

Statistical correlation and GIS analysis to evaluate shoreline evolution

Elvira Armenio¹, Diana De Padova¹, Francesca De Serio¹, Michele Mossa¹, Antonio F. Petrillo¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECh), Politecnico di Bari

OBBIETTIVO E FINALITA' DELLO STUDIO

Nel presente lavoro è stata condotta una analisi della evoluzione, con riferimento ad un lungo periodo di osservazione, di un tratto di litorale molto alterato al fine di comprendere quali sono state le criticità che hanno portato alla situazione attuale e identificarne le tendenze di evolutive. La finalità dello studio è un approccio integrato per lo studio della dinamica costiera che prevede l'applicazione congiunta di analisi GIS e indagini statistiche in modo da affrontare in "modo organico" le problematiche del litorale in questione come step fondamentale e propeudico a qualsiasi futuro intervento.



AREA DI STUDIO

L'area di studio comprende il tratto di litorale pugliese che si estende dal Porto di Margherita di Savoia fino al Porto di Barletta per una lunghezza complessiva di circa 18 km. Il litorale è costituito da costa bassa e sabbiosa e nella fascia costiera vi sono dune, zone umide e saline. La formazione del litorale sabbioso è dovuto principalmente all'apporto solido del fiume Ofanto, anche se nel Golfo di Manfredonia, come si vede dal reticolo idrografico, sfociano diversi fiumi più a Nord che fino alla realizzazione del Porto di Margherita di Savoia (1950-1952), hanno certamente contribuito anche loro alla formazione del litorale.

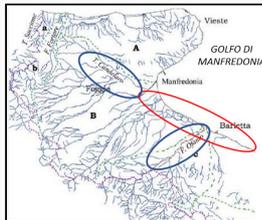


IL SISTEMA IDROGRAFICO DEL FIUME OFANTO: DINAMICHE DI TRASFORMAZIONE E CRITICITÀ

Nel reticolo idrografico dell'area in esame vi sono a Nord il Bacino del fiume Candelaro ed a Sud quello dell'Ofanto. Tra i due, partendo da Nord, vi sono i Bacini del Cervaro e del Carapelle, oltre a numerosi canali.

Le analisi storiche hanno rivelato che nelle Zone Basse dei Bacini Idrografici, a partire dal 1800, sono stati eseguiti interventi di bonifica anche con opere tese ad interrare con sedimenti fluviali le aree paludose e realizzare vasche di colmata con ammesse opere di canalizzazione.

Nelle Zone Alte dei Bacini Idrografici, a partire dall'Unità d'Italia e fino al termine della II Guerra Mondiale, vi è stato un taglio indiscriminato dei boschi, sia per le trasformazioni dell'uso del suolo da parte di contadini, che per produrre legname per far fronte alla realizzazione delle varie reti ferroviarie del Meridione di Italia dopo la riunificazione. Inoltre il legname serviva per esigenze industriali, sia del Sud che del Nord dell'Italia, e come fonte energetica per la popolazione.



Queste azioni portarono ad un notevole aumento dei sedimenti trasportati dai fiumi a mare e, quindi, ad un "bilancio sedimentario positivo", per cui si ebbero significativi e qualitativamente documentati avanzamenti delle linee di riva, come risulta dalle carte storiche del 1896-1899 e del 1930 in cui si nota che l'Ofanto presenta una foce a delta.

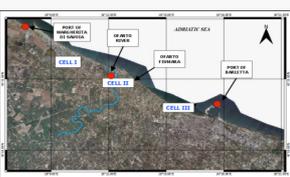


Dopo la II Guerra Mondiale, nei vari Bacini Idrografici sono state effettuate diverse sistemazioni idrauliche e forestali, modificazioni dell'uso del suolo e estrazioni di inerti dai fiumi che hanno determinato una diminuzione del trasporto solido a mare.

Infine, e non ultima, fra le cause della diminuzione del trasporto solido dell'Ofanto, è da evidenziare che sul fiume e sui suoi affluenti, a partire dalla metà del secolo scorso, sono stati realizzati diversi invasi e traverse per l'approvvigionamento di risorse idriche, prevalentemente per la Regione Puglia, per uso potabile, irriguo e industriale (schema dell'Ofanto costituito dalle dighe di Conza, Saetta, Rendra, Marian Capocciato e Locoone, oltre alla traversa di Santa Venera); la quantità d'acqua regimabile dalle opere realizzate ammonta a circa 310.000.000 m³/anno.

Tutto ciò ha determinato un "bilancio sedimentario negativo" del litorale. La successiva arborizzazione della fascia costiera, avviata nel 1960, ha creato poi criticità locali che oggi, purtroppo, si devono affrontare.

