona (2013) - *Manutenzione Straordinaria del litorale di Portonovo*, 14 pp.

**Ricevuto il 25/04/2016; accettato il 13/02/2017**

## Il Grande Progetto “Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno”

Domenico Ranesi

Provincia di Salerno, Via Roma 104, Salerno, 84121, Italia, domenico.ranesi@provincia.salerno.it

### Riassunto

Nel presente articolo si riporta una sintesi del Grande Progetto “Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno”, sviluppato dalla Provincia di Salerno e finanziato nell’ambito del POR Campania FESR 2007/2013 Obiettivo Operativo 1.5 “Messa in sicurezza dei territori esposti a rischi naturali”.

Il Grande Progetto trae origine dalla necessità di procedere al risanamento ed alla difesa della costa bassa della Piana del Sele, nel corso degli anni sottoposta ad un eccessivo fenomeno erosivo, che in alcuni casi ha determinato l’esposizione diretta delle aree antropiche all’azione del moto ondoso. L’intervento proposto è, pertanto, finalizzato alla stabilizzazione, riassetto e riqualificazione della costa in risposta alle esigenze di difesa dell’abitato e delle infrastrutture immediatamente retrostanti la costa oggetto d’intervento, di valorizzazione e fruizione sostenibile della fascia litoranea, di tutela, ripristino e valorizzazione degli habitat costieri.

**Parole chiave:** difesa costiera, erosione costiera, barriere sommerse, ripascimento, Golfo di Salerno

### Abstract

*The present paper is a summary of the Grande Progetto “Interventi di difesa e ripascimento del litorale del golfo di Salerno”, developed by the Province of Salerno and funded under the POR Campania FESR 2007/2013 Obiettivo Operativo 1.5 “Messa in sicurezza dei territori esposti a rischi naturali”.*

*The project stems from the need to carry out the rehabilitation and the defence of the sandy coast of the Sele River, over the years undergone to excessive erosion phenomenon, which in some cases has determined the direct exposure of anthropogenic areas to the action of waves. The operation is, therefore, aimed at stabilization, rehabilitation and redevelopment of the coast defense needs of the settlement and infrastructure immediately behind the coast, object of exploitation and sustainable use of the coastal strip, the protection, restoration and enhancement of coastal habitats.*

**Key words:** coastal defence, coastal erosion, submerged breakwater, nourishment, Salerno Gulf

### Introduzione

Il Grande Progetto trae origine dalla necessità di individuare interventi di risanamento e difesa di gran parte della costa bassa relativa all’unità fisiografica della Piana del Sele, localizzata nel Golfo di Salerno (Fig. 1) ed in particolare dei delta focali dei Fiumi Sele e Picentino che sono i principali corsi d’acqua che sfociano lungo questo litorale. Le foci di questi fiumi, sensibilmente estroflesse verso il mare, si trovano da circa sessant’anni in una situazione di elevata instabilità morfodinamica dovuta alla drastica riduzione del trasporto solido degli stessi fiumi avvenuta a partire dalla fine del secondo conflitto mondiale (CUGRI 2004). Tale riduzione ha causato il progressivo smantellamento dei delta fluviali ad opera del moto ondoso incidente, compromettendo le infrastrutture, le attività socio-economiche e gli ecosistemi ambientali che sono difesi dai litorali soggetti ad erosione (Fig. 2).

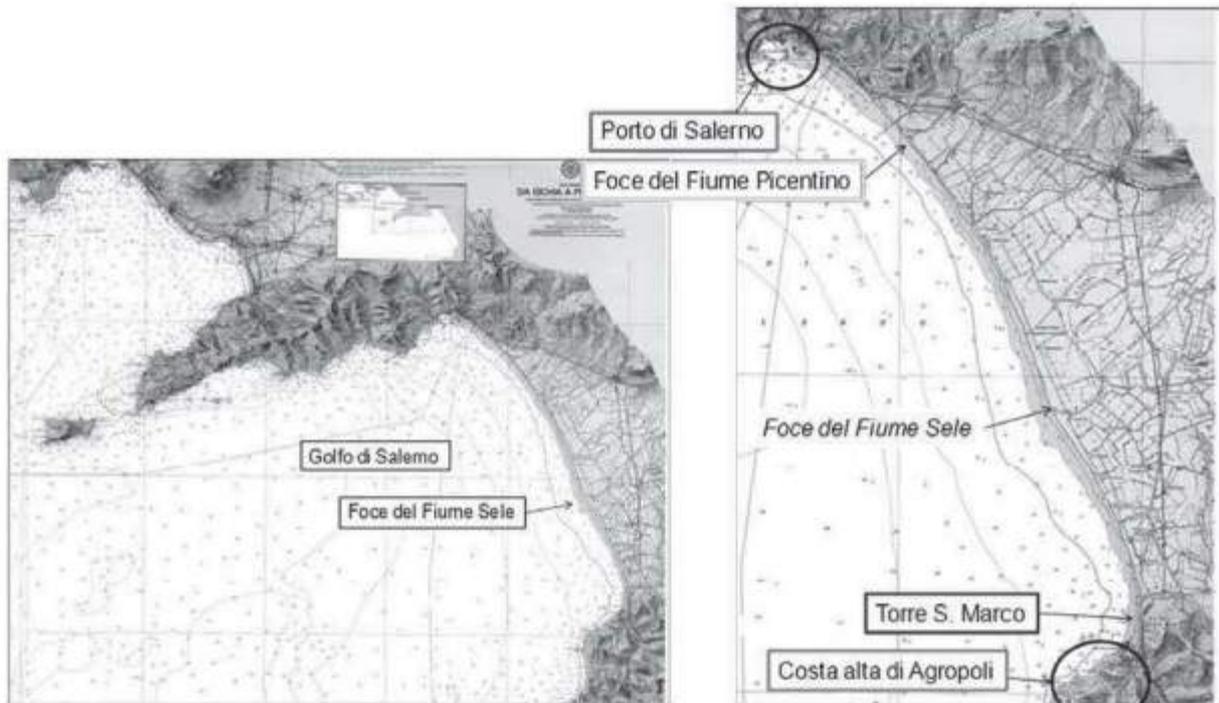


Figura 1. Golfo di Salerno, unità fisiografica della Piana del Sele e zona d'intervento.



Figura 2. Golfo di Salerno, stato della costa.

L'intervento proposto è, pertanto, finalizzato alla stabilizzazione, riassetto e riqualificazione della costa in risposta alle esigenze di difesa dell'abitato e delle infrastrutture immediatamente retrostanti la costa oggetto d'intervento, di valorizzazione e fruizione sostenibile della fascia litoranea, di tutela, ripristino e valorizzazione degli habitat costieri.

### **Stato Attuale**

L'unità fisiografica in questione, che presenta una lunghezza complessiva di circa 40 km, è delimitata a nord dal Porto di Salerno e a sud dalla costa alta di Agropoli. Essa costituisce il bordo costiero del graben peritirrenico del Golfo di Salerno che è quello della sinistra Sele, il più rilevante del Mezzogiorno d'Italia. La zona d'intervento, ricadente all'interno della citata unità, è compresa tra la Foce del Fiume Picentino (Comune di Pontecagnano) e Torre S. Marco (Comune di Agropoli); essa presenta uno sviluppo costiero complessivo di circa 33 km. Attualmente questa costa è quasi completamente priva di opere di difesa costiere e costituisce senza dubbio una delle principali risorse turistico-ambientali della Provincia di Salerno.

La fascia litoranea interessata dal Grande Progetto è contraddistinta morfologicamente da una costa bassa e sabbiosa. La zona che presenta migliori caratteristiche ambientali è quella centro-meridionale dove tra la strada litoranea ed il mare è presente una fascia di larghezza variabile compresa tra i 150 e i 450 m che presenta tratti con retrostanti cordoni dunali ricoperti da macchia mediterranea e lunghi tratti in cui è presente una rigogliosa pineta.

La zona maggiormente antropizzata è quella settentrionale, dove la distanza tra la strada litoranea e il mare si riduce notevolmente fino ad annullarsi, in alcuni tratti, quasi completamente, lasciando le infrastrutture esposte direttamente all'azione del moto ondoso. In questa zona, dove le dune costiere sono state completamente distrutte per far posto ad abitazioni e strade, la costa presenta un'elevata vulnerabilità all'ingressione del mare. Infatti non è raro assistere ad allagamenti della carreggiata stradale con conseguente interruzione del traffico veicolare durante la stagione invernale, come ad esempio succede lungo la costa del comune di Pontecagnano Faiano.

Nell'ambito del presente progetto si è calcolato che il litorale è in condizioni di "deficit" sedimentario da circa 60 anni e che il valore medio di perdita volumetrica di sabbia sia stato in questo arco di tempo pari a circa 200.000 m<sup>3</sup>/anno. Le analisi eseguite mostrano che la perdita volumetrica totale di sabbia ha raggiunto in meno di sessant'anni il valore di circa 13 milioni di m<sup>3</sup>. Nell'ultimo decennio il rateo medio di perdita annuale di sabbia dal litorale si è ridotto pur rimanendo significativo e pari a circa 140.000 m<sup>3</sup>/anno. Le simulazioni numeriche condotte con un modello previsionale di dinamica costiera nell'ambito del presente progetto, hanno confermato che in assenza d'interventi di stabilizzazione, l'opera di smantellamento del delta fluviale del Sele, che attualmente investe direttamente circa 10 km di litorale posto a cavallo della foce del Sele, è destinata a proseguire inesorabilmente nel tempo (D'Acunzi et al 2008; De Pippo et al 1989).

Sulla base di tali indicazioni e considerazioni è facile dedurre quali siano le motivazioni che giustificano l'intervento di riqualificazione costiera oggetto del presente progetto, che in mancanza d'interventi verrebbe irrimediabilmente compromesso in quanto l'erosione costiera in atto intacca una fondamentale risorsa naturale sulla base della quale è invece possibile impostare una strategia di sviluppo sostenibile dell'area.

### **Obiettivi del progetto**

L'obiettivo del progetto pertanto, è quello di salvaguardare le spiagge e l'ambiente costiero del Golfo di Salerno che costituiscono una delle principali risorse ambientali e socio-economiche della Provincia di Salerno, mediante un intervento di difesa costiera unitario e coordinato.

L'esigenza d'intervenire in modo unitario e coordinato sull'intera unità fisiografica scaturisce dalla necessità di evitare l'"effetto domino" che si verrebbe a creare qualora si intervenisse in modo sporadico con sistemi di difesa costiera per far fronte ad emergenze locali intervenendo quindi solo su singole porzioni della stessa unità fisiografica. In tal modo, infatti, la protezione parziale del litorale causerebbe l'accelerazione dei fenomeni erosivi nelle zone poste a valle, rispetto alla direzione del trasporto solido longitudinale, delle zone d'intervento (De Girolamo et al 2006, Budillon et al 2006, Ferrante et al 2011). Purtroppo situazioni di questo tipo si sono verificate negli ultimi trent'anni lungo gran parte dei litorali italiani, quali ad esempio le coste adriatiche dell'Emilia Romagna, delle Marche e dell'Abruzzo e di alcuni tratti delle coste del Lazio e della Calabria.

Pertanto sulla base di queste considerazioni la Provincia di Salerno si è resa promotrice del presente progetto coinvolgendo nel processo progettuale tutti i Comuni interessati. Dal punto di vista metodologico le analisi e gli studi morfologici eseguiti hanno riguardato l'intera unità fisiografica la quale è oggetto d'attenzione da parte degli Enti competenti in materia, ovvero in modo particolare dalla Provincia di Salerno e dalla Autorità di Bacino del Sele, da più di un decennio.

In particolare gli interventi devono: essere rivolti a cercare di stabilizzare la configurazione attuale del litorale e ad aumentare la sicurezza dal moto ondoso delle principali infrastrutture presenti lungo la costa; cercare di favorire la fruizione turistico balneare delle spiagge; comprendere il più possibile l'intera unità fisiografica al fine di evitare o quantomeno di contenere l'esportazione dei fenomeni erosivi nelle zone non difese; consentire la realizzazione di azioni mirate alla riqualificazione ambientale; essere sostenibili sul lungo periodo dal punto di vista degli oneri di manutenzione. Inoltre: si deve privilegiare l'impiego di sistemi di protezione costieri caratterizzati da limitati impatti ambientali ponendo una particolare attenzione agli effetti da essi indotti sia sulla qualità delle acque costiere sia sull'impatto visivo; si deve privilegiare l'impiego

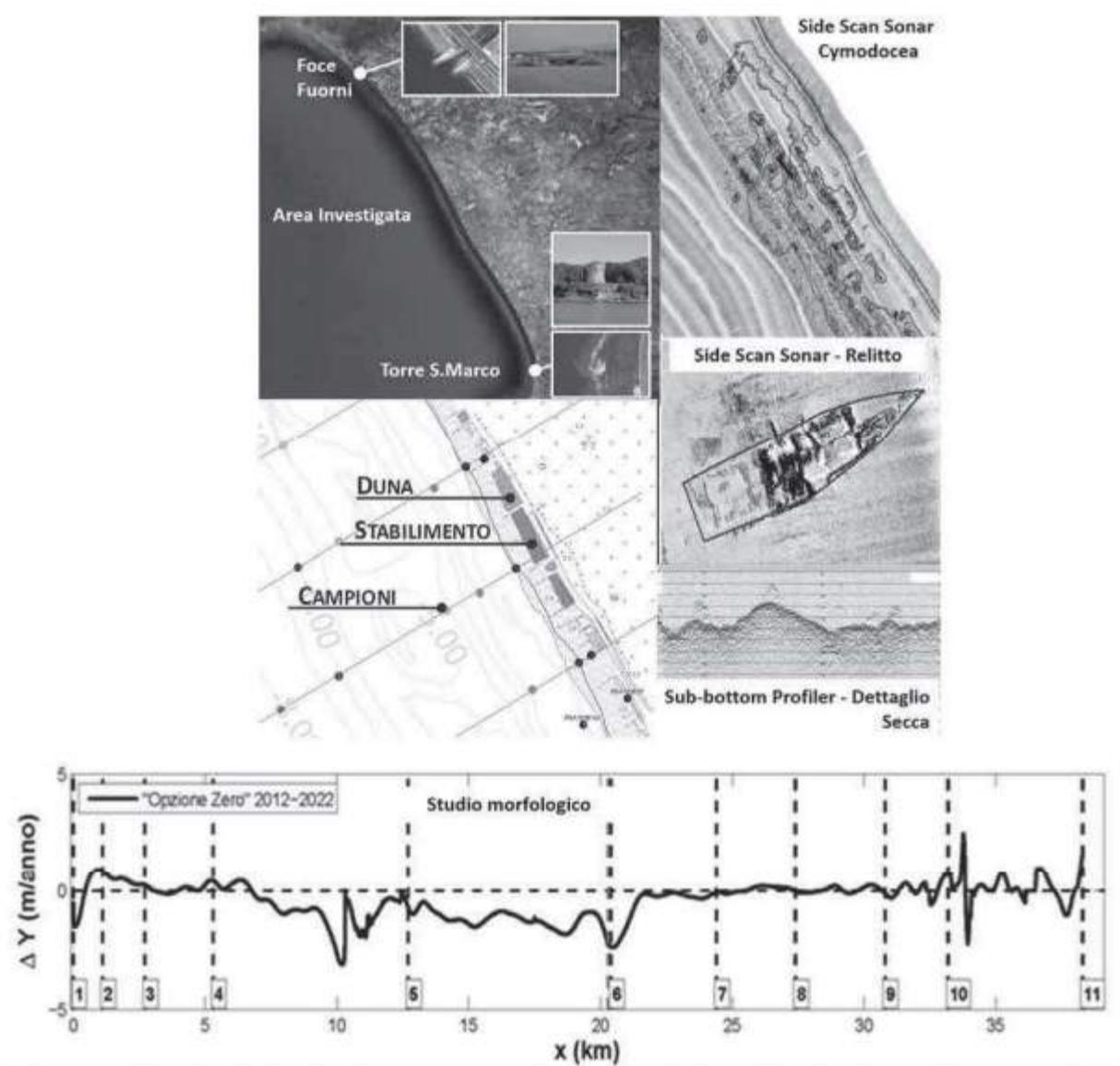


Figura 3. Golfo di Salerno, rilievi e studi a supporto della progettazione definitiva.

della ricostruzione artificiale delle spiagge mediante la tecnica del "ripascimento"; si deve prevedere che gli interventi possano in futuro, qualora si rendesse necessario, essere integrati con altre opere, al fine di aumentare la loro capacità di difendere la costa dal moto ondoso e dai fenomeni erosivi.

