

I risultati del monitoraggio del litorale di Trani (BT) dopo la realizzazione di opere di difesa

Maria Francesca Bruno, Antonio Felice Petrillo

Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica - Politecnico di Bari, via E. Orabona, 4 - Bari.
Tel.: +39 080 5963288, Fax: +39 080 5963414. E-mail: f.bruno@poliba.it, a.petrillo@poliba.it

Riassunto

Il litorale del comune di Trani, nel tratto posto a sud di Capo Colonna, a partire dal 1975 è stato interessato da un forte arretramento della spiaggia e da crolli della falesia retrostante la spiaggia.

Le spiagge che bordano tale litorale hanno infatti mostrato una marcata tendenza all'arretramento sino a giungere ad una consistenza talmente ridotta da non assicurare più né la fruizione balneare né la necessaria protezione dal moto ondoso incidente alla retrostante falesia.

In seguito ai dissesti evidenziati, è stata decisa la realizzazione di un sistema di 10 barriere frangiflutti parallele alla costa, che si andavano ad aggiungere ad altre due, realizzate circa 10 anni prima.

Nell'area in esame è stato condotto un monitoraggio allo scopo di interpretare e quantificare le variazioni della spiaggia emersa e sommersa.

Lo studio dell'evoluzione della spiaggia emersa, effettuato sulla base del confronto delle linee di riva, ha mostrato un avanzamento durante tutto il periodo di osservazione, mentre l'analisi dei rilievi batimetrici ha evidenziato i tipici problemi indotti dalla realizzazione delle barriere di protezione, tra i quali, l'erosione profonda in corrispondenza dei varchi tra le scogliere e l'aumento del tasso di sedimentazione nella zona sottoflusso.

Parole chiave: erosione costiera, opere di difesa, monitoraggio, morfologia, sedimenti.

Abstract

Since 1975, the Trani coast south of Capo Colonna has been subject to erosion and cliff collapse, together with the more general problems of disappearing coastline.

The beaches along this shoreline have shown a marked tendency towards erosion to the point where they are so reduced in size as to threaten both their use as bathing areas as well as their important role in protecting the cliffs overlooking the beaches from wave attack.

As a result of the clear damage being caused, a decision was made to realize a system of ten breakwater barriers parallel to the coastline, joining another two barriers which had been realized ten years previously in front of Lido Colonna. In the examined area several monitoring campaigns were conducted in order to understand and quantify changes in the emerged and submerged beach.

Field observations of shoreline position and bottom depth data indicated that there has been a significant effect of the breakwaters on the adjacent shoreline, with a considerable accretion, and on the sea bottom where typical morphological changes in the vicinity of breakwater structures have been found.

Keywords: beach erosion, coastal structures, monitoring, morphology, sediments.

Introduzione

L'analisi dell'evoluzione del tratto di litorale oggetto della presente memoria, situato nella parte più a sud dell'abitato di Trani, è stata basata sui dati acquisiti nel corso delle campagne di monitoraggio previste nel POR Puglia 2000-2006.

La Regione Puglia ha, infatti, predisposto una serie di azioni di monitoraggio fra cui quella riguardante gli "interventi di difesa costiera già finanziati e realizzati" (Misura 1.3 - Sottoazione 2b dell'area di azione 2 - Difesa delle coste regionali colpite da fenomeni di subsidenza ed erosione dei litorali sabbiosi e dissesto dei litorali rocciosi) e quella relativa all'evoluzione costiera (Misura 1.3 - Sottoazione 4c dell'area di azione 4 - Miglioramento delle conoscenze di base, adeguamento e ampliamento del sistema di monitoraggio del suolo, dei corpi idrici superficiali, sotterranei e costieri), basata su riprese aeree ripetute con cadenza stagionale e successiva restituzione cartografica.

Le suddette azioni sono state affidate, attraverso la stipula di una apposita Convenzione, ad un raggruppamento costituito dal Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC) del Politecnico di Bari, dal Dipartimento di Geologia e Geofisica (DGG) dell'Università degli Studi "Aldo Moro" di Bari e dall'Istituto di Ricerca delle Acque (IRSA) del C.N.R.

Durante i tre anni di attività sono state acquisite informazioni sulle caratteristiche topografiche, batimetriche e morfologiche delle spiagge e dei fondali marini per le aree maggiormente in crisi, oltre che le caratteristiche meteomarine, la cui acquisizione si è protratta nel tempo ed è tutt'ora in corso, in alcuni paraggi significativi della costa regionale.

Tutti i dati reperiti nel periodo di monitoraggio sono stati inseriti in un sistema informativo territoriale denominato SIMOC - Sistema Informativo Monitoraggio Coste, la cui consultazione è resa possibile attraverso il sito del progetto: www.puglia-coste.it.

Descrizione del litorale

Il tratto di costa in esame, situato lungo il versante adriatico della costa pugliese, ricade, come definito nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia, all'interno della Sub Unità Fisiografica 2.5 della Puglia delimitata dal porto di Barletta a nord e dal porto di Molfetta a sud. La morfologia della sub-unità, lunga circa 35.9 km, è composita, essendo costituita da un'alternanza di tratti sabbiosi e tratti di costa rocciosa bassa e/o alta. Il paraggio di Trani ha una traversia che si estende da NO a SE con una prevalenza di stati di mare provenienti da NNO (Fig. 1a). Le caratteristiche del moto ondoso al largo sono state stimate applicando la tecnica della trasposizione geografica (De Girolamo e Contini, 1998) alle misure ondometriche registrate, dal 1990 al 2007, dalla boa direzionale di Monopoli, facente parte della Rete Ondometrica Nazionale (RON).

