

Analisi della vulnerabilità dei litorali sabbiosi dell'Area Marina Protetta (Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre)

**Simone Simeone¹, Claudia Dessy², Felice Di Gregorio², Bruno Paliaga³,
Andrea Cucco⁴, Giovanni De Falco⁴**

¹Fondazione IMC - Centro Marino Internazionale, ONLUS.

Loc. Sa Mardini - 09072 Torregrande Oristano. Email: s.simeone@imc-it.org

²Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari. Via Trentino, 51- 09127 Cagliari.

³Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre. P.zza Eleonora, 1 - 09127 Cabras, Oristano.

⁴IAMC - CNR - Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Sezione di Oristano.

Loc. Sa Mardini - 09072 Torregrande, Oristano.

Riassunto

E' stato predisposto ed applicato un modello utile a classificare le spiagge dell' area costiera dell'Area Marina Protetta (AMP) Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre e ad analizzare la capacità di recupero delle stesse rispetto a fattori naturali ed antropici. La classificazione dei tratti costieri è stata attuata utilizzando metodi di statistica multivariata (analisi fattoriale di tipo R e di tipo Q), analizzando le relazioni tra una serie di variabili rilevate su 13 tratti costieri.

L'analisi fattoriale di tipo R ha consentito di estrarre tre fattori, che spiegano l'80% della varianza totale, ed ha permesso di individuare le associazioni di variabili che più influenzano la fascia costiera indagata.

L'analisi fattoriale di tipo Q ha permesso di classificare i tratti costieri e di raggrupparli identificando, per gruppi, quali tratti hanno maggiore capacità di recupero rispetto a eventi naturali o a modificazioni di tipo antropico. Sulla base dei risultati ottenuti dalle analisi si sono individuati i tratti della fascia costiera dell'AMP più vulnerabili.

Le informazioni ottenute sono state georeferenziate e inserite in ambiente GIS. I risultati ottenuti sono stati forniti all'Ente gestore al fine di facilitare i compiti dello stesso nell'amministrazione della fascia litorale all'interno dell'AMP.

Parole chiave: Area Marina Protetta, fascia costiera, analisi fattoriale.

Abstract

A model to classify the beaches of the Marine Protected Area (MPA) Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre, has been implemented in order to analyze the recovery capacity of the investigated beaches respect to extreme events and anthropogenic disturbance.

Multivariate statistic (R and Q factor analysis) has been used to classify the beaches and to analyze the relationship between 9 variables computed for 13 coastal tracts.

Results obtained by R Factor analysis reveal the existence of three factors that explain the 80 % of the total variance. The group of variables extracted allows to define the main characteristics of coastal area of MPA.

On the other hand the Q factor analysis allows to classify the beaches of the MPA and to determine the recovery capacity of each coastal tract. From the results, the most vulnerable tracts of coastal area of MPA have been identified.

The information has been georeferenced and implemented in a GIS, and provided to the administrators of the MPA in order to support the decision making procedures.

Keywords: *Marine Protected Area, coastal zone, factor analysis.*

Introduzione

La gestione della fascia costiera è una tematica sempre più rilevante e di cruciale importanza al fine di pianificare uno sviluppo sostenibile della stessa. La pianificazione e lo sviluppo della fascia costiera hanno necessità di una base conoscitiva dei processi fisici ed antropici che insistono su di essa.

In particolare al fine di supportare i processi decisionali è necessario individuare quali tratti della fascia costiera risultano più vulnerabili sia rispetto a forzanti naturali che verso perturbazioni antropiche.

I modelli di vulnerabilità costiera adottati in letteratura sono stati sviluppati rispetto all'innalzamento del livello del mare (Gambolati et al., 2002; Gornitz, 1990, Gornitz et al., 1994), agli eventi di tempesta (Mendoza e Jimenez, 2004, Thieler e Hammr-Klose, 1999), all'urbanizzazione e uso del suolo della fascia costiera (Dal Cin e Simeoni, 1996) o anche alla *carrying capacity* (Arisci et al., 2002). Scopo del lavoro è fornire una indicazione sui tratti maggiormente vulnerabili rispetto sia a fattori naturali che antropici della fascia costiera dell'AMP Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre. In particolare è stata effettuata una classificazione della fascia costiera dell'Area Marina Protetta (AMP) Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre finalizzata all'identificazione della capacità di recupero dei litorali sabbiosi in relazione a perturbazioni indotte da forzanti naturali (i.e. mareggiate, eventi di tempesta) ed a forzanti antropiche (urbanizzazione, modificazione assetto geomorfologico). Al fine di supportare le scelte pianificatrici dell'Ente Gestore dell'AMP si sono identificati i tratti costieri più vulnerabili.

Per la classificazione dei tratti costieri dell'AMP Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre è stato utilizzato il metodo proposto da Dal Cin e Simeoni (1987, 1996) modificato e adattato al contesto investigato.