### Studi specialistici

Il progetto definitivo degli interventi è stato strutturato sulla base di una profonda conoscenza di tutte le componenti, ambientali e non, che caratterizzano il litorale salernitano, ottenute anche mediante l'esecuzione di una campagna di monitoraggio del tratto costiero (topo-batimetria, *side scan sonar*, campioni sedimenti, boa ondometrica, ricerca sabbie ecc. (Fig. 3) e di studi specialistici (morfologico, morfodinamico, vettori di transito ecc.). Ulteriore fondamentale fase indispensabile all'acquisizione di contributi utili ad assicurare la sostenibilità ambientale dell'opera proposta ed alla sua ottimizzazione, ha riguardato la consultazione dei portatori di interesse svolta attraverso incontri pubblici tenutisi presso tutti i Comuni coinvolti, fornendo loro anche la possibilità di accedere a tutte le informazioni riguardanti il lavoro in progress, consultando il sito web dedicato (<http://grandeprogettodifosalitorale.provincia.salerno.it/>)

### Ipotesi progettuale

Negli studi di tipo ambientale è buona norma prendere in esame come riferimento l'ipotesi di non intervento, spesso denominata "opzione 0" o "scenario 0" o utilizzando un'espressione anglosassone "*do nothing*". Tale opzione è peraltro di solito utilizzata a scopo comparativo per la valutazione delle ipotesi di intervento.

Tale ipotesi coincide con quella "naturale", ovvero, nel presente caso, con l'evoluzione morfodinamica del litorale che si verrebbe a determinare a lungo termine (scala temporale degli anni) in assenza di qualsiasi tipo d'intervento di difesa costiera o più in generale di alterazione delle attuali condizioni al contorno del "sistema morfologico costiero". Nel caso di falcate sabbiose come quella in esame, l'evoluzione morfodinamica del litorale è ben rappresentata dall'evoluzione nel tempo della linea di riva e pertanto si è fatto riferimento a tale elemento morfologico.

Nell'ambito del progetto si è assunto che in assenza di interventi, i processi erosivi tenderebbero ad evolvere in futuro in modo simile a come si sono manifestati nel passato. Tale assunzione è avvalorata dall'ottima conoscenza della storia passata basata sul possesso delle linee di riva storiche dell'intero litorale in questione che coprono con continuità gli ultimi 60 anni (Cocco et al, 1999; Pennetta et 2011). L'evoluzione di tali linee di riva, relative agli anni 1954, 1984, 1994, 2001 e 2009, mostra in modo oggettivo che lo smantellamento delle foci del Sele e del Picentino è avvenuta con continuità dalla fine del secondo conflitto mondiale ad oggi. Tale tendenza è stata ulteriormente confermata dalla linea di riva rilevata a settembre 2012 nell'ambito delle indagini di campo eseguite a supporto del progetto definitivo.

Pertanto, l'ipotesi di non intervento è stata ritenuta non sostenibile al fine di evitare anche che i fenomeni erosivi potessero essere affrontati con la logica dell' "emergenza", intervenendo solo in seguito al verificarsi di situazioni critiche (dissesti, crolli, allagamenti, ecc.) causate dall'erosione costiera.

Tra le ipotesi d'intervento inoltre, la prima che è stata presa in esame nell'ambito del progetto preliminare, è stata quella che non prevede la realizzazione di alcun intervento di tipo "diretto" di difesa della costa, ovvero di interventi realizzati direttamente lungo la fascia costiera al fine di controllarne l'evoluzione morfologica, limitandosi in tal modo ad attuare esclusivamente interventi di tipo "indiretto".

Come noto, gli interventi indiretti sono costituiti da azioni di prevenzione e controllo rivolte a rimuovere, dove e quando possibile, le cause dell'erosione costiera che nel presente caso sono costituite in modo dominante dalla riduzione del trasporto solido fluviale di fiumi Sele e Picentino (CUGRI, 2004).

In questo contesto è necessario evidenziare che la principale causa della riduzione del trasporto solido fluviale è costituita dalle opere di sbarramento e di regimentazione delle acque (dighe, traverse, briglie, ecc.), dalle opere di contenimento dell'erosione dei versanti e di stabilizzazione delle frane. La funzione di queste opere, nel complesso, è proprio quella di ridurre i fenomeni naturali di erosione del suolo e dei letti fluviali, per evitare che si possano creare problemi di instabilità dei versanti con conseguenti danni alle strutture e alle infrastrutture. Accanto a queste cause occorre evidenziare l'estrazione degli inerti dagli alvei fluviali per il loro utilizzo nel campo dell'edilizia. Appare evidente che la rimozione completa di tutte queste cause è praticamente impossibile perché spesso entra in contrasto con l'utilizzo del territorio a scopo antropico. Alcuni accorgimenti possono sicuramente essere intrapresi, ma richiedono tempi piuttosto lunghi sia per la loro attuazione sia per raccoglierne i benefici. Sicuramente questi

accorgimenti devono essere introdotti nell'ambito delle attività di pianificazione del territorio utilizzando "approcci integrati", ovvero in grado di trovare il giusto compromesso tra le varie necessità ambientali e di sviluppo che spesso presentano esigenze di tipo contrapposto. Ad esempio, appare evidente che gli interventi di stabilizzazione del territorio, ovvero le azioni rivolte a mitigare il così detto "dissesto idrogeologico", risultano controproducenti per la stabilità dei litorali in quanto mediamente riducono l'erodibilità dei suoli e quindi il trasporto solido fluviale. Per questi motivi si è deciso di ricorrere ad interventi di tipo diretto.

L'analisi eseguita ha mostrato chiaramente che la scelta si restringeva alle barriere distaccate o tracimabili (del tipo emerso e/o sommerso) ed ai pennelli. Poiché le prime trovano il loro campo d'impiego ottimale nel caso di litorali soggetti ad attacchi di moto ondoso ortogonali rispetto alla costa, nel caso in questione, essendo in presenza di un delta fluviale e quindi di un litorale caratterizzato in gran parte dalla presenza di trasporto solido longitudinale, il sistema di difesa ottimale è costituito senza dubbio dall'utilizzo di pennelli in serie. Si evidenzia che i pennelli sono opere di difesa solitamente del tipo a gettata realizzati con materiali lapidei con andamento planimetrico ortogonale o leggermente obliquo rispetto alla linea di riva. Il principio di funzionamento dei pennelli si basa sull'intercettazione diretta del trasporto solido longitudinale. Di conseguenza essi, come accennato, trovano la loro immediata applicazione in presenza di attacco di moto ondoso obliquo rispetto alla costa, cioè in presenza, come nel caso dei delta fluviali, di un prevalente trasporto solido longitudinale. Da un punto di vista costruttivo, i pennelli devono essere radicati adeguatamente a terra per evitare che possano essere "aggirati" sopraflutto dal trasporto longitudinale ad opera del "run up" delle onde, oppure "cortocircuitati" sottoflutto a seguito del nuovo orientamento della linea di riva. In conclusione quindi, per le ragioni sopra esposte, si è deciso di adottare quale tipologia principale per le opere di difesa del litorale in questione quella a pennelli a "T" disposti in serie. Limitatamente alla zona nord dell'intervento ricadente in prossimità della foce del Picentino lungo il litorale Magazzeno (Comune di Pontecagnano), dove la costa si presenta fortemente antropizzata con la presenza di infrastrutture litoranee ormai direttamente esposte all'azione del moto ondoso incidente, si è ritenuto che l'adozione di un sistema di difesa costituito da soli pennelli non fosse sufficiente per contrastare l'azione erosiva operata dal moto ondoso. Peraltro lo studio meteomarinario ha confermato che in questa zona, a differenza del restante litorale, la direzione media di attacco del moto ondoso risulta pressoché ortogonale alla linea di costa e pertanto la soluzione ottimale è costituita da un'opera di difesa parallela sommersa tracimabile accoppiata a pennelli, eventualmente parzialmente sommersi. Il principio ispiratore della barriera sommersa è quello di causare il frangimento delle onde determinando al suo tergo una zona protetta dall'attacco diretto del moto ondoso incidente. Il suo comportamento idraulico è simile a quello dei "reef" naturali che delimitano le lagune degli atolli corallini. Si evidenzia che poiché nella zona protetta dalla barriera sommersa si generano correnti longitudinali rilevanti, risulta molto importante che queste barriere vengano sempre accoppiate a pennelli la cui funzione principale è proprio quella di interrompere le correnti longitudinali determinando di fatto un intervento del tipo "a celle", che se ben dimensionato riduce considerevolmente le perdite di sabbia e quindi gli oneri di manutenzione del ripascimento.

Nel caso di barriere sommerse a debole sommergezza (dell'ordine di circa - 0,5+- 1,0 m sul livello medio del mare), l'impiego di un varco in ogni cella risulta strettamente necessario per i seguenti motivi: assicurare il necessario ricambio idrico tra la zona protetta ed il largo durante il bel tempo, assicurare l'accessibilità nautica alla costa.

È buona norma inoltre, prevedere sempre un'adeguata protezione del fondo dei varchi con ampie berme in pietrame poiché in corrispondenza di essi si localizzano, durante le mareggiate, forti correnti di ritorno (dette di *rip*) che favoriscono la fuoriuscita del materiale all'esterno del sistema di difesa e lo scalzamento delle testate della difesa sommersa. Per evitare tali fenomeni risulta quindi necessario proteggere sempre i varchi con berme in pietrame (Di Risio et al., 2010; De Girolamo et al., 2000).

In definitiva quindi, gli interventi previsti dal presente progetto definitivo per la difesa del tratto di litorale del golfo di Salerno, compatibili con le esigenze di fruibilità turistico balneare e contraddistinti da condizioni di minimo "impatto" ambientale e paesaggistico, consistono nella realizzazione delle seguenti opere (Fig. 4):

- n. 4 barriere longitudinali sommerse abbinate a n. 19 pennelli parzialmente sommersi, tutte realizzate in massi naturali di natura calcarea, a formare una serie di celle aventi la duplice funzionalità di attenuare il moto ondoso incidente e di contenere la deriva del materiale sabbioso;
- n. 42 pennelli a "T" e n. 3 pennelli parzialmente sommersi, sempre realizzati con massi naturali di natura calcarea e posti ad interasse variabile, al fine di ridurre le correnti longitudinali sotto costa, principali responsabili dell'erosione costiera.

- versamento di 200.000 m<sup>3</sup> di sabbia, idonea per il ripascimento e proveniente tutta da cave terrestri, in alcune aree opportunamente scelte sulla base di oggettive criticità legate all'erosione costiera;
- interventi di riqualificazione ambientale della fascia costiera.

### Indagini preliminari per la ricerca di cave a mare

In virtù dell'importanza assunta dal progetto e nell'ottica di favorire non solo la stabilizzazione della linea di riva, ma una sua evoluzione positiva in termini di larghezza di spiaggia fruibile al turismo, particolare rilevanza ha assunto in ambito progettuale la possibilità di individuare accumuli sabbiosi marini da utilizzare per il ripascimento degli arenili del Golfo di Salerno.

A tal scopo pertanto, nel mese di Maggio 2013 è stata eseguita una campagna geotecnica d'indagini preliminari rivolte alla definizione di cave marine per ripascimento costiero lungo il litorale salernitano dalla foce del Fiume Picentino a Torre S. Marco. La campagna ha incluso l'esecuzione di 24 vibrocarotaggi per una profondità di 5,0 m dal fondo del mare, l'acquisizione di profili sismici rivolti alla definizione della stratigrafia del fondo, il prelievo dalle carote estratte con i vibrocarotaggi di 72 campioni di sedimenti da sottoporre ad analisi granulometrica, colorimetrica e su 20 dei 72 campioni ad analisi chimiche, fisiche ed eco-tossicologiche ad opera dell'ARPAC. Le aree indagate sono state denominate ARS1, ARS2, ARS3 e ARS4 e sono rispettivamente posizionate lungo il litorale a partire da nord verso sud come riportato nella Figura 5.

L'interpretazione dei risultati delle indagini hanno confermato la presenza di rilevanti giacimenti di sabbia utilizzabili a scopo di ripascimento come era stato previsto dallo studio morfologico. Le indagini geofisiche comparate con quelle dei carotaggi attestano che le zone maggiormente "potenti" dal punto di vista produttivo delle sabbie sono l'ARS3 e la l'ARS4 posizionate a ridosso della foce del fiume Sele. In realtà dato che la direzione prevalente del trasporto è discendente, è prevedibile la presenza di sedimenti verso le due aree ed in particolare di quelle dal fiume Sele verso la ARS4.

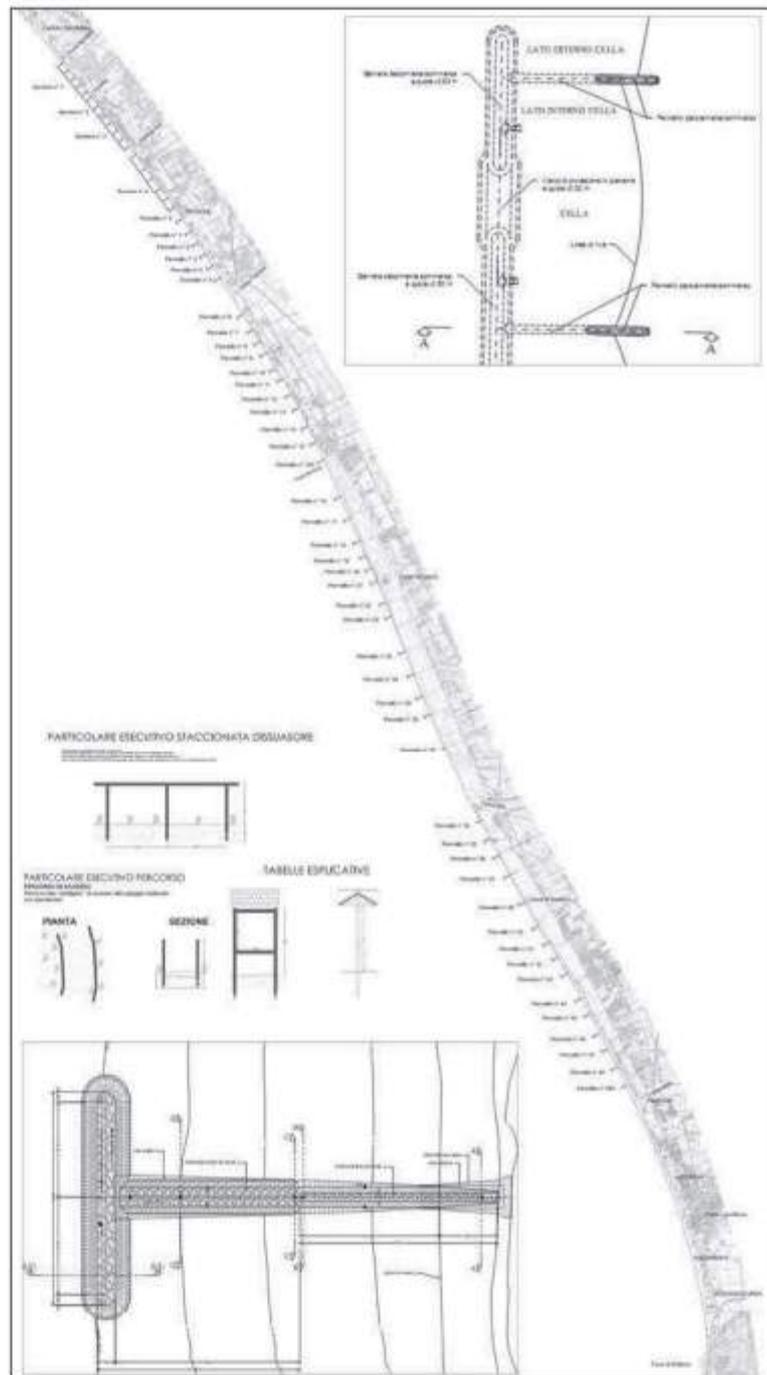


Figura 4. Golfo di Salerno, opere d'intervento.