Il flusso longshore nella sub-unità è diretto prevalentemente da NO verso SE, ma se si analizza il dettaglio

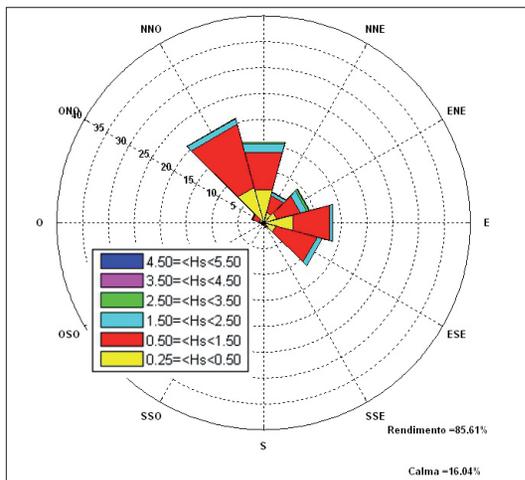


Figura 1a - Diagramma polare delle onde al largo.



Figura 1b - Correnti longshore associate all'onda morfologica equivalente.

delle correnti longshore generate dall'onda morfologica equivalente del paraggio (Fig. 1b) si evidenziano inversioni delle correnti in corrispondenza delle insenature di Capo Colonna.

Il litorale in esame si estende da Capo Colonna a Capo San Giovanni ed è costituito prevalentemente da costa rocciosa alta e localmente bassa con al piede depositi sabbiosi che danno origine a spiagge di limitata profondità.

La zona è a rischio geologico a causa di ingenti fenomeni erosivi che, spingendosi fino al piede delle falesie, hanno causato crolli per ribaltamento. Particolarmente colpita è stata la spiaggia posta a sud di Capo Colonna che, a partire dal 1975, è stata interessata da una sensibile erosione e da crolli della falesia retrostante dovuti anche alle azioni antropiche, vista l'intensa urbanizzazione che ha interessato questa porzione della fascia costiera.

Allo scopo di contrastare questo trend erosivo, negli anni tra il 2002 ed il 2004 è stato realizzato un sistema di opere di difesa costituito da 10 barriere frangiflutti parallele alla costa, che si sono aggiunte ad altre 2 barriere realizzate immediatamente più a nord agli inizi degli anni '90, con l'intento di arginare l'erosione della spiaggia del famoso Lido Colonna.

Bisogna infatti ricordare che, a partire dagli anni '30 e fino agli anni '60 il Lido Colonna aveva avuto una rinomanza nazionale per la bellezza della spiaggia sabbiosa e di quella rocciosa adiacente, il tutto in un contesto che vedeva, sullo sfondo, la presenza del monastero di Santa Maria di Colonna.

Come si osserva dal confronto tra la cartografia IGM del 1948 e l'ortofoto del 2008 (Figg. 2a e 2b), Capo Colonna, un tempo fuori dall'abitato urbano di Trani, risulta adesso circondato da una sviluppata zona turistico-residenziale.

Dalla cartografia del '48 (Fig. 2a), si rileva, in particolare, la presenza della Lama delle Campane, che, un tempo, convogliava le acque meteoriche verso il mare, contribuendo in modo sostanziale, con il suo trasporto di sedimenti fini, ad alimentare le spiagge.

A causa dell'intensa urbanizzazione del territorio e della colmata della lama (Fig. 2b), questo apporto è ormai definitivamente venuto a mancare. La situazione attuale può essere più chiaramente compresa dall'analisi del D.S.M., realizzato nella zona nel settembre del 2008 (Fig. 3), dal quale possono essere estratte sia le quote del terreno che quelle delle varie infrastrutture realizzate nel corso degli anni.

Negli ultimi quarant'anni, in definitiva, a fronte di un incremento, della popolazione della città di Trani pari ad un solo terzo, la fascia costiera tranese è stata interessata da un aumento della superficie edificata che è oggi 4 volte maggiore di quella iniziale (Vallario, 1995).

La notevole antropizzazione della fascia costiera e la relativa urbanizzazione, con la realizzazione di strade litoranee e della linea ferroviaria, ha intaccato profondamente il paesaggio costiero.

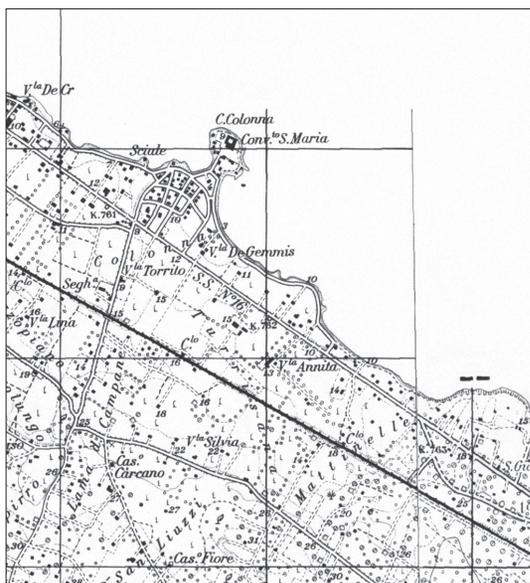


Figura 2a - IGM 1:25000 del 1948.

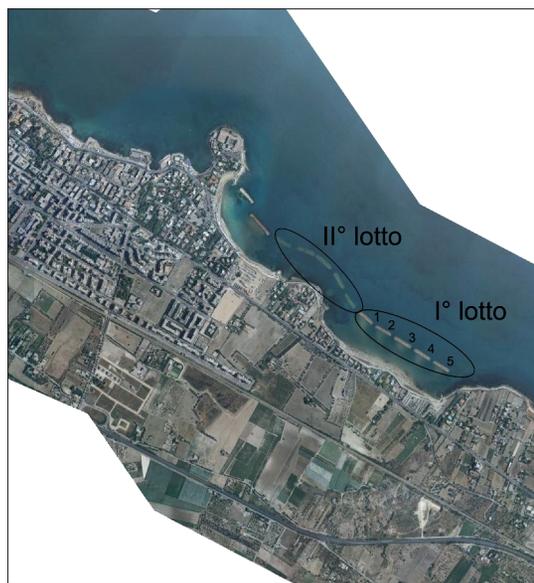


Figura 2b - Ortofoto del 2008.