L'area in esame comprende tutta la fascia costiera dell'Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre ed in particolare gli ambienti sabbiosi della stessa (Fig. 1, Fig. 2).

Area di Studio

L'area di studio, comprendente i litorali sabbiosi dell'Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre, è localizzata nel settore centro-occidentale della Sardegna (Fig. 1). Il tratto di litorale preso in considerazione risulta incluso interamente nelle sezioni III e IV del Foglio 528 dell'IGM, serie pubblicata nel 1992, in scala 1:25.000.

La geologia dell'area è caratterizzata da una sequenza neogenica di rocce vulcaniche e sedimentarie di origine marina con un piccolo plateau basaltico Pliocenico.

Il basamento cristallino paleozoico affiora nell'isola di Mal di Ventre e lungo la piattaforma continentale (Fais, Klingele e Lecca, 1996; Marini e Murru, 1977).

La piattaforma continentale è caratterizzata dalla presenza di un ripiano strutturale (Mesa de Maluentu-Catalano, Carboni et al., 1989) profondo circa 40-50 m con deboli spessori di sedimento. I fondali della zona costiera, antistante le spiagge, sono prevalentemente rocciosi e ampiamente colonizzati dalla *Posidonia oceanica*. La prateria è impostata su una matre di circa 50 cm, costituita da sedimenti carbonatici biogenici poggiati sul substrato roccioso. Zone limitate di accumulo di sedimenti sono presenti in settori ristretti antistanti le spiagge (De Falco et al., 2003) (Fig. 1). I sedimenti di spiaggia sono costituiti da sabbie grossolane quarzose e da sabbie carbonatiche granulometricamente più fini, le quali diventano predominanti verso sud. Importanti fenomeni erosivi si riscontrano nella spiaggia di San Giovanni, tratti 10 e 11 in Figura 2 (Spano, 1956, De Falco e Piergallini, 2003) e nella spiaggia di Is Arutas, tratto 4 in Figura 2 (De Falco e Piergallini, 2003). Non esistono tuttavia dati quantitativi sui fenomeni di erosione che consentano una valutazione dell'entità e delle cause del fenomeno e dei processi in atto, è comunque noto che tali tratti litorali sono stati sottoposti ad intensa pressione antropica negli ultimi 40 anni con costruzione massiccia di seconde case e prelevamento di sabbia dal retrospiaggia a fini edilizi (De Falco e Piergallini, 2003)

In questo settore della Sardegna il maestrone (direzione NW) rappresenta il vento dominante durante l'anno (Pinna, 1989), la direzione prevalente di provenienza delle mareggiate è 305° N (Atzeni et al 2003).

