

FENOMENI EROSIIVI IN PROSSIMITÀ DEL PARCO ARCHEOLOGICO DI KAULON (RC): CAUSE E RIMEDI*

Giuseppe Barbaro

Dipartimento DICEAM

Via Graziella località Feo di Vito, 89122

Reggio Calabria, Italia

giuseppe.barbaro@unirc.it

Giandomenico Foti

Dipartimento DICEAM

Via Graziella località Feo di Vito, 89122

Reggio Calabria, Italia

giandomenico.foti@unirc.it

Carmelo Luca Sicilia

Dipartimento DICEAM

Via Graziella località Feo di Vito, 89122

Reggio Calabria, Italia

luca.sicilia.86@gmail.com

Abstract

The paper analyses the beach erosion which affected the coast of Monasterace Marina, Italy, where the Kaulon archaeological site is located. The site extends along the coast for 1 km, it is made of an ancient town, a museum and a Doric Temple which are inside a sand dune along the coast. During the winter season between 2013-2014, two severe storms completely eroded the beach, reaching to the Doric Temple, which was partially destroyed. All the possible causes of the erosional phenomenon are investigated through the analysis of cartography, wave, weather and climate data, and the use of soil. This analysis is carried out for different historical periods over the last 60 years. Also, a quick and temporary solution is described.

KEY WORDS: *Beach Erosion, Coastal Protection, Artificial Structures, Shoreline Change, Wave Climate, Storm Impacts.*

1. Introduzione

Per proteggere e gestire efficacemente i litorali è necessario caratterizzare accuratamente il clima ondoso e progettare gli eventuali interventi di difesa, tenendo conto dell'intera unità fisiografica di riferimento, e non solo del singolo tratto interessato dai fenomeni erosivi. È importante, inoltre, individuare le cause di tali fenomeni, per poter scegliere opportunamente gli interventi da realizzare [1].

Nell'articolo è descritto uno studio compiuto nel litorale antistante il sito archeologico dell'antica Kaulon (Monasterace, RC), volto ad individuare le possibili cause dei recenti fenomeni erosivi, analizzando l'evoluzione storica della linea di costa, il clima ondoso di largo [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] a diverse scale temporali e le variazioni della capacità di trasporto di sedimenti nei corsi d'acqua che sfociano nel tratto costiero oggetto di studio (valutate sulla base delle opere di sistemazione idraulica presenti, delle variazioni della destinazione d'uso del suolo e del regime pluviometrico). Infine, è descritto l'intervento di salvaguardia del sito, realizzato con carattere d'urgenza in seguito alle mareggiate dell'inverno 2013-2014.

*Il contributo nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto degli autori.

2. Inquadramento geografico

Il litorale in esame è ubicato nella parte settentrionale del comune di Monasterace Marina (RC), tra il centro abitato e la foce della fiumara Assi (vedi Fig. 1).



Fig.1 - Kaulon: inquadramento geografico.

Il paraggio presenta un'inclinazione di 15° rispetto al Nord, e risulta esposto ai venti provenienti dal I e II quadrante (Grecale, Levante, Scirocco e Mezzogiorno). I fetch di maggiore estensione (superiore a 700 km), invece, si trovano nel II quadrante, per cui le mareggiate di maggiore intensità provengono dall'Africa settentrionale e si verificano prevalentemente nei mesi autunnali e invernali (vedi Fig. 2 sx). Il sito archeologico si estende parallelamente alla costa e comprende un ampio settore dell'abitato antico, l'area sacra del Tempio Dorico ed un

museo (vedi Fig. 2 dx).



Fig.2 - Esposizione del paraggio (sx). Vista aerea del sito archeologico (dx).

Il sito è interessato da estesi processi erosivi, il cui apice risale alle mareggiate dell'inverno 2013-2014, che hanno quasi totalmente eroso la spiaggia, provocando il crollo di una parte del muro esterno del tempio dorico (vedi Fig. 3).



Fig.3 - Muro esterno del tempio dorico dopo le mareggiate di dicembre 2013 (sx) e di febbraio 2014 (dx).