In particolare, lungo il Lido di Capo Colonna, nei primi anni novanta è stato realizzato un lungo tratto di strada litoranea in rilevato, a quota 10 m s.l.m., con relativo muro di sostegno in calcestruzzo armato (Fig. 4). A seguito dell'arretramento della spiaggia al piede del rilevato, le marreggiate hanno intaccato il muro di sostegno provocandone grosse lesioni fino alla base, tanto da rendere necessari diversi interventi di sistemazione, di consolidamento della falesia e messa in sicurezza dell'opera.

Sono stati proprio questi ulteriori fenomeni di dissesto della costa, a suggerire la realizzazione, poi effettivamente avvenuta in due lotti separati (Fig. 2b), delle 10 barriere frangiflutti di cui si è accennato. Nel primo lotto, i cui lavori si sono conclusi nel 2002, sono state realizzate 5 barriere emerse nella zona più a sud del tratto di costa esaminato; le barriere, di lunghezza 80 m, altezza sul l.m.m. pari a 0.5 m e varchi di circa 30 m, sono state realizzate su fondali di circa 3 m di profondità e ad una distanza dalla linea di costa di 150 m (Fig. 5a).

Il secondo lotto è stato completato nel 2004 ed ha riguardato la realizzazione di ulteriori 5 barriere frangiflutti di tipo sommerso che presentano le stesse caratteristiche geometriche di quelle emerse, ad eccezione, ovviamente, della quota di coronamento posta a -0.3 m s.l.m.

Il litorale, pertanto, può essere idealmente suddiviso in una zona nord, in corrispondenza delle prime due barriere emerse, in una zona centrale, in corrispondenza delle cinque barriere sommerse, ed in una zona sud, dove sono state realizzate le cinque barriere emerse.



Figura 4 - Strada litoranea e muro di sostegno a Lido Colonna.

Evoluzione della linea di riva

Per studiare gli effetti delle barriere sulla morfodinamica del litorale esaminato, è stata confrontata la linea di riva del 2001, relativa ad una situazione in cui erano presenti solo le due barriere a nord, con le linee di riva rilevate nel 2006, 2007 e 2008 (POR Puglia), dopo la conclusione dei lavori di costruzione delle dieci barriere emerse e sommerse. Altre informazioni sulla linea di costa sono state desunte dalla cartografia fotografica disponibile (anno 2005).

I rilievi topografici eseguiti nel 2001, 2006 e 2007 sono stati effettuati con l'impiego di un sistema GPS differenziale, utilizzato in modalità RTK a tre ricevitori (una base e due rover), vista la piccola estensione dell'area esaminata.

Nel 2008 il rilievo topografico della spiaggia emersa e della parte emersa delle strutture di difesa è stato eseguito tramite laser scanner statico; ogni singola scansione è stata georiferita tramite GPS. Il laser scanner, montato su treppiede, è stato posizionato su punti di coordinate note da cui è stata effettuata la scansione della spiaggia emersa, delle opere di protezione e di quattro target, retti da treppiede, dotati anch'essi di antenna GPS.

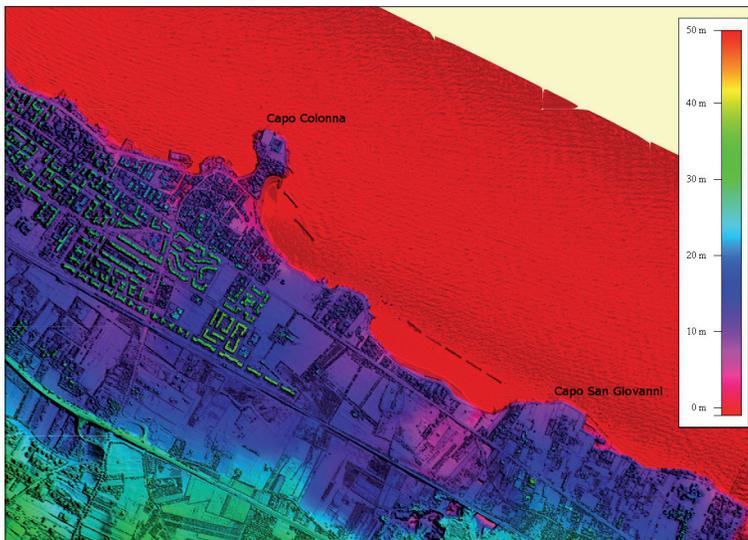


Figura 3 - DSM del 2008 (risoluzione orizzontale 1 m).



Figura 5a - Fotografia scattata immediatamente dopo la realizzazione delle barriere emerse (2003).



Figura 5b - Fotografia scattata nell'ottobre 2008.

Tutte le aree della spiaggia emersa in cui, per motivi logistici, non è stato possibile effettuare il rilievo tramite laser scanner in modalità dinamica, pseudo-statica o statica (impercorribilità della spiaggia per presenza di ostacoli), e la spiaggia sommersa fino alla profondità di 1.5 m, sono comunque state rilevate con strumentazione GPS in modalità RTK.

Lo studio dell'evoluzione del litorale, nella zona protetta dalle barriere, è stato eseguito effettuando il confronto a coppie tra le linee di riva disponibili, utilizzando il modulo DSAS (Digital Shoreline Analysis System) (Thieler et al., 2009), che è un applicativo del software ArcMap. Il DSAS permette di effettuare il confronto tra due linee di riva rispetto ad una linea di riferimento, o baseline, lungo una serie di transetti tracciati perpendicolarmente a quest'ultima. Attraverso l'applicazione del DSAS si ottengono delle tabelle in cui, per ciascun transetto 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 riva messe a confronto. Il litorale esaminato ha una lunghezza di circa 650 m; lungo la costa sono stati tracciati transetti ogni 10 m, per un totale di 64 sezioni individuate.