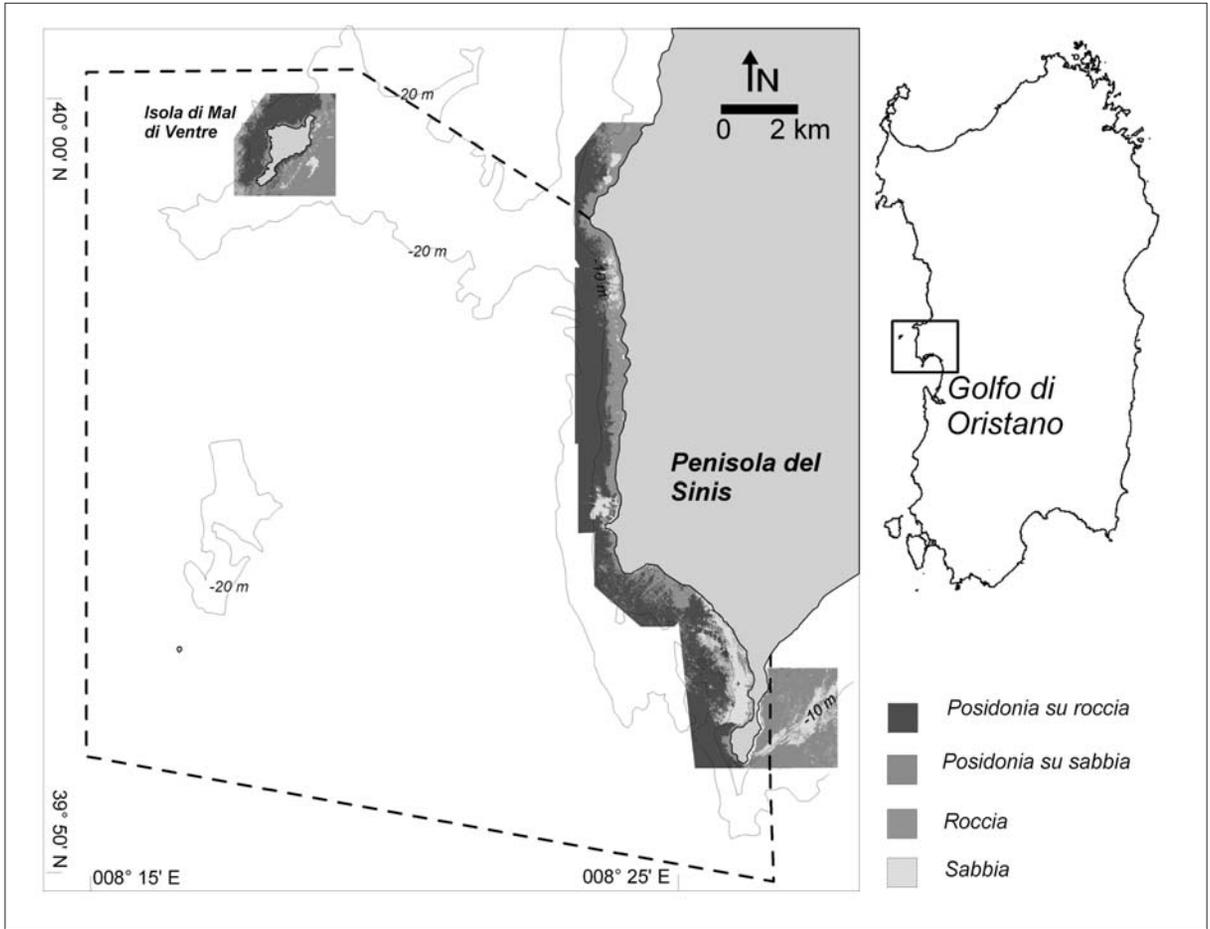


Figura 1 - Carta delle biocenosi costiere (Baroli et al, 2006). La porzione tratteggiata identifica l' Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre.

Materiali e metodi

I tratti costieri sono stati classificati utilizzando e adattando, per l'area in esame, il modello proposto da Dal Cin e Simeoni (1987, 1996). Il metodo consente di classificare la fascia costiera sulla base di un'analisi statistica multivariata di un set di dati comprendente *n* variabili e *m* tratti costieri.

Il set di dati per l'area di studio in esame comprende 9 variabili (Tab. 1) e 13 tratti costieri (Fig. 2). Le variabili utilizzate possono essere suddivise in variabili idrodinamiche, evolutive, morfologiche, sedimentologiche e antropiche.

Tabella 1 - Variabili analizzate per la classificazione delle spiagge.

| | |
|--|----------------------------|
| 1) Energia media annua (GN m/m) | Variabile idrodinamica |
| 2) Evoluzione linea di riva tra il 1960 e il 2000 (m/40 anni) | Variabile evolutiva |
| 3) Larghezza massima spiaggia emersa (m) | Variabili morfologiche |
| 4) Inclinazione media spiaggia emersa (%) | |
| 5) Inclinazione media spiaggia sommersa tra 0 e -3 metri (%) | |
| 6) Superficie sabbia della spiaggia sommersa (km ²) | Variabili sedimentologiche |
| 7) Granulometria media dei sedimenti di spiaggia (battigia) (mm) | |
| 8) Contenuto in carbonati (%) | Variabile antropica |
| 9) Superficie antropizzata (adimensionale) | |

La costa dell'Area Marina Protetta è stata suddivisa in 13 tratti costieri, la suddivisione è stata fatta in base alle caratteristiche morfologiche della fascia costiera analizzata e all'uso del suolo nell'immediato retrospiaggia. In particolare ciascuno dei 13 tratti costieri corrisponde ad una spiaggia, separata dalle altre da promontori rocciosi. Dove non è stato possibile associare una singola spiaggia ad un tratto costiero (i.e. tratti 1, 2 e tratti 7, 8), la spiaggia è stata suddivisa in due tratti in base alla differente morfologia ed in base al differente uso del suolo del retrospiaggia.

