

Metodologie geomatiche per la misura delle variazioni della linea di costa in aree interessate da erosione costiera

Antonello Aiello (*), Filomena Canora (**), Giuseppe Spilotro (***)

(*) Dip. di Scienze, Università della Basilicata, Viale dell'Ateneo lucano 10, 85100 Potenza,

E-mail: antonello.aiello@unibas.it

(**) Scuola di Ingegneria, Università della Basilicata, Viale dell'Ateneo lucano 10, 85100 Potenza,

E-mail: filomena.canora@unibas.it

(***) Dip. delle Culture Europee e del Mediterraneo, Università della Basilicata, Via Lazazzera, 75100 Matera,

E-mail: giuseppe.spilotro@unibas.it

Riassunto

Nel presente studio sono state analizzate le variazioni della linea di costa ionica della Basilicata, fra il fiume Sinni e il fiume Bradano, in un arco temporale di 135 anni, al fine di quantificare l'entità del fenomeno dell'erosione costiera e comprendere le tendenze evolutive di arretramento o accrescimento. L'analisi è stata condotta mediante l'utilizzo di cartografia storica risalente al 1870, foto aeree relative agli anni 1954, 1988 e 2000, e rilievi GPS realizzati nel 2005. I risultati dell'analisi hanno fornito palesi indicazioni del trend evolutivo del litorale, dimostrando l'efficienza della metodologia adottata nel quantificare il fenomeno, considerando la mancanza di un *dataset* omogeneo.

Abstract

In the present study an analysis of shoreline variations has been performed along the Ionian coast of the Basilicata Region between the mouths of the Sinni and Bradano Rivers, with the aim of understanding the morphologic dynamics of the littoral environment and quantify the amount of coastal erosion. The analysis has been performed using various data sources: historical cartography, aerial photographs and GPS surveys. The approach has proven to be helpful in quantifying the erosion phenomenon and its effects.

Introduzione

La conoscenza delle problematiche legate al fenomeno dell'erosione costiera è uno degli elementi fondamentali nella pianificazione dell'ambiente marino-costiero, alla luce sia dell'importanza socio-economica delle attività antropiche presenti lungo il litorale sia della conseguente crescente esposizione al rischio di erosione. Negli ultimi decenni il litorale ionico della Basilicata è stato interessato da un importante e pressoché generalizzato fenomeno di erosione che ha determinato l'arretramento della linea di riva, lo smantellamento di parte dei cordoni dunari ed ha seriamente compromesso gli ecosistemi presenti e le attività umane (Aiello et al., 2013).

Data la vocazione turistica dell'area di studio, interessata da un incremento della popolazione e delle attività socio-economiche, la conoscenza dell'andamento nel tempo della linea di costa e la misura delle sue variazioni costituiscono il passo necessario per la quantificazione dell'entità del fenomeno dell'erosione costiera lungo il litorale ionico e la previsione delle tendenze future. A tale quantificazione va necessariamente affiancata la ricerca riguardante gli elementi e i processi innescanti il fenomeno, sia quelli strettamente legati alla fascia costiera che quelli insistenti nei bacini idrografici. Tale conoscenza costituisce requisito indispensabile per *coastal managers* e *stakeholders* per la corretta gestione e pianificazione del territorio costiero, l'individuazione di aree sensibili e la riduzione della vulnerabilità costiera.

Materiali e metodi

Il presente studio è stato condotto lungo il tratto di costa ionica della Basilicata, fra il fiume Sinni a SO e il fiume Bradano a NE, nel settore nord-orientale del Golfo di Taranto (Figura 1). Il litorale è impostato sugli apparati deltizi dei principali fiumi afferenti alla costa ionica e presenta spiagge basse e sabbiose, a tratti ciottolose, spesso limitate verso l'interno da cordoni dunari.

L'analisi è stata condotta avvalendosi dell'acquisizione di un significativo *dataset* cartografico: cartografia storica alla scala 1:50.000 prodotta dall'Istituto Geografico Militare (IGM) del 1870, foto aeree degli anni 1954 (scala 1:34.000), 1988 (scala 1:10.000) e 2000 (scala 1:10.000), e un rilievo GPS-RTK realizzato nel 2005. L'analisi è stata limitata all'anno 2005, giacché dopo tale data sono avvenute modificazioni antropiche lungo la linea di costa (*beach management system*, costruzione di pennelli e porticcioli turistici, modesti ripascimenti) tali da richiedere uno studio dedicato e di dettaglio. Pertanto, i dati successivi al 2005 saranno impiegati nell'analisi tutt'ora in corso.

