

Caratteristiche sedimentologiche e morfologiche, tendenza evolutiva della costa della Riserva Naturale di Sentina (Marche) e ruolo dell'Habitat dunale per la riqualificazione ambientale

Carlo Bisci¹, Giancarlo Bovina², Gino Cantalamessa¹, Sergio Cappucci³,
Matteo Conti⁴, Annalisa Sinatra⁵ e Emiliana Valentini⁴

¹ Università di Camerino

² Studio Associato Geosphera

³ ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo Sviluppo sostenibile

E-mail: sergio.cappucci@enea.it, Tel: 06-30483415, Fax: 06-30483028

⁴ ISPRA, Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale

⁵ Comune di San Benedetto del Tronto

Riassunto

Nel presente lavoro vengono esposti i risultati della caratterizzazione morfologica ed evolutiva della fascia costiera della Riserva Naturale di Sentina (Regione Marche, Mar Adriatico Centrale), la riserva è caratterizzata da un litorale sabbioso lungo circa 1,7 km, con dune di modeste dimensioni e zone umide retrodunali. Il presente articolo spiega come si sia eseguito un ripascimento della spiaggia emersa in regime di somma urgenza per mitigare l'impatto dell'erosione costiera sulla duna presente nell'area di studio e ridurre la vulnerabilità degli habitat naturali nel breve termine. Tale scelta si è basata sui risultati delle analisi sedimentologiche, stratigrafiche, topografiche e batimetriche svolti per caratterizzare l'area ed individuare interventi di riqualificazione ambientale del litorale sia nel breve che nel lungo termine. La tendenza evolutiva del sistema spiaggia-duna è stata analizzata attraverso la *Surface Variation Analysis* (SVA) relativa all'intervallo 1985-2007, e basandosi sulla interpretazione delle ortofoto, è stata rilevata la scomparsa di oltre 8 ha di riserva a tutela integrale.

Parole chiave: gestione delle dune, habitat costieri, interventi di ripascimento, banche dati, SVA, DSAS.

Abstract

In this paper we present a multitemporal analysis of the coastal system in the Sentina area (Marche Region, Central Adriatic Sea) that is characterised by a ca. 1.7 Km long sandy beach with small dunes and backshore wetland habitat. A beach nourishment project, executed as an emergency action for short term mitigation of coastal erosion impacts on the natural habitat, is described. This project was based on sedimentological, stratigraphic, and topobathymetric surveys that had been carried out with the scope of characterising the area and generating suitable short and long term scenarios regarding wetland restoration, dune protection and beach replenishment.

The evolution of the beach-dune system was quantified through Surface Variation Analysis (SVA), overlapping the most representative polygons from the 1985-2007 time interval. Interpretation of orthophoto images highlighted the erosion trend of the beach, the disappearance of the dune system, and the loss of over 8 ha of a full protection Natural Reserve.

Keywords: dune management, coastal habitat, beach nourishment, database, SVA, DSAS.

Introduzione

Ubicazione, dimensione e caratteristiche morfologiche dei depositi eolici costieri sono fortemente influenzate da complessi meccanismi deposizionali che risentono sia delle condizioni meteorologiche agenti lungo il paraggio che dell'azione dell'uomo (Carter, 1980; Pye, 1990, Carter et al., 1990). Le dune sono parte integrante del sistema spiaggia e costituiscono una riserva di sedimento che svolge il duplice ruolo di proteggere gli acquiferi costieri dall'intrusione del cuneo salino e di costituire una riserva di sabbia che può essere rimaneggiata durante gli eventi estremi. La loro demolizione può avvenire anche nel breve termine, in poche ore o giorni, mentre una successiva ricostruzione richiede un lungo periodo che dura anche per mesi o anni (Davidson-Arnott, 1988; Wal e Mc Manus, 1993). Lo sviluppo di una duna richiede un'ampiezza minima della spiaggia antistante che, quando viene a mancare, può portare alla sua, regressione, alla riduzione della copertura vegetale o anche alla sua scomparsa (Carter e Wilson, 1993; Psuty, 1988; Brecciaroli e Onori, 2009). Per tale ragione è di fondamentale importanza per le amministrazioni procedere alla caratterizzazione e monitoraggio dal punto di vista fisico e biologico delle dune che, essendo habitat naturali, dovrebbero essere preservate con ogni strumento gestionale possibile. Negli ultimi decenni, una serie di fattori antropici hanno modificato l'assetto del litorale Adriatico, soprattutto in prossimità delle foci fluviali (Dal Cin e Simeoni, 1987) come quelle del Fiume Tronto a nord della quale si trova la Riserva Naturale della Sentina, che soffre di riduzioni significative del trasporto solido, di cui purtroppo non esistono stime attendibili. Tale processo, sebbene sia comune a molti dei corsi d'acqua italiani (Cappucci et al., 2008; Rinaldi e Simoncini, 2006; Siviglia et al., 2004), è ritenuto il fattore che ha influenzato maggiormente l'evoluzione di questo tratto di costa insieme alla realizzazione di opere di difesa costiera utilizzate a partire dagli anni '60 per proteggere l'abitato di San Benedetto del Tronto a nord e l'armatura della Foce del Fiume Tronto a sud (ISPRA, 2008). Il litorale della Sentina, situato nella parte più meridionale della Regione Marche (Comune di San Benedetto del Tronto), lasciato esposto alle mareggiate, negli ultimi decenni è stato soggetto allo smantellamento del delta di foce e ad un tasso di arretramento della linea di riva significativo. La protezione e riqualificazione degli habitat dunali e retrodunali, sono stati al centro di un progetto di risanamento ambientale del Comune di San Benedetto del Tronto di concerto con il comitato di indirizzo della Riserva.

Il presente lavoro, ha contribuito a caratterizzare la fascia costiera dal punto di vista sedimentologico-stratigrafico, topografico batimetro ed evolutivo. I risultati della caratterizzazione ha fornito il supporto necessario alle pubbliche amministrazioni per l'individuazione dei tratti di litorale più compromessi e per la formulazione di ipotesi di salvaguardia con interventi ambientalmente compatibili alle caratteristiche dell'area, anche nel lungo termine (Bisci e Cantalamessa et al 2008; Cappucci et al., 2009; Conti et al., 2009; Valentini et al., 2010). Il carattere interdisciplinare di questo studio e dei relativi risultati costituisce un esempio di come il personale che opera nel mondo della pubblica amministrazione, della professione e della ricerca riesca, grazie ad una proficua collaborazione, ad individuare efficaci indirizzi di gestione del territorio e delle sue risorse.

Area di studio

La Riserva Naturale Regionale della Sentina, inclusa nel territorio della regione Marche, confina a nord con l'abitato di Porto d'Ascoli, a sud con il Fiume Tronto che segna il confine regionale con l'Abruzzo, ad est con il Mare Adriatico e ad ovest con la ferrovia Bologna-Bari (Fig. 1). Istituita con Delibera Regionale 156 del 14/12/2004, ha una superficie di 177,5 ha ed è suddivisa in tre ambiti diversi:

- A - Zona di Protezione Integrale di ambiti naturali fragili di 24,5 ha;
- B - Zona di Tutela con lo scopo di mitigare gli impatti su habitat e specie, 67,2 ha;
- C - Area di Promozione Economica e Sociale delle attività antropiche, 85,7 ha.

Per le sue peculiarità ambientali, 90 ha della Riserva sono stati definiti Sito di Interesse Comunitario (IT5340001) ai sensi della Direttiva Habitat 92/43/CEE e 121 ha Zona a Protezione Speciale (IT5340022) ai sensi della Direttiva Uccelli 79/409/CEE. Il Piano Difesa Costa della Regione Marche, ripartisce la costa regionale in 27 settori e colloca il litorale della Sentina nel tratto costiero di 6,75 km che si estende dal Porto di San Benedetto del Tronto alla foce del Fiume Tronto. Tale settore presenta opere su 4,6 km (69% del totale), principalmente barriere emerse (3,6 km) e sommerse (circa 1 km) oltre a 2 pennelli.



Figura 1 - Foto aerea (2007) dell'area di studio.