L'altra grave causa dello sconvolgimento della dinamica dei litorali tra la foce dell'Ofanto e Manfredonia, è stata la realizzazione, tra il 1950 - 1952, dei moli del Porto di Margherita di Savoia, costruiti rispettivamente a Levante e a Ponente del vecchio Porto Canale. Negli anni il molo di Levante ha trattenuto i sedimenti trasportati dalla corrente luno-shore creando una lunga zona di deposito a Levante del Porto e una fortissima erosione a Ponente, che ha interessato, non meno, diversi chilometri di litorale.



EVOLUZIONE COMPLESSIVA DELLA COSTA DAL 1992 AL 2013: ANALISI DELLE LINEE DI RIVA MEDIANTE IL DSAS (GIS)

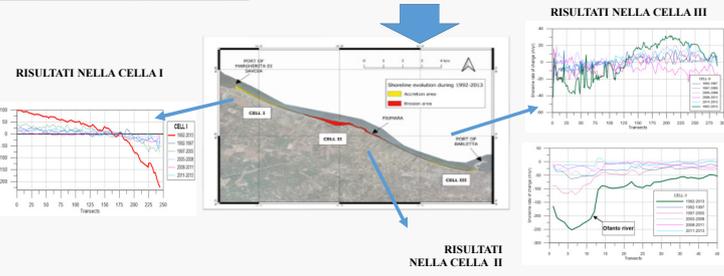
- Per la quantificazione dell'evoluzione delle linee di riva è stato utilizzato il DSAS (Digital Shoreline Analysis System), estensione del software ArcGIS. L'impiego del DSAS è basato sul tracciamento di transeiti, di lunghezza a spazatura scelta dall'operatore, perpendicolari rispetto ad una linea di riferimento, o *baseline*.
- Si sono quindi ottenute delle tabelle in cui, per ciascun transeito individuato, viene restituito il valore del parametro NSM (Net Shoreline Movement) che rappresenta la distanza fra la più recente e la più vecchia delle due linee di costa messe a confronto.



Per le finalità del presente lavoro, l'area di studio è stata suddivisa in tre zone con cambiamenti geomorfologici relativamente omogenei denominate *Cella I, Cella II e Cella III*. Il DSAS è stato applicato in cinque step in ciascuno dei quali sono state confrontate rispettivamente le linee di riva riferite ai seguenti anni temporali: 1992 - 1997; 1997 - 2005; 2005 - 2008; 2008 - 2011; 2011 - 2013.

Occorre notare che nella Cella II la tendenza riferita al periodo complessivo 1992-2013 evidenzia che la linea di riva ha subito una grave erosione vicino alla foce del fiume, con un arretramento di circa 250 m.

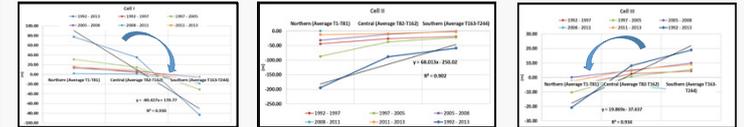
Nella Cella I si può notare un avanzamento in prossimità del molo del Porto di Margherita e una progressiva erosione procedendo verso la foce dell'Ofanto. Nella Cella III si osserva un arretramento della linea di riva più vicina alla foce dell'Ofanto e un avanzamento della costa a ridosso del Porto di Barletta.



ANALISI STATISTICA DELLA CORRELAZIONE TRA LE AREE IN EROSIONE E AVANZAMENTO

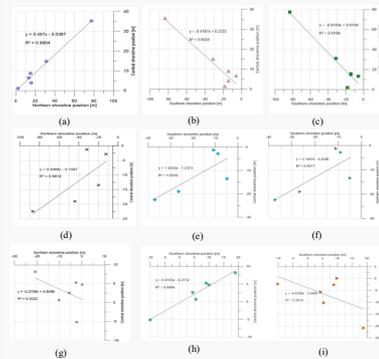
Per consentire un confronto approfondito nei diversi periodi interannuali, ogni Cella è stata suddivisa in tre settori (precisamente settentrionale, centrale e meridionale), ciascuno dei quali composto dallo stesso numero di transeiti. In particolare vi sono 244 transeiti nella Cella I, 45 transeiti nella Cella II e 289 transeiti nella Cella III. Si è calcolata la variazione media dei transeiti per ciascun settore nord, centro e sud rispettivamente per la Cella I, Cella II e Cella III.

I grafici riportati di seguito indicano, per i vari periodi temporali di riferimento, l'andamento (in metri) del litorale nei settori settentrionale, centrale e meridionale di ogni cella. Viene riportata la *retta di regressione lineare* e il *coefficiente di correlazione R* con riferimento al periodo complessivo di osservazione: 1992 - 2013.