Nel periodo antecedente la realizzazione delle barriere, nella parte più a sud del litorale in esame la spiaggia era ormai ridotta a due stretti lembi di sabbia, ognuno di lunghezza pari a circa 100 m e larghezza pari a 10 m (Fig. 5a).

Dopo la realizzazione delle barriere, si è verificato un progressivo avanzamento della linea di riva con la formazione di una unica spiaggia lunga circa 450 m e con una larghezza variabile che raggiunge un valore massimo di 35 m (Fig. 5b). L'avanzamento della spiaggia è evidenziato nella Figura 6 in cui è riportato il risultato del confronto tra le linee di riva del 2001 e del 2008.

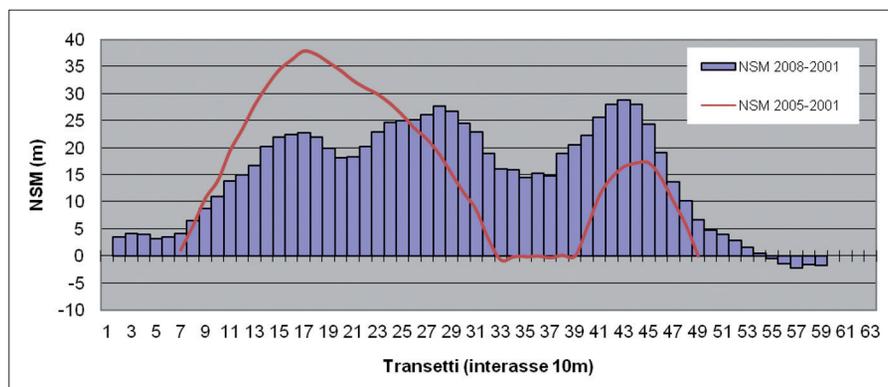


Figura 6 - Evoluzione della linea di costa 2001/08.

re, lungo il tratto di costa esaminato si era verificato un ripascimento significativo. Le due piccole spiagge presenti prima della realizzazione delle opere di difesa, infatti, erano avanzate rispettivamente di oltre 35 m (a nord) e oltre 15 m (a sud).

Analisi batimetriche

Lo studio dell'evoluzione della spiaggia sommersa è stato condotto attraverso l'analisi di alcuni rilievi batimetrici effettuati in anni differenti; in particolare sono stati utilizzati sia dati acquisiti prima della costru-

zione delle opere di difesa (2001) che successivi alla loro realizzazione (2003, 2006, 2007, 2008).

I dati batimetrici, eccezion fatta per i rilievi ante operam del 2001 eseguiti con sistema singlebeam, sono stati acquisiti tramite ecoscandaglio multibeam ad altissima risoluzione, posto su un'imbarcazione dotata di sistema di posizionamento del tipo GPS.

I rilievi analizzati si riferiscono a tutto lo specchio di mare che si estende da Capo Colonna a Capo S. Giovanni (Fig. 3). Prima della realizzazione delle nuove barriere il fondale presentava un andamento piuttosto regolare, con pendenze dell'ordine dell'1% (Fig. 7a). Dall'analisi della carta batimetrica relativa al rilievo effettuato nel 2008 (Fig. 7b), risulta che nella zona delle barriere emerse poste a protezione della spiaggia a

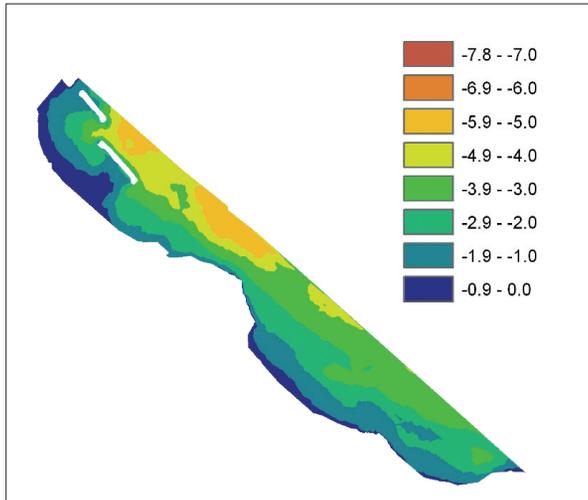


Figura 7a - Rilievo batimetrico del 2001.

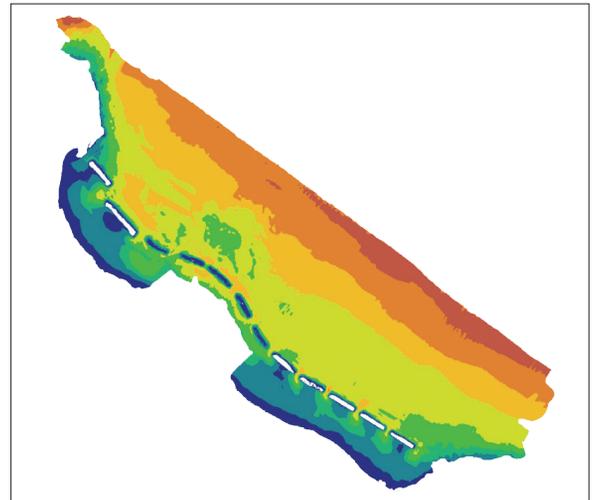
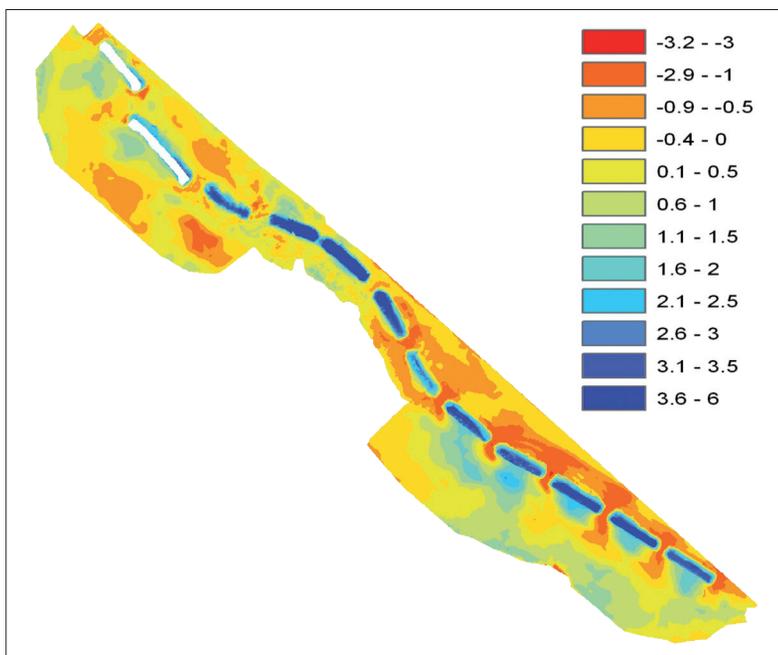