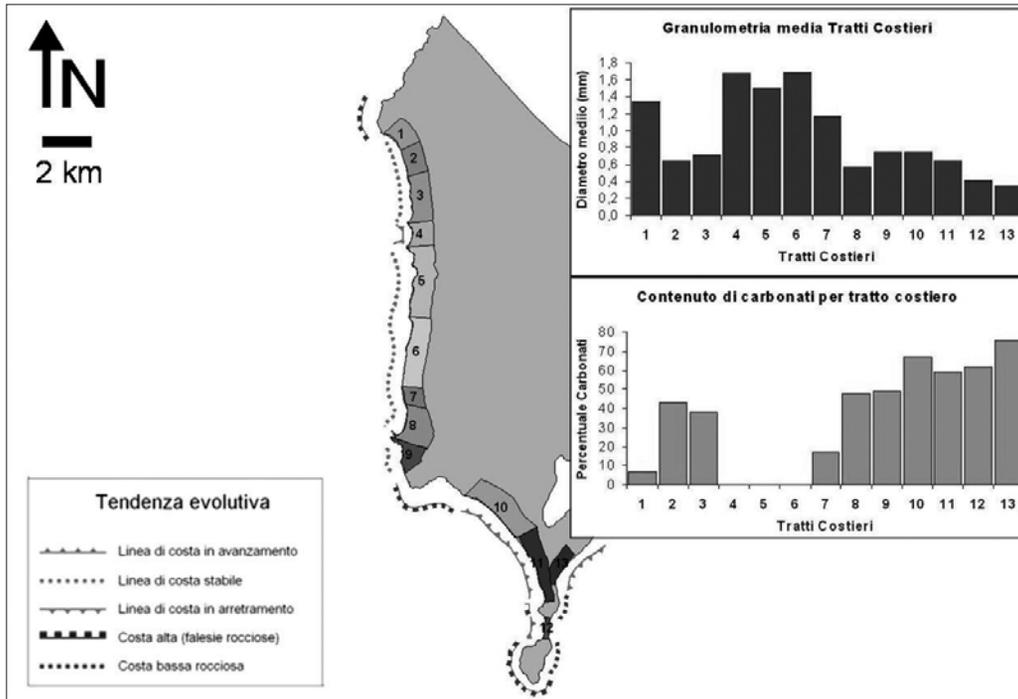


Figura 2 - Tratti costieri analizzati e relative caratteristiche sedimentologiche e mineralogiche.

Il valore della variabile idrodinamica (i.e. variabile 1) è stato estratto da Atzeni et al. (2004). Per il calcolo della variabile 2 ci si è riferiti a sia a studi pubblicati (Spano 1956, De Falco e Piergallini 2003) che a rilievi effettuati con il sistema GPS differenziale (DGPS) Ashtech Promark 2 con il quale è stata rilevata la linea di riva di tutte le spiagge dell'AMP. La tendenza della linea di riva è stata quindi ottenuta per ogni spiaggia dall'analisi delle differenti linee di riva disponibili in bibliografia (De Falco e Piergallini, 2003).

Le variabili morfologiche (i.e. variabili 3, 4, 5, 6) sono state rilevate in campo mediante l'utilizzo del sistema DGPS Ashtec Pro Mark II, in modalità cinematica (Morton et al., 1993; Haxel e Holman 2004). In particolare per la variabile 3, nel settore di massimo sviluppo della spiaggia emersa è stata misurata la massima larghezza della spiaggia dal solco di battigia al piede della duna lungo tre profili. Il valore della variabile è il valore medio ricavato dai tre valori misurati. Il valore della variabile 4 è stato ottenuto come media dei tre valori di pendenza misurati lungo i profili eseguiti per il calcolo della variabile 3. In continuità con i profili di spiaggia emersa sono stati rilevati tre profili di spiaggia sommersa, dal solco di battigia fino alla profondità dei tre metri, la pendenza media (variabile 5) è stata ottenuta come media dei tre valori di pendenza misurati. Si è considerata la profondità di tre metri in quanto, in tutto il settore occidentale dell'area di studio a tale batimetria affiora il fondale roccioso, mentre nei tratti interni al Golfo di Oristano (i.e. tratto 13) a tale profondità è riferibile il limite superiore della prateria di Posidonia oceanica.

La superficie di spiaggia sommersa coperta da sedimento (variabile 6) è stata quantificata attraverso analisi d'immagine di foto aeree utilizzando il software Multiscope® (Baroli et al, 2003); l'estensione dell'area considerata è stata determinata in base alla profondità di chiusura per ciascun tratto costiero.

I valori delle variabili 7 e 8 per alcuni tratti costieri sono stati estratti da De Falco et al. (2003) e Baroli et

al. (2003), per i tratti 5, 9 e 10, si è proceduto ad un campionamento di sedimento di battigia in almeno tre stazioni per ogni spiaggia. I campioni raccolti sono stati analizzati con granulometro laser Galai CIS 1 ed il valore del diametro medio è stato ottenuto con il metodo dei momenti attraverso il software GRADI-STAT (Blott et al 2001). I valori utilizzati sono i valori medi ottenuti dalla media delle tre stazioni.

La variabile 9 si riferisce all'area occupata da manufatti, strutture antropiche e strade sulla superficie totale del tratto costiero, tale valore è stato determinato mediante analisi d'immagine di foto aeree ed ortofoto in ambiente ESRI - ARCGIS®.

I dati così ottenuti (9 variabili, 13 casi) sono stati standardizzati (rank method) e sottoposti all'analisi fattoriale di tipo R condotta con il software Statistica® 6.0 (StatSoft®), ciò ha permesso di raggruppare le variabili al fine di individuare le loro correlazioni.

La stessa matrice è stata trasposta e analizzata attraverso analisi fattoriale di tipo Q.

I valori ottenuti da questa ultima analisi sono stati normalizzati e rappresentati in un diagramma ternario al fine di raggruppare e classificare i tratti costieri.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle due analisi è stato possibile individuare quali tratti costieri sono maggiormente vulnerabili verso perturbazioni di origine antropica e quali verso fattori naturali.