Si può osservare che la retta di regressione ben riproduce la tendenza evolutiva del litorale. Inoltre, è interessante notare che nella Cella I il litorale si è evoluto evidenziando, complessivamente, un movimento *rotatorio in senso orario*. Al contrario, nella Cella II, il litorale mostra un trend evolutivo che segue una *rotazione antioraria*. Nella Cella III si riscontra solo un arretramento complessivo di tutto il litorale senza evidenziare alcun movimento rotatorio dello stesso.

INDAGINE DELL'INFLUENZA RECIPROCA DEI SETTORI NORD-CENTRO-SUD IN CIASCUNA CELLA



E' stata condotta una analisi più di dettaglio allo scopo di valutare il grado di influenza reciproca tra i settori di ciascuna Cella analizzando per ciascuna di esse le correlazioni tra i settori adiacenti (correlazioni statistiche tra i settori nord-centrale, sud-centrale e sud-nord).

Dai grafici risulta interessante notare che, nella Cella I (Figure a, b, c), la relazione negativa statisticamente più alta è rilevata tra i settori meridionale e settentrionale (Figura c) dimostrando una *rotazione in senso orario della costa*. Quindi un avanzamento del settore settentrionale implica un arretramento di quello meridionale.

Nella Cella II (Figure d, e, f), si è ottenuta una relazione positiva per tutti i casi: tra settori meridionale e centrale (Figura d), tra settori meridionale e settentrionale (Figura e) e tra settori meridionale e centrale (Figura f). Anche se nella Cella III i coefficienti R sono più bassi a causa di una maggiore dispersione dei dati, ad ogni modo le tendenze esaminate rivelano una *rotazione in senso antiorario della spiaggia*.

Nella Cella III (Figure g, h, i), l'analisi ha evidenziato una relazione negativa tra il settore settentrionale e quello centrale (Figura g) nonché tra i settori meridionale e settentrionale (Figura h), mentre una relazione positiva si stabilisce tra i settori meridionale e centrale (Figura h). Anche se nella Cella III i coefficienti R sono più bassi a causa di una maggiore dispersione dei dati, ad ogni modo le tendenze esaminate rivelano una *rotazione in senso antiorario della spiaggia*.

CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE DI PEARSON

Per avere un'ulteriore conferma delle correlazioni identificate si è calcolato il coefficiente di Pearson r che consente di ottenere una misura della correlazione lineare tra due variabili continue, assunte, nel presente lavoro sono assunte come profili di costa a diversi intervalli temporali.

I 244 transeiti della Cella I sono stati raggruppati in 15 profili (P1-P15 da nord a sud). Allo stesso modo, i 45 transeiti della Cella II sono stati raggruppati in 9 profili (P1-P9 da nord a sud) e i 289 transeiti della Cella III in 12 profili (P1-P12 da nord a sud). Ciascuno di questi profili rappresenta la media temporale delle variazioni del litorale osservate nel periodo 1992-2013 lungo transeiti consecutivi. Ad esempio, il profilo P1 è la media temporale delle variazioni del litorale osservate lungo i transeiti da T1 a T16, il profilo P2 si riferisce ai transeiti da T17 a T32 e così via.

Per ogni Cella, è stata calcolata la *matrice di correlazione di Pearson* per valutare le correlazioni tra i profili. Inoltre, anche il coefficiente t -test di Student, p , è stato calcolato per indagare sulla rilevanza della correlazione tra i profili, che è stata assunta significativa per p -value < 0.05. Per brevità, la matrice del coefficiente t -test di Student, p , è stata omessa, ma i valori significativi della correlazione (caratterizzati da p < 0.05) sono stati scritti in corsivo nelle matrici di correlazione di Pearson della Tabella 1, 2 e 3, rispettivamente scritto per Cella I, Cella II e Cella III.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P2	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P3	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1

CONCLUSIONE

L'analisi temporale della variazione del litorale mediante l'applicazione GIS ha consentito di identificare le aree di accrescimento ed erosione. In particolare condotta ha evidenziato che durante il periodo di osservazione nella Cella I e nella Cella III la linea di costa si è evoluta mantenendo la sua forma concava ma ruotando. In analisi, si è osservata una rotazione in senso orario nella Cella I, con la formazione di un'area a nord di avanzamento del litorale e un'area di erosione lungo il settore meridionale. Nella Cella II, durante il periodo di osservazione analizzato, la costa ha subito una rotazione in senso antiorario con un avanzamento nell'area meridionale e una erosione lungo la costa settentrionale. La Cella II è stata caratterizzata interamente da una progressiva erosione che ha accentuato il profilo concavo della costa. Questi risultati sono stati verificati mediante l'applicazione di un modello di regressione lineare in ciascuna Cella e calcolando la matrice di Pearson applicata al fine di indagare a fondo sulle correlazioni tra la posizione della costa settentrionale, centrale e meridionale di ciascuna Cella dell'area di studio. La metodologia implementata ha avvalorato che l'analisi statistica dei dati rimane un metodo di semplice applicazione e attendibile per identificare i principali trend evolutivi del litorale. La procedura proposta ha dimostrato, altresì, l'efficacia di un approccio congiunto nell'analisi dell'evoluzione delle coste identificando le aree di erosione e deposizione e fornendo informazioni complete, sia qualitative che quantitative che potranno essere utilizzate per successive valutazioni di scenari di intervento.