Figura 7b - Rilievo batimetrico del 2008.

sud, il fondale degrada fino a quota -2 m s.l.m. per poi risalire a -1.5 m nella zona immediatamente a ridosso delle barriere; oltre le barriere l'andamento del fondale marino presenta profondità crescenti da -4 m fino alla batimetrica a quota -7 m s.l.m. posta ad una distanza media dalla linea di riva di circa 530 m.

Dal confronto tra i rilievi batimetrici del 2001 e del 2008 (Fig. 8) si evince che la realizzazione delle barriere ha sensibilmente modificato



la morfologia della spiaggia sommersa; dall'analisi della figura si può osservare, infatti, lo sviluppo di significativi accumuli di sabbia immediatamente a ridosso delle barriere (lato riva), che hanno determinato l'innalzamento del fondale da circa -3.5 m a -1.5 m. Si evidenzia, inoltre, la presenza dei tipici fenomeni morfologici indotti dalle barriere emerse (Fredsoe e Sumer, 1997; Sumer e Fredsoe, 2000, Sumer et al., 2005; Aminti e Cappietti, 2005), ovvero la presenza delle fosse di erosione, della tipica forma a lingua di fiamma, ai varchi delle scogliere in corrispon-

Figura 8 - Differenza di quota (in metri) tra il rilievo del 2008 e del 2001.

denza dei quali si sono verificati approfondimenti di entità consistente (fino ad un massimo di 3.5 m), raggiungendo il substrato roccioso che in quella zona si incontra ad una profondità di circa 7 m.

Nella zona settentrionale del litorale esaminato, durante lo stesso periodo, il fondale non ha subito variazioni significative; si può solo segnalare una lieve tendenza all'erosione di tutta l'area in contrasto con un certo accumulo di sedimenti immediatamente a ridosso delle vecchie barriere emerse di fronte a lido Colonna.

L'evoluzione dei fenomeni sopra descritti, negli anni intermedi tra il 2001 ed il 2008, si può desumere dall'analisi comparativa delle mappe di tutti rilievi disponibili, che qui si omettono per brevità. Già nel 2003, a pochi mesi dall'ultimazione dei lavori di realizzazione delle barriere emerse, si osservava la presenza delle fosse di erosione ai varchi ed un innalzamento dei fondali nella parte sottoflusso. Nel 2006 le zone di erosione si erano accentuate, soprattutto a largo delle scogliere e nei varchi, dove si registrava una variazione di quota del fondale compresa tra -1 e -3 m. A tergo delle barriere, invece, si registrava un innalzamento generalizzato delle quote tanto da non consentire spesso nemmeno l'esecuzione dei rilievi, vista la profondità insufficiente per la navigazione. Anche in questo caso, quindi, è stata confermata la tendenza dei sedimenti ad accumularsi a tergo delle barriere emerse. Infatti, nei brevi tratti in cui è stato possibile effettuare le misure di profondità si sono riscontrati innalzamenti dell'ordine dei 2 m.

Nell'area centrale, interessata dalla costruzione delle barriere sommerse, la profondità dei fondali del lato sottoflusso delle opere, sempre al 2006, era paragonabile a quella riscontrata dal lato sopraflusso, probabilmente a causa dello scarso rifornimento di materiale sciolto in un'area caratterizzata da fondali essenzialmente rocciosi. Nell'anno successivo è stata riscontrata una sostanziale stabilità di tutto il fondale, con variazioni massime di 50 cm. In particolare, nelle zone dei varchi il fondale non ha subito variazioni in quanto già nel 2006 l'escavazione aveva raggiunto il substrato roccioso posto a quota -7 m.

Analisi morfologiche

Nel 2006 e nel 2008 sono state condotte alcune indagini morfologiche, con l'ausilio di *side scan sonar*, per identificare e valutare la morfologia del fondale marino (sabbia, ghiaia, roccia, fango, posidonia cymodocea, ecc.).

Il rilievo condotto nel 2008 (Fig. 9) si estende verso il largo fino ad una distanza massima di 600 m, con profondità che vanno da 1 a 7 m. L'area rilevata si presenta nella zona più a largo ricoperta per la maggior parte da sabbia su cui è insediata la *Cymodocea nodosa*, indicata dal colore verde.

La zona a nord e la zona centrale si distinguono per la presenza di roccia affiorante a ridosso delle barriere, ma la continuità dell'affioramento è interrotta da una fascia limoso-sabbiosa, posta sottoflusso alle due barriere emerse ed indicata dal colore marrone.