Tabella 2 - Valori delle variabili per ogni tratto costiero, i tratti costieri sono stati numerati in ordine crescente da Nord a Sud.

| Tratto costiero | Variabili | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----------|------------------|------|-----|-------|-----------|-------|--------------|
| | Idrodinamica | evolutiva | sedimentologiche | | | | antropica | | Morfologiche |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 132 | -7,8 | 20,2 | 9,56 | 6,4 | 0,002 | 1,35 | 7,84 | 0,047 |
| 2 | 132 | 1,7 | 29,8 | 7,05 | 3,2 | 0,099 | 0,62 | 43 | 0,087 |
| 3 | 132 | 1,5 | 18,3 | 12,1 | 2 | 0,177 | 0,71 | 38,92 | 0,085 |
| 4 | 132 | -16,6 | 22,2 | 10 | 6,4 | 0,014 | 1,68 | 0 | 0,219 |
| 5 | 132 | 3,2 | 10 | 8 | 2,9 | 0,012 | 1,49 | 0,06 | 0,047 |
| 6 | 132 | 3,5 | 15 | 7,86 | 2,8 | 0,02 | 1,65 | 0,13 | 0,037 |
| 7 | 132 | -6,3 | 50 | 5,32 | 4 | 0,021 | 1,17 | 17,56 | 0,123 |
| 8 | 132 | 0,8 | 44 | 7,8 | 2,4 | 0,235 | 0,57 | 48,23 | 0,035 |
| 9 | 132 | 0,5 | 25 | 9,1 | 1,4 | 0,001 | 0,75 | 49,17 | 0,034 |
| 10 | 53 | -12,1 | 20 | 7,2 | 1,8 | 0,103 | 0,75 | 67,15 | 0,069 |
| 11 | 65 | -12,6 | 40 | 9,05 | 2,2 | 0,949 | 0,65 | 59,47 | 0,523 |
| 12 | 65 | -10,2 | 35 | 5,6 | 1,9 | 0,478 | 0,41 | 62,03 | 0,161 |
| 13 | 1 | 18,6 | 12,2 | 9,38 | 1,1 | 0,088 | 0,35 | 76,28 | 0,094 |

Risultati

L'analisi fattoriale dei di tipo R ha raggruppato le 9 variabili considerate in tre fattori, che spiegano l' 80,06 % della varianza totale (Tab. 3).

Tabella 3 - Risultati dell'analisi fattoriale.

| Variabili | Fattore 1 | Fattore 2 | Fattore 3 |
|--|--------------|--------------|--------------|
| <i>Energia media annua GNm/m</i> | -0,86 | -0,32 | 0,14 |
| <i>Evoluzione (1960-2000) (m)</i> | 0,11 | -0,84 | -0,13 |
| <i>Pendenza media Spiaggia emersa (%)</i> | -0,13 | 0,09 | -0,83 |
| <i>Pendenza media Spiaggia sommersa(%)</i> | -0,88 | 0,24 | 0,15 |
| <i>Larghezza max Spiaggia emersa (m)</i> | -0,04 | 0,39 | 0,83 |
| <i>Granulometria media (mm)</i> | -0,84 | 0,05 | -0,35 |
| <i>Carbonati (%)</i> | 0,95 | 0,04 | 0,16 |
| <i>Area urbanizzata/area totale</i> | 0,18 | 0,85 | 0,04 |
| <i>Superficie sabbia fondale km2</i> | 0,61 | 0,38 | 0,43 |
| Varianza spiegata % | 39,29% | 21,11% | 19,66% |
| Varianza totale | 80,06% | | |

Il primo fattore raggruppa variabili legate alla morfodinamica dell'ambiente di spiaggia.

Il fattore 1 indica che nell'area considerata i tratti costieri in cui è presente un forte idrodinamismo, un'elevata pendenza della spiaggia sommersa e che sono costituiti da sabbia grossolana non hanno rifornimento di sabbia biogenica carbonatica e presentano uno scarso sviluppo della spiaggia sommersa.

Il fattore 2 indica che nelle spiagge maggiormente antropizzate è presente un forte processo erosivo, mentre il fattore 3 indica che le spiagge più larghe hanno anche una bassa pendenza della spiaggia emersa.

L'analisi fattoriale di tipo Q ha permesso di raggruppare le spiagge in tre fattori, i valori dei pesi fattoriali sono stati normalizzati e inseriti in un diagramma ternario al fine di individuare i tratti costieri più simili.

In Fig. 3 si illustra la suddivisione dei tratti costieri ottenuta dopo la normalizzazione dei pesi ottenuti dall'analisi fattoriale.