Le operazioni di geo-referenziazione nel sistema di riferimento UTM 33 – WGS 84, ortorettifica, mosaicatura, costruzione del geodatabase e sovrapposizione delle immagini per l'analisi e la ricostruzione delle linee di costa sono state eseguite utilizzando i software ER Mapper 7.2 (ERDAS) e ArcGIS 9.3 (ESRI). I tassi di cambiamento della linea di costa sono stati calcolati con il *transect-based approach*, utilizzando il software DSAS 4.3, estensione per ArcGIS realizzata dall'USGS (Thieler et al., 2009). Sono stati creati 320 transetti perpendicolari alle linee di costa dei vari anni considerati, spazati ogni 100 m lungo una *baseline offshore* rispetto alla quale sono stati calcolati i cambiamenti relativi delle 5 linee di costa.

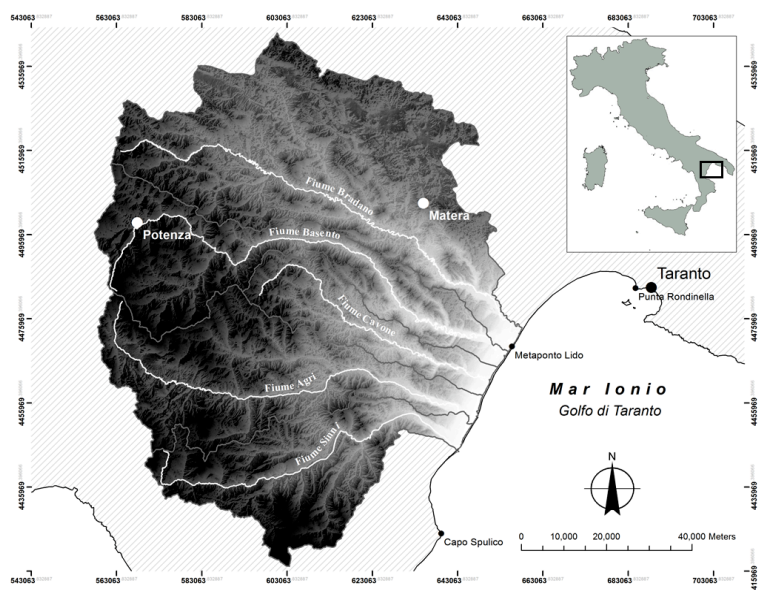


Figura 1. Mappa del settore nord-orientale del Golfo di Taranto che comprende il litorale oggetto di studio all'interno dei confini amministrativi della Regione Basilicata, i 5 principali fiumi lucani afferenti al tratto di costa ionica, e il DTM dei relativi bacini idrografici (modificata da Aiello et al., 2013).

Si è scelto il rapporto fra i movimenti lineari della linea di costa lungo ogni transetto e l'intervallo temporale fra due linee di costa temporalmente consecutive (*End Point Rate*, EPR) quale operatore statistico per valutare la variazione delle linee di costa. Altri studi in letteratura fanno uso della regressione lineare, ma è stato dimostrato come quest'ultima tenda a sottostimare il tasso di variazione rispetto ad altri operatori statistici, come appunto l'EPR (Dolan et al., 1991; Genz et al., 2007; Thieler et al., 2009).

Data l'impossibilità di ricostruire le condizioni di marea al tempo dell'acquisizione dei fotogrammi e dato che l'area di studio si trova in ambiente micro-tidale, caratterizzato da una variazione tidale massima di 30-40 cm circa (Cocco, 1976; IIM, 2003), la linea di costa è stata definita come la linea di separazione terra-acqua al tempo dell'acquisizione dell'immagine (del Pozo, Anfuso, 2008). Tale assunzione tiene conto della pendenza media della spiaggia calcolata dai profili trasversali rilevati nel 2000, che variano approssimativamente dell'8-11% tra il fiume Sinni e il fiume Agri; e del 4-6% tra i fiumi Agri e Bradano.