3. Individuazione delle possibili cause dei fenomeni erosivi

3.1. Evoluzione storica della linea di costa

Le variazioni della linea di costa antecedenti le mareggiate dell'inverno 2013-2014 sono state valutate mediante il software QGIS 2.8.3 Wien (utilizzando le cartografie CASMEZ del 1958 ed IGM del 1985 e le ortofoto del 1998 e del 2008, tutte fornite dall'ABR della Regione Calabria), e mediante il software Google Earth Pro (nel quale sono disponibili le immagini storiche del periodo 2001-2011) (vedi Fig. 4 e Tab. 1).

Nel tratto antistante il sito archeologico di Kaulon si osserva un evidente fenomeno erosivo, sviluppatosi in due distinte fasi temporali: la prima è avvenuta tra il 1958 ed il 1985 (sono, però, assenti cartografie intermedie che permettano di individuare con maggior precisione l'inizio di tale processo ed i periodi in cui è stato più intenso), caratterizzata dalla perdita di oltre il 30% della spiaggia originaria, e la seconda è avvenuta tra il 2001

ed il 2008 (anche in questo caso sono, però, assenti immagini satellitari e cartografie intermedie che permettano di individuare con maggior precisione l'inizio del processo erosivo), più intensa della precedente e caratterizzata dalla perdita di oltre il 40% (rispetto al 2001), ed oltre il 50% (rispetto al 1958) della spiaggia originaria. Tra queste due fasi ne è stata osservata una intermedia, avvenuta tra il 1985 ed il 1998, in cui la spiaggia si era ricostituita quasi totalmente. Infine, nel periodo tra il 2008 ed il 2011, la spiaggia è in condizioni di equilibrio.

Data	Ampiezza spiaggia [m]	Variazione [m]	Variazione [%]
1958	57	-	-
1985	39	-18	-32
1998	47	+8	+21
13/3/2001	50	+3	+6
2008	29	-21	-42
13/5/2010	30	+1	+3
11/3/2011	30	-	0
12/8/2011	30	-	0

Tab. 1 - Variazioni della linea di costa dal 1958 al 2011 (verde: avanzamenti, rosso arretramenti, bianco equilibrio).

3.2. Clima ondososo di largo

Per caratterizzare il clima ondososo di largo, sono stati analizzati i dati meteomarini ricavati col software ABRC-MaCRO (ricostruisce il moto ondososo a partire dalla banca dati del Met Office). La serie temporale è costituita da 159298 stati di mare e si estende dal 1/10/1986 al 31/3/2006. Gli stati di mare sono stati suddivisi per classi di altezza significativa (di 0.5 m ciascuna), e per direzioni di provenienza (di 10° ciascuna) e sono stati individuati differenti scale temporali da investigare: intero periodo (1986-2006), intervalli regolari di 5 anni ciascuno (1986-1991, 1991-1996, 1996-2001, 2001-2006) ed intervalli irregolari (1986-2001 e 2001-2006). Considerando differenti scale temporali è stato, pertanto, possibile investigare le caratteristiche del moto ondososo nei periodi antecedente e successivo al 2001 (spartiacque tra due fasi consecutive di avanzamento ed erosione). Per caratterizzare il clima ondososo di largo sono stati calcolati, in ciascuno degli intervalli temporali sopra descritti, diversi parametri, tra i quali rivestono particolare importanza le soglie di altezza significativa registrate ed il relativo contenuto energetico [9,10].



Fig.4 - Variazioni della linea di costa dal 1958 al 2008 (sx), fonte: cartografia ABR. Linea di costa del 13/3/2001 (centro) e del 12/8/2011 (dx), fonte: immagini storiche di Google Earth Pro.



Periodo	1986-2006	1986-2001	2001-2006	1986-1991	1991-1996	1996-2001	2001-2006
Hs [m]	Stati di mare						
0.0-0.5	84114	60326	23788	17703	20633	21990	23788
0.5-1.0	47709	36527	11182	12204	11722	12601	11182
1.0-1.5	17152	13315	3837	4590	4644	4081	3837
1.5-2.0	4269	3316	953	814	1474	1028	953
2.0-2.5	2248	1669	579	384	738	547	579
2.5-3.0	2135	1810	325	636	722	452	325
3.0-3.5	1179	1028	151	255	523	250	151
3.5-4.0	94	76	18	20	40	16	18
4.0-4.5	288	258	30	55	136	67	30
4.5-5.0	69	69	0	1	59	9	0
5.0-5.5	21	21	0	11	5	5	0
5.5-6.0	20	20	0	0	20	0	0
Totale	159298	118435	40863	36673	40716	41046	40863