Nella zona più a sud, dove sono state realizzate le barriere emerse, il fondale risulta ricoperto prevalentemente da sabbia ad eccezione dei varchi, in cui, per effetto dell'erosione associata all'intensità delle correnti, si osserva, come detto, la presenza di affioramenti rocciosi.

Al piede delle barriere sono stati rilevati vari blocchi disarticolati lungo tutto il perimetro delle opere e prevalentemente in corrispondenza dei varchi.

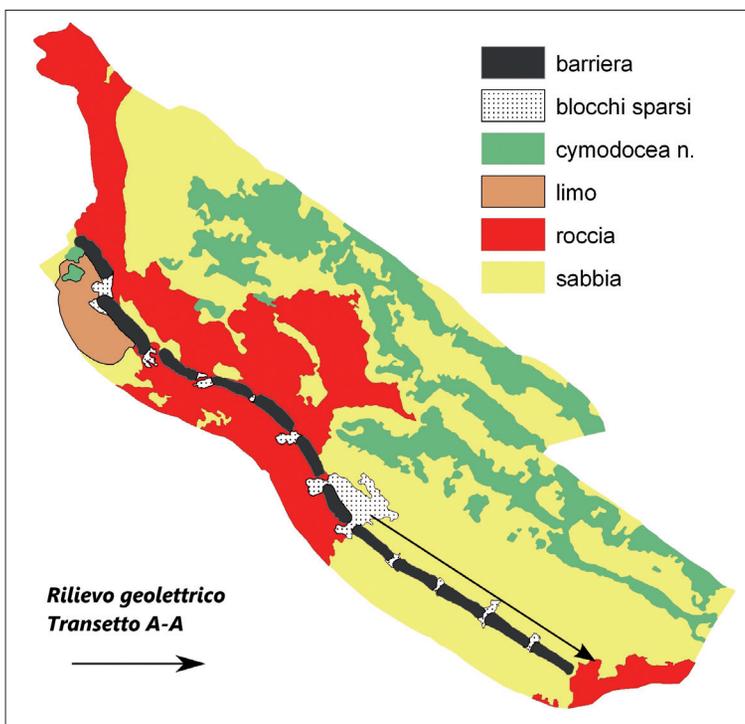


Figura 9 - Rilievo morfologico del 2008.

Lungo il tratto di mare in esame, nel 2006 è stato condotto anche un rilievo geoelettrico per la mappatura del profilo del fondale sia nella zona protetta che al largo delle strutture (Fig. 9). I dati di resistività apparente sono stati raccolti utilizzando un georesistivometro, configurato con 16 elettrodi spazati di un metro, accoppiato ad un sistema DGPS per il posizionamento. La ricostruzione della sequenza stratigrafica del fondale ottenuta dall'analisi delle tomografie ha permesso di individuare un primo strato di materiale sciolto sabbioso-limoso di deposito nelle zone di accumulo sia all'interno dell'area protetta sia immediatamente al di fuori delle barriere (Fig. 10), seguito da materiale roccioso decisamente più resistivo che si trova sotto lo strato sabbioso ad una profondità che si aggira sui 7 m.

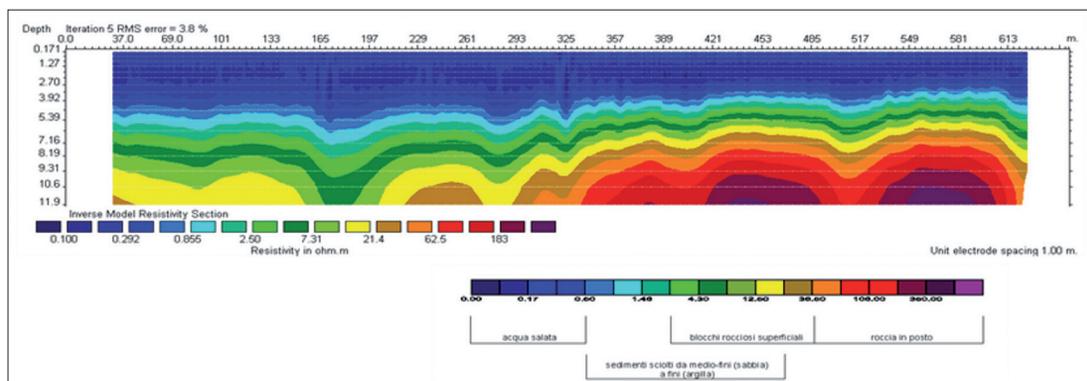


Figura 10 - Stratigrafia del fondale in corrispondenza del transetto A-A.

Analisi sedimentologiche

I depositi affioranti lungo la falesia nel tratto di costa in esame, secondo i dati riportati nella cartografia ufficiale ed in letteratura, sono costituiti dai calcari del Cretaceo inferiore della formazione del Calcare di Bari su cui trasgrediscono coperture di esiguo spessore e/o lembi residui, di sedimenti arenaceo-calcarenitici marini litorali del Pleistocene, disposti in terrazzi (Caldara et al., 2011).

Per la caratterizzazione granulometrica e mineralogica dei sedimenti della spiaggia emersa e del fondale sono state condotte due campagne di prelievi effettuate nel 2006 e nel 2008 negli stessi punti.

I campionamenti sono stati realizzati tramite sassola sulla spiaggia emersa, e tramite benna mordente tipo "Van Veen" nella parte sommersa, in modo da assicurare la migliore penetrazione sui fondali marini a litologia prevalentemente sabbiosa; nelle due campagne effettuate, i campioni di sedimenti sono stati prelevati negli stessi punti (Fig. 11).

Per la classificazione dei sedimenti in base al diametro è stata adottata la scala phi (φ) (Krumbein, 1934).