Una conseguenza di quanto detto è che anche la zona tra le due aree ARS3 ed ARS4 potrebbe presentare una ottima capacità di fornimento delle sabbie relitte. Una ulteriore area che potrebbe risultare idonea, considerandone l'andamento delle batimetriche, è quella all'inizio dell'ARS3 e che quindi si dovrebbe inserire in futuri piani di ricerca. In conclusione quindi si può prevedere, con alto valore di confidenza, che eseguendo ulteriori indagini sia geofisiche (con condizioni meteomarine più propizie) sia una ulteriore campagna di carotaggi in particolare nel corridoio compreso tra le due aree ARS3 e ARS4 si possa ampliare il volume di disponibilità delle sabbie. Infatti alla luce dei risultati ottenuti sia dai tracciati sub-bottom profiler sia dai carotaggi diretti, per poter sopperire alle esigenze di sostegno della fascia costiera, si potrebbe riuscire ad ottenere una importante disponibilità di sabbie di buona qualità e granulometria su fondali non molto profondi. Valutata l'estensione delle aree racchiuse dai punti di campionamento risultati positivi alle indagini dirette e riscontrate positivamente sui profili sub-bottom, e in considerazione degli spessori di sabbie rilevati dalle stratigrafie preliminari, è possibile ipotizzare la presenza di giacimenti di sabbie con capacità anche superiori a 1.000.000 di m<sup>3</sup>.

Tali dati dovranno, allo stato, essere assolutamente confortati da indagini aggiuntive ed ulteriormente dettagliate oltre che confermati dal positivo risultato delle indagini granulometriche, colorimetriche, chimico-fisiche ed eco-tossicologiche. Da quanto esposto in precedenza emerge l'opportunità di estendere geograficamente ed infittire la campagna di rilievi effettuata eseguendo le indagini su un reticolo più fitto in modo dinamico, cioè a coprire dettagliatamente zone che l'indagine preliminare a grande maglia ha mostrato produttive e non dettagliare quelle scarsamente produttive. Pertanto, al fine di garantire il futuro equilibrio della fascia costiera sarà opportuno estendere le future indagini, in via prioritaria, all'intera area da foce Sele fino ed oltre ARS4".

### Gruppo Progettazione e Consulenti

**Progettazione:** Ing. Giovanni Cannoniero (*Coordinatore*), Ing. Giuseppe D'Acunzi, Geol. Francesco Peduto, Dott. Angelo d'Acquisto, Ing. Francesco Sessa, Arch. Letteria Spuria, Dott. Valerio Catalano, Ing. Giuseppe Trotta, Geol. Maria Donata Turturiello, Arch. Vincenzo Zuccaro, Ing. Osvaldo Amoroso, Ing. Carmine Greco, Geom. Sergio Lauriana.

**Collaboratori alla progettazione:** Arch. Katja Aversano, Geol. Giuseppe D'Urso, Ing. Annapaola Fortunato, Sig. Gaetano Pierro.

**Coordinamento organizzativo:** Dott.ssa Bianca Curci, Dott. Alfonso Berardinelli, Geom. Isidoro Napoli, Dott.ssa Chiara Pacelli.

**Consulenze specialistiche:** Prof. Ing. Paolo De Girolamo (*Consulenza idraulico marittima*), Prof. Geol. Alessio Valente (*Consulenza analisi sedimentologiche*), Ing. Davide Saltari (*Consulenza per la cantierizzazione*), Ing. Andrea Sanzone (*Consulenza dimensionamento opere marittime*), Prof. Ing. Fabio Dentale (*C.U.G.R.I. - Direzione tecnico scientifica campagna rilievi*), Ing. Giovanna Salzano (*Supporto al RUP per la sicurezza*), Dott. Claudio Mancuso (*Consulenza ornitologica*), Dott. Giovanni Gammarano (*Consulenza opere di mitigazione*), Arch. Aniello Schiavone (*Consulenza rendering*), Dott. Alessandro Salvatore (*Consulenza Analisi Costi-Benefici*).

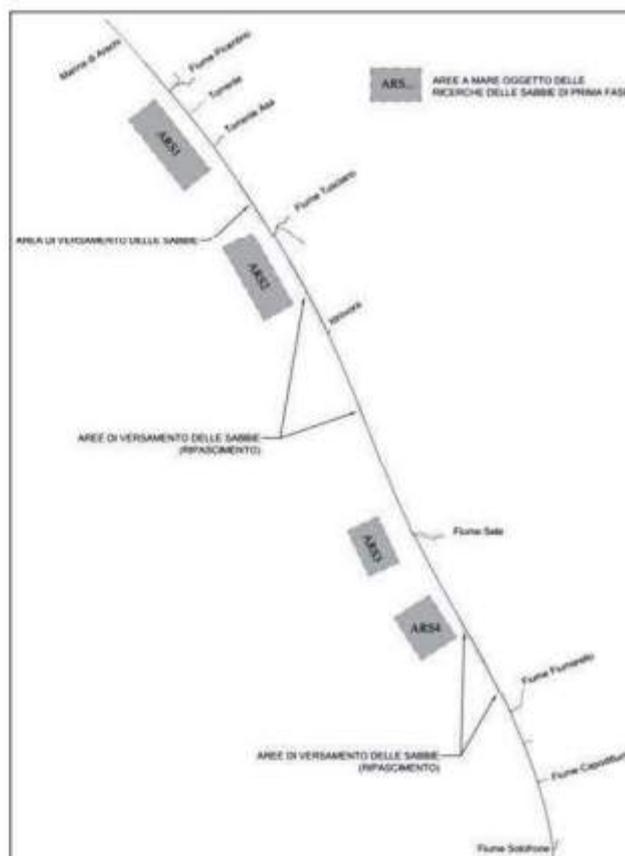


Figura 5. Golfo di Salerno, aree di indagine per la ricerca della cave di sabbia marine.

## Bibliografia

- CUGRI (2004) - *Valutazione dell'apporto solido dei principali corsi d'acqua del golfo di Salerno.*, A cura di V. Bovolin V, Assessorato alle Politiche Ambientali, Provincia di Salerno, 303 pp.
- Budillon F., Vicinanza D., Ferrante V., Iorio M. (2006) - *Sediment transport and deposition during extreme sea storm events at the Salerno Bay (Tyrrhenian Sea): comparison of field data with numerical model results.* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6:839–852.
- Cocco E., Iuliano S. (1999) - *L'erosione del litorale in sinistra foce Sele (Golfo di Salerno): dinamica evolutiva e proposte di intervento a difesa e tutela della spiaggia e della pineta litoranea di Paestum.* Il Quaternario, 12: 125-140.
- D'Acunzi G., De Pippo T., Donadio C., Peduto F., Santoro U., Sessa F., Terlizzi F., Turturiello M.D. (2008) - *Studio dell'evoluzione della linea di costa della piana del Sele (Campania) mediante l'uso della cartografia numerica.* Studi costieri, 14: 55-67, 2008.
- De Girolamo P., Noli A., Caputi P., Visca C., Raggi D., Caporale N. (2006) - *Analisi di rischio morfologico e socioeconomico della fascia costiera abruzzese. Fattibilità degli interventi di riqualificazione morfologica a scala regionale.* Abruzzo Cronache, settembre 2006.
- De Girolamo P., Noli A., Contini P., Mondini F., Beltrami F., Franco L. (2000) - *Risk analysis in coastal systems planning and management.* Excerpta of the italian contributions to the field of hydraulic engineering, ISSN: 0394-526x.
- De Pippo T., Cocco E., De Magistris M.A., Efaicchio M.T., Giulivo I., Tarallo F., Valente A. (1989) - *Evoluzione e dinamica litoranea delle spiagge della Piana del Sele (Campania, Italia).* Pact., 25: 271-277.
- Di Risio, M., Lisi I., Beltrami G.M., De Girolamo P. (2010) - *Physical modeling of the cross-shore short-term evolution of protected and unprotected beach nourishments.* Ocean Engineering, 37: 777–789.
- Ferrante V., Budillon F., Iorio M., Lubritto C., Monaco M., Pugliese Carratelli E., Vicinanza D. (2011) - *Tracing possible offshore sand movement during extreme sea storm events: an example from the Salerno Bay (Southern Tyrrhenian Sea).* Volume Speciale Mare - Marine Research at CNR, Dipartimento Terra e Ambiente, Chapter: Risks, pp. 1720-1733.
- Pennetta M., Sica M., Abbundo R. (2011) - *Canali da Rip Currents nella spiaggia sommersa presso la foce del Fiume Sele (Golfo di Salerno, Italia).* Rend. Online Soc. Geol. It., 17: 139-144.

**Manoscritto ricevuto il 13/01/2017; accettato il 12/02/2017**

## Ricerche preliminari di sabbie sui fondali del Golfo di Salerno per interventi di ripascimento

Alessio Valente<sup>1</sup>, Valerio Catalano<sup>2</sup>, Fabio Dentale<sup>3</sup>, Franco Peduto<sup>2</sup>, Francesco Sessa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Università degli Studi del Sannio, valente@unisannio.it

<sup>2</sup>Provincia di Salerno, Settore Ambiente ed Ecologia

<sup>3</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile - Università degli Studi di Salerno

### Riassunto

Questo contributo descrive i risultati delle ricerche preliminari svolte al largo della costa Piana del Sele, al fine di identificare potenziali zone sabbiose utilizzabili per il progetto di protezione dall'erosione del litorale salernitano. In questo progetto sono, infatti, previsti degli interventi di ripascimento di alcune sezioni. In realtà, il litorale salernitano, lungo oltre 34 km, mostra una tendenza generale ad arretrare, con i valori più alti nelle aree della foce del Sele e nelle sezioni settentrionali. Indagini geofisiche e sedimentologiche sono state eseguite sui fondali della piattaforma continentale interna tra la profondità di 9 e 20 m. Due aree in prossimità della bocca Sele hanno mostrato una buona compatibilità delle sabbie. Il volume stimato di questi depositi sabbiosi sembra essere sufficiente per il ripascimento previsto dal progetto.

**Parole chiave:** ripascimento, erosione costiera, sedimenti offshore, Golfo di Salerno

### Abstract

*This paper describes the results of the preliminary researches performed offshore the Sele Plain coast in order to identify potential sandy areas. These researches are functionally to the project designed to prevent the erosion of such coast characterized by a sandy beach that stretches seamlessly for more than 33 km. This project also requires the nourishment of some coastal sections, where the urbanization and the tourist-beach activities have heavily suffered in consequence of the erosion. In fact, the coastline shows an overall tendency to retreat with highest values in the areas of the mouth of the Sele and in the northern regions. The causes of this retreat are related mainly to the low sediment supply from rivers, but also to the removal of sediment from the dune and beach areas and at times to the intense human activity in the coastal zone. Geophysical and sedimentological surveys were carried out on the seabed of the inner continental shelf between the depth of 9 and 20 m. More specifically on four broad areas about 2-3 square miles are executed very high resolution seismic profiles (Sub Bottom Profiler) and, along these ones, 24 cores with a penetration depth of 6 m from the seabed. In every cores are collected sediment samples for particle size analysis and colorimetric comparison, and, for a significant number of them, for chemical analysis, physical and eco toxicology. Two areas of them in the vicinity of the Sele mouth showed a good compatibility of the sands. The estimated volume of these sandy deposits will be sufficient to the nourishment provided by the project.*

**Key words:** beach nourishment, coastal erosion, offshore sediments, Salerno Gulf

### Introduzione

Il litorale prospiciente il Golfo di Salerno negli ultimi cinquanta anni ha mostrato una generale e localmente diffusa tendenza all'arretramento, talora con fenomeni di erosione estesi fino al piede della duna recente (D'Acunzi et al., 2008). Questa situazione ha determinato conseguenze sulle opere di urbanizzazione e sulle attività turistico-balneari diffuse nell'area. Le cause dell'arretramento, oltre all'asporto diretto dei sedimenti

dalle aree dunari e di spiaggia ed a luoghi all'intensa antropizzazione della fascia costiera, sono connesse per lo più allo scarso apporto solido fluviale. Al fine di opporsi all'erosione è in corso la progettazione estesa all'intero litorale di interventi di difesa, che prevede altresì il ripascimento di alcuni tratti ("Grande Progetto" della Provincia di Salerno).

### L'area in studio

Il Golfo di Salerno è una depressione tettonica estesa in direzione WSW-ENE lungo il margine continentale tirrenico, delimitata dalla Penisola Sorrentina a nord e dal promontorio del Cilento a sud. Nell'entroterra si sviluppa un'ampia piana dissecata dal Fiume Sele e da altri corsi d'acqua minori (Cinque et al., 1986). Il litorale della piana del Sele è caratterizzato da una spiaggia che si estende senza soluzione di continuità per più di 33 km. Le uniche interruzioni sono legate alle foci fluviali, tra queste solo quella del Sele, nonostante i fenomeni erosivi, sembra mostrare un lieve protendimento verso mare come un delta (Cocco et al., 1992).

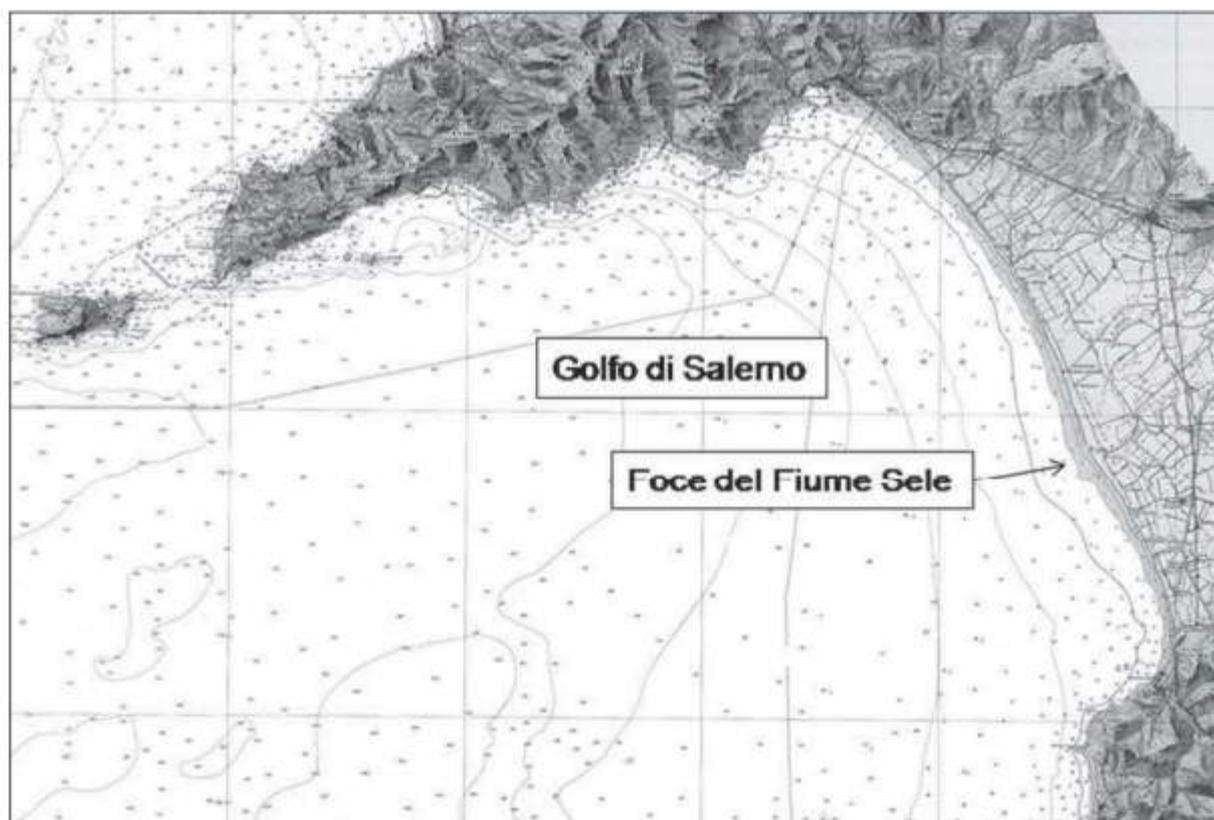


Figura 1. Golfo di Salerno su stralcio della Carta Nautica dell'Istituto Idrografico della Marina (scala 1:100.000).