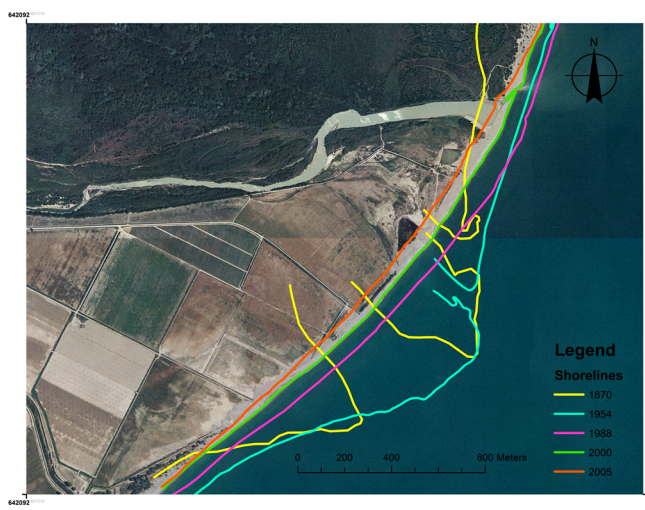


Figura 2. Variazioni della linea di costa alla foce del fiume Sinni.

Data l'assenza di condizioni climatiche sfavorevoli ai tempi delle riprese e dei rilievi *in situ*, non sono stati considerati gli effetti dovuti all'altezza delle onde (del Pozo, Anfuso, 2008). Inoltre, in accordo con gli studi condotti da Crowell et al. (1993), l'errore commesso nell'estrazione della linea di costa è da ritenersi piccolo se relazionato con ampi tassi di cambiamento della stessa, come nel caso di specie (> 500 m). Il confronto fra linee di costa per intervalli temporali ampi permette di separare le fluttuazioni di breve periodo (rumore: errori tipici di misura, incertezze dei metodi di mappatura, errori intrinseci dei dati originali, errori generati in fase di digitalizzazione delle fonti, errori d'individuazione delle linee di costa, variazioni stagionali del livello medio mare, intensi eventi meteomarinari) dal trend di lungo periodo (segnale) (Crowell et al., 1993).

L'errore totale E_{sp} commesso nell'estrazione della linea di costa è espresso dalla formula [1] proposta da Morton et al., (2004), dove: E_d rappresenta il massimo errore di digitalizzazione per simili fonti di dati stimato in studi precedenti (Anders, Byrnes, 1991; Crowell et al., 1991; Thieler, Danforth, 1994; Moore, 2000; Morton et al., 2004). È stato applicato alle linee di costa del 1870, 1954, 1988 e 2000, le cui fonti sono state prodotte originariamente in formato cartaceo. E_h rappresenta l'incertezza legata alle operazioni di rilievo per la redazione della cartografia IGM del 1870 e include tutti gli errori associati al processo di rilievo sul campo, inclusa l'identificazione della linea di separazione terra-acqua; è stata utilizzata la stima fornita da Alberico et al. (2011). Questo errore è stato contemplato anche per il rilievo GPS per la sola parte concernente l'identificazione delle *shoreline*. E_p rappresenta l'errore commesso nell'estrazione della posizione relativa delle linee di costa da immagini aeree. E_{GPS} rappresenta l'errore di posizione legato alla modalità di rilievo con GPS. È stato calcolato l'errore totale E_{sp} per ciascun anno considerato (Tabella 3). Questi valori sono stati annualizzati [2] per valutare l'errore commesso nella valutazione dei trend di variazione della linea di costa in ogni transetto (Morton et al., 2004; Addo et al., 2008) (Tabella 3).

$$E_{sp} = \sqrt{E_d^2 + E_h^2 + E_p^2 + E_{GPS}^2} \quad [1]$$

$$E_a = \sqrt{\frac{\sum_i E_{sp_i}^2}{\text{tempo}}} \quad [2]$$

Errori di misura (m)	Dataset				
	1870	1954	1988	2000	2005
	Cartografia storica	Aerofoto	Aerofoto	Aerofoto	Rilievo GPS
E _d	1,00	1,00	1,00	1,00	
E _h	20,00				0.10
E _p		1,00	1,00	1,00	
E _{GPS}					0,50
E _{sp}	20,02	1,41	1,41	1,41	0,51
E _a	0,15				

Tabella 3. Stima dell'errore commesso nell'estrazione della linea di costa per ciascun dato utilizzato.