La spiaggia emersa è costituita per l'11% di ghiaia, il 33% di ghiaia sabbiosa, il 23% di sabbia ghiaiosa e il 33% di sabbia (Regione Marche, 2005; Bisci e Cantalamessa, 2008; Dal Cin e Simeoni, 1994). La presenza di ghiaia e ciottoli, abbondanti lungo la battigia, è ascrivibile in parte al materiale solido trasportato in passato dal fiume Tronto e, in parte, allo smantellamento di opere di difesa ubicate lungo il litorale soprattutto alla Sentina (Fig. 2). La parte sommersa della spiaggia è costituita da materiale di granulometria progressivamente più fine allontanandosi dalla riva con fondali che hanno pendenza compresa fra 0,6% e 0,9% ed il trasporto sedimentario netto diretto da sud verso nord (AA.VV., 1999, Bisci e Cantalamessa, 2008). La profondità di chiusura, calcolata nell'area utilizzando la formula di Hallermeier (1978,1981) riferita al clima ondoso registrato dalla boa di Ortona nel periodo 1989-2005, è risultata pari a 7,57 m (ISPRA, 2009). Il tratto di litorale incluso nel perimetro della Riserva si sviluppa per 1,7 km ed è stato caratterizzato negli ultimi decenni da una forte tendenza all'arretramento rispetto al passato in cui ampie ed estese aree inondate, collegavano la transizione terra mare in mezzo alle sabbie delle più ampie spiagge adiacenti al detrito fluviale. All'interno del SIC, nel 2003, una superficie pari al 10% è rappresentata dalle dune e dalle spiagge (Cod. 1150), insieme 15% di lagune costiere (Cod. 2240, 2120) residue, in corrispondenza della spiaggia antistante che mostra ampiezze non superiori a 10 m (Tab. 1).



Figura 2 - Tratto di litorale della Sentina caratterizzato da sedimentazione misto. Notare la presenza di ciottoli.

Tabella 1 - Codice habitat, denominazione e percentuale di estensione percentuale all'interno del SIC.

Codice habitat	Denominazione	Estensione Superficiale
1310	Vegetazione annua pioniera a <i>Salicornia</i> e altre specie delle zone fangose e sabbiose	25%
1410	Pascoli inondatai mediterranei (<i>Juncetalia maritimi</i>)	25%
1420	Praterie e fruticeti mediterranei e termo-atlantici (<i>Sarcocornetea fruticosi</i>)	25%
1150	Lagune costiere	15%
2240	Dune con prati dei <i>Brachypodietalia</i> e vegetazione annua	5%
2120	Dune mobili del cordone litorale con presenza di <i>Ammophila arenaria</i> ("dune bianche")	5%

Metodologia

La parte sperimentale del presente studio si articola in una analisi della tendenza morfo-evolutiva attraverso l'interpretazione di immagini aeree relative all'intervallo 1985-2007 e nella caratterizzazione sedimentologica e topo-batimetrica dell'area, con lo scopo di individuare le zone con maggiore vulnerabilità.

Le immagini aeree relative agli anni 1985, 1995 e 2007 sono state utilizzate per eseguire un'analisi diacrona del sistema spiaggia/duna. Usando ESRI ArcGIS 9.2, le ortofoto (scala 1:10.000) sono state georiferite nel sistema UTM WGS 84 con fuso di riferimento 33N e rese sovrapponibili e confrontabili tra loro mediante sistema di controllo a punti fissi. Per la caratterizzazione delle forme presenti sull'arenile è stato creato un database utilizzando gli stessi elementi riportati nella banca dati nazionale scaturita dal PRIN "I depositi eolici ed il flusso dei sedimenti spiaggia duna" del 2002 poi implementata nel protocollo internazionale del Report Tecnico di Fase B del sottoprogetto POSIDUNE - *Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles* (Cappucci et al., 2007), dell'OCR BeachMed-e (www.beachmed.it). Sono stati così determinati l'estensione dei cordoni dunali, lo stato di attività della duna, la delimitazione delle aree con copertura vegetale e la presenza di elementi di discontinuità (varchi) sia naturali che antropici nonché altri attributi e classi riportati in Tabella 2.

L'immagine del 2007 è stata considerata rappresentativa dello stato attuale di conservazione delle dune e dell'arenile della Riserva in relazione al termine dei lavori (estate 2008). L'estensione delle dune è delimitata da un poligono il cui limite è stato definito basandosi su rilievi diretti condotti durante i sopralluoghi (per l'immagine del 2007) e sull'analisi delle curve di livello disponibili e dei contrasti cromatici (per le immagini relative al 1985 e 1995). Per la definizione dei poligoni si è fatto riferimento anche alla continuità della copertura vegetazionale (Bianco e Menegoni, 2009). Successivamente, mediante l'utilizzo di una specifica applicazione GIS denominata DSAS - *Digital Shoreline Analysis System* (Thieler et al., 2005), è stata eseguita un'analisi dell'ampiezza della duna e della spiaggia emersa. A tale scopo, è stata definita una linea di riferimento in corrispondenza del sentiero che corre sub-parallelo alla costa e che, per parte del suo sviluppo, corrisponde al limite interno della riserva a protezione integrale. Sono stati poi considerati una serie di transetti trasversali alla costa aventi interasse di 25 m (Fig. 3). Lungo ciascun transetto è stata calcolata l'ampiezza dell'arenile (distanza tra la linea di riva e il piede antedunale) e l'ampiezza della duna (distanza tra il piede antedunale e il piede retrodunale).

La caratterizzazione sedimentologica è stata condotta attraverso l'analisi di 90 campioni prelevati nella spiaggia emersa e sommersa, lungo 7 transetti perpendicolari alla linea di costa (Fig. 2), in corrispondenza della battigia e a distanza di 1, 2, 5 e 10 metri da questa (spiaggia emersa) ed in corrispondenza delle isobate -1, -2, -3, -5, -7, -10 metri (spiaggia sommersa). A completamento della campagna sono stati prelevati ulteriori campioni alla profondità di 13 m e di 15 m che dista da costa circa 5 km. In ambiente subaereo, ovvero fino alla linea di battigia, i campioni sono stati prelevati manualmente, mentre sui fondali sono stati acquisiti facendo uso del *Benthic sediment bottom grab sampler*® della Rickly Hydrogeologic (Bisci e Cantalamessa, 2008).

Dal punto di vista stratigrafico, sono stati eseguiti 6 sondaggi manuali con trivella per pedologia (punta elicoidale e campionatore del diametro di 80 mm), spinti sino alla profondità di circa 2 m dal p.c. (Fig. 3).

Tabella 2 - Legenda e struttura del database.

ELEMENTO	TIPOLOGIA	ATTRIBUTI	CLASSI
Duna	Elemento poligonale	Stato di attività	Duna attiva o riattivata
			Duna inattiva
		Vegetazione	Vegetazione arborea
			Vegetazione arbustiva
			Vegetazione erbacea
			Vegetazione arborea rada (<20%)
			Vegetazione arbustiva rada (<20%)
		Antropizzazione	Vegetazione assente
			Arce urbane
			Urbanizzato sparso
		Tendenza evolutiva del litorale	Antropizzato generico
			Litorale in avanzamento
			Litorale stabile
		Ampiezza della spiaggia	Litorale in arretramento
			0-20 metri
20-60 metri			
		>60 metri	
Cresta della duna	Elemento lineare		
Quota della cresta	Elemento puntuale		
Varchi	Elemento puntuale		Sentieri e strade
			Varchi naturali
Vento	Elemento puntuale		
Opere	Elemento lineare		Ripascimenti
			Opere aderenti
			Ripascimenti associati ad opere aderenti
Uso della spiaggia	Elemento lineare		Attività di balneazione temporanee
			Attività di balneazione permanenti

Quattro di essi (S1, S4), sono stati effettuati nell'area retrodunale, lungo un fronte di circa 600 m e a circa 80-100 m dalla linea di riva; gli altri due sono stati realizzati sulla spiaggia (S5) ed in prossimità del retroduna (S6). Tentativi di carotaggio effettuati più verso mare sono falliti per la diffusa presenza, nei primi 30-40 cm, di abbondanti ciottoli immersi in una matrice sabbiosa che hanno impedito il campionamento (ISPRA, 2008). I rilievi topo-batimetrici sono stati condotti dal limite del retroduna fino ad una distanza di circa 5 km. Le quote sono state rilevate utilizzando la Stazione Totale Topcon GPT 1001°, mentre il fondale antistante è stato rilevato (in condizioni di mare calmo) utilizzando due ecoscandagli professionali a doppia frequenza (Furuno GP 7000F° e Furuno LS 4100°) installati nell'imbarcazione di proprietà dell'Università di Camerino. Per la correzione relativa all'escursione della marea si è fatto riferimento ai dati rilevati dalle boe ondametrische ubicate al largo del Conero e del litorale di Pescara, che sono stati automaticamente aggiunti o sottratti alle misure rilevate dallo strumento in relazione alle variazioni di livello mareali.

I punti di rilevamento topo-batimetrico acquisiti per ricostruire l'andamento tridimensionale dell'area indagata sono stati elaborati in ambiente ESRI ArcGIS® 9.1, tramite l'estensione 3D Analyst, ricostruendo il modello TIN (Triangular Irregular Network) ed un DTM raster (Bisci e Cantalamessa, 2008).