La linea di costa mostra complessivamente una tendenza all'arretramento con differenti valori nelle diverse aree (massimi nelle aree di foce ed in quelle settentrionali) e con alcuni tratti in controtendenza (aree meridionali). Il valore medio di perdita volumetrica di sabbia è stato stimato a circa 200.000 mc/anno per gli ultimi 50 anni, tuttavia nell'ultimo decennio questa perdita sembra essersi rallentata. Nell'immediato fondale sono presenti due ordini di barre, di cui il primo a circa 1 m di profondità è molto irregolare e frammentato. Oltre questi il fondo non mostra bruschi salti di pendenza e si approfondisce gradualmente fino a -25 m. La profondità di chiusura è pari a circa 8,60 m.

Il cordone dunare attuale risulta ancora conservato per gran parte del litorale e raggiunge in alcuni tratti anche un'ampiezza di oltre 400 m ed un'altezza variabile tra 2 e 8 m. Esso è colonizzato da una discontinua vegetazione a macchia mediterranea, mentre l'ambiente retrodunare a luoghi è caratterizzato da una fitta pineta, talora con sporadici eucalipti, messi a dimora all'inizio del XX secolo a seguito di interventi di bonifica.

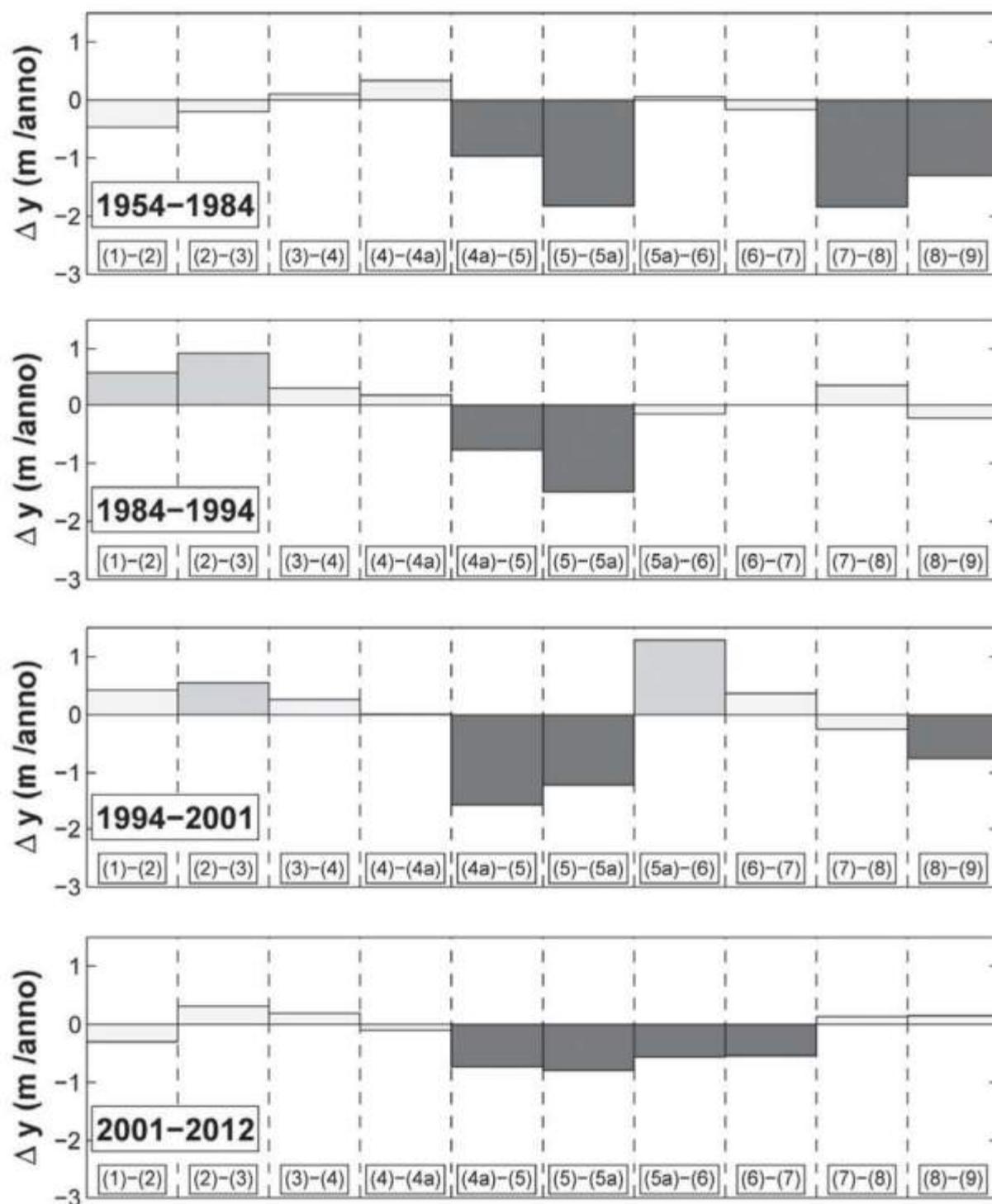


Figura 2. Variazione linea di costa (in m/anno) del litorale della Piana del Sele.

### Materiali e metodi

L'erosione diffusa sul litorale del Golfo di Salerno ha reso necessario la ricerca di sabbie per eseguire interventi di ripascimento (BEACHMED, 2003). In base ai dati ricavati da precedenti indagini geofisiche e sedimentologiche, suffragati da dati recenti di letteratura (D'Argenio et al., 2012), è stata avviata una serie di

approfondimenti specifici sui fondali di quattro aree ampie (ARS) di circa 2-3 km<sup>2</sup> sulla piattaforma continentale più interna tra le profondità di 9 e 20 m (Fig. 3), analogamente ad altre campagne (es. Correggiari et al., 2011; Preti, 2002). Nella delimitazione delle aree si è posta attenzione alla presenza di habitat a *Posidonia Oceanica* e *Cymodocea Nodosa* (Nicoletti et al., 2006) Gli approfondimenti sono consistiti in:

- esecuzione di 24 carotaggi da eseguire a mare con una profondità di penetrazione di 6 m dal fondo marino;
- prelievo dalle carote di campioni di sedimenti da sottoporre ad analisi granulometrica e colorimetrica, nonché, per un numero significativo di essi, ad analisi chimica, fisica ed eco tossicologica;
- acquisizione di profili sismici ad altissima risoluzione (Sub Bottom Profiler) rivolti alla definizione della stratigrafia ed intersecanti i punti di carotaggio.

Le indagini e le analisi, che hanno rispettato le indicazioni previste dal Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini dell'APAT – ICRAM (2006) sono state condotte con il supporto dell'ARPAC.

### Risultati

Le ricerche per l'individuazione di depositi sabbiosi a largo del litorale del Golfo di Salerno utili per l'intervento di ripascimento sono state eseguite su quattro aree.

Nell'Area di Ricerca Sabbie 1 (ARS1), situata nella parte settentrionale del litorale investigato, le facies acustiche hanno rilevato una prima fascia superficiale con potenza compresa tra 4 e 5 m con risposta acustica molto caotica e disturbata corrispondente a materiali sciolti non sabbiosi. Tale interpretazione è stata suffragata dall'analisi dei sedimenti nelle carote. Esse mostrano solo al top di alcune carote più prossime alla costa sabbie fini in spessori poco più che decimetrici, altrimenti risultano prevalenti i sedimenti pelitici anche con percentuali considerevoli.

Nell'Area di Ricerca Sabbie 2 (ARS2) si evidenzia una differenza significativa tra i campioni di sedimento prelevati nei carotaggi intorno alla batimetrica di 10 m e quelli recuperati a maggiori profondità. Tale situazione risulta anche dai Sub-Bottom Profiler (SBP), la cui risposta acustica per la parte più prossima alla costa è attribuibile alle sabbie, mentre procedendo verso il largo si avrebbero tratti acustici più rispondenti a sedimenti pelitici. In particolare, i campioni delle carote meno profonde risultano essenzialmente sabbiosi con percentuali comprese tra 86% e 98%. In tali percentuali spicca decisamente l'intervallo granulometrico delle sabbie fini, moderatamente classate e con asimmetria positiva. Per quanto riguarda il colore dei sedimenti,

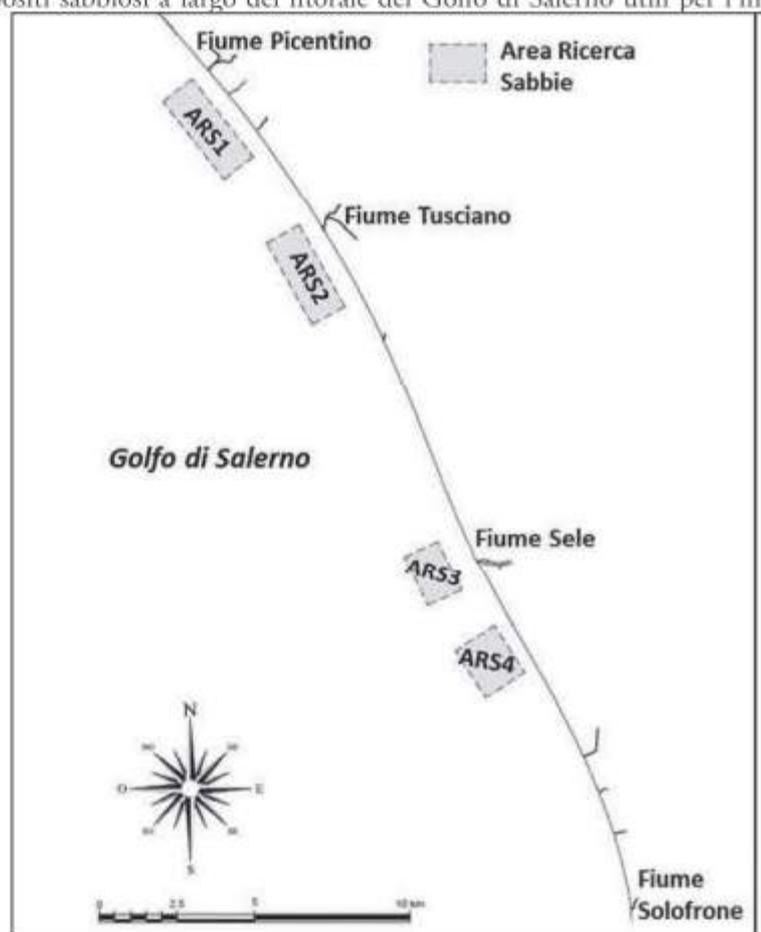


Figura 3. Aree di indagine per la ricerca delle sabbie per gli interventi di ripascimento.

si nota che i tratti con percentuali minori di sabbie risultano lievemente più scuri rispetto a quelli con percentuali maggiori (grigio olivastro o olivastro).

L'Area di Ricerca Sabbie 3 (ARS3), ubicata in corrispondenza della foce del Fiume Sele, presenta dalla batimetrica 9.5 fino alla batimetrica 18, una risposta acustica tipica della presenza di materiale sabbioso con discreta continuità laterale. Tale continuità tende a perdersi avvicinandosi alla foce del fiume. Comunque, in quest'area le carote si caratterizzano per la loro omogeneità di sedimento in spessori di diversi metri, date da sabbie fini di colore grigio o grigio olivastro, con un grado di assortimento moderato e con distribuzioni simmetriche o lie-

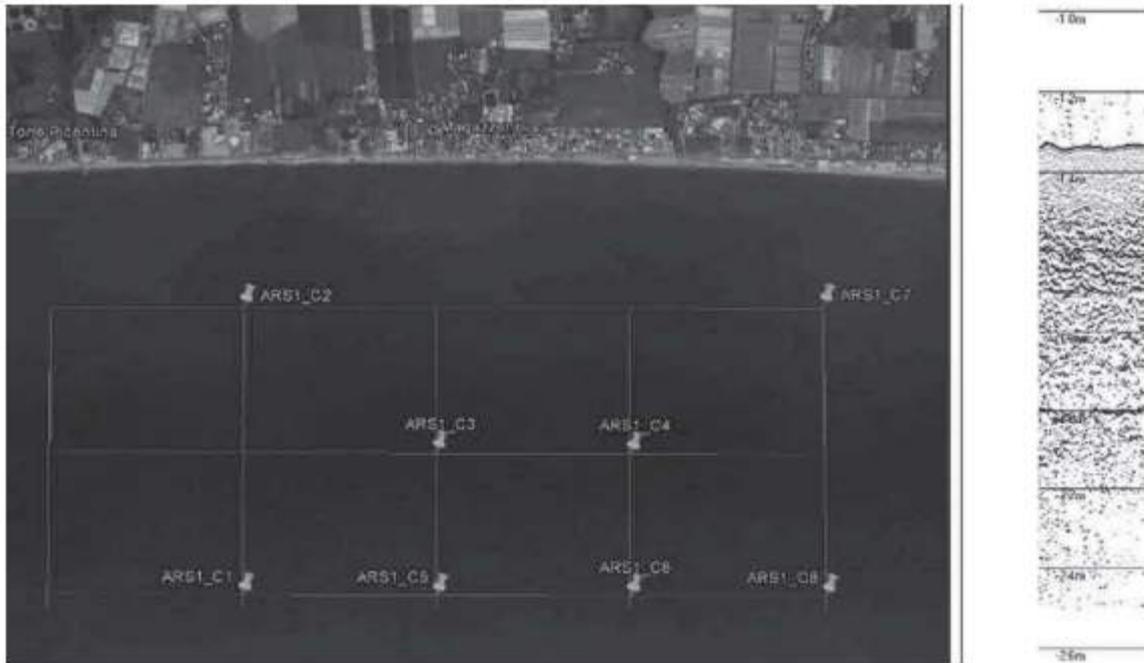


Figura 4. Dettaglio prelievi area ARS1.

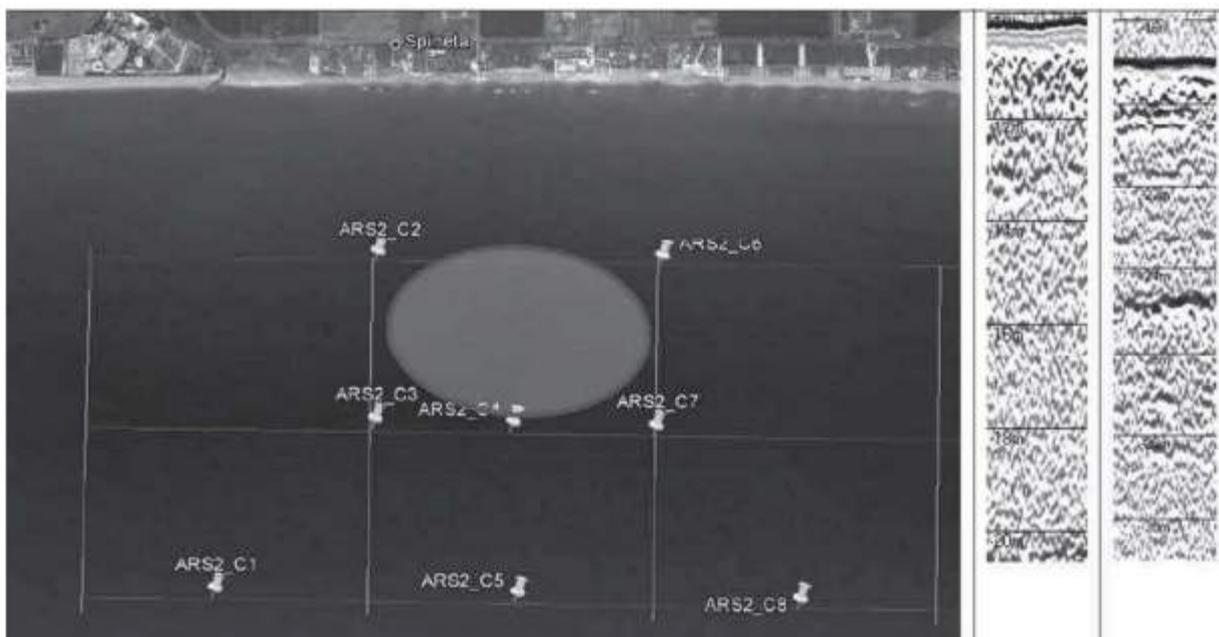


Figura 5. Dettaglio prelievi area ARS2.

vemente asimmetriche positive. Quest'ultimo dato evidenzia a tratti la significativa presenza di pelite (>10%). L'Area di Ricerca Sabbie 4 (ARS4), posta a sud della foce del Fiume Sele, si contraddistingue per uniformità di risposta acustica e per un'alta presenza di sabbie in corrispondenza della sua quasi totalità della superficie. Tuttavia, i campioni prelevati nelle carote recuperate alle batimetriche minori hanno evidenziato per l'intero spessore sabbie fini con percentuali pelitiche poco significative, diversamente da quelle recuperate più al largo, dove alle sabbie si associa una frazione pelitica abbondante. Le caratteristiche granulometriche dei campioni con le sabbie prevalenti, ovvero con pelite inferiore al 10%, non si discostano da quelle della precedente area. Le analisi chimiche, ecotossicologiche e microbiologiche eseguite dall'ARPAC hanno classificato i campioni analizzati conformi all'utilizzo per il ripascimento. Infatti, con riferimento al Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini dell'APAT – ICRAM i campioni analizzati mostrano valori accettabili per la microbiologia e inferiori al Livello Chimico Limite e ai valori chimici per le sostanze pericolose e prioritarie.