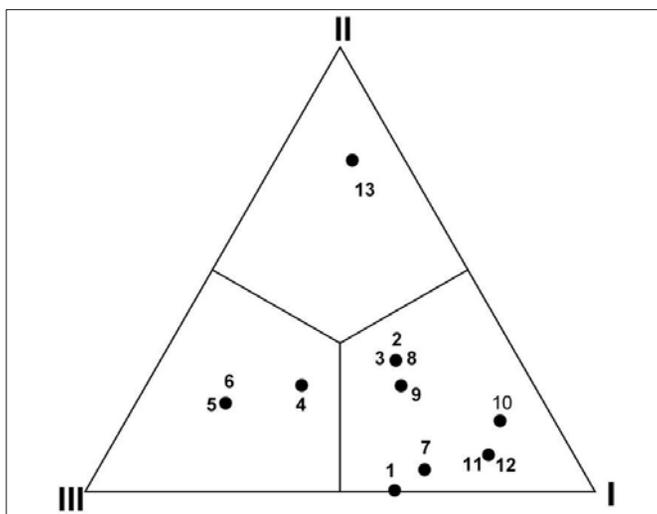


Figura 3 - Diagramma ternario dei pesi fattoriali normalizzati dei 13 tratti costieri considerati (da Dal Cin e Simeoni 1994).

L'analisi fattoriale di tipo Q evidenzia la suddivisione dei tratti in tre gruppi. Da notare che alcuni tratti, date le forti similarità morfologiche coincidono perfettamente (i.e. 6, 5; 11, 12; 2, 8, 3; in Fig. 3 e Tab. 4).

Tabella 4 - Pesi fattoriali normalizzati ottenuti dalla analisi fattoriale di tipo Q.

| Tratti Costieri | Fattore 1 | Fattore 2 | Fattore 3 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0,61 | 0,00 | 0,39 |
| 2 | 0,46 | 0,30 | 0,24 |
| 3 | 0,46 | 0,30 | 0,24 |
| 4 | 0,30 | 0,24 | 0,46 |
| 5 | 0,18 | 0,20 | 0,62 |
| 6 | 0,18 | 0,20 | 0,62 |
| 7 | 0,64 | 0,05 | 0,31 |
| 8 | 0,46 | 0,30 | 0,24 |
| 9 | 0,50 | 0,24 | 0,26 |
| 10 | 0,73 | 0,16 | 0,11 |
| 11 | 0,75 | 0,08 | 0,17 |
| 12 | 0,75 | 0,08 | 0,17 |
| 13 | 0,15 | 0,75 | 0,10 |
| Varianza spiegata % | 54,35% | 16,60% | 27,04% |

I gruppi ottenuti sono 3: A, B, C; il gruppo A identifica i tratti che correlano maggiormente con il fattore 1, il gruppo B raggruppa i tratti che correlano maggiormente con il fattore 2, mentre il gruppo C comprende i tratti maggiormente correlati con il fattore 3 (Fig. 3).

Il gruppo A comprende i tratti 1, 7, 12, 11, 10, 9, 8, 2, 3; il gruppo B include il solo tratto 13, mentre il gruppo C include i tratti 5, 6, 4.

Discussione

L'analisi fattoriale di tipo R permette di raggruppare le variabili al fine di comprendere come queste caratterizzino i tratti costieri analizzati.

Dall'analisi fattoriale di tipo R emerge che l'area costiera analizzata è costituita da spiagge con caratteristiche differenti. Infatti le spiagge che hanno una ampia spiaggia sommersa sono costituite per la maggior parte da sedimento carbonatico biogenico, hanno un minor idrodinamismo, granulometria media più fine e pendenza della spiaggia sommersa più lieve, rispetto alle spiagge con granulometria grossolana, assenza o bassa percentuale di sedimento carbonatico e forte idrodinamismo. Le spiagge maggiormente antropizzate sono anche quelle in cui è in atto un processo erosivo. Inoltre, le spiagge con maggior sviluppo della spiaggia emersa presentano un profilo meno pendente di quelle con retrospiaggia più stretto.

L'analisi fattoriale di tipo Q ha permesso di classificare e raggruppare i tratti costieri. In Fig. 3 sono mostrati i gruppi ottenuti dopo la normalizzazione dei risultati dell'analisi fattoriale di tipo Q.

Il primo gruppo, gruppo A, può suddividersi in tre sottogruppi: il primo, A1, comprendente i tratti 12, 11, 10, caratterizzato da spiagge costituite prevalentemente da sedimento biogenico, da ampio sviluppo della spiaggia sommersa e della spiaggia emersa, ma con in atto un trend erosivo ed una intensa antropizzazione dei tratti 11 e 12; il secondo, sottogruppo A2, comprendente i tratti 2, 3, 8, 9 caratterizzato da tratti costieri che hanno tendenza alla stabilità, da grandi quantità di sedimento biogenico carbonatico, da alto idrodinamismo e da ampio sviluppo della spiaggia sommersa per i tratti 3 e 8; il terzo sottogruppo, A3, include i tratti 1 e 7. Tali tratti sono caratterizzati da elevato idrodinamismo, preponderanza di sedimenti silicoclastici, tendenza erosiva in atto, buono sviluppo della spiaggia emersa ma scarso sviluppo della spiaggia sommersa e granulometria grossolana.