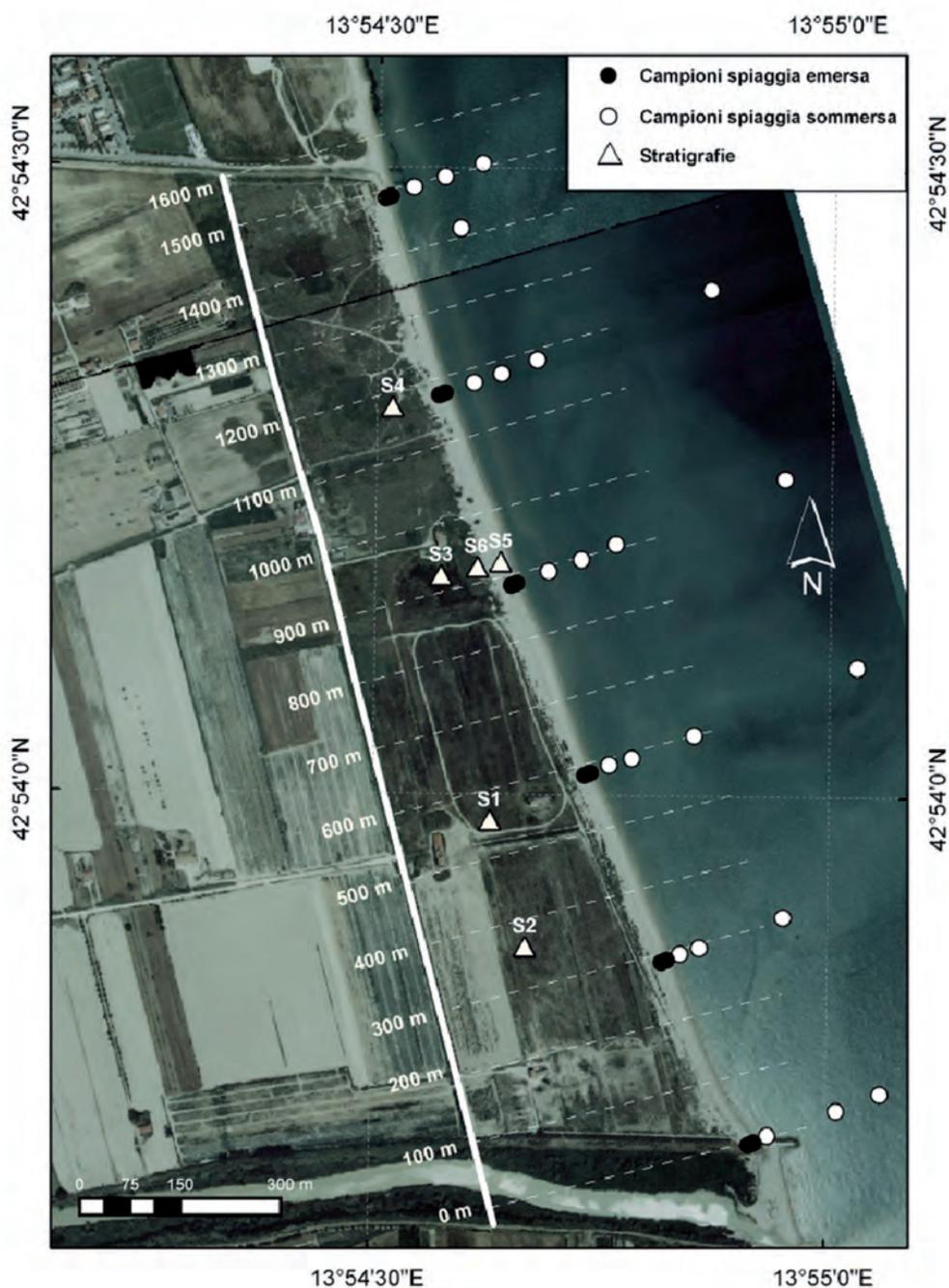


Figura 3 - Ubicazione dei transesti DSAS, dei campioni di sedimento e dei sondaggi stratigrafico-deposizionali.

Risultati

Alcuni degli elementi considerati nel database (Tab. 2), e considerati i più significativi per mostrare il trend evolutivo subito dal sistema spiaggia duna, sono stati riportati in Figura 4. Nei 22 anni intercorsi tra il 1985 ed il 2007 è stata osservata una forte contrazione del sistema spiaggia-duna con un arretramento medio della linea di riva di circa 50 m (Fig. 4a) che ha avuto forti ripercussioni sull'evoluzione delle retrostanti forme di accumulo. L'analisi condotta ha rilevato una variazione della forma che mostra una evidente riduzione dell'estensione delle dune con scomparsa degli specchi d'acqua retrostanti (Fig. 4a), mentre dall'osservazione delle immagini

si è osservata una riduzione della continuità di copertura vegetazionale. L'area di studio, nell'intervallo 1985-2007, ha subito una perdita di circa 8.5 ha di territorio della "Zona di Protezione Integrale di ambiti naturali fragili", con un tasso di riduzione medio di circa 0.4 ha/anno, mentre la posizione delle dune, come si evince dai poligoni riportati in Fig. 4b, è migrata gradualmente verso l'entroterra.

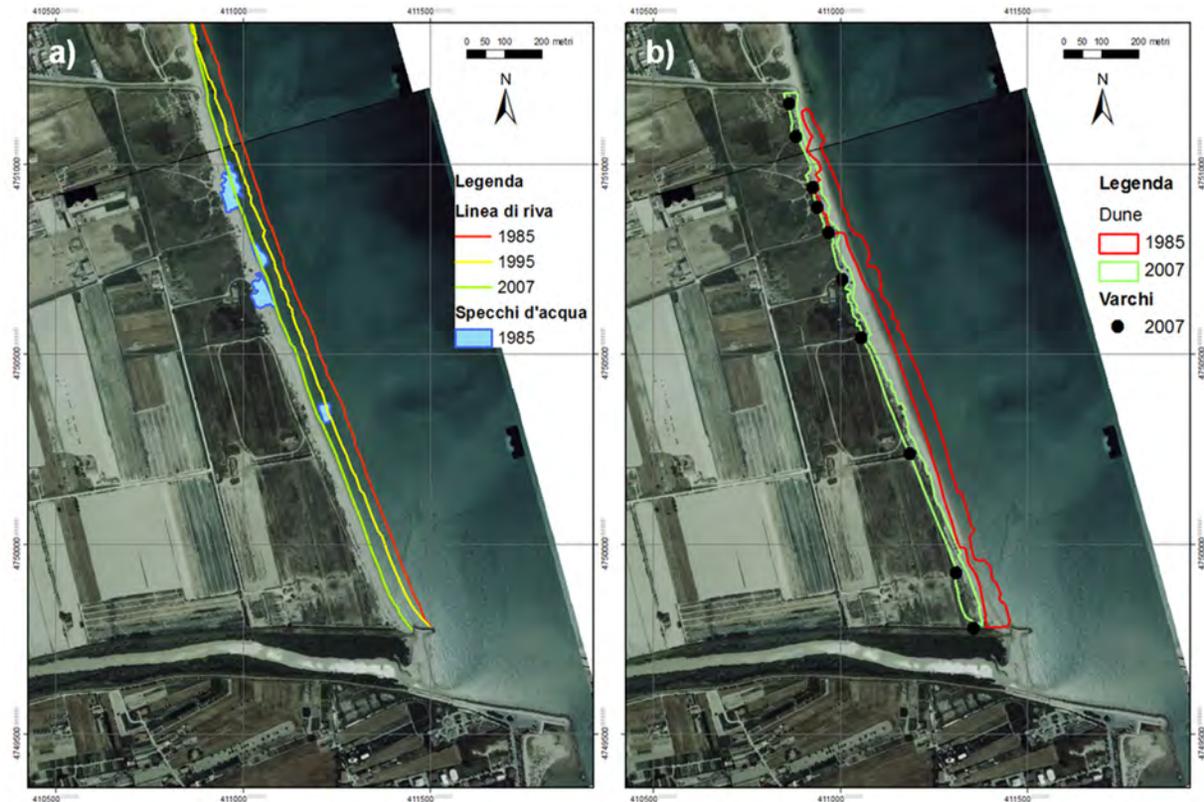


Figura 4 - Visualizzazione di alcuni degli elementi analizzati sullo sfondo dell'ortofoto relativa al 2007. In a) posizione delle linee di riva del 1985, 1995, 2007 e gli specchi d'acqua del 1985; in b) posizione delle dune del 1985 e 2007 e dei varchi del 2007.