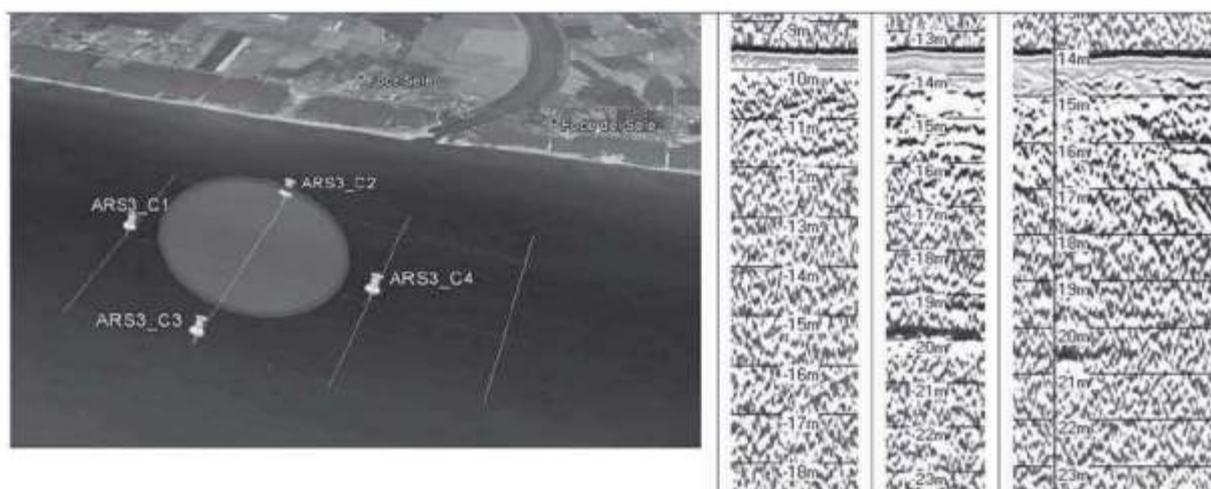


Figura 6. Dettaglio prelievi area ARS3.

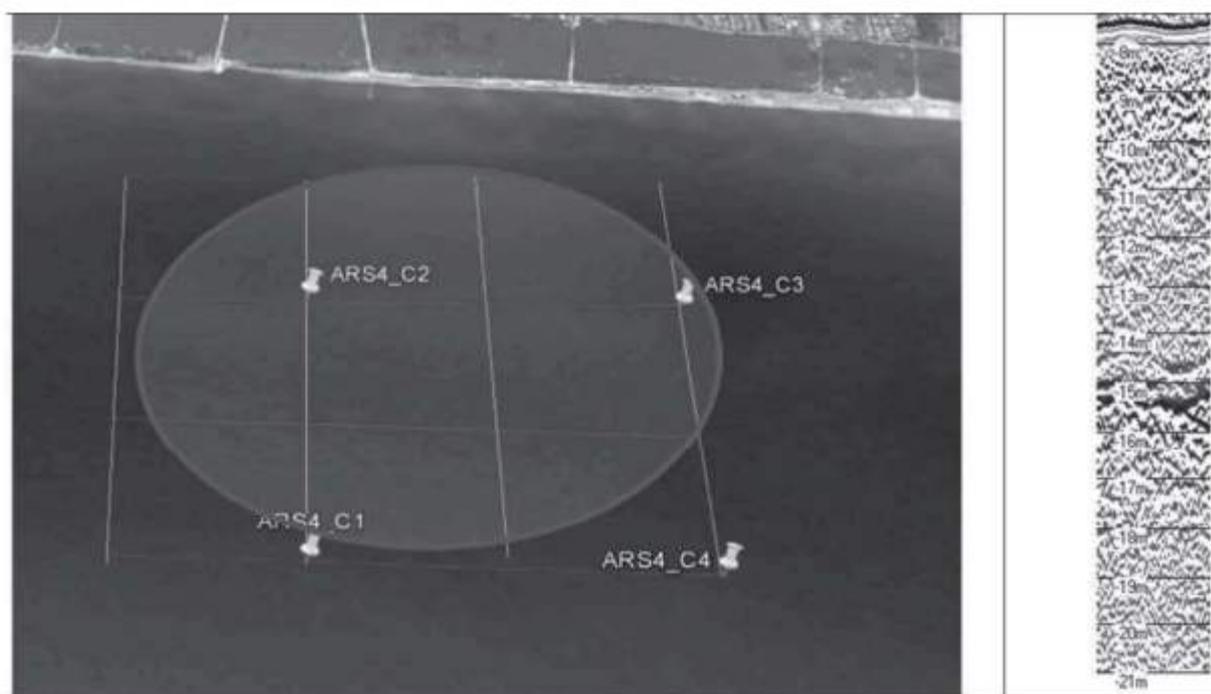


Figura 7. Dettaglio prelievi area ARS4.

## Conclusioni

I risultati della suddetta analisi hanno mostrato una compatibilità delle sabbie solo per nelle due aree nell'intorno della foce del Sele (ARS3 e ARS4), mentre in quelle più a nord (ARS1 e ARS2) la ricerca, pur evidenziando la presenza di sabbie, ha rivelato, non solo uno spessore limitato, ma anche una non conformità in termini di colore (grigio scuro) e di quantità di sedimento più fine presente (asimmetrie fortemente positive e scarsa selezione). Nelle aree meridionali, invece, le indagini hanno evidenziato percentuali significative di sabbie fini, moderatamente classate, di colore prevalente grigio olivastro per spessori decisamente importanti, anche fino a 5 m, tra la batimetrica di 9 e 16 m (ARS3 e ARS4). Si sottolinea, altresì, come la compatibilità dei sedimenti (incremento in percentuale delle sabbie medie simmetriche o con asimmetria negativa) tenda a migliorare con la minore influenza di quelli dispersi a largo dal Fiume Sele e questo potrebbe indurre, previa successiva indagine di dettaglio in fase esecutiva, di concentrarsi solo sull'area più meridionale (ARS4).

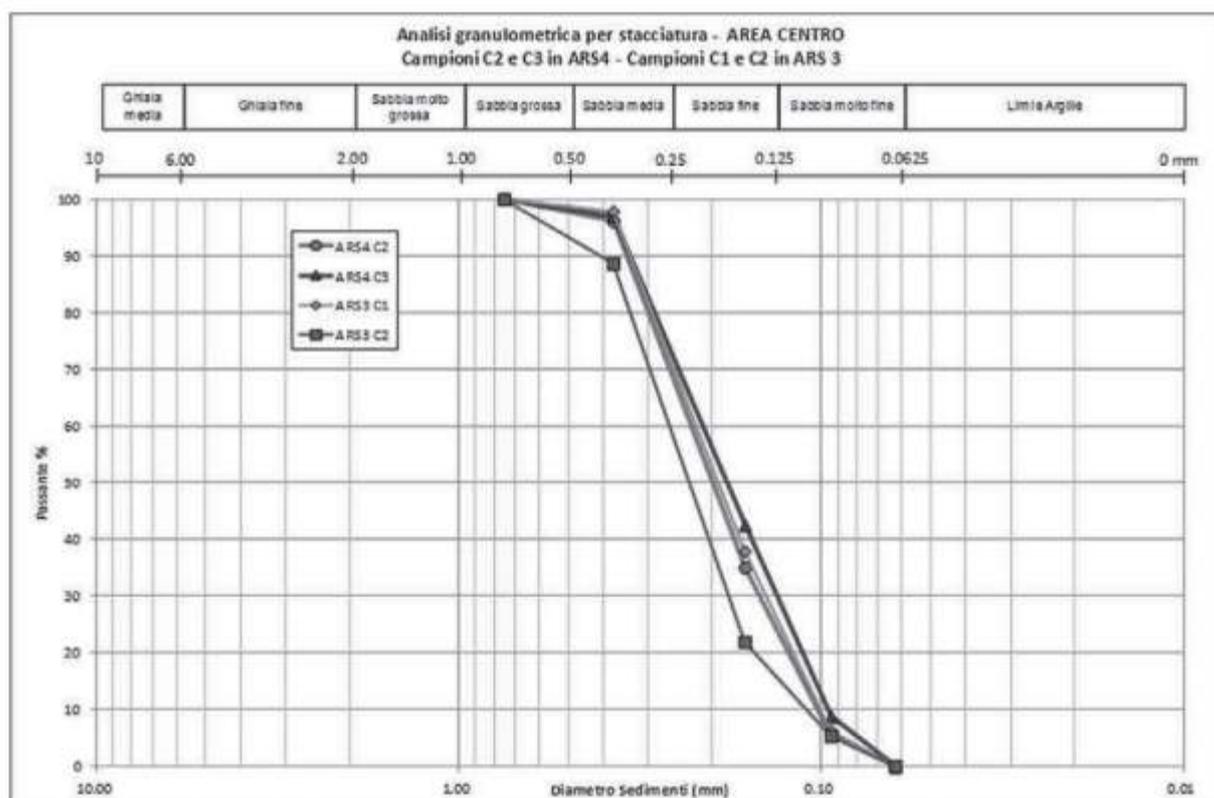


Figura 8 Curva granulometrica.

Comunque, se quanto evidenziato dalle indagini preliminari eseguite dovesse essere confermata da quelle di dettaglio, pur restringendo l'utilizzo delle sabbie della sola area meridionale (>600.000 m<sup>2</sup>) vi sarebbero volumi di sedimento sufficienti per i versamenti previsti dal progetto e per quelli eventualmente necessari in caso di eventi erosivi significativi. Inoltre, in considerazione delle informazioni ricavabili dai profili sismici, l'area di indagine nella seconda fase potrebbe essere ulteriormente estesa e ciò aumenterebbe il quantitativo delle sabbie disponibili.

## Bibliografia

APAT-ICRAM (2006) - *Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini*. 67 pp.

BEACHMED (2003) - *Il progetto Beachmed: recupero ambientale e mantenimento dei litorali in erosione con l'utilizzo di depositi sabbiosi marini*. Programma Operazione Interreg III B. Protezione e valorizzazione del patrimonio naturale e culturale, gestione della biodiversità, dei territori e dei paesaggi. Spazio del Mediterraneo Occidentale. I Quaderno tecnico (Fase A), Roma, 236 pp.

- Cocco E., de Magistris M.A., Efaicchio M.T., Boscaino F. (1992) *Geoenvironmental features of the Sele River Plain littoral (Gulf of Salerno, South Italy)*. Boll. Ocean. Teorica ed Appl., X: 235-246.
- Correggiari A., Aguzzi M., Remia A., Preti M. (2011) – *Caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche dei giacimenti sabbiosi in Mare Adriatico settentrionale utilizzabili per il rinascimento costiero*. Studi Costieri, 19: 11-31
- D'Acunzi G., De Pippo T., Donadio C., Peduto F., Santoro U., Sessa F., Terlizzi F., Turturiello M.D. (2008) – *Studio della evoluzione della linea di costa della piana del Sele (Campania) mediante l'uso della cartografia numerica*. Studi Costieri, 14: 55-67.
- D'Argenio B., Lirer L., Pappone G. (2012) - *Land-Sea interaction: the case of Sele River, Southern Italy*. **Rendiconti Lincei Scienze fisiche e naturali**, 23 (1), 129 pp.
- Nicoletti L., Paganelli D., Gabellini M. (2006) – *Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di rinascimento: proposta di un protocollo di monitoraggio*. Quaderno ICRAM n.5, 159 pp.
- Preti M. (2002) - *Ripascimento di spiagge con sabbie sottomarine in Emilia Romagna*. Studi Costieri, 5: 107-134.

**Ricevuto il 25/05/2016; accettato il 15/02/2017**

## L'impegno di Legambiente per una gestione sostenibile delle "Spiagge di Montalbano"

Antonino Duchi<sup>1</sup>, Natalia Carpanzano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Legambiente Il Carrubo, via Umberto Giordano 55 – 97100 Ragusa, legambienteragusa@gmail.com, aduchi@tin.it

<sup>2</sup>Legambiente Sikelion, via Genova 19 – 97014 Ispica

### Riassunto

In Italia la pressione antropica lungo la fascia costiera ha portato all'instaurarsi di fenomeni erosivi che a loro volta hanno spinto alla creazione di strutture di protezione della costa, nonché a piani di ripascimento. Questo è avvenuto anche lungo i litorali della Sicilia Sud-Orientale ed in particolare nella fascia costiera iblea: ma il denominatore comune è stato la risoluzione di un problema (o di un interesse) locale, indipendentemente dal fatto che la realizzazione di una data opera in una porzione di litorale potesse causare un danno in quello immediatamente adiacente. In questi ultimi anni si è assistito ad un fiorire di nuovi progetti antierosione, in questo caso legati a piani di ripascimento e conseguente posizionamento di pennelli, ma anche di barriere artificiali soffolte. Il punto di partenza di tale nuova fase di progettazione ed intervento è stato fondamentalmente il P.A.I. Coste della Regione Sicilia. Legambiente in provincia di Ragusa, tramite la creazione di un gruppo di lavoro intercircoli, ha iniziato a valutare tali progetti, riscontrando diverse falle quali: l'inadeguatezza del P.A.I. per l'area in questione e la non conformità dei progetti con il Piano paesaggistico provinciale. Viene descritta ed evidenziata tale attività, che ha portato tra l'altro alla bocciatura in ambito di V.I.A. di un megaprogetto in pieno SIC marino.