Il secondo gruppo, gruppo B, include il solo tratto 13, che presenta caratteristiche totalmente differenti dagli altri in quanto è l'unico interno al Golfo di Oristano ed è caratterizzato da granulometria più fine e idrodinamismo molto basso.

Il terzo gruppo, gruppo C, comprende i tratti 4, 5, 6. Tale gruppo include tratti costieri caratterizzati da elevato idrodinamismo, assenza di rifornimento sedimentario biogenico, granulometria grossolana, con uno sviluppo moderato della spiaggia emersa e con totale assenza di spiaggia sommersa. I tratti 5, 6 sono tendenzialmente stabili, mentre il tratto 4 ha una tendenza erosiva in atto e una intensa antropizzazione alle spalle. Dai risultati ottenuti con le analisi fattoriali di tipo R e di tipo Q si può individuare il grado di risposta dei tratti costieri alle perturbazioni esterne di natura antropica e/o naturale e quindi individuare quali sono i tratti più vulnerabili dell'area costiera individuata.

I tratti raggruppati nel gruppo A1 hanno una buona capacità di recupero rispetto a forzanti naturali, anche estreme come le mareggiate di elevata intensità. In tal caso la struttura morfo sedimentologica permette a tali tratti di rispondere alle perturbazioni naturali. Tali spiagge hanno però un elevato tasso di antropizzazione che le rende vulnerabili rispetto a perturbazioni antropiche, quali edificazione del retrospiaggia o prelievo di sedimento. Tali interventi diminuirebbero anche la capacità di recupero da eventi naturali.

I tratti compresi nel gruppo A2 hanno una buona capacità di recupero rispetto a forzanti naturali, ma essendo costituite prevalentemente da sedimento silicoclastico relitto, hanno una minor resilienza rispetto ad interventi antropici che lo mobilitano direttamente o che ne causino un trasferimento indirettamente.

Il gruppo A3 comprende tratti con una minor capacità di recupero da fattori naturali, e una molto bassa capacità di recupero da perturbazioni di tipo antropico. Anch'essi infatti sono costituiti prevalentemente da sedimenti relitti.

In definitiva i tratti compresi nel gruppo A presentano una moderata vulnerabilità rispetto a fenomeni naturali, ma una elevata vulnerabilità rispetto a modificazioni del loro stato da parte di interventi antropici.

Il gruppo B comprende il tratto 13 che non subisce, data la sua posizione all'interno del Golfo di Oristano, grosse perturbazioni da agenti naturali, e potrebbe avere una buona resilienza anche rispetto ad interventi

antropici. Questo tratto è quindi il meno vulnerabile per quanto concerne l'azione di forzanti sia naturali che di origine antropica.

Infine il gruppo C comprende i tratti più vulnerabili, sia in relazione a perturbazioni naturali (eventi estremi), che a forzanti di tipo antropico, infatti tali tratti sono costituiti solo da sedimenti relitti, hanno scarso sviluppo della spiaggia sommersa, la spiaggia emersa è poco sviluppata o in netta erosione (tratto 4). In questi tratti, una mobilitazione di sedimento potrebbe portare a drastici cambiamenti degli equilibri morfodinamici.

Conclusioni

La metodologia utilizzata nel presente lavoro è stata adattata alle condizioni specifiche dei litorali dell'Area Marina Protetta della Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre ed è risultata utile per classificare i vari tratti di costa e individuare quali sono i tratti con capacità di recupero maggiore rispetto a perturbazioni esterne di tipo naturale (mareggiate e o tempeste) o di tipo antropico (urbanizzazione del retrospiaggia, mobilitazione sedimento).

Dallo studio è emerso quale associazione di variabili influenza maggiormente la fascia costiera dell'Area Marina Protetta che presenta spiagge con caratteristiche differenti, in particolare: i) le spiagge più energetiche hanno sedimento grossolano silicoclastico, con mancanza di rifornimento di sedimenti biogenici dalle praterie di Posidonia, e presentano spiaggia sommersa poco sviluppata; ii) le spiagge più antropizzate hanno dei processi erosivi in atto; iii) le spiagge con retrospiaggia più ampia hanno un profilo del retrospiaggia lieve. Inoltre i tratti costieri possono essere raggruppati in tre gruppi: i) il primo gruppo comprende tratti con buona o media capacità di recupero rispetto a perturbazioni naturali, ma con diversa capacità di recupero rispetto a perturbazioni antropiche; ii) il secondo gruppo, che include il solo tratto 13, ha una buona capacità di recupero sia rispetto a fattori naturali che antropici; iii) il terzo gruppo comprende tratti con bassa capacità di recupero sia rispetto a perturbazioni naturali che antropiche.