Dall'analisi eseguita con l'applicazione *DSAS* è emerso che l'ampiezza media della duna è passata da 40,3 m nel 1985, a 23,2 m nel 1995 a 23,6 m nel 2007. In Figura 5a è diagrammata la variazione complessiva di ampiezza della fascia di litorale caratterizzata dalla presenza di dune nell'intervallo di tempo 1985-2007. Tale grafico mostra chiaramente come, lungo l'intero tratto di litorale considerato, il piede della duna sia arretrato di circa 60 m sul versante rivolto verso mare e di circa 45 m sul versante rivolto verso terra, subendo così una riduzione di superficie. In particolare, nel periodo 1985-1995, il piede dell'anteduna è arretrato mediamente di 28,3 m, mentre il piede retrodunale è arretrato di circa 12 m. Nell'intervallo 1995-2007 si è verificato un arretramento complessivo del sistema lungo l'intero tratto di litorale in esame (su entrambi i versanti) di circa 31 m. In Figura 5b, sono state diagrammate le variazioni di ampiezza subite dalle dune e dalla spiaggia emersa nell'intervallo 1985-2007. Il diagramma a barre è stato particolarmente utile per distinguere 4 settori lungo l'area di studio sulla base di tendenze evolutive distinte del sistema. I settori 1 e 3, sono caratterizzati da una riduzione dell'ampiezza della spiaggia emersa e della duna, mentre i settori 2 e 4 sono caratterizzati da una riduzione dell'ampiezza della duna ed un aumento della superficie di spiaggia emersa (anche se la posizione assoluta della linea di riva è, ricordiamo, arretrata).

Mediante l'analisi delle ortofoto è stato valutato anche lo stato di copertura della vegetazione dunale. Il primo dato emerso è la riduzione della copertura, diminuita da 34.580 m² del 1985 a 21.900 m² del 1995 a 18.920 m² del 2007. Nel 1985 le aree vegetate avevano una estensione molto variabile e nel settore settentrionale (da pro-

gressiva 1000 a 1500 di Fig. 3), dove vi era ancora la presenza di specchi d'acqua, si sviluppavano su circa 1.000 m² (Fig. 4a). Nel 1995 si osserva una drastica riduzione della superficie vegetata e della sua continuità strutturale. Nel settore settentrionale non sono più rilevabili gli specchi d'acqua presenti nel 1985 e sono osservabili zone vegetate estremamente rade, indice di una fragilità strutturale delle dune.

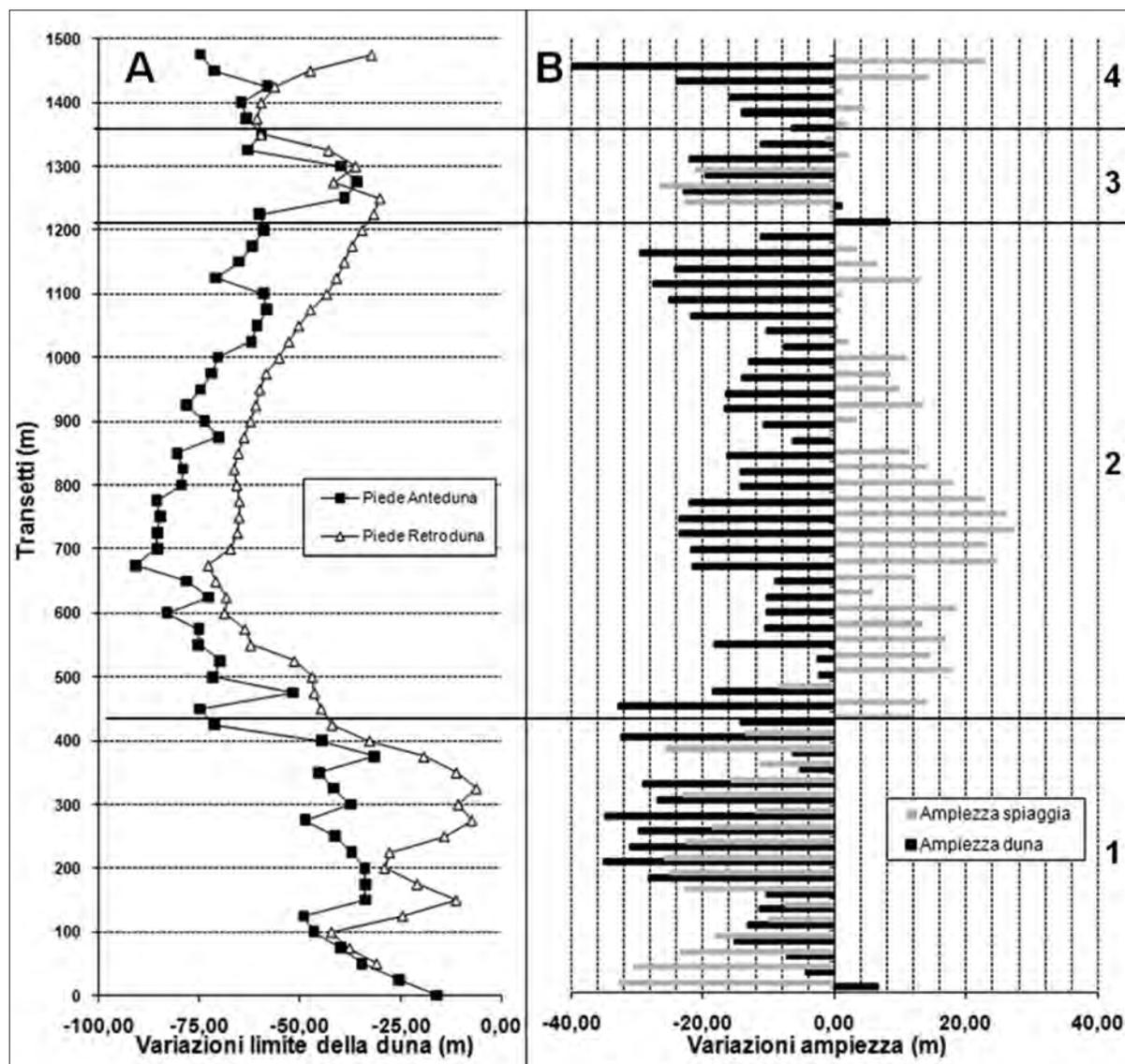


Figura 5 - (a) Variazione dell'ampiezza della duna nell'intervallo 1985-2007. (b) Variazioni di ampiezza della spiaggia emersa e del poligono della duna nell'intervallo 1985-2007.

Procedendo verso sud, la fascia vegetata di arenile appare estremamente assottigliata fino a scomparire del tutto in un tratto di circa 300 m. Nel 2007 si osserva un ulteriore decremento della superficie vegetata (3.000 m² in meno rispetto al 1995), che appare molto sottile e si osservano aree di diradamento assai ampie, in particolare nel settore settentrionale della Riserva. In Tabella 3 sono riportati i principali parametri considerati per descrivere l'evoluzione temporale del sistema dunale nell'area della Riserva, quale sintesi dei risultati ottenuti.

Le analisi sedimentologico-stratigrafiche hanno rivelato che la duna, secondo la classificazione di Nota (1958),

è costituita da sabbia fine molto classata, a luoghi con diametro pari a 0,250 mm per il 99% del peso, mentre la spiaggia emersa ha granulometrie variabili dalle sabbie ($D_{50} \approx 0,500$ mm) alle ghiaie ($D_{50} \approx 32$ mm); anche la spiaggia sommersa presenta, in alcuni campioni, una frazione ghiaiosa fino alla profondità di circa 3 m che rende il materiale estremamente eterogeneo, con D_{50} variabile tra 0,125 mm e 22 mm (Bisci e Cantalamessa, 2008). La frazione grossolana, aumenta significativamente procedendo da sud verso nord, mentre la frazione silt-argillosa, assai scarsa fino alla profondità di 2 m, aumenta verso le maggiori profondità fino a costituire anche oltre il 30% dei campioni (Fig. 6; Bisci e Cantalamessa, 2008).

Tabella 3 - Principali elementi morfologici utilizzati per la caratterizzazione delle dune nell'intervallo 1985-2007.

	1985	1995	2007
Superficie poligono duna (m ²)	57.661	35.688	34.632
Ampiezza media poligono duna (m)	40,27	23,21	23,60
Superficie aree vegetate (m ²)	34.576	21.898	18.920
Numero dei varchi	9	8	10
Sviluppo lineare sentieri (m)	2.197	2.262	1.907
Estensione specchi d'acqua (m ²)	10.021	Assenti	Assenti
Opere di difesa	Assenti	Assenti	Assenti

Dal punto di vista compositivo, le indagini mineralogico-petrografiche basate su osservazioni al microscopio hanno evidenziato un contenuto in carbonati di circa il 60%. Anche il quarzo ed i frammenti di roccia sono presenti in quantità rilevanti; subordinatamente compaiono miche, dolomie, feldspati potassici e plagioclas. La frazione ghiaiosa è costituita in prevalenza da ciottoli calcarei, talora fossiliferi, appiattiti e ben smussati; subordinatamente si rinvenivano calcari selciferi, selci, breccie ed arenarie. Per quanto riguarda i carbonati, l'esame ottico ha consentito di riconoscere carbonati clastici e tritume organogeno con resti sia interi che in frammenti di Molluschi, Lamellibranchi e Gasteropodi (Bisci e Cantalamessa, 2008).