References

Armenio, E., De Serio, F., Mossa, M.: Environmental technologies to safeguard coastal heritage. *SCIES-ITSC/2012 Research and Information Technology*, 8(1), 61-78, 2018.

Armenio, E., De Serio, F., Mossa, M.: Analysis of data characterizing tide and current fluxes in coastal basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3441, 2017a.

Armenio, E., De Serio, F., Mossa, M., Nobile, B., Petrillo, A. F.: Investigation on coastline evolution using long-term observations and numerical modelling. In *The 27th International Ocean and Polar Engineering Conference*, International Society of Offshore and Polar Engineers, 2017b, 15.

Armenio, E., De Padova, D., De Serio, F., Mossa, M.: Monitoring system for the sea: Analysis of method, wave and current data. IMEKO TC19 Workshop on Metrology for the Sea, MetroSea, 2017c.

Blossier, B., Bryan, K.R., Winter, C.: Simple Pocket Beach Rotation Model Derived from Linear Analysis. *Proc. Coastal Sediments 2015*, San Diego, USA, 2015.

Bryan, R., Foster, R., MacDonald, L.: Beach Rotation at Two Adjacent Headland-Enclosed Beaches. *Journal of Coastal Research*, 2, 2095 - 2100, 2013.

Cutler, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J.: A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18(4), 598-606, 2008.

Damiani, L., Petrillo, A.F., Ranieri, G.G.: The erosion along the apulian coast near the Ofanto river. *Coastal Engineering VI*. Editors: Brebbia, Almoraz and Lopez-Aguayo, 2003.

De Padova, D., De Serio, F., Mossa, M., Armenio, E.: Investigation of the current circulation offshore Taranto by using field 25 measurements and numerical model. *Proc. 2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Torino, Italy, 2017.

De Serio, F., Mossa, M.: Streamwise velocity profiles in coastal currents. *J. Environ. Fluid Mech.*, 14, 895-918, 2014.

De Serio, F., Mossa, M.: Assessment of hydrodynamics, biochemical parameters and eddy diffusivity in a semi-enclosed Ionian basin. *J. Deep-Sea Res. II*, 133, 176-185, 2016.

De Serio, F., Armenio, E., Mossa, M., Petrillo, A.: How to Define Priorities in Coastal Vulnerability Assessment. *Geosciences*, 8(11), 415, 2018.

Dolan, R., Hayden, B.P., Felder, W.: Systematic variations in inshore bathymetry. *Journal of Geology*, 85(2), 129-141, 1977.

Dolan, R., Foster, M.S., Holme, S.J.: Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7, pp. 723-744, 1991.

Efrink, B., Christensen, E.D., Broker, I., Gonnella, M., Morelli, M.: Local Morphological Evolution of the Coast in the Upper Adriatic Sea. Design and Management Strategies to Control Coastal Erosion. In *CENAS*, Editor: Gambolati, Springer, 15 Netherlands, 263-289, 1998.

Katz, O., Muskhin, A.: Characteristics of sea-level erosion induced by a strong winter storm in the eastern Mediterranean. *Quaternary Research*, 80, 20-32, 2013.

Toreusan, S., Cretto, A., Rizzit, J., & Marcomini, A.: Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: the case study of the North Adriatic Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(7), 2347-2368, 2012.

Samaras, A. G. Gaeta, M.G., Miquel, A.M. and Renata Archetti, R.: High-resolution wave and hydrodynamics modelling in coastal areas: operational applications for coastal planning, decision support and assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(6), 1499-1518, 2016.

Short, A.D., Trenbath, A.C.: Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen beach, Australia-Time series, PCA and Wavelet analysis. *J. Coast Res* 20(2):523-532, 2004.

Oyedotun, T.D.: Shoreline Geometry: EDWAS as a Tool for Historical Trend Analysis. In *Geomorphological Techniques*, 3, 2.2, British Society for Geomorphology, 2014.

Thebaudeau, B., Trenthick, A.S., Edwards, R.J.: Modelling the development of rocky shoreline profiles along the northern coast of Ireland. *Geomorphology*, 203, 66-78, 2013.