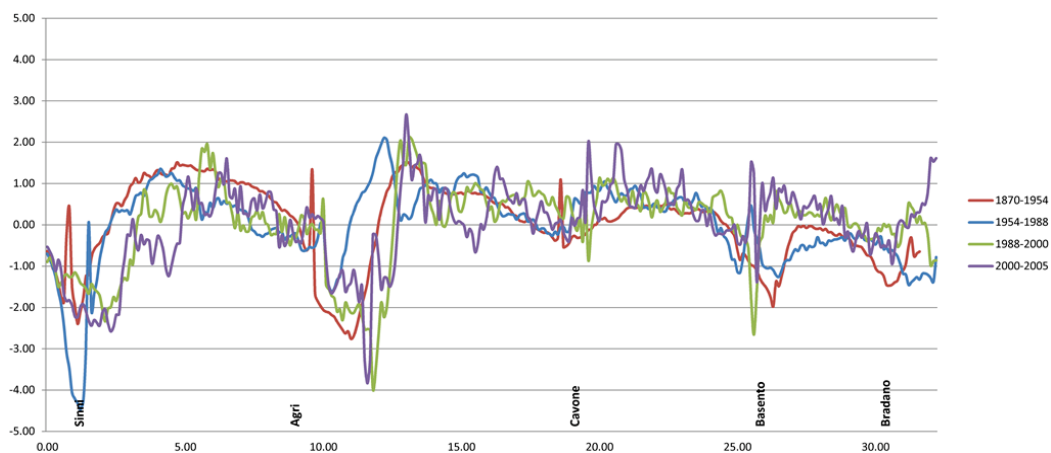


Figura 4. EPR delle variazioni delle linee di costa per gli intervalli temporali considerati, calcolati per ciascuno dei 320 transetti perpendicolari alle linee di costa considerate, e intervallati ogni 100 m lungo una baseline offshore.

Intervalli temporali	Aree in erosione	Aree in accrescimento	Tasso di variazione
	m ²	m ²	m ² /anno
1870-1954	-825.944	5.436.087	54,883
1954-1988	-1.009.570	965.859	-1,286
1988-2000	-758.191	148.495	-50,808
2000-2005	-314.932	327.523	2,518

Tabella 5. Aree in erosione e accrescimento, e tassi di variazione delle stesse per ciascun intervallo temporale considerato.

Risultati e conclusioni

Considerando le variazioni della linea di costa nel tempo fra il 1870 e il 1954, il confronto ha evidenziato un dominante protendimento della costa lucana quantificabile in $\sim 5.500.000 \text{ m}^2$ vs. 826.000 m^2 in erosione (Tabella 5). La linea di costa del 1870 risulta caratterizzata da ampi lobi di cuspidi deltizie alle foci dei fiumi Sinni, Agri, Basento e Bradano indicative di generali condizioni di protendimento del litorale. Gli *hot spot* di erosione che risaltano rispetto alla complessiva tendenza all'accrescimento possono essere interpretati come la distribuzione lungo il litorale delle sabbie delle cuspidi deltizie operata dal trasporto longitudinale nel periodo considerato in questo primo intervallo di analisi (84 anni).

In particolare, l'analisi delle linee di costa del 1954 e 1988 evidenzia un'inversione di tendenza rispetto al periodo precedente, con una netta diminuzione delle superfici in accrescimento e un aumento delle aree in erosione, seppur modesto rispetto all'intervallo precedente (Figura 4).

Fra il 1988 e il 2000 l'erosione costiera netta aumenta. I punti di forte erosione sono individuati nell'intera foce del Sinni, in sinistra idraulica della foce dell'Agri ($EPR_{\max} = -14,58 \text{ m/anno}$) e nell'intero tratto di costa fra le foci dei fiumi Basento e Bradano (Figura 4).

Il confronto fra le linee di costa del 2000 e 2005 sembra mostrare una situazione complessiva di apparente equilibrio fra superfici in erosione e in protendimento, per quanto questo risultato debba essere considerato intrinsecamente incerto per via del piccolo intervallo temporale, che potrebbe non garantire la capacità di soluzione tra rumore e segnale dell'informazione. In ogni caso, l'analisi conferma *hot spot* di erosione alla foce del Sinni, in sinistra idraulica dell'Agri e fra il canale di bonifica di Metaponto Lido e la foce del fiume Bradano (Figura 4).