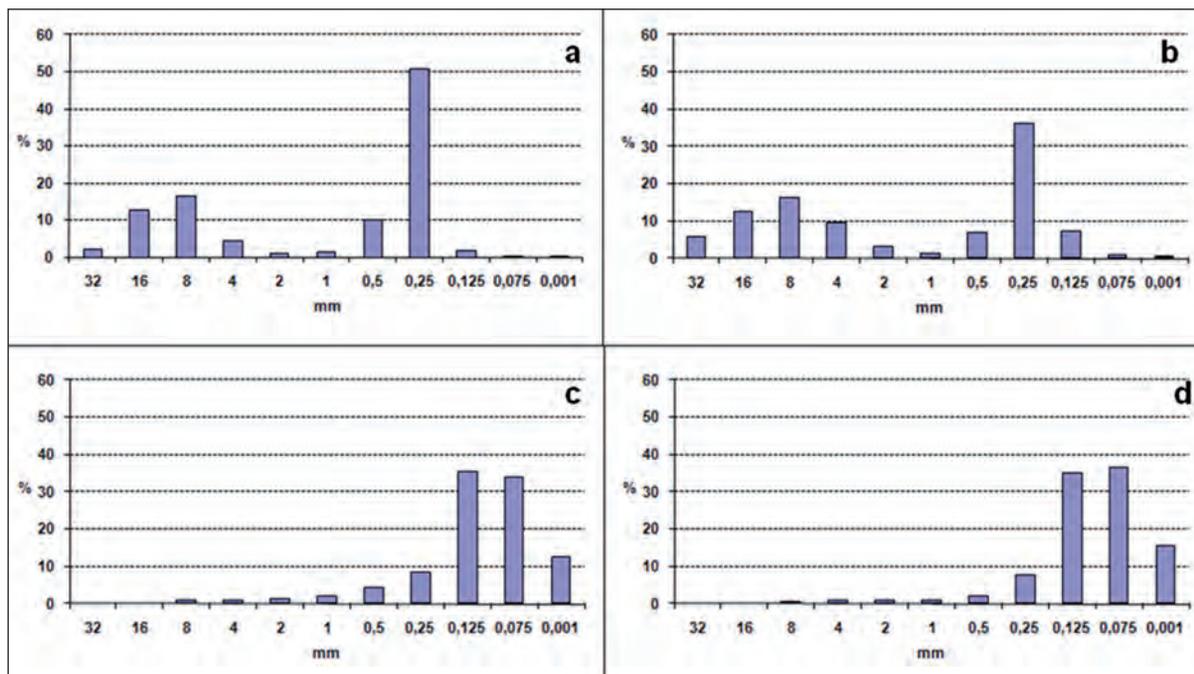


Figura 6 - Visualizzazione tramite istogrammi a barre della composizione granulometrica media dei campioni di sedimento raccolti sulla spiaggia emersa (a), lungo l'isobata - 1m (b), -5m (c), -10m (d).

In Figura 7 sono riportati gli schemi stratigrafici rilevati lungo un transetto ortogonale alla linea di riva da cui si evince il seguente assetto stratigrafico:

- retroduna (S3): sabbie nocciola limose o argillose per spessori di circa 0,5 m; al di sotto di questo strato è stato osservato l'incremento della frazione argillosa (argille sabbioso limose di colore nocciola) sino a profondità di circa 1-1.2 m, oltre questa quota sono state osservate sabbie grigie limose o argillose;
- piede del retroduna (S6): dopo pochi centimetri di terreno palustre, sino a circa 0,7 m di profondità, si sono incontrate sabbie grigie con piccoli ciottoli; al di sotto di queste sono state osservate argille torbose da grigie a marroncine. Il campionamento è stato effettuato sul fondo di una piccola depressione immediatamente a tergo della spiaggia (impaludata sino a pochi giorni prima del rilievo in oggetto).
- cresta della duna (S5): sino a circa 0.8 m di profondità sono presenti sabbie fini; al di sotto, sino a circa 1,1 m, sono comparse argille nocciola seguite sino a circa 1,5 m di profondità da sabbie grigie.

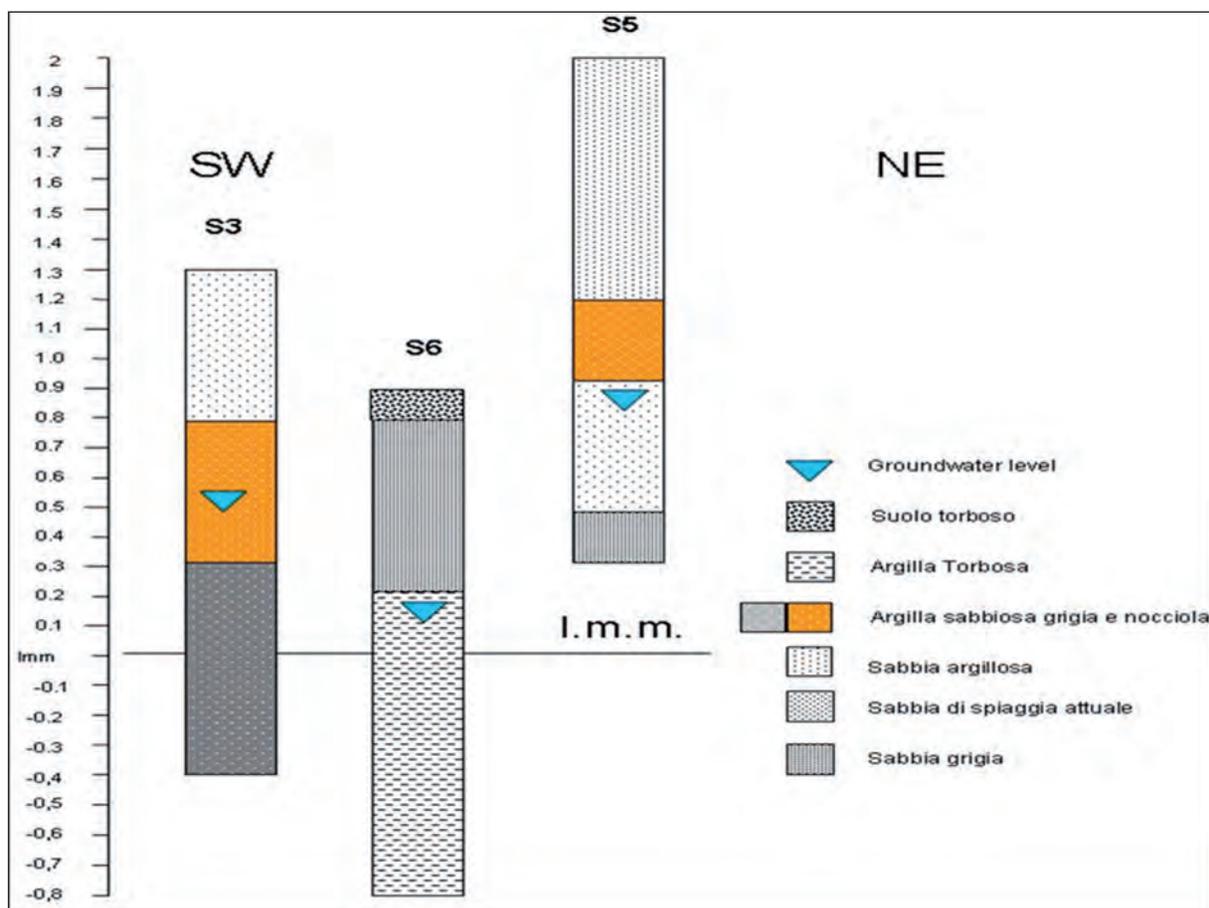


Figura 7 - Colonne Stratigrafiche semplificate di tre sondaggi eseguiti lungo un transetto SE-NW (vedi Fig. 3), ortogonale alla linea di riva.

In tutti i sondaggi è stata riscontrata la presenza di una falda epidermica posta a profondità comprese tra 0.8 m e 1.4 m dal piano campagna, caratterizzata da una leggera sovrappressione che si manifesta attraverso la progressiva risalita dei livelli. Le misure di conducibilità hanno evidenziato il carattere salmastro della falda epidermica con salinità variabili da 2,5 g/l (retroduna - S3) a 10 g/l (avanduna - S5).

I rilievi topografici condotti tra la foce del Fiume Tronto e l'abitato di Porto d'Ascoli dimostrano come l'area sia delimitata a monte da un sistema dunale vegetato, posto ad una distanza dalla linea di riva compresa fra i 50 m nella porzione meridionale ed i 20 metri in quella settentrionale (Bisci e Cantalamessa, 2008). Nella maggior parte dell'area, la duna ha un'altezza variabile da quasi 1,9 a quasi 2,5 m (Fig. 8a).

La spiaggia sommersa antistante la Riserva ha un andamento morfologico regolare, con isobate che corrono parallelamente alla linea di costa e profondità che aumentano sempre più lentamente allontanandosi dalla battigia (Fig. 8b). L'unica eccezione a questo andamento monotono è la presenza di una incisione sottomarina ubicata all'incirca di fronte alla foce del Fiume Tronto (Bisci e Cantalamessa, 2008).