**Parole chiave:** erosione, Sicilia, Ragusa, paesaggio, legalità, opere di difesa

### Abstract

The commitment of the Environmental Association "Legambiente" to the sustainable management of the "Montalbano Beaches"

*In Italy the pressure along the coasts has led to erosion impacts which in turn have led to the creation of coast protection structures, as well as a beach nourishment plans. This happened also in South-Eastern Sicily, and particularly along the coasts of the Province of Ragusa, which has recently assumed international fame thanks to the television series Inspector Montalbano (based on the books by Andrea Camilleri): the common factor was the resolution of a local problem, regardless the possibility of causing a damage in the portion of shoreline immediately adjacent. Recently there has been a flourishing of new anti erosion projects, linked to beach nourishment plans and the subsequent positioning of groynes and submerged artificial reefs. The starting point of this new planning activity was the Hydrogeological Coastal Masterplan (P.A.I.) of the Sicily Region. Legambiente in the province of Ragusa, through the creation of a Working Group, has started to evaluate these projects and found several flaws, like: the inadequacy of the Sicilian P.A.I., which is based on a too short time-series data for this area; the non-compliance of the projects with the Landscape Masterplan of the province of Ragusa, which forbids artificial coastal protection structures, and, in some of them, the lack of monitoring of the Posidonia beds. Following this, Legambiente started a series of activities: 1) Presentation of Remarks to the Environmental Impact Evaluation Service of the Sicily Region 2) Petition to the Public Prosecutor of Ragusa 3) Petition to the Court of Accounts 4) Raising awareness of the population through public meetings and initiatives such as Legambiente campaigns (Clean Up the Med, Clean Up the World) 5) Videos (BACK TO THE BEACH; <https://www.youtube.com/watch?v=ClajkRqnbPA>) 6) Communication on media 7) Environmental*

*monitoring 8) Initiatives against illegal inshore trawling. The main result was the rejection by the Sicilian Regional Administration of a megaproject in a Marine Site of Community Importance (ITA 080010).*

**Key words:** *erosion, Sicily, Ragusa, landscape, legality, coastal protection structures*

### **Introduzione**

In Italia lo sviluppo economico si è accompagnato a profondi cambiamenti ambientali lungo la fascia costiera, dove la pressione antropica è stata maggiore: ciò ha portato all'instaurarsi di fenomeni erosivi che a loro volta hanno spinto alla creazione di strutture di protezione della costa, nonché a piani di ripascimento (Pranzini e Rossi, 2013). Questo processo si è svolto anche lungo i litorali della Sicilia Sud-Orientale ed in particolare in quelli ragusani (che di recente hanno assunto notorietà internazionale grazie alla serie televisiva sul Commissario Montalbano tratta dai libri di Camilleri) in relazione a vari fattori quali: sbarramenti lungo i corsi d'acqua e costruzione o ampliamento di porti e approdi (Scoglitti, Pozzallo, Donnalucata, Punta Secca). Tali alterazioni sono state amplificate da diffusi interventi di urbanizzazione ed infrastrutturazione agricola, nonché dalla sottrazione di inerti sia dagli arenili che dai fiumi e torrenti. In relazione a ciò, fenomeni di arretramento e di erosione sono stati osservati in diverse aree. D'altro canto si sono sviluppati accumuli di sedimenti in aree quali, ad esempio, a Nord del porto di Scoglitti o ad Ovest di quello di Donnalucata (Amore e Randazzo, 1998; Anfuso, 1998). Successivamente sono stati effettuati altri massicci interventi, quali il porto turistico di Marina di Ragusa, che ha fatto scomparire la spiaggia dello Scalo Trapanese: anche in questo caso si è verificato l'accumulo di sedimenti osservabile negli altri sopraccitati porti. A proposito di ciò sono stati messi in opera sistemi rigidi di barriere frangiflutti in diversi tratti della costa (Donnalucata, Marina di Ragusa, Scoglitti): opere inserite con orientamento subparallelo alla costa che, se hanno portato al ripascimento dell'area da loro protetta, hanno a loro volta innescato processi erosivi sottoflutto, oltre che produrre tomboli e zone stagnanti (Anfuso, 1988). Una successiva barriera è stata collocata presso Playa Grande, in prossimità della foce del fiume Irmínio ed in concomitanza della costruzione dell'omonima lottizzazione di ville. Il denominatore comune è stato quindi la risoluzione di un problema (o di un interesse) locale, indipendentemente dal fatto che la realizzazione di una data opera in una porzione di litorale potesse causare un danno irreversibile in quello immediatamente adiacente. Tipico è l'esempio del tratto di litorale ad est di Donnalucata (Scicli), dove alcune barriere realizzate 20-30 anni fa hanno causato l'erosione del tratto di litorale immediatamente ad est; per risolvere tale problema le Amministrazioni hanno realizzato negli ultimi anni altri 17 pennelli in zona Arizza.

La popolazione, purtroppo, da una parte è stata parte attiva in questo processo d'intensa antropizzazione, dall'altra ha accettato passivamente tutto quello che le varie Amministrazioni hanno proposto in tema di difesa delle coste: è mancata, infatti, una seria informazione e comunicazione sulle procedure e sugli effetti negativi di tale antropizzazione, nonché sul fatto che si possano scegliere interventi meno invasivi e più sostenibili dal punto di vista ambientale, in un'ottica di gestione integrata della fascia costiera.

In questi ultimi anni si è assistito ad un fiorire di nuovi progetti antierosione, in questo caso legati a piani di ripascimento e conseguente posizionamento di pennelli, ma anche di barriere artificiali soffolte. Il punto di partenza di tale nuova fase di progettazione ed intervento è stato fondamentalmente il Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Coste della Regione Sicilia. In relazione a ciò, ed anche in concomitanza con l'elaborazione ed adozione del Piano paesaggistico provinciale, Legambiente, che da anni si è occupata dei problemi della fascia costiera, effettuando tra l'altro anche alcuni monitoraggi ambientali (Duchi e Giampiccolo, 2009), ha iniziato ad prendere in considerazione il complesso problema.

### **Area di studio**

Il litorale della provincia di Ragusa (Fig. 1) si sviluppa per un totale di circa 87 km tra la foce del torrente Lavinario Bruno ad Est (36°42'1"N; 15°0'0"E; WGS84) e la foce del Fiume Dirillo a Nord-Ovest (37°0'37"N; 14°20'16"E; WGS84), con un andamento piuttosto ondulato. Ai 56 km di costa bassa, rappresentata da spiagge sabbiose e sabbioso-ciottolose (in netto subordine), si alternano 31 km (circa il 35%) di costa rocciosa rappresentata da falesie con altezze massime non superiori a 5 m e da pavimenti rocciosi.

Le spiagge più ampie si trovano prevalentemente in prossimità di strutture portuali, con ampiezze anche superiori ai 100 m. Le coste basse rappresentano circa il 65% dell'intero litorale, talvolta sono bordate da dune che in alcuni tratti sono abbastanza estese ed ancora integre, mentre in altri tratti l'intensa urbanizzazione ha

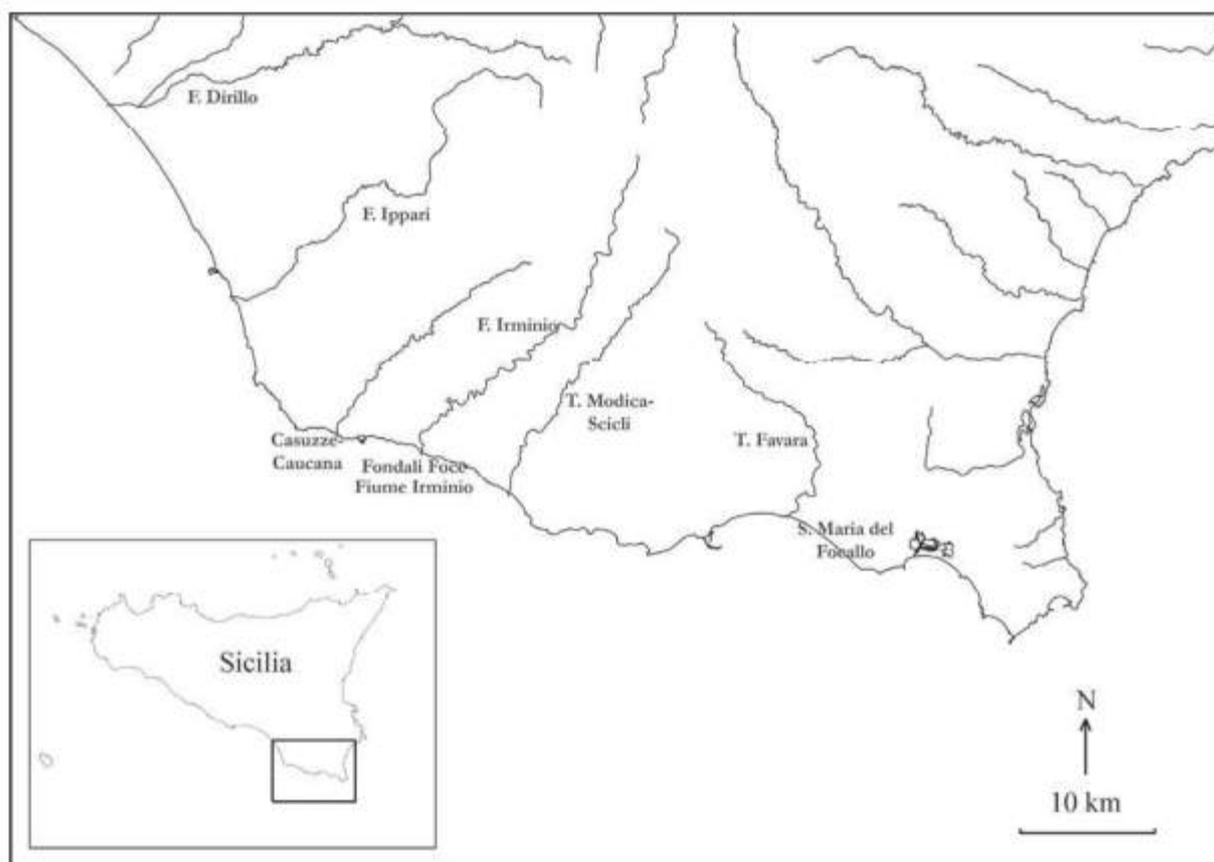


Figura 1. La fascia costiera della provincia di Ragusa.

determinato un forte degrado e, nei casi estremi, un completo spianamento. Lungo l'area in questione sono presenti diversi apparati focali e pantani costieri retrodunali. L'importanza paesaggistica e naturalistica è notevole ed è testimoniata, tra l'altro, dalla presenza di due riserve naturali, una attiva (Macchia Foresta della Foce del Fiume Irminio) ed un'altra ancora sottoposta ad un problematico iter istitutivo (Pantani della Sicilia Sud-Orientale), nonché da una serie di SIC e ZPS terrestri (Foce del Fiume Irminio ITA 080001; Punta Braccetto-Contrada Cammarana ITA80004; Cava Randello-Passo Marinaro ITA80006; Spiaggia Maganuco ITA80007; Contrada Religione ITA80008; Pantani della Sicilia Sud orientale ITA90003) nonché di un SIC marino (ITA 080010 Fondali Foce del Fiume Irminio), che hanno permesso di mantenere ancora alcune aree naturali in una fascia costiera a forte pressione antropica.

### Materiali e metodi

Il problema è stato affrontato dai tre Circoli di Legambiente presenti sul territorio (Il Carrubo Ragusa, Sikelion Ispica e Melograno Modica), che hanno costituito un Gruppo di Lavoro Intercircoli e conseguentemente un gruppo di studio per l'analisi dei progetti.

#### *Analisi P.A.I. - Censimento progetti - Analisi progetti*

E' stata effettuata un'analisi critica del P.A.I. coste, sulla base del quale è stata impostata tutta una serie di nuovi interventi lungo la fascia costiera. E' stato avviato un censimento di tali interventi, sia direttamente nei diversi enti di riferimento, sia tramite ricerca nelle banche dati online. Non sempre è stato agevole recuperare l'informazione ed un esaustivo censimento è ancora di là da venire, anche per difficoltà di tipo burocratico incontrate. Una fonte cui attingere è stata spesso la stampa, presso la quale vengono 'pubblicizzati' gli stessi da parte degli enti preposti, in particolare quando vengono finanziati. In seguito è stata svolta un'analisi critica degli stessi progetti, sotto tutti gli aspetti: tecnici, ambientali, paesaggistici, procedurali.

## Risultati

### *P.A.I. coste*

Dalla lettura del P.A.I. coste si è rilevato che alcune aree, a suo tempo classificate nella cartografia tematica ad alta pericolosità ed alto rischio, quali ad esempio la spiaggia di Marina di Modica e la spiaggia compresa tra Caucana e Casuzze, sono in realtà delle spiagge che negli anni si presentano sostanzialmente stabili. Questi errori di previsione sono dovuti alla complessità dei fenomeni meteo-marini ed agli effetti connessi alla costruzione di nuove strutture (porti, barriere, ecc.) nel periodo posteriore a quello preso in considerazione nello studio del P.A.I., ma anche al fatto che tale strumento si è basato (almeno per il SE siciliano) su dati insufficienti e troppo limitati nel tempo.

Le Amministrazioni locali, invece di dare un contributo e rendere dinamico il P.A.I. Coste, ne hanno passivamente accettato le indicazioni in parte vistosamente errate, ed hanno spinto verso interventi puntuali quali la realizzazione di pennelli e barriere che, oltre a non risolvere la situazione, non sono consentiti dal Piano Paesaggistico della Provincia di Ragusa (vedi sotto). Tutto ciò fondamentalmente al fine di utilizzare i finanziamenti erogati dal Ministero dell'Ambiente senza preoccuparsi minimamente dell'utilità o meno delle opere.

### *Censimento, analisi e valutazione progetti*

Al momento sono stati analizzati e valutati 3 progetti:

1) Intervento di tutela fascia costiera Riserva Naturale Fiume Irminio, in territorio di Scicli. Il progetto prevedeva principalmente la realizzazione di 23 scogliere debolmente sommerse, della lunghezza di 65 metri ciascuna, disposte su due file sui fondali antistanti la spiaggia di Plaja Grande e della riserva Macchia Foresta del Fiume Irminio (SIC ITA 080001), in pieno sito SIC ITA 080010 *Fondali Foce del Fiume Irminio*.

2) Progetto Definitivo Generale per le opere di tutela della fascia costiera di S. Maria del Focallo, in territorio di Ispica. Il progetto prevede la realizzazione di 13 pennelli obliqui alla costa che, partendo dalla spiaggia si addentrano in mare, di cui 9 per 80 metri con alla base una larghezza di 14,50 metri e nella parte superiore una larghezza di 7,5 metri.

3) Progetto definitivo per la ricostruzione della spiaggia di Caucana e Casuzze nel territorio del Comune di Santa Croce Camerina. Prevede la realizzazione di un pennello a mare e di un ripascimento sulla spiaggia di Casuzze. Nello specifico, questo litorale costituisce una modesta pocket beach, cioè una spiaggia limitata da promontori rocciosi.

Per altri si è ancora nella fase di recupero della documentazione.

### *Il Piano Paesaggistico della Provincia di Ragusa*

Tutti questi progetti hanno un comune denominatore, dal 2010 a questa parte: il rilascio di nulla-osta, a parere di Legambiente illegittimi, da parte della Soprintendenza ai Beni Culturali ed Ambientali della Provincia di Ragusa, in quanto tali progetti violano alcuni articoli del Piano Paesaggistico. Infatti con D. A. n.1767 del 10 agosto 2010 è stata disposta l'adozione del Piano Paesaggistico della provincia di Ragusa. Nel suddetto Piano all'art. 36, sono ammessi: *"interventi rivolti al mantenimento idrogeomorfologico della costa a pianura di dune e dei versanti e a garantire il permanere delle esistenti condizioni di relativo equilibrio, con esclusione di scogliere artificiali e barriere frangiflutti"*. Inoltre, sempre nello stesso articolo, è espressamente vietata la realizzazione di: *"opere a mare e i manufatti costieri che alterino la morfologia della costa e la fisionomia del processo erosione-trasporto-deposito di cui sono protagoniste le acque e le correnti marine; opere che alterano il percorso delle correnti costiere, creando danni alla flora marina, e che alterano l'ecosistema dell'interfaccia costa mare"*

All' Art. 13 del Piano (*Siti di rilevante interesse paesaggistico-ambientale*), inoltre, si dice che: *"non sono compatibili interventi che alterino comunque l'equilibrio dinamico dei biotopi e dei siti complessi, ed in particolare: la realizzazione di porti e approdi; la realizzazione di opere a mare (ad esempio barriere frangiflutti, scogliere artificiali, interventi di ripascimento della costa) che alterino l'andamento delle correnti e le caratteristiche dei fondali"*.

## Discussione e conclusioni

La fascia costiera è un sistema complesso nel quale intervengono numerose di variabili che interagendo ne determinano la fisionomia e la dinamica. Interventi antropici che non tengano conto di questo elementare concetto sono destinati a modificarne, a volte irreversibilmente, l'assetto provocando danni che risulta estremamente difficile e dispendioso risolvere. In ogni caso gli interventi devono basarsi su una visione per lo

meno intercomunale, necessitano su di una solida conoscenza basata su dati raccolti in modo adeguato e per un tempo adeguato (Pranzini e Rossi, 2013), devono rispondere ad esigenze reali e, non da ultimo, devono rispettare la normativa esistente.