Da un primo confronto tra i dati relativi alle due campagne di rilievo si osserva innanzitutto che dal 2006 al 2008 la profondità nei punti di campionamento è mediamente diminuita. Come si può notare dalla Figura 12, infatti, i punti in blu rappresentativi dei campioni prelevati nel 2008 sono collocati mediamente a quote inferiori rispetto ai punti in rosso corrispondenti ai campioni del 2006.

I sedimenti prelevati nel 2006 presentano una distribuzione piuttosto regolare, con valori di φ che vanno da poco più di 1.5 a 3.0, valori corrispondenti alla granulometria di sabbie da medie a fini.

I risultati delle analisi effettuate sui campioni prelevati nel 2008 hanno espresso un valore mediamente più alto del parametro φ (tra 2.0 e 3.5), e quindi un valore minore del diametro medio dei sedimenti, che è inversamente proporzionale a φ ; ciò indica che i campioni prelevati nel 2008 presentano una percentuale maggiore di sabbie fini o molto fini.

Dall'analisi della Figura 12 si può inoltre osservare la diretta correlazione tra il diametro e la quota dei sedimenti (Inman, 1953). In entrambe le campagne di prelievo, infatti, è risultato che i sedimenti di maggiori dimensioni si trovano sulla spiaggia emersa, con valori di φ poco superiori a 2 (sabbie fini), mentre le particelle più piccole sono posizionate a profondità sempre maggiori, con valori di φ superiori a 3 nella zona di sedimentazione a ridosso delle barriere.

Su alcuni dei campioni prelevati durante le campagne effettuate nel 2006 e nel 2008 sono state condotte

anche delle analisi mineralogiche per diffrazione rX; in particolare sono stati analizzati alcuni campioni prelevati sulla spiaggia emersa.

Nelle Figure 13a, 13b e 13c sono riportati i dati relativi alla composizione percentuale di minerali, nei campioni prelevati nel 2006. I componenti mineralogici principali determinati sono: quarzo, carbonati e feldspati (k-feldspato e plagioclasti).

I feldspati costituiscono una frazione poco significativa dei campioni esaminati, così come la mica (fillosilicati in generale) risulta molto scarsa o assente.

Nel campione n. 3 significativa è la presenza di aragonite, sicuramente di origine organogena (bioclasti). Le particelle carbonatiche che si accumulano sul fondo dei mari attuali sono costituite da calcite, calcite arricchita in magnesio (Mg-calcite) e aragonite. Nel campione n. 3, quindi, calcite e aragonite hanno la stessa origine organogena; sommando le percentuali di calcite e aragonite presenti nella composizione del campione n. 3 si ottiene un valore simile alla percentuale di carbonati riscontrato nei campioni n. 9 e n. 16.

La Figura 13c si riferisce ad un campione prelevato sulla spiaggia più a sud del tratto di litorale esaminato, nella zona in cui sono state realizzate le barriere emerse; si nota la mancanza di mica ed un notevole aumento della percentuale di quarzo rispetto ai campioni prelevati più a nord.

I campioni prelevati nel 2008 sono costituiti principalmente da quarzo, feldspati e carbonati (Figg. 14a e 14b). Questi costituenti sono prodotti dall'azione del moto ondoso e delle correnti costiere che provocano lo smantellamento della falesia.

Il campione n°16 è costituito per più di un quarto da carbonati (28%). Come anticipato, i carbonati sono formati per lo più da bioclasti integri e in frammenti trasportati sul fondo marino. Rispetto al campione n. 3 prelevato nella zona più a nord, risulta una minore percentuale di feldspati a favore di un aumento



Figura 11 - Ubicazione dei campioni.

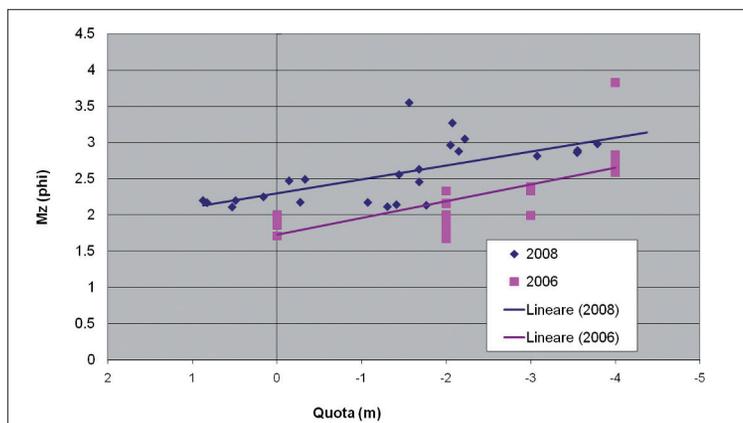


Figura 12 - Relazione tra la profondità e φ.

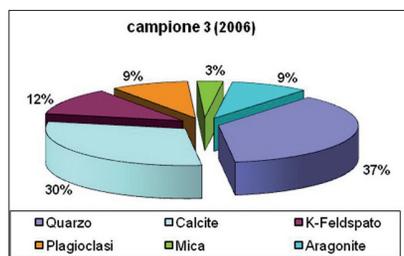


Figura 13a - Campione n. 3 prelevato nel 2006.

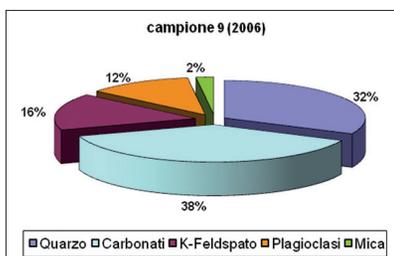


Figura 13b - Campione n. 9 prelevato nel 2008.

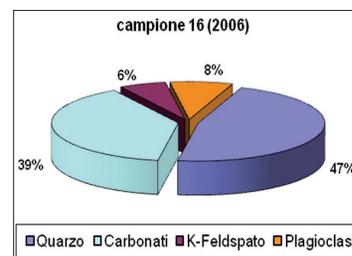


Figura 13c - Campione n. 16 prelevato nel 2006.