Tab. 2 - Numero di stati di mare registrati, suddivisi per classe di altezza significativa e per scala temporale

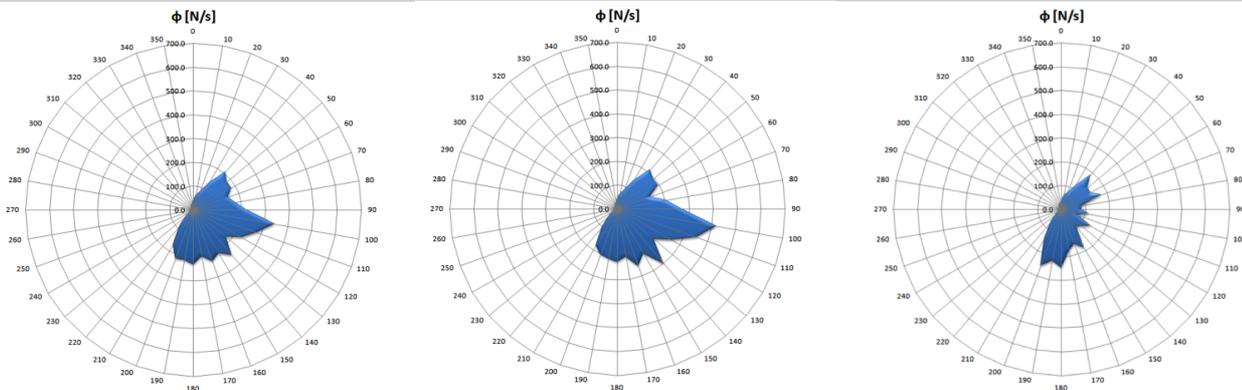


Fig.5 - Grafico polare del flusso di energia per le scale temporali 1986-2006 (sx), 1986-2001 (centro) e 2001-2006 (dx)

Dall'analisi dei risultati mostrati in Fig. 5 e Tab. 2 relativi all'intera serie temporale, è possibile osservare che, dal punto di vista energetico, si registrano valori rilevanti nel ventaglio di direzioni comprese tra 40° e 200° rispetto al Nord, con valore massimo nel settore centrato su 100° rispetto al Nord, e che il litorale in esame è esposto a mareggiate provenienti sia da settori pressoché ortogonali rispetto alla costa, sia da settori sensibilmente inclinati rispetto alla costa stessa.

Confrontando tali risultati con quelli ottenuti nel paragrafo precedente, è possibile osservare che il litorale in esame ha subito un avanzamento in un periodo temporale (1985-2001) caratterizzato da un clima ondoso di largo notevolmente più intenso rispetto a quello che ha caratterizzato il periodo in cui sono stati osservati i recenti fenomeni erosivi (prima decade degli anni 2000). Pertanto, è possibile ipotizzare che tali fenomeni non siano causati esclusivamente dall'azione del moto ondoso (va, comunque, osservato che l'azione delle singole mareggiate può avere ripercussioni anche di notevole entità sul litorale, come accaduto nel corso dell'inverno 2013-2014).

3.3 Variazioni della capacità di trasporto di sedimenti nei corsi d'acqua

Per valutare qualitativamente le variazioni della capacità di trasporto di sedimenti dei corsi d'acqua che sfociano nel tratto costiero oggetto di studio (i più importanti dei quali sono le fiumare Stilaro e Assi), sono state esaminate le opere di sistemazione idraulica presenti, le variazioni delle destinazioni d'uso del suolo e del regime pluviometrico. Per valutare le opere di sistemazione idraulica, in assenza di un catasto delle opere, sono state analizzate le immagini satellitari e sono state consultate le Schede Idrauliche di Segnalazione del Servizio di Monitoraggio Idrografico, fornite dall'ABR della Regione Calabria. In particolare, nelle fiumare Assi e Stilaro sono presenti un numero non elevato di briglie ed arginature. Tali fiumare sono, inoltre, caratterizzate da notevoli criticità, causate principalmente dalla presenza di numerose scariche abusive ed anche da dissesti arginali, in particolare nella fiumara Assi, e dalla presenza di depositi di materiale alluvionale. Le variazioni delle destinazioni d'uso del suolo sono state valutate a partire dalle *Corine Land*

Cover IV Livello del 2000 e del 2006 [11]: dal confronto tra esse (vedi Tab. 3) è possibile osservare come appena 5 km², pari a circa il 3% dell'intera area dei bacini idrografici in esame (di poco superiore a 160km²), abbiano subito cambiamenti della destinazione d'uso del suolo tra il 2000 ed 2006 per 2006, per cui gli effetti sulla variazione della produzione annua di sedimenti, in tale periodo, si possono ritenere trascurabili.