Nulla di tutto ciò appare riscontrabile nel litorale ragusano: gli interventi, infatti, appaiono settoriali in un'ottica strettamente comunale; ciò ha comportato e comporta che un intervento in un'area può provocare problemi di erosione in un'altra area del litorale. Gli elementi conoscitivi sui quali è stato costruito il P.A.I. coste sono inadeguati, per lo meno per quanto concerne la scala temporale di raccolta dati. Manca ancora un rigoroso studio che definisca chiaramente un bilancio sedimentologico e che permetta di individuare i tratti di costa in erosione dai tratti di costa in accumulo e le quantità coinvolte: ciò permetterebbe di risolvere molte dei problemi in questione. Inoltre, attraverso operazioni di by-pass costiero si potrebbe evitare la realizzazione di strutture rigide in molte zone, limitandole solo a particolari situazioni. Proprio per questi motivi, negli Stati Uniti questa tipologia di opere è stata abbandonata dagli anni '70.

Inoltre: in alcuni casi non è stata adeguatamente monitorata la facies biologica bentonica (prateria a *Posidonia*), i problemi che si vogliono risolvere sono apparsi inadeguati a giustificare le opere proposte, infine gli interventi previsti cozzano palesemente con i dettami del Piano paesaggistico e, nonostante ciò, hanno avuto via libera nei procedimenti amministrativi e valutativi.

Infine non è stata per nulla considerata la questione della sicurezza per la balneazione nei litorali dove vengono realizzate queste strutture. Infatti, com'è possibile evincere dal rapporto ISTISAN n° 12/23 (Funari *et al.*, 2012) una spiaggia piatta presenta pericoli per la balneazione sicuramente inferiori rispetto ad una spiaggia artificializzata. Lo stesso studio (pag. 52) riporta la distribuzione geografica dell'I.R.A. (Indice Rischio Annegamenti) nei comuni italiani, calcolato tra il 2000 ed il 2008 sulla base degli annegamenti avvenuti. Risulta evidente che il numero maggiore di annegamenti è localizzato nelle zone che presentano questa tipologia di opere (pennelli e barriere) quale ad esempio il litorale adriatico, nonostante tale litorale, per la presenza di un notevole numero di stabilimenti balneari, abbia le spiagge tra le più controllate d'Italia. Per quanto concerne i comuni del ragusano, essi non presentano certamente un basso I.R.A.: infatti parte del litorale della provincia di Ragusa presenta I.R.A. con rischio più elevato (4). Questo alto indice si riferisce ai comuni rivieraschi siti nel settore occidentale. Diverse strutture che s'intendono realizzare, quali il "Progetto di tutela della fascia costiera del litorale di Ispica" si svilupperanno invece nel settore orientale e tenderanno ad "omogeneizzare" in tal senso i due settori. I progetti che vengono presentati generalmente non affrontano tale problema o, al massimo, si limitano ad avvertire che dovrà essere apposta un'opportuna cartellonistica, la quale non è certamente esaustiva ad eliminare questo rischio. Riguardo a tutto ciò, il gruppo di lavoro intercircoli per la conservazione della fascia costiera iblea è intervenuto più di una volta in merito:

#### *Cosa ha fatto Legambiente*

- 1) Presentazione di Osservazioni all'Assessorato Territorio ed Ambiente della Regione Sicilia
- 2) Esposto alla Procura della Repubblica di Ragusa
- 3) Esposto alla Corte dei Conti
- 4) Sensibilizzazione della popolazione tramite incontri pubblici ed iniziative quali le campagne di Legambiente (Spiagge e Fondali Puliti, Puliamo il Mondo)
- 5) Realizzazione di video inchieste (BACK TO THE BEACH; <https://www.youtube.com/watch?v=ClajkRqnbPA>)
- 6) Comunicazione sui mezzi d'informazione
- 7) Monitoraggi ambientali
- 8) Iniziative contro la pesca a strascico sottocosta.

In conclusione: far comprendere a progettisti ed Amministratori Locali che questi interventi sono impattanti e convincere la popolazione che per "rispetto del mare" si possa anche fare qualche centinaio di metri a piedi per fare il bagno è sicuramente un'impresa ardua, anche perché diverse di queste opere sono state già valutate positivamente od appaltate.

Sicuramente un elemento centrale è quello di cercare di intervenire nella fase di Valutazione di Impatto Ambientale: l'esperienza dimostra che in questo caso le possibilità di risolvere positivamente le questioni sono maggiori. E' il caso del progetto ricadente sui fondali della foce del Fiume Irminio: infatti, grazie alle osservazioni di Legambiente, la Regione Sicilia in ambito V.I.A. ha bocciato il progetto di 23 barriere

sommerse nei fondali antistanti la foce del Fiume Irminio ed ha anche indicato favorevolmente le eventuali soluzioni progettuali alternative proposte da Legambiente, quali la: «rasatura o eliminazione della barriera di Playa Grande» (D.A 135/GAB del 27 aprile 2015). E' evidente che tale attività di monitoraggio ed 'intervento precoce' in fase di V.IA. richiede un impegno significativo da parte di un'associazione di volontariato, che deve 'attrezzarsi' di conseguenza. E' indubbiamente da potenziare l'informazione ed il coinvolgimento degli stakeholders e di tutta la popolazione sul tema specifico (e sulla gestione integrata della fascia costiera in generale). In quest'ambito indubbiamente vi sono state esperienze positive, quali le Campagne di Legambiente Spiagge e Fondali Puliti e Puliamo il Mondo, che hanno coinvolto negli anni studenti e volontari. Al riguardo va evidenziato che, anche grazie all'impegno del Gruppo di Lavoro intercircoli di Legambiente Sicilia Sud Est, Spiagge e Fondali Puliti 2015 a livello nazionale ha avuto come argomento focale proprio il problema dell'erosione costiera.

### Ringraziamenti

Si ringraziano, per il supporto scientifico e tecnico, i Professori Enzo Pranzini e Giorgio Anfuso, e il Dr Giuseppe Scaglione. Un grazie al Dr Giorgio Zampetti per la proficua collaborazione.

### Bibliografia

- Amore C., Randazzo G. (1998) - *Problematiche ambientali del bacino idrografico del Fiume Irminio. L'influenza dell'invaso di Contrada S. Rosalia*. In: Caratteristiche geologico-ambientali dell'Altopiano ibleo (Sicilia Sud-orientale) (a cura di: Mario Grasso e Concetto Amore). Boll. Accad Gioenia Sci. Nat., 31: 275-286.
- Anfuso G. (1998) - *Il litorale ragusano compreso tra Cava d'Aliga e la foce del fiume Dirillo*. In: Caratteristiche geologico-ambientali dell'Altopiano ibleo (Sicilia Sud-orientale) (a cura di: Mario Grasso e Concetto Amore). Boll. Accad Gioenia Sci. Nat., 31: 287-301.
- Duchi A., Giampiccolo M. (2009) - *Monitoraggio Uccelli Spiaggiati (M.U.S.) come occasione formativa e di indagine ambientale: un'esperienza in provincia di Ragusa*. Atti XV Convegno Italiano di Ornitologia. Alula, 16: 724-726.
- Funari E., Giustini M., Pezzini D.G. (2012.) - *Annegamento e pericoli della balneazione*. Rapporto ISTISAN (Istituto Superiore Sanità) n. 12/23.
- Pranzini E., Rossi L. (2013) - *The role of coastal evolution monitoring*. In: Coastal erosion monitoring. A network of regional observatories. Results from ResMar Project. Regione Toscana. Ed. L.E. Cipriani, pp. 11-55.

**Ricevuto il 02/05/2016; accettato il 17/02/2017**

## Escursione lungo il litorale “piceno”

Alessio Acciarri<sup>1</sup>, Carlo Bisci<sup>1</sup>, Gino Cantalamessa<sup>1</sup>, Giorgio Di Pancrazio<sup>1</sup>, Federico Spagnoli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università di Camerino, Scuola di Scienze e Tecnologie, Sezione di Geologia, via Gentile III Da Varano, 62032 Camerino e-mail: gino.cantalamessa@unicam.it

<sup>2</sup>CNR, ISMAR - Istituto di Scienze Marine, largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona

### Riassunto

A conclusione del Convegno Nazionale del GNRAC “Erosione costiera: difesa, adattamento o arretramento?” è stata organizzata una breve escursione di mezza giornata lungo la costa “picena” (ovvero lungo il litorale marchigiano a sud del promontorio del Conero), di cui di seguito si illustrano sinteticamente alcuni punti salienti.

In particolare, vengono presentate alcune delle principali caratteristiche litoranee presenti in località Porto Sant’Elpidio, Porto Recanati e Sirolo.

**Parole chiave:** Mare adriatico, Regione Marche, erosione costiera

### Abstract

*At the end of the National Symposium “Coastal erosion: defense, adaptation or withdrawal?”, organized by the Italian National Group for the Research on Coastal Environment (GNRAC), a short (half day) excursion has been organized to visit the “picena” coast (i.e. the portion of Marche littoral to the south of the Conero Mt.): some key location of which are here synthetically described.*

*Namely, some of the main features of the coastline in Porto Sant’Elpidio, Porto Recanati and Sirolo are reported.*

**Key words:** Adriatic Sea, Marche Region, coastal erosion

### Introduzione

Dopo la conclusione dei partecipatissimi lavori in aula del Congresso Nazionale “Erosione costiera: difesa, adattamento o arretramento?” - organizzato dal Gruppo Nazionale per la Ricerca sull’Ambiente Costiero (GNRAC) e tenutosi a San Benedetto del Tronto (AP) il 5 giugno 2015 e preceduto da una visita alla Riserva Naturale Regionale della Sentina – il 6 giugno 2015 si è svolta un’escursione di mezza giornata lungo la costa “picena” (come viene comunemente definito il litorale compreso tra il promontorio del M. Conero, a nord, e la foce del F. Tronto, a sud). Questo tratto risulta essere diffusamente soggetto a notevoli fenomeni, spesso rapidi, di arretramento (Aringoli *et al.*, 2003; Acciarri *et al.*, 2016 a e b); lungo di esso, negli ultimi decenni sono stati adottati, spesso con scarsa efficacia e localmente persino con effetti negativi, diversi tipi di interventi di protezione dall’erosione marina, tanto di tipo morbido (ripascimenti) quanto di tipo rigido (massicciate aderenti, pennelli, barriere emerse e soffolte ecc.). In particolare, andando da sud a nord (Fig. 1), sono stati visitati alcuni tratti delle spiagge di Porto Sant’Elpidio, Porto Recanati e Sirolo (spiaggia dei Sassi Neri – San Michele), di cui vengono di seguito riportate alcune delle caratteristiche principali.

### Spiaggia di Porto Sant’Elpidio (FM)

Il litorale del comune di Porto Sant’Elpidio ricade interamente in un’unità fisiografica di lunghezza pari a 7.3 km, delimitata a nord dalla foce del F. Chienti e a sud dalla foce del F. Tenna (Fig. 2). Questi

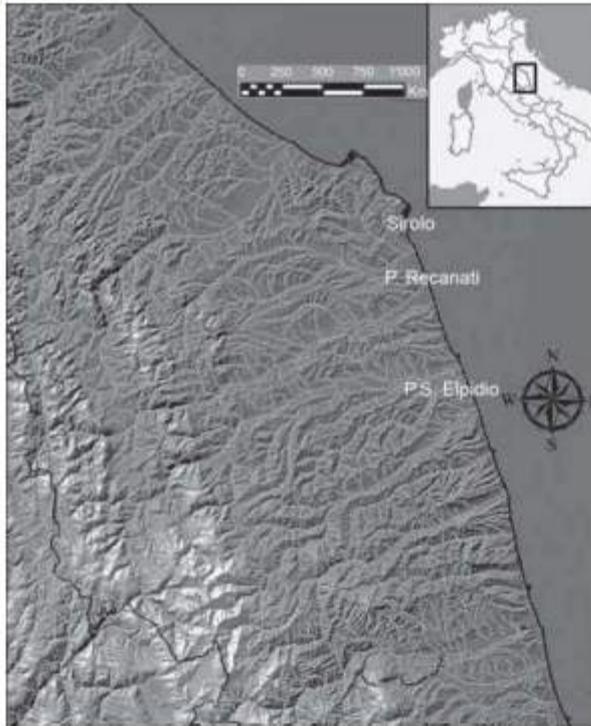


Figura 1. Ubicazione delle aree descritte.



Figura 2. Spiaggia di Porto Sant'Elpidio (FM).

due corsi d'acqua rappresentano, oltre che i limiti dell'unità fisiografica, anche i principali bacini di apporto solido dell'intera spiaggia. Il litorale si presenta grossomodo rettilineo, con direzione  $160^{\circ}\text{N}$ , e piuttosto uniforme dal punto di vista granulometrico. La spiaggia è difatti costituita prevalentemente da ghiaie medio-grossolane ( $D_{50}=13-16\text{ mm}$ ); soltanto nella sua porzione più settentrionale si rinvencono sabbie medie ( $D_{50}=0.5\text{ mm}$ ).

In passato, questo tratto di costa non ha manifestato particolari problematiche erosive, essendo compreso fra due fiumi che hanno fatto risentire la loro positiva influenza nell'alimentazione della spiaggia tramite il pur assai ridotto apporto di sedimenti. Inoltre, l'efficace politica urbanistico-ambientale del Comune di Porto Sant'Elpidio,



Figura 3. Il litorale di Porto Sant'Elpidio visto da nord (2010).



Figura 4. Ripresa aerea della foce del Fiume Tenna): anno 2001 (a sinistra) e anno 2013 (a destra).



Figura 5. Fenomeni erosivi in atto sulla spiaggia posta immediatamente sottoflusso al pennello realizzato nel 2006/07 in sponda sinistra alla foce del Fiume Tenna (verso sud a sinistra, verso nord a destra, in alto marzo 2011, in basso maggio 2015).

mirata alla conservazione di un'ampiezza notevole di spiaggia emersa, libera nell'immediato entroterra da strutture e infrastrutture pesanti (essendo caratterizzata da una vasta pineta, giardini, parcheggi e aree destinate alla organizzazione di eventi; Fig. 3) ha inciso positivamente sull'evoluzione del litorale negli anni '70, '80 e '90, tanto che sino al 2006/07 non si era resa necessaria la realizzazione di opere rigide di difesa costiera.

Le variazioni avvenute, per l'intera unità fisiografica, nei periodi 1978-1984 e 1984-1988 si sono infatti compensate fra loro e hanno prodotto nel complesso una generale situazione di stabilità, perdurata anche per tutto il periodo 1988-2000. Tuttavia, nel 1984/85 sul litorale di Marina Faleriense (porzione meridionale) è stato effettuato un intervento di ripascimento mediante materiale ghiaioso protetto da una soglia sommersa.

Nel 2006/07 sono stati però realizzati due pennelli emersi aggettanti in mare circa 100 metri. Il primo ubicato immediatamente alla sinistra della foce del Tenna, ha indotto forti fenomeni erosivi alla spiaggia di Marina Faleriense, posta sottoflusso rispetto alle mareggiate prevalenti da scirocco (Fig. 4).

Tale opera è stata successivamente resa parte integrante di un intervento molto più complesso, nel quale è stata inclusa la realizzazione nel 2007 di una serie di barriere sommerse per circa 1.7 km (a sostituzione della soglia sommersa presente dal 1984/85) collegate



Figura 6. Ripresa aerea dell'area circostante la foce del f. Castellano: anno 2001 (a sinistra) e anno 2016 (a destra).



Figura 7. Litorale a sud del pennello realizzato in adiacenza al Fosso Castellano: la spiaggia è avanzata negli ultimi anni (marzo 2011 in alto e maggio 2015 in basso).

a sud con il sopraccitato pennello emerso, prolungato di ulteriori 100 metri sommersi.

Nel litorale retrostante a tale opera è stato inoltre effettuato un ripascimento mediante materiale sabbioso,



Figura 8. Fenomeni erosivi in atto nel lato sottoflusso al pennello (vista verso sud; in alto aprile 2010, in basso marzo 2011).

conclusosi nel 2008. Ciò nonostante la spiaggia ha subito, negli anni 2008, 2009, e 2010, ulteriori arretramenti con danni che hanno interessato le strutture ricreative presenti, specie in occasione di mareggiate provenienti da bora-levante (NE-E) (Fig. 5). Il secondo pennello, realizzato a nord dell'abitato di Porto Sant'Elpidio alla sinistra della bocca del fosso Castellano (Fig. 6), ha senza dubbio garantito l'avanzamento della spiaggia sopraflusso, di fronte al campeggio (Fig. 7), ma nel contempo ha fortemente accelerato i processi erosivi nel lato nord, sottoflusso all'opera (Fig. 8). Questo ha poi tra l'altro resa necessaria la realizzazione di una barriera aderente a protezione di uno stabilimento balneare (Fig. 9), mentre un'abitazione abbandonata è stata completamente demolita dalle onde nell'arco di un anno (Fig. 10).