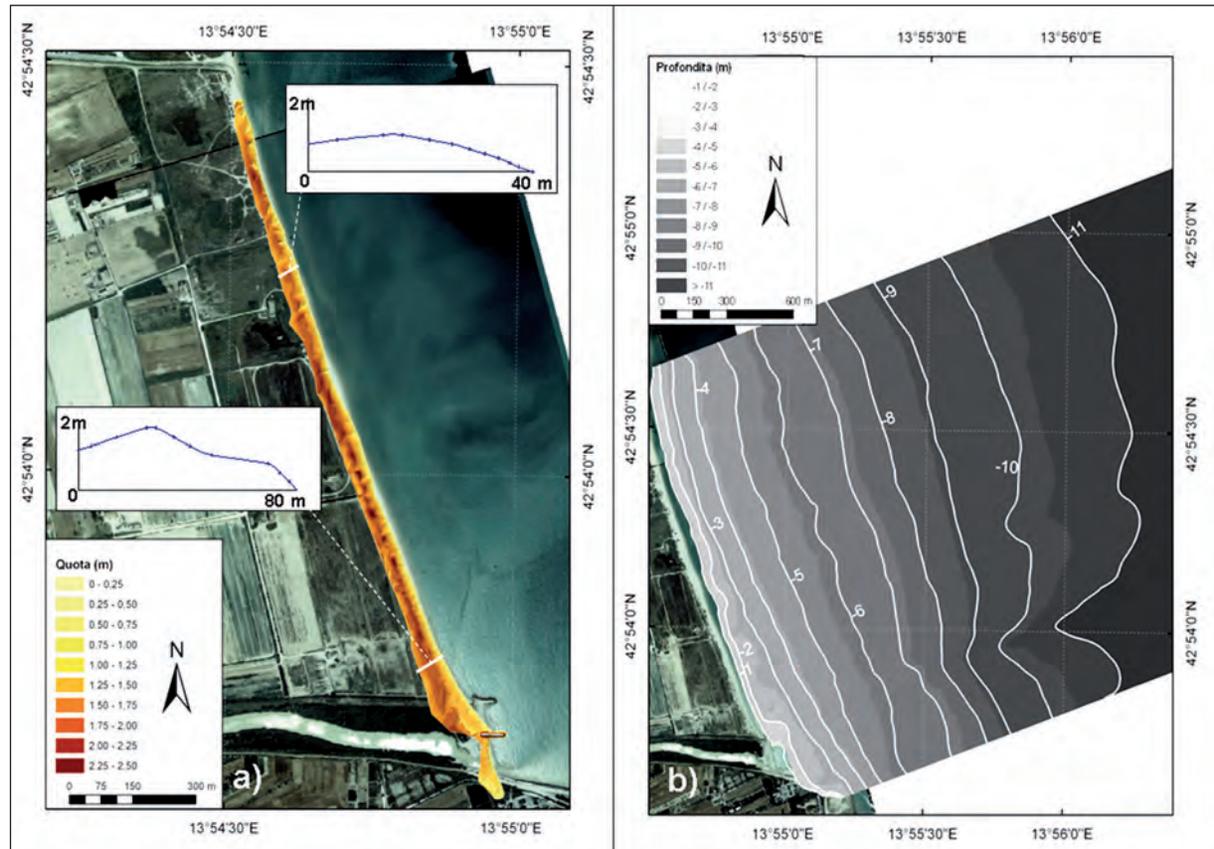


Figura 8 - Assetto topografico (a) e batimetrico (b) della Riserva Naturale di Sentina.

Discussione ed ipotesi di intervento

All'interno della riserva naturale della Sentina, la duna è oggi fortemente compromessa dal punto di vista morfologico e vegetazionale. A luoghi, su di essa, sono presenti strutture sedimentarie (*ripples*) che indicano un'attività di trasporto eolico verso l'entroterra. La spiaggia emersa ha una forte tendenza all'arretramento ed i depositi di retro spiaggia hanno uno sviluppo molto limitato sia verticalmente (quota massima di 2,5 m) sia orizzontalmente (ampiezza massima di 50 m). La presenza delle argille torbose rinvenute nel sondaggio S6 costituiscono la prova sedimentologico-stratigrafica che in passato il retroduna era caratterizzato dalla presenza di specchi d'acqua e zone umide che hanno conferito alla riserva naturale della Sentina un ruolo di stepping stone strategico lungo le rotte migratorie dell'avifauna eurasiatica da e verso il continente Africano. L'area Sentina, s' inserisce infatti lungo le rotte migratorie adriatiche, soprattutto autunnali, poiché attualmente risulta essere l'unica area umida residuale tra le valli del Po' ed il promontorio del Gargano. Le fluttuazioni dei livelli idrici della falda superficiale, ormai divenuti vulnerabili all'intrusione del cuneo salino ed il conseguente assetto vegetazionale influenzano la struttura fisica dell'habitat, la presenza di roost e siti di nidificazione sicuri e dunque, influenzano la possibilità di sosta e la diversificazione della comunità ornitica e biologica nel complesso. La riserva comprendeva un ambiente umido costiero, ma sempre più frequentemente esposta ad una carenza idrica estiva che ha ridotto l'estensione superficiale delle zone umide, è ora caratterizzata dalla presenza di specchi d'acqua effimeri

e stagionali con ridotta estensione (Valentini et al., 2010).

Il forte arretramento della linea di riva, registrato negli ultimi 22 anni, ha portato alla scomparsa di oltre 8 ha di superficie della riserva naturale e durante il corso delle mareggiate invernali del 2008 il processo erosivo ha demolito porzioni significative delle dune costiere (Fig. 9a). Nel presente lavoro sono stati implementati due distinti approcci di risanamento ambientale: un primo approccio, basato su interventi di ripascimento dell'arenile antistante le dune costiere è dettato dalla somma urgenza con l'obiettivo di proteggere l'habitat nel breve termine; il secondo, di lungo termine, si è invece basato su studi approfonditi di modellistica numerica al fine di individuare interventi ottimali di ripascimento protetto e non protetto (ISPRA, 2009), la cui trattazione esula però dagli obiettivi del presente articolo e da quelli del volume speciale in cui è pubblicato. In relazione alla prima tipologia di interventi, bisogna sottolineare come i settori che dall'analisi morfometrica risultano maggiormente in crisi sono il settore 1 e 3 (Fig. 5b). In questi settori, la diffusa tendenza all'arretramento della linea di riva, rende le dune costiere maggiormente esposte all'azione delle mareggiate. Pertanto, il ripascimento stesso può essere considerato un'azione di somma urgenza in un contesto di tutela e conservazione di habitat come le dune con prati dei *Brachypodietalia* e le dune mobili con *Ammophila arenaria* presenti nell'area. Esso è stato realizzato nel mese di Giugno 2008 per ampliare temporaneamente l'ampiezza della spiaggia antistante le dune della riserva naturale (o almeno parte delle stesse) in modo da ridurre l'intensità del processo erosivo in atto e la vulnerabilità costiera. Tale intervento di ripascimento ha avuto come obiettivo principale il temporaneo ampliamento della spiaggia antistante i tratti di duna maggiormente compromessi dal processo erosivo in atto. Lo scopo è stato dunque quello di proteggere gli habitat classificati all'interno del SIC ai sensi della Direttiva 92/43/CEE. La stessa urgenza con la quale si sono realizzati gli interventi non ha permesso di eseguire dei monitoraggi volti a valutare l'efficacia degli stessi attraverso analisi quantitative.



Figura 9 - Foto di uno dei tratti più compromessi del litorale della Riserva Naturale della Sentina individuato nel corso del presente Studio (settore 3 di Fig. 5). In a) l'ampiezza della spiaggia prima (marzo 2008) e in b) durante (giugno 2008) l'intervento di ripascimento.

Per realizzare l'intervento sopradescritto, che vista la natura emergenziale non è stato accompagnato da alcun monitoraggio volto a verificarne la reale tenuta ed efficacia, sono stati utilizzati circa 10.000 m³ dragati dal Porto di San Benedetto del Tronto. Il materiale utilizzato è stato preventivamente caratterizzato e dichiarato compatibile dall'ARPAM in quanto elemento non peggiorativo dell'ecosistema sotto il profilo chimico, microbiologico ed eco-tossicologico. Rispetto al sedimento nativo, il colore del materiale di riporto è risultato più scuro (a causa delle condizioni anossiche dell'area di prelievo) e la composizione granulometrica più fine, in quanto priva di ciottoli e ghiaia presenti lungo la battigia ed i bassifondali.