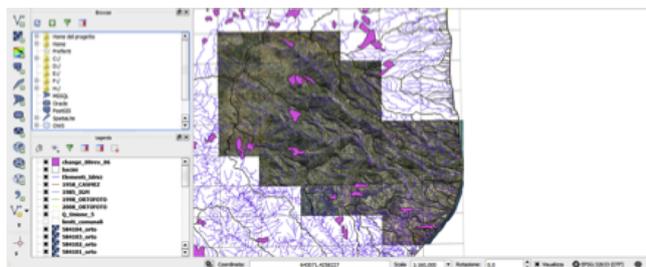


Fig.6 - Confronto tra Corine Land Cover 2000 e 2006 (fonte: GeoPortale ISPRA)

Variazione	Area [km ²]
222-241	0.38877
241-243	0.467296
311-324	2.204373
321-311	0.334412
324-311	0.462496
334-311	0.250378
334-324	0.833778

Tab. 3 - Variazioni della destinazione d'uso del suolo tra il 2000 ed il 2006. Legenda: 222 frutteti e frutti minori, 241 colture temporanee associate a colture permanenti, 243 colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti, 311 boschi di latifoglie, 321 aree a pascolo naturale e praterie, 324 aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione, 334 aree percorse da incendi

Per valutare le variazioni del regime pluviometrico, sono stati esaminati i valori medi annui di altezza di pioggia registrati dalle 5 stazioni pluviometriche interne o attigue all'area oggetto di studio (Serra San Bruno, Monasterace Punta Stilo, Stilo Ferdinanda, Mongiana e Fabrizia). I dati sono stati analizzati alle stesse scale temporali descritte precedentemente e, dall'analisi dei risultati mostrati in Tab. 4, è possibile osservare una disomogeneità tra le variazioni dei valori medi, sia nel confronto con l'intera serie temporale, che nel confronto tra le serie temporali pre e post-2001: si tratta, prevalentemente, di differenze di piccola entità (solo a Monasterace Punta Stilo le variazioni rispetto all'intera serie temporale sono maggiori del 10%), per cui gli effetti sulla variazione della produzione annua di sedimenti si possono ritenere trascurabili.

Stazione	h _{med} (1986-2006) [mm]	h _{med} (1986-2000) [mm]	h _{med} (2001-2006) [mm]
Serra San Bruno	1807.2	1617.9	1608.8
Monasterace Punta Stilo	701.7	467.8	739.1
Stilo Ferdinanda	1578.3	1710.8	1652.7
Mongiana	1844.4	1810.6	1697.2
Fabrizia	1727.6	1652.6	1706.9

Tab. 4 - Altezze di pioggia medie registrate nelle stazioni pluviometriche interne e attigue all'area oggetto di studio

4. Intervento di protezione urgente

In seguito alle mareggiate dell'inverno 2013-2014, è stata realizzata una scogliera radente in massi, posizionata sulla spiaggia a ridosso del tempio dorico (vedi Fig. 7). Tale opera ha sezione trasversale di forma trapezoidale, con altezza complessiva di 3 m e base maggiore di 6 m, e si estende per circa 30 m. Si tratta di una soluzione rapida ed economica, particolarmente adatta in situazioni di emergenza, che limita i fenomeni di erosione al piede (essendo una struttura permeabile favorisce, infatti, la dissipazione dell'energia ondosa al suo interno e non a tergo di essa), ed è una struttura flessibile, che non necessita di fondazioni speciali, poiché gli elementi che la compongono sono liberi di muoversi entro certi limiti, senza che venga compromessa la stabilità dell'intera struttura. Per contro, va osservato che tali opere necessitano, generalmente, di una manutenzione costante, soprattutto in occasione delle mareggiate tipiche del periodo invernale. Recentemente, è stato appaltato un intervento di difesa che interessa l'intera unità fisiografica di riferimento, e non solo il singolo tratto antistante il sito archeologico di Kaulon.