Figura 9. Vista del lato settentrionale del pennello posto a protezione di uno stabilimento balneare (maggio 2015).



Figura 10. Abitazione demolita dal mare nel lato nord del pennello (a sinistra aprile 2010, a destra marzo 2011).

### Spiaggia di Porto Recanati (MC)

Questa unità fisiografica (Fig. 11), delimitata a nord dalla foce del fiume Musone e a sud dalla foce del fiume Potenza, è lunga circa 6.13 km, compresi interamente nel territorio del Comune di Porto Recanati (Regione Marche, 2005). Il litorale presenta un orientamento simile a quello dell'unità precedente, ovvero SSE-NNO (circa 155°N), con andamento prevalentemente rettilineo salvo in corrispondenza dell'abitato di Porto Recanati dove, data la presenza di diverse opere di difesa costiera (pennelli e subordinatamente scogliere foranee emerse), la linea di riva risulta molto articolata.

Le principali fonti di approvvigionamento di materiali solidi da parte del mare sono rappresentate dai due fiumi che sfociano nei paraggi: il Musone a nord ed il Potenza a sud. Dai risultati delle analisi granulometriche svolte sui campioni prelevati a gennaio 2011 risulta che il litorale è caratterizzato prevalentemente da sabbia grossolana ( $D_{50} = 0.5 - 1$  mm) e ghiaia medio-fine ( $D_{50} = 4 - 10$  mm).

La linea di riva è quasi completamente protetta da numerose tipologie di opere di difesa, realizzate a più riprese dall'inizio del '900 ad oggi (Fig. 12). Già nel 1932 lungo la spiaggia ubicata nei pressi dell'abitato esisteva una serie di pennelli (Ortolani e Buli, 1947), poi rinforzati e prolungati negli anni '90. Dal 1960 in poi si intervenne tramite la realizzazione di scogliere emerse che, causando erosione sottoflusso (lato nord), furono continuamente prolungate verso nord sino all'ex stabilimento Montedison protetto da barriere aderenti (Fig. 13) e pennelli nel 1986.

Anche la strada litoranea che conduce verso nord a Scossici e poi da qui sino a Numana è protetta da una barriera aderente per 1.5 km, poi da una serie di scogliere emerse (abitato di Scossici; Figg. 14 e 15) e infine, da circa 2 km prima della foce del Musone, sono stati realizzati intorno al 2005 ben 13 pennelli sommersi (Regione Marche, 2005).

### Spiaggia Sassi Neri - San Michele, Sirolo (AN)

Il promontorio del Monte Conero costituisce il rilievo calcareo più esterno dell'Appennino centro-



Figura 11. Vista aerea del litorale di Porto Recanati.

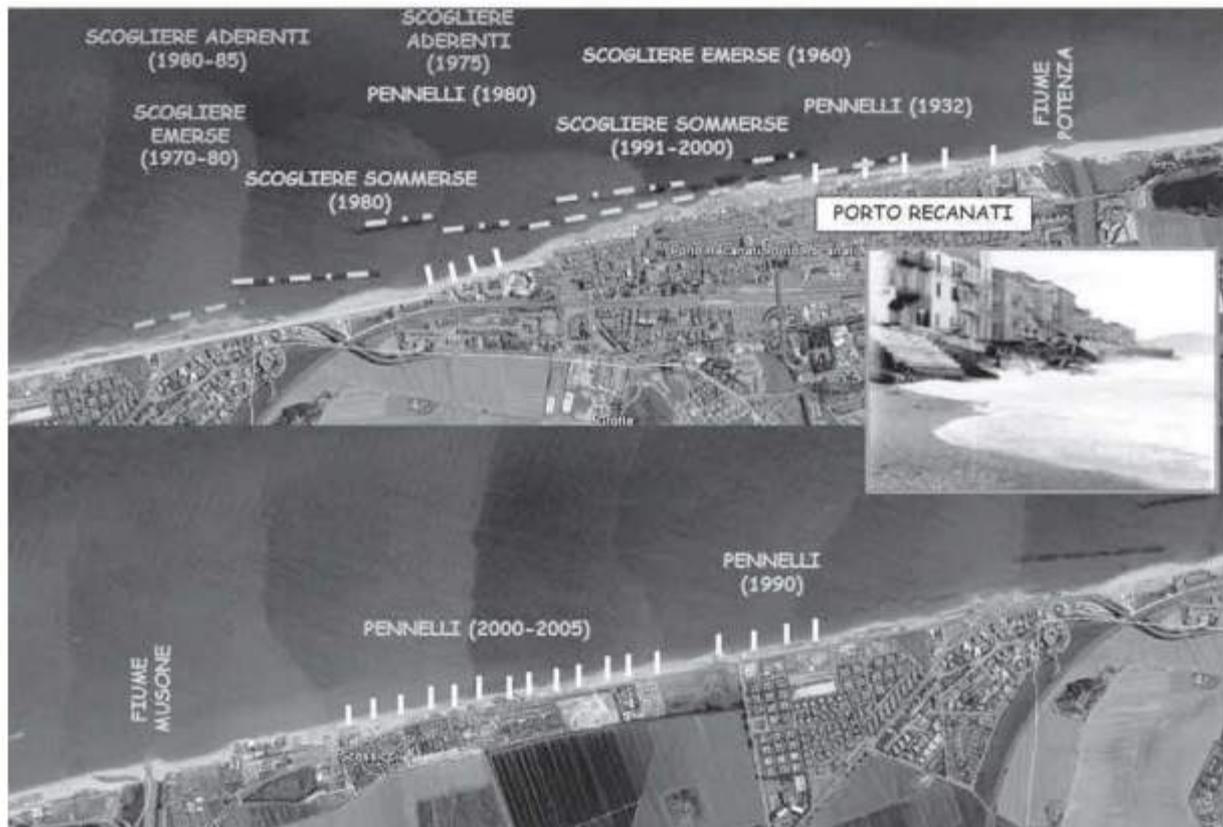


Figura 12. Diverse tipologie di opere rigide di difesa tra le foci dei fiumi Potenza e Musone.

settenzionale. Si tratta di una struttura anticlinale fortemente asimmetrica, con asse orientato in direzione appenninica (NO-SE) e vergenza a NE.

Questa struttura porta in affioramento una serie di terreni appartenenti alla successione Umbro-Marchigiana (Centamore e Deiana, 1986; Centamore e Micarelli, 1991) che va dalla Formazione della Maiolica (Cretacico inferiore) ai depositi terrigeni del Pliocene e Pleistocene (Figg. 16 e 17). Localmente, tale successione sedimentaria mostra caratteristiche peculiari, quali le numerose ed estese lacune stratigrafiche e le notevoli intercalazioni calcareo detritiche, che indicano la vicinanza di quest'area a una piattaforma carbonatica, probabilmente ubicata immediatamente ad oriente.



Figura 13. Opere distaccate sommerse (localizzate tra i pali emergenti) e aderenti.



Figura 14. Opere distaccate emerse con effetti di tombolizzazione.



Figura 15. Opere distaccate sommerse (tipo "Ferran"); la freccia indica l'intensa erosione sottoflusso rispetto alle opere distaccate suddette.

Il fronte orientale di questo rilievo è caratterizzato da una serie di promontori e insenature che delimitano diverse *pocket beaches*. La più nota di queste è la Spiaggia di Sassi Neri - San Michele (interamente ricadente nel Comune di Sirolo), posta alla base della porzione più meridionale del rilievo (Fig. 18).

Questa spiaggia si distingue dalle classiche *pocket beach* (Hsu *et al.*, 1987; Klein e Menezes, 2001; Klein *et al.*, 2002) per la sua curvatura limitata, per una "rilevante" lunghezza e per i promontori di chiusura poco pronunciati (Fig. 20 e Tab. 1). Il bacino idrografico a monte della spiaggia ha una estensione di circa 2.5 km<sup>2</sup> e si estende con una elevata pendenza fino alle quote più alte del Monte Conero, con un dislivello massimo di circa 480 m. Al suo interno, il reticolo idrografico è caratterizzato da piccoli fossi con scarse portate torrentizie a carattere nettamente stagionale.

I sedimenti ghiaioso-sabbiosi della spiaggia provengono dal disfacimento dei detriti di versante, costituiti prevalentemente da Scaglia rossa e Maiolica, nonché dalla degradazione delle formazioni più recenti della Scaglia cinerea, del Bisciario e dello Schlier. Tuttavia, questi ultimi contribuiscono soltanto in minima parte al naturale ripascimento dell'arenile data la loro composizione prevalentemente marnosa.

La dinamica della spiaggia di San Michele - Sassi Neri è prevalentemente *long-shore* e occasionalmente *cross-shore*, generando rotazioni



Figura 16. Stralcio della carta geologica in scala 1:10000 del Monte Conero (ridisegnata da CARG Marche).

a – depositi di spiaggia, b – Bisciario, c – Scaglia cinerea, d – Scaglia variegata, e- Scaglia rossa, f – Scaglia bianca, g – Marne a Fucoidi, h – Maiolica, i – Detrito, l – Frana, m – Faglia, n – Corona di frana.

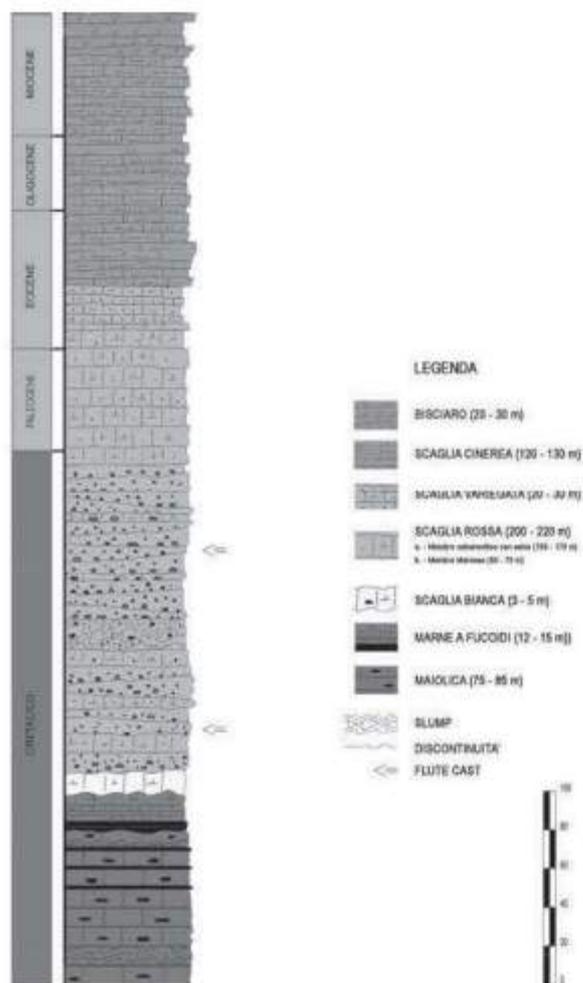


Figura 17. Successione stratigrafica rinvenibile al M. Conero.



Figura 18. Vista aerea dell'area della spiaggia Sassi Neri - San Michele.

continue della spiaggia; verso nord con moto ondoso da Scirocco (direzione prevalente di circa  $135^{\circ}\text{N}$ ), e verso sud con accumulo di sedimento a ridosso del promontorio di punta Giacchetta in occasione di mareggiate aventi direzione di circa  $45^{\circ}\text{N}$ .



Figura 19. Punti di chiusura della pocket beach: meridionale (in alto, Punta Giacchetta) e settentrionale (in basso).



Figura 20. Vista panoramica della pocket beach Sassi Neri – San Michele, Sirolo.

Tabella 1 – Parametri fisiografici della spiaggia Sassi Neri - San Michele, Sirolo.

Parametro	Valore
Apertura (CI)	1093 m
Embayment (a)	158 m
Lunghezza della linea di costa (SI)	1182 m
Indentation ratio (Klein <i>et al.</i> , 2002)	0,14
Profondità della spiaggia SI/CI (Klein <i>et al.</i> , 2002)	1,08
Esposizione	Est
Altezza dell'onda significativa media	2.09 m
Altezza dell'onda significativa massima	5.45 m
Profondità media di chiusura della spiaggia	3.91 m (Hallermeier, 1981)
Profondità media di chiusura della spiaggia	3.28 m (Birkemeier, 1985)
Profondità max di chiusura della spiaggia	9.68 m (Hallermeier, 1981)
Profondità max di chiusura della spiaggia	8.55 m (Birkemeier, 1985)
Superficie del bacino idrografico	2.53 km <sup>2</sup>
Granulometria prevalente dei sedimenti	sabbia ghiaiosa
Opere marittime presenti	barriere aderenti e soffolte



Figura 21. Operazione di ripascimento (foto Regione Marche).

Nell'anno 2009 è stato eseguito dalla Regione Marche un ripascimento della spiaggia emersa; l'operazione, iniziata nell'ottobre 2009, si è conclusa nel maggio 2011 e ha comportato l'impiego di circa 156.000 m<sup>3</sup> di ghiaia, provenienti da cave terrestri (Figg. 21 e 22).



Figura 22. Fasi successive delle operazioni di ripascimento: gennaio 2010 (a sinistra), gennaio 2011 (al centro), agosto 2011 (a destra). (foto Regione Marche).

### Bibliografia

- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G. (2016a) - *Anthropogenic influence on recent evolution of shorelines between the Conero Mt. and the Tronto R. mouth (southern Marche, Central Italy)*. Catena, 147: 545-555.
- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G., Spagnoli F. (2016b) - *Gli effetti antropici nell'evoluzione storica della costa "Picena"*. Studi costieri, 24, 3-9.
- Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Di Celma C., Farabollini P., Fazzini M., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G. (2003) - *Recent variations of the Italian central Adriatic coastline*. In: Castaldini D., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G. (Eds.) - *Geomorphological Sensitivity and System Response*. CERG, Strasbourg. 21-34.

- Birkemeier W. A. (1985) - *Field data on seaward limit of profile change*. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 111 (3), 598-602.
- Centamore E., Deiana G. (Eds.) (1986) - *La Geologia delle Marche*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 145 pp.
- Centamore E., Micarelli A. (1991) - *Stratigrafia*. In: AA.VV. - *L'Ambiente Fisico delle Marche. Geologia-Geomorfologia-Idrogeologia*. Regione Marche, Assessorato Urbanistica-Ambiente, Ed. S.EL.CA Firenze, 1-58.
- Hallermeier R. J. (1981) - *A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate*. Coastal engineering, 4, 253-277.
- Hsu J.R.C., Silvester R., Xia Y.M. (1987) - *New characteristics of equilibrium shaped bays*. Eighth Australasian Conference on Coastal and Ocean Engineering, 1987: Preprints of Papers. Institution of Engineers, Australia. 142 pp.
- Klein da Fontoura A.H., Benedet Filho L., Schumacher D.H. (2002) - *Short-term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems*. Journal of Coastal Research, 18, 3, 442-458.
- Klein da Fontoura A.H., De Menezes J.T. (2001) - *Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast*. Journal of Coastal Research, 17, 812-835.
- Ortolani M., Buli U. (1947) - *Le spiagge del litorale piceno da Ancona al F. Tronto*. In: *Le spiagge marchigiane*, Bologna, Coop. Tipografica Azzoguidi, 147 pp
- Regione Marche (2005) - *Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere – Relazione Generale*. Regione Marche, Dipartimento Territorio e Ambiente, 167 pp.

#### **Ringraziamenti**

Lavoro effettuato nell'ambito del Progetto bandiera RITMARE, SP3 WP1 AZ1 UO8, Responsabile scientifico Prof. Carlo Bisci.

**Ricevuto il 13/05/2016; accettato il 21/02/2017**