In particolare, la differenza di colore ha suscitato qualche perplessità durante le operazioni di sversamento. Numerosi accorgimenti sono stati adottati per ridurre al minimo l'impatto dell'intervento, tra cui la decantazione del materiale per la separazione della frazione fine ed il trasporto su mezzi gommati lungo l'arenile, al fine di evitare danni al piede della duna. Tale problematica è comune a molti interventi e dal punto di vista tecnico non è ancora stato individuato un approccio metodologico condiviso dalla comunità scientifica e dagli enti preposti a rilasciare le autorizzazioni per certificare la compatibilità cromatica dei materiali (Pranzini, 2009).

L'incisione orientata ortogonalmente rispetto la costa e rilevata sul fondo marino antistante la riserva si sviluppa tra gli 8 m ed i 14 m di profondità arrivando ad un'ampiezza massima di circa 500 m. La presenza di questa depressione, che dà luogo ad un dislivello massimo rispetto al fondo marino di circa 1,5 m a profondità comprese tra gli 11 ed i 12 metri, non condiziona l'efficacia degli interventi di ripascimento in quanto si sviluppa oltre la profondità di chiusura. L'irregolarità del fondale potrebbe influenzare la dinamica sedimentaria delle frazioni granulometriche più fini, ma lo studio e la dinamica dei sedimenti coesivi non rientra tra gli obiettivi del presente lavoro e si può comunque ritenere che l'influenza di tale processo sia trascurabile rispetto alle ipotesi di riqualificazione ambientale proposte sia nel breve che nel lungo periodo.

Nell'ambito della convenzione che ha finanziato il presente studio, sono state condotte anche analisi previsionali dell'evoluzione della linea di riva sul lungo termine (circa 30 anni) attraverso l'utilizzo del modello GENESIS. Gli 8 scenari realizzati nello studio hanno preso in considerazione l'esecuzione di interventi di ripascimento protetto (sia da pennelli che da scogliere) e non protetto, le correnti di *rip* in prossimità delle strutture di difesa previste, ed una granulometria del materiale di riporto con un D_{50} di 0,200 mm. Quest'ultima è forse la limitazione più significativa dell'approccio metodologico utilizzato in quanto la spiaggia emersa presenta oggi una granulometria sensibilmente più grossolana visibile anche ad occhio nudo (Fig. 2), mentre quella utilizzata per le simulazioni ha un diametro dei granuli più simile a quello del sedimento accumulato lungo il retroduna, che è soggetta a frequenti processi di trasporto eolico verso l'entroterra e di alcuni settori della spiaggia sommersa. Per ridurre al minimo gli effetti di questa incongruenza, le simulazioni hanno tenuto conto di interventi di manutenzione finalizzati a mantenere nel lungo periodo l'ampiezza della spiaggia emersa prossima ai 30 m o ai 60 m. Entrambi i valori sono sufficienti per garantire sia la fruibilità turistica della costa che l'integrità e la protezione degli habitat dunali dagli effetti dannosi delle mareggiate anche se la seconda condizione morfologica sarebbe la più promettente per ridurre la vulnerabilità della zona a lungo termine e favorire anche la ricostruzione degli habitat dunali presenti (ISPRA, 2009).

Qualora infatti fosse possibile eseguire ampliamenti durevoli della spiaggia di oltre 40 metri (Simeoni et al., 2008), questi dovrebbero essere accompagnati dalla realizzazione di opere di protezione con tecniche naturalistiche, che consentano l'accumulo di sedimento e la successiva stabilizzazione mediante diffusione di vegetazione psammofila (Bovina, 2004, Speranza, 2008; Grosset e Heurtefeux 2008, AA.VV., 2009).

A tale proposito, considerate le peculiarità dell'area sono stati proposti interventi per il ripristino del corpo dunale, mediante tecniche compatibili con la vocazione naturalistica del sito, iniziando dalla posa in opera di cannucciate orizzontali e schermi frangivento a scacchiera (Bovina et al. 2003; Bovina et al., 2007; Bovina et al., 2009). Si tratta di strutture modulabili, economiche perché di facile e rapida realizzazione, che, qualora risultassero inefficaci, non presenterebbero particolari controindicazioni ambientali. Tali interventi sono infatti realizzati con materiali naturali che rendono l'opera flessibile ma non troppo fragile, consentendo anche l'esposizione a mareggiate ad elevata energia. La disposizione delle opere può variare in funzione delle condizioni anemometriche e morfo-topografiche locali al fine di ottimizzarne la resa in termini di accumulo di sedimento.

E' comunque opportuno evidenziare che le ipotesi di intervento formulate sebbene siano state ampiamente testate in diversi siti possono garantire dei risultati significativi solo nel caso in cui la spiaggia antistante le dune sia sufficientemente ampia (Scottish Natural Heritage, 2000; Bovina et al., 2003; IRPA, 2008). Il ripascimento della spiaggia antistante, e la sua manutenzione nel tempo, dovrà pertanto costituire la fonte di approvvigionamento sedimentario per effetto del trasporto eolico e proteggerà i depositi dall'azione del moto ondoso durante le mareggiate con maggiore sovrizzo.

Conclusioni

La Sentina è caratterizzata da una ristretta fascia vegetata che separa l'arenile dai retrostanti terreni coltivati; tale fascia è compresa fra le propaggini più avanzate della vegetazione che colonizza i depositi eolici ed il sentiero che si sviluppa parallelamente alla linea di riva nel retrospiaggia. La forma di accumulo presente in questa porzione dell'arenile non è sempre esclusivamente ascrivibile a processi di trasporto eolico tale da generare una vera e propria duna, ma anche ad una serie di mareggiate che hanno fatto arretrare l'intero sistema spiaggia (battigia-berma-spiaggia interna) ed a luoghi hanno formato, attraverso l'azione del moto ondoso incidente, un unico elemento morfologico riconducibile ad una berma di tempesta (Bracci et al., 2008). La riduzione e destrutturazione della vegetazione dell'area, che ad oggi si presenta con una copertura arborea e arbustiva discontinua, è una diretta conseguenza della dinamica del litorale, il cui perpetuarsi genererà l'irreversibile compromissione delle forme d'accumulo presenti e della vegetazione relitta in assenza di interventi.

L'arenile della Sentina ha subito nel periodo 1985-2007 un processo di erosione variabile nello spazio e nel tempo il cui tasso sembra essersi attenuato a partire dall'anno 1995. Tuttavia l'erosione è ancora in atto ed ha causato la perdita di oltre 8 ettari di area della riserva a protezione integrale. Il forte tasso di erosione ha infatti ridotto la superficie delle forme di accumulo di circa 2,2 ha riducendone l'estensione attuale a circa 3,5 ha rispetto ai 5,8 ha del 1985.

L'implementazione del geodatabase e l'interpretazione delle ortofoto esaminate attraverso il *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* ha permesso di individuare 4 settori principali lungo l'arenile della Riserva Naturale della Sentina nei quali il sistema mostra evidenze morfologiche della tendenza all'ampliamento/contrazione della duna e della spiaggia emersa alternate. Tale tendenza evolutiva, dovuta allo scambio di sedimento tra la spiaggia e la duna, è stata analizzata in dettaglio, permettendo di individuare i tratti di litorale più vulnerabili, attuare interventi di ripascimento di somma urgenza utili per la tutela e la conservazione a breve termine degli habitat dunali retrostanti (SIC) presenti nell'area e raccogliere tutti i dati e le informazioni necessarie per l'implementazione di modelli numerici utili per simulare scenari di risanamento ambientale del litorale nel lungo periodo (ISPRA, 2009).

I risultati di questo lavoro costituiscono il punto di partenza dal quale le Autorità competenti per la salvaguardia della costa dovrebbero prendere spunto per pianificare gli interventi necessari per gestire il territorio in un ottica di sviluppo sostenibile, cercando di prendere in considerazione le tendenze evolutive del litorale, le vocazioni naturalistiche, il crescente flusso turistico nell'area e lo svolgimento di attività economiche, soprattutto quelle legate alla portualità e la pesca. Quanto presentato nel presente lavoro costituisce un'esperienza innovativa nel panorama nazionale e, sebbene non vi sia ancora un quadro normativo chiaro relativo alla gestione dei sedimenti lungo la fascia costiera, e gli obblighi cui sono soggette le amministrazioni per conservare gli habitat naturali presenti sul loro territorio di loro competenza, la parte sperimentale dello studio ha contribuito ad intraprendere azioni di breve e lungo periodo sulla base di principi scientifici dando vita ad un processo decisionale innovativo che altre amministrazioni possono considerare come riferimento.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato preparato grazie al finanziamento del Comune di San Benedetto del Tronto ed del Comitato della Riserva Naturale di Sentina e con il contributo della Regione Emilia Romagna per le spese di stampa. Si ringraziano l'Assessore Paolo Canducci ed il Presidente Pietro D'Angelo per il supporto e la fiducia rinnovata in numerose occasioni nonché la concessione alla pubblicazione dei dati.