Complessivamente, fra il 1870 e il 2005 tutti i principali corsi d'acqua mostrano una zona in erosione in sinistra idraulica delle rispettive foci e una zona in accrescimento in destra idraulica, e lo spostamento verso NE degli apparati deltizi, fenomeno indicativo del trasporto longitudinale diretto da SO verso NE.

Lo studio ha puntato a determinare le variazioni lineari e areali della costa ionica della Basilicata nel periodo compreso fra il 1870 e il 2005. Tra il 1870 e il 1954 una chiara tendenza al protendimento è stata identificata ($+55.000 \text{ m}^2/\text{anno}$), mentre tra il 1954 e il 2005 i dati analizzati mostrano il progressivo aumento delle superfici in erosione (in media $-16.500 \text{ m}^2/\text{anno}$ e complessivamente 640.000 m^2 perduti) (Tabella 5). L'analisi ha dimostrato di essere efficiente nel quantificare il trend evolutivo del litorale, considerando la mancanza di un dataset omogeneo.

Studi successivi, in corso, permetteranno l'aggiornamento delle analisi effettuate, nonché, alla luce delle nuove possibilità offerte dai dati telerilevati ad alta risoluzione, l'applicazione di ulteriori metodologie geomatiche per la comprensione dei processi determinanti il fenomeno dell'erosione della costa ionica lucana e per la correlazione tra i cambiamenti ambientali determinati dagli interventi antropici sia lungo il litorale che nei relativi bacini idrografici.

Riferimenti bibliografici

- Addo K.A., Walkden M., Mills J.P. (2008), "Detection, measurement and prediction of shoreline recession in Accra, Ghana", *Photogrammetry & Remote Sensing*, 63:543-558.
- Aiello A., Canora F., Pasquariello G., Spilotro G. (2013), "Shoreline variations and coastal dynamics: A space-time data analysis of the Jonian littoral, Italy", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 129: 124-135.
- Alberico I., Amato V., Aucelli P.P.C., D'Argenio B., Di Paola G., Pappone G. (2011), "Historical Shoreline Change of the Sele Plain (Southern Italy): The 1870–2009 Time Window", *Journal of Coastal Research*, 28:1638-1647.
- Anders F.J., Byrnes M.R. (1991), "Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs", *Shore and Beach*, 59:17-26.
- Cocco E. (1976), "The Italian north Ionian coast: Tendency towards erosion", *Marine Geology*, 21:49-57.

- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K. (1991), "Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy", *Journal of Coastal Research*, 7:839-852.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K. (1993), "Shoreline Change Rate Analysis: Long Term Versus Short Term Data", *Shore and Beach*, 61:13-20.
- del Pozo J.A.M., Anfuso G. (2008), "Spatial Approach to Medium-term Coastal Evolution in South Sicily (Italy): Implications for Coastal Erosion Management", *Journal of Coastal Research*, 24:33-42.
- Dolan R., Fester M.S., Holme S.J. (1991), "Temporal analysis of shoreline recession and accretion", *Journal of Coastal Research*, 7:723-744.
- Genz A.S., Fletcher C.H., Dunn R.A., Frazer L.N., Rooney J.J. (2007), "The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii", *Journal of Coastal Research*, 23: 87-105.
- IIM (2003), *Tavole di Marea e delle Correnti di Marea*, Istituto Idrografico della Marina, Genova, Italy.
- Moore L. (2000), "Shoreline mapping techniques", *Journal of Coastal Research*, 16:111-124.
- Morton R.A., Miller T.L., Moore L.J. (2004), *National Assessment of Shoreline Change. Part 1: Historical Shoreline Changes and Associated Coastal Land Loss along the US Gulf of Mexico*, U.S. Geological Survey Open File Report 2004-1043.
- Thieler E.R., Danforth W.W. (1994), "Historical shoreline mapping (II): application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico", *Journal of Coastal Research*, 10:600-620.
- Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A., (2009), *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0. An ArcGIS extension for calculating shoreline change*, U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.