L'importanza dei risultati conseguiti consiste nel fatto che la metodologia può essere utilmente applicata anche a litorali differenti da quelli indagati. Infatti le variabili da prendere in considerazione non sono fisse ma debbono essere scelte in base alle caratteristiche e peculiarità dei tratti investigati.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dall' Area Marina Protetta – Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre. Si ringraziano il Dr. Antonello Gellon e il Dr. Beppe Piergallini per l'assistenza durante le campagne di campionamento. Un grazie sentito va al Prof. Umberto Simeoni per gli utili suggerimenti nella revisione del lavoro.

Bibliografia

- Arisci A., De Waele J., Di Gregorio F., Ferrucci I., Follesa R., Piras G. (2002) - *Proposta di un modello di sviluppo sostenibile per le spiagge e le aree costiere dell'Isola di Sant'Antioco (Sardegna SO, Italia)*. Studi costieri, 5: 59-75.
- Atzeni A. (2003) - *Effetti idrodinamici sulle spiagge della costa occidentale della Sardegna*. Studi Costieri, 7: 61-80.
- Atzeni A., De Muro S., Di Gregorio F., Piras G. (2004) - *Map of geo-environmental hazard on the coast of Sardinia (Italy), Scale 1:300.000*. S.E.L.C.A. Firenze (Italy).
- Baroli M., De Falco G., Antonimi, C., Coppa, S., Facheris, C. (2006). *Analisi della distribuzione e struttura della popolazione di *Paracentrotus lividus* finalizzata alla gestione della pesca del riccio di mare nell' Area Marina Protetta Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre (Sardegna Occidentale)*. Biologia Marina Mediterranea, 13 (1): 326-333.
- Baroli M., De Falco G., Piergallini G. (2003) - *Cartografia ad alta risoluzione dei popolamenti bentonici della fascia costiera dell'Area Marina Protetta della Penisola del Sinis Isola di Mal di Ventre finalizzata alla gestione del diporto nautico*. Biologia Marina Mediterranea, 10: 644-646.
- Blott J. S., Pye K. (2001). *Gradistat : A Grain Size Distributions and Statistics Package for the analysis of unconsolidated sediments*. Earth Surface Process and Landforms, 26: 1237-1248.
- Carboni S., Lecca L., Ferrara C. (1989). *La discordanza versiliana sulla piattaforma continentale occidentale della Sardegna*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 108: 503-519.

- Cherchi A., Marini A., Murru M., Robba E. (1978) - *Stratigrafia e paleoecologia del Miocene superiore della Penisola del Sinis (Sardegna occidentale)*. Rivista Italiana Di Paleontologia, vol. 84, n° 4, 973-1036, tav. 91-94. Milano, 1978.
- Dal Cin R., Simeoni U. (1996) - *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy)*. Journal of Coastal Research, 10(1): 18-29.
- Dal Cin R., Simeoni U. (1987) - *Analisi ambientale quantitativa dei litorali marchigiani fra Gabicce e Ancona. Livello dl rischio naturale e del degrado, distribuzione dei sedimenti e loro possibile impiego per ripascimenti artificiali*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 106: 377-423.
- De Falco G., Molinaroli E., Baroli M., Bellacicco S. (2003) - *Grain size and compositional trends of sediments from Posidonia oceanica meadows to beach shore, Sardinia, western Mediterranean*. Estuarine Coastal and Shelf Science, 58: 299-309.
- De Falco G., Piergallini, G. (2003) - *Mare, Golfo, Lagune Studi e Ricerche*. Editrice S'Alvure, Oristano.
- Fais S., Klingele, E. e Lecca, L. (1996) - *Oligo Miocene half graben structure in Western Sardinian Shelf (western Mediterranean): reflection seismic and aeromagnetic data comparison*. Marine Geology, 133(3-4): 203-222.
- Gambolati G., Teatini P., Gonella M. (2002) - *A Gis simulation of the inundation risk in the coastal lowland of the northern Adriatic Sea*. Mathematical and Computer Modelling, 35: 936-972.
- Gornitz V. (1990) - *Vulnerability of East Coast, U.S.A. to future sea level rise*. Journal of Coastal Research, Special Issue 9: 201-237.
- Gornitz V.M., Beaty T.W., Daniels R.C. (1994) - *A coastal hazard data base for the U. S. West Coast*. OAK Ridge National Laboratory, U. S. A. 150 pp.
- Haxel J.H., Homan R.A. (2004) - *The sediment response of a dissipative beach to variations in wave climate*. Marine Geology: 206, 73-99.
- Mendoza E.T., Jimenez J.A. (2004) - *Factors controlling vulnerability to storm impact along the Catalanian coast*. Proceeding of Coastal Engineering , 3087-3099.
- Morton R. A., Leach M. P., Paine J. G. and Cardoza M. A. (1993). *Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying Techniques*. Journal of Coastal Research, 9 (3): 702-720.
- Spano P., Pinna M. (1956) - *Le spiagge della Sardegna*, CNR.
- Thieler E.R. and Hammar-Klose E.S. (1999) - *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Result for the U. S. Atlantic Coast*. United States Geological Survey.

Ricevuto il 23/03/2007, accettato il 14/09/2007.