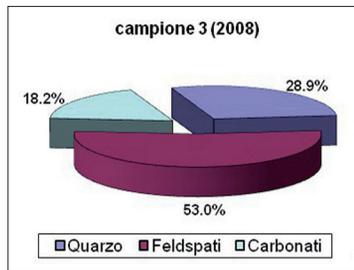


Figura 14a - Campione n. 3 prelevato nel 2008.

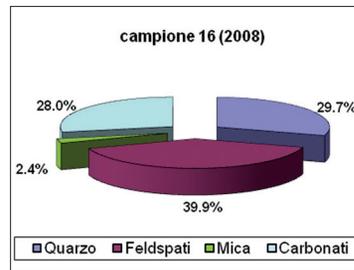


Figura 14b - Campione n. 16 prelevato nel 2008.

di quella di carbonati. Sempre rispetto al campione n. 3 si nota la presenza di mica che, tuttavia, si attesta su una percentuale (2.4%) poco significativa, al limite della rilevabilità per via diffrattometrica.

Confrontando i risultati delle analisi mineralogiche sui campioni prelevati rispettivamente nel 2006 e nel 2008, i dati più evidenti sono la diminuzione dei carbonati ed il considerevole aumento di feldspati (k-feldspato e plagioclasti), che costituiscono quasi la metà della costituzione mineralogica dei campioni più recenti.

gioclasti), che costituiscono quasi la metà della costituzione mineralogica dei campioni più recenti.

Conclusioni

Dagli studi condotti sul tratto di costa a sud di Capo Colonna è emerso che, a seguito della costruzione delle barriere emerse e sommerse, realizzate rispettivamente nel 2002 e nel 2004, il litorale in esame ha fatto registrare un significativo ripascimento. Nel periodo antecedente la realizzazione delle opere di protezione, infatti, si era verificata una quasi completa scomparsa dell'arenile; tale situazione aveva compromesso la stabilità stessa della falesia retrostante esponendola a fenomeni di crollo che si sono verificati in varie circostanze. L'effetto delle barriere è stato, quindi, quello di ridurre i pesanti fenomeni di erosione presenti e di favorire la formazione di un arenile a protezione del piede della falesia retrostante la spiaggia.

L'evoluzione del litorale in seguito all'entrata in esercizio delle opere di protezione è stata studiata in dettaglio tramite l'analisi di dati ricavati da rilievi topografici, batimetrici, morfologici e sedimentologici. L'indagine si è estesa ad un periodo che va dal 2001 al 2008.

Lo studio, in particolare, dell'evoluzione della spiaggia emersa, effettuato sulla base del confronto delle linee di riva, ha mostrato che il litorale ha avuto un avanzamento della linea di riva durante tutto il periodo di osservazione.

I fondali monitorati, come risulta dalla campagna di rilievo morfologico con side scan sonar effettuata, sono caratterizzati dalla presenza di sedimenti sabbiosi con granulometria fine e media su di un substrato di roccia calcarea.

L'analisi dei rilievi batimetrici ha evidenziato i tipici problemi indotti dalla realizzazione delle barriere di protezione, tra i quali, l'erosione profonda in corrispondenza dei varchi tra le scogliere e l'aumento del tasso di sedimentazione nella zona sottoflusso.

Attraverso le indagini sedimentologiche, infine, è stata riscontrata una diminuzione della granulometria che, come ci si poteva attendere, comporta una variazione della mineralogia dei sedimenti. Notoriamente, la componente bioclastica tende ad aumentare con la granulometria mentre, fra i silicoclasti, i feldspati tendono ad aumentare col diminuire della granulometria; queste comuni modificazioni della mineralogia sono ben riflesse dal confronto tra i campioni 2006 (sabbie medie e fini) e i campioni 2008 (sabbie fini e molto fini).

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ricordare il prof. Antonio Giuliani che ha incoraggiato e seguito tutte le fasi della ricerca. Si ringrazia inoltre il prof. Renzo Valloni per l'utile discussione.

Bibliografia

- Aminti P.L. e Cappietti L. (2003) - *Sea Bottom Scour Near Gaps in Coastal Protection Structures*. Atti MedCoast 03 International Conference, Ravenna.
- Caldara M., Iannone A., Lopez R. e Simone O. (2011) - *Il litorale di Trani (Mar Adriatico, Puglia): un esempio di geodiversità da tutelare*. Geologia dell'Ambiente, Supplemento al n.2/11: 79-92.
- De Girolamo P. e Contini P. (1998) - *Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio*. VIII Convegno AIOM, Lerici.

- Fredsøe J. e Sumer B.M. (1997) - *Scour at the head of a rubble mound break water*. Coastal Engineering, 29: 201-230.
- Krumbein W.C. (1934) - *Size frequency distributions of sediments*. J. Sed. Research, 4: 65-77.
- Sumer B.M. e Fredsøe J. (2000) - *Experimental study of 2D scour and its protection at a rubble-mound break-water*. Coastal Engineering, 40: 59-87.
- Inman D.L. (1953) - *Areal and seasonal variations in beach and nearshore sediments at LaJolla, California*. Beach Erosion Board Tech. Memo. No.39, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 121.
- Sumer B.M., Fredsøe J., Lamberti A., Zanuttigh B., Dixen M., Gislason K. e Di Penta A. (2005) - *Local scour at roundhead and along the trunk of low crested structures*. Coastal Engineering, 52: 995 - 1025.
- Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L. e 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.
- Vallario A. (1995) - *Proposte di ripristino, utilizzazione e restituzione all'ambiente delle aree degradate dall'attività estrattiva*. Atti Convegno-Dibattito "Cave e coste nel territorio del Nord-Barese - Problematiche ambientali". Trani.

Ricevuto il 03/05/2011, accettato il 01/06/2011.