Fig.7 - Scogliera radente realizzata in seguito alle mareggiate dell'inverno 2013-2014 (sx) e relativa schematizzazione (dx)

5. Conclusioni

Nell'articolo sono descritti i fenomeni erosivi osservati nel litorale antistante il sito archeologico dell'antica Kaulon (Monasterace, RC), il cui apice risale alle mareggiate dell'inverno 2013-2014 che hanno quasi totalmente eroso la spiaggia, provocando il crollo di parte del muro esterno del tempio dorico. Nell'articolo sono state valutate anche le possibili cause di tali fenomeni, analizzando in particolare l'evoluzione storica della linea di costa (ricostruita mediante cartografie, ortofoto ed immagini satellitari), il clima ondoso di largo a diverse scale temporali, la presenza di opere di sistemazione idraulica e le variazioni delle destinazioni d'uso del suolo e del regime pluviometrico (parametri che influenzano in maniera significativa la capacità di trasporto di sedimenti nei corsi d'acqua). Confrontando l'evoluzione storica della linea di costa col clima ondoso di largo, è possibile osservare che il litorale in esame ha subito un avanzamento in un periodo temporale (1985-2001) caratterizzato da un clima ondoso notevolmente più intenso rispetto a quello che ha caratterizzato il periodo in cui sono stati osservati i



recenti fenomeni erosivi (prima decade degli anni 2000). Pertanto, è possibile ipotizzare che tali fenomeni non siano causati esclusivamente dall'azione del moto ondoso (va, comunque, osservato che l'azione delle singole mareggiate può avere ripercussioni anche di notevole entità sul litorale, come accaduto nel corso dell'inverno 2013-2014). Inoltre, gli effetti delle variazioni della destinazione d'uso del suolo e del regime pluviometrico sulla variazione della produzione annua di sedimenti si possono ritenere trascurabili. Infine, sono state descritte le caratteristiche della scogliera radente realizzata a salvaguardia del sito archeologico: Si tratta di una soluzione rapida ed economica, particolarmente adatta in situazioni di emergenza, che limita i fenomeni di erosione al piede, ma necessita di una costante manutenzione, soprattutto in occasione delle mareggiate tipiche del periodo invernale. Recentemente è stato appaltato un intervento di difesa che interessa l'intera unità fisiografica di riferimento e non solo il singolo tratto antistante il sito archeologico di Kaulon.

Bibliografia

- [1] Barbaro, G., Foti, G., & Sicilia, C. L., "Coastal erosion in the South of Italy". Disaster Advances, 7, pp. 37-42, 2014
- [2] Arena, F., Barbaro, G., & Romolo, A., "Return period of a sea storm with at least two waves higher than a fixed threshold". Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-6, 2013
- [3] Arena, F., Malara, G., Barbaro, G., Romolo, A., & Ghiretti, S., "Long-term modelling of wave run-up and overtopping during sea storms". Journal of Coastal Research, 29, pp. 419-429, 2013
- [4] Barbaro, G., Foti, G., & Malara, G., "Set-up due to random waves: influence of the directional spectrum". International Journal of Maritime Engineering, 155, pp. A105-A115, 2013
- [5] Barbaro, G., Foti, G., Sicilia, C. L., & Malara, G., "A formula for the calculation of the longshore sediment transport including spectral effects". Journal of Coastal Research, 30, pp. 961-966, 2014
- [6] Tomasicchio, G. R., D'Alessandro, F., & Barbaro, G., "Composite modelling for large-scale experiments on wave-dune interaction". Journal of Hydraulic Research, 49, pp. 15-19, 2011
- [7] Tomasicchio, G. R., D'Alessandro, F., Barbaro, G., & Malara, G., "General longshore transport model". Coastal Engineering, 71, pp. 28-36, 2013
- [8] Tomasicchio, G. R., D'Alessandro, F., Barbaro, G., Musci, E., & De Giosa, T. M., "Longshore transport at shingle beaches: an independent verification of the general model". Coastal Engineering, 104, pp. 69-75, 2015
- [9] Boccotti P., "Idraulica marittima". Torino (Italia). Libreria Utet, 1997
- [10] Boccotti P., "Wave mechanics and wave loads on marine structures". Oxford (UK). Elsevier BH, 2015
- [11] Geoportale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (geoportale.isprambiente.it)