Bibliografia

- AA.VV. (1999) - *Atlante delle spiagge italiane - tav. 133-134, Ascoli Piceno-Giulianova*. MURST e CNR, Selca, Firenze.
- AA.VV. (2009) - *Repertorio Nazionale degli interventi di ripristino dunale*. In : il ripristino degli ecosistemi marino - costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle aree protette. Rapporto ISPRA n.100: 393-674.
- Bianco P.M. e Menegoni G. (2009) - *Lineamenti floristico-vegetazionali del paesaggio costiero italiano*. In: il ripristino degli ecosistemi marino - costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle aree protette. Rapporto ISPRA n.100: 75-182.
- Bisci C. e Cantalamessa G. (2008) - *Analisi delle caratteristiche morfologiche e sedimentologiche del litorale di pertinenza della Riserva Naturale Regionale Sentina e dei fondali ad esso antistanti entro le tre miglia nautiche*. Relazione tecnico-scientifica ad uso della Riserva Naturale Regionale Sentina, San Benedetto del Tronto.
- Bovina G. (2004) - *Professione geologo*. Notiziario dell'ordine dei geologi del Lazio, 5: 8-11.
- Bovina G, Callori di Vignale C. e Amodio M. (2003) - *L'approccio dell'ingegneria naturalistica nella conservazione degli ambienti dunali*. Manuale di ingegneria naturalistica, Vol.2(19) Regione Lazio, pp. 367-381.
- Bovina G., Cappucci S., Pallottini E. (2007) - *La gestion des biomasses vegetales de plage*. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles. Cahier Technique de Phase B. pp. 37-54.
- Bovina G., Amodio M. e Callori di Vignale C. (2009) - *L'approccio naturalistico nella conservazione e restauro degli ambienti dunali*. In : il ripristino degli ecosistemi marino - costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle aree protette. Rapporto ISPRA n.100: 393-674.
- Bracci G., Carli A., Conti A. e Sarti G. (2008) - *Recuperation et reconstruction des systemes de dunes dans la localite Gombo*. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles. Cahier Technique de Phase C. Pp. 47-70.
- Brecciaroli B. e Onori L. (2009) - *Repertorio nazionale degli interventi di ripristino dunale*. In : il ripristino degli ecosistemi marino-costieri e la difesa delle coste sabbiose nelle aree protette. Rapporto ISPRA n.100: 393-674.
- Cappucci S., Lisi I., Modesti V., Scarcella D., Corsini S., Del Gizzo M. e Colonna P. (2008) - *Stima del trasporto solido del Fiume Magra*. Atti del Convegno Nazionale: "Coste: prevenire, programmare, pianificare". 15-18 Maggio, Maratea: pp. 10.
- Cappucci S., Pallottini E., Devoti S., La Monica G.B., Campo V. (2007) - *Caracterisation des dunes cotieres*. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles. Cahier Technique de Phase B. Pp. 3-11.
- Cappucci S., Conti M., Valentini E., Bovina G., Lalli F., Pesarino V., Gabellini M., Corsini S. e Maffucci M. (2009) - *Coastal erosion and restoration of the Sentina Natural Reserve (Marche, Italy)*. In: Book of Abstract del 27° meeting di IAS: pp. 2.
- Carter R.W.G. (1980) - *Vegetation stabilisation and slope failure on eroding sand dunes*. Biological Conservation 18: 117-122.
- Carter R.W.G., Hesp P.A. e Nordstrom K.F. (1990) - *Coastal Dunes: Form and Process*. Nordstrom K.F., N.P. Psuty e R.W.G. Carter (eds.). John Wiley e Sons Ltd, pp.390.
- Carter R.W.G. e Wilson P. (1993) - *Aeolian Processes and Deposits in Northwest Ireland*. In: The Dynamics and Environmental Context of Aeolian Sedimentary Systems, Pye K.(ed.). Geological Society, Special Publication No. 72, London, pp. 173-190.
- Conti M., Valentini E., Bovina G., Gabellini M. e Cappucci S. (2009) - *Morphometric change and management hypothesis of coastal system within Sentina natural reserve (Marche, Italy)*. Epitome, FIST. Vol. 3: 136 – 137.
- Dal Cin R. e Simeoni U. (1987) - *Analisi ambientale quantitativa dei litorali marchigiani fra Gabicce ed Ancona. Livello del rischio naturale e del degrado, distribuzione dei sedimenti e loro possibile impiego per rinascimenti artificiali*. Boll. Soc. Geol. It, 106: 377-423.
- Dal Cin R. e Simeoni U. (1994) - *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy)*. Journal of Coastal Research, 10: 18-29.
- Davidson-Arnott R.G.D. (1988) - *Temporal and Spatial Controls on Beach/Dune Interaction, Long Point, Lake Erie*. In: Dune/beach interaction, Journal of Coastal Research - Special Issue 3: 131-136.
- Grosset S. e Heurtefeux H. (2008) - *Experimentation de differentes techniques de vegetalisation en milieu dunaire (Grande Maïre)*. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des

- Dunes Naturelles. Cahier Technique de Phase C, pp. 149-167.
- Hallermeier R.J. (1978) - *Uses for calculated Limit Depth to beach Erosion*. Proceedings of the 16th International Conference on Coastal Engineering, American Society of Civil Engineers. New York, pp 1493-1512.
- Hallermeier R.J. (1981) - *A profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from wave climate*. Coastal Engineering, 4, pp. 253-277.
- IRPA (2008) - *Valutazione dello stato di compromissione delle dune costiere e ipotesi di ripristino morfologico con interventi e tecniche naturalistiche*. RRNS-DC-01.08. Pp.47.
- ISPRA (2008) - *Valutazione dello stato ambientale della zona umida retrodunale e individuazione dei criteri di progettazione per la salvaguardia/ripristino dell'habitat mediante ricostruzione-manutenzione di laghetti costieri permanenti o effimeri/stagionali*. RRNS-ZU-01.08. 112 pp.
- ISPRA (2009) - *Implementazione di modelli numerici per l'analisi dei problemi della fascia costiera prospiciente la riserva naturale della Sentina*. RRNS-FC-01.07. Pp. 77.
- Nota D.J.G. (1958) - *Sediments of the western Guyana shelf. Report of Orinoco shelf expedition*, 2. Mendedel, Landbomvhogedrool, Wegeningen, pp. 58-98.
- Pranzini E. (2009) - *Il colore della sabbia: percezione, caratterizzazione e compatibilità nel rinascimento artificiale delle spiagge*. Studi costieri 15: 89-108.
- Pye K. (1990) - *Physical and human influences on coastal dune development between the Ribble and Mersey estuaries, northwest England*. In: Nordstrom, K.F., N.P. Psuty & B. Carter (eds.): Coastal dunes. Form and processes. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 339-359.
- Psuty, N.P. (1988) - *Sediment budget and dune/beach interaction*. Journal of Coastal Research, Special Issue N° 3, Dune/Beach Interaction, edited by N.P. Psuty, pp.1- 4.
- Regione Marche (2005) - Piano di gestione integrata delle aree costiere. Elaborati Tecnici. Atti della Regione, deliberazione amministrativa n.169.
- Rinaldi M. e Simoncini C. (2006) - *Studio geomorfologico del Fiume Magra e del Fiume Vara finalizzato alla gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità*. Atti Giornate di Studio "Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra." Sarzana, Ottobre 2006, Autorità di Bacino del Fiume Magra, pp. 93-109.
- Scottish Natural Heritage (2000) - *A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems*. <http://www.snh.org.uk/publications/on-line/heritagemanagement/erosion/2.shtml>
- Simeoni U., Corbau C., Brunelli V., Gragnaniello S., Tessari U. (2008) - *Transport eolien*. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles. Cahier Technique de Phase C, pp. 71-107.
- Siviglia A., Federici B., Becchi I. e Rinaldi M. (2004) - *Sediment transport and morphodynamics of the Tanaro River, North-western Italy*. In: Sediment Transfer through the Fluvial System, IAHS Publ. 288, 308-315.
- Speranza M., Venturi G., Monti A., Pritoni G., Merloni N., Pellizzari M., Ferroni L. (2008) - *Vegetalisation de la dune artificielle de Foce Bevano (Ravenna, Italie)*. In: POSIDUNE - Interactions de Posidonia Oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles. Cahier Technique de Phase C, pp. 131-147.
- Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L. e Miller T.L. (2005) - *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File Report, 2005-1304.
- Valentini E., Conti M., Bovina G., Cappucci S. e Gabellini M. (2010) - *Integrating ecological and hydrological features to assess Coastal Wetland restoration*. In EURAC book, 57, Analisi spazio - temporali: dinamiche e processi a confronto, pp. 113-122.
- Wal A. e Mc Manus J. (1993) - *Wind regime and sand transport on a coastal beach-dune complex, Tentsmuir, eastern Scotland*. In: The Dynamics and Environmental Context of Aeolian Sedimentary Systems, Pye K. (ed.), Geological Society, Special Publication No. 72, London. Pp.159-171.

Ricevuto il 16/04/2010, accettato il 06/11/2010.