

ANALISI DELLE DINAMICHE EVOLUTIVE SU BASE SEDIMENTOLOGICA E GEBOTANICA DEL CORDONE DUNALE DI IS ARENAS (ORISTANO, SARDEGNA CENTRO-OCIDENTALE)

Giuseppe Fenu¹, Donatella Cogoni^{1,2}, Concetta Ferrara²,
Silvia Pinna^{1,2}, Gianluigi Bacchetta¹

¹Centro Conservazione Biodiversità (CCB), Dipartimento di Scienze Botaniche – Università di Cagliari. Viale S. Ignazio da Laconi, 13 – 09123 Cagliari.

Tel.: +390706753508-9 Fax.: +390706753509. E-mail: gfen@unica.it.

²Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Cagliari. Via Trentino 51 - 09127 Cagliari.
Tel.: +390706757762

Riassunto – Vengono presentati i primi risultati dello studio condotto nel campo dunare di Is Arenas (Narbolia – San Vero Milis), che ha previsto indagini di tipo sedimentologico, floristico-vegetazionale ed ecologico concentrate sulle dune embrionali. L'area dunale, che si sviluppa per circa 6 km in lunghezza e oltre 3 km verso l'interno, per l'elevato valore naturalistico, è stata individuata come Sito di Interesse Comunitario (SIC) ai sensi della Direttiva 92/43/CEE. Per lo studio sono stati tracciati sei transetti, dalla battigia al retroduna. Complessivamente si sono individuati, sulla base delle tipologie vegetazionali, 25 *plot* di 4 m²; lungo ogni transetto è stato condotto un campionamento sedimentologico e sono stati realizzati inventari floristici e rilievi fitosociologici, estesi anche alle tipologie del geosigmatata psammofila. Le analisi condotte hanno permesso di acquisire di dati che attraverso l'analisi statistica, hanno consentito la comparazione tra cenosi e sedimento.

Abstract – *The first results of the study carried out on the dune field of Is Arenas (Narbolia – San Vero Milis) are presented. The research has been carried out considering the sedimentological, floristic, vegetational and ecological aspects of the dune field, and focusing in particular on the embryonal dunes. The dune field, which is 6 km long and stretches for 3 km inland, because of its natural value has been recognised as a S.I.C. (European Site of Importance) according to the EU Directive 92/43/CEE. For this research six transects from the shore to the rear limit of the dunes were mapped out. 25 plots of 4 m² were set up based on the vegetational varieties. Along each transept a sedimentological sample was taken, floristical inventories were made and phytosociological surveys were carried out regarding the types of psammophyllous geosigmatata. The data obtained by this study have been subjected to statistical analysis in order to compare biocoenosis and sediments.*

Introduzione

L'ambiente costiero rappresenta un sistema estremamente complesso sia nella sua costituzione che nella sua dinamica; studi comparati di carattere sedimentologico e geobotanico consentono di evidenziare le relazioni esistenti tra le componenti abiotiche e biotiche e verificare l'incidenza di fattori locali microambientali (esposizione ai venti,

trasporto di sabbia, quantità di aerosol salino e presenza di particolari tipi vegetazionali) sull'intero ecosistema, partendo dalla considerazione che i caratteri morfologici, granulometrici e vegetazionali sono strettamente correlati al tipo di spiaggia [17].

Studi interdisciplinari di carattere geobotanico e sedimentologico sono stati realizzati da tempo in ambito europeo in ragione dell'interesse crescente per l'analisi degli ambiti costieri in relazione all'aumento della fruizione turistica [14; 15; 16; 18; 22]; anche in ambito nazionale, ma solo recentemente, sono stati realizzati studi di questo tipo, finalizzati anche alla valutazione dello stato di conservazione degli ambiti dunali [1; 2; 3] mentre in bibliografia risulta solo uno studio specifico relativo alla Sardegna [21].

L'obiettivo della ricerca è stato quello di analizzare il campo dunale di Is Arenas (figura 1) con la finalità di evidenziare le correlazioni tra i caratteri fisici della spiaggia, in particolare della duna e le risposte della flora e delle fitocenosi presenti, attraverso l'integrazione di dati morfologici, sedimentologici, floristici ed ecologici. Inoltre, il posizionamento di una rete di aree permanenti all'interno del campo dunale consentirà di realizzare un continuo monitoraggio dell'area e di acquisire numerosi dati utili a fini gestionali.



Figura 1 – Foto aerea di Is Arenas (OR).
Figure 1 – Aerial photography of Is Arenas (OR).

Materiali e metodi

L'area di Is Arenas ricade nel settore nord-orientale della penisola del Sinis, lungo le coste occidentali della Sardegna; è compresa nella provincia di Oristano e in particolare nei comuni di Narbolia e S.Vero Milis, con una piccola parte del settore settentrionale ricadente nel comune di Cuglieri.

Dal punto di vista geologico l'area si trova al limite del *graben* del Campidano di Oristano ma può essere considerata come un modesto basso tettonico il quale, già in età pliocenica, avrebbe guidato i processi che hanno contribuito all'evoluzione sedimentaria ed all'assetto stratigrafico delle coperture poggianti sul basamento [8].

I termini più antichi affioranti nell'area si riferiscono al periodo oligo-miocenico, ma sono i depositi quaternari quelli maggiormente rappresentativi; questi formano un complesso sedimentario costituito in successione da arenarie fossilifere pleistoceniche di ambiente marino e lagunare, relative alla trasgressione tirreniana; depositi alluvionali conglomeratici ghiaioso-argillosi di differenti generazioni; banchi di argille sabbiose e livelli di calcare

d'acqua dolce. Questi depositi si alternano frequentemente con sovrapposizione di corpi, presumibilmente lenticolari, per uno spessore compreso tra 35 m e 15 m circa. Una spessa copertura di arenarie e sabbie di accumulo eolico oloceniche, distinta in almeno tre complessi messi in posto in tempi differenti, costituisce il termine superiore dell'intera successione [8].

La spiaggia, compresa tra Torre del Pozzo a nord e Torre Scala 'e Sale a sud-ovest, risulta essere orientata in direzione normale a quella del maestrale [20]. Il sistema costiero presenta un profilo trasversale, frequente sulla costa occidentale, caratterizzato da una spiaggia sommersa, più estesa nella zona settentrionale [13], con una ampia zona di *surf* comprendente un sistema multiplo di barre cuspidate e truogoli, una zona intertidalica, la spiaggia emersa ampia mediamente dai 20 m ai 40 m [20] e un sistema dunale ben sviluppato. Sulla base dei caratteri morfologici osservati, questo litorale può essere inquadrato nella tipologia dei sistemi multibarre intermedi con la tendenza ad un intermedio riflettente a N-E e intermedio dissipativo a S-W [7].

A ridosso della spiaggia, le sabbie si sono facilmente accumulate sotto forma di cordoni dunali, costituenti dune di forma parabolica che si sviluppano perpendicolarmente alla costa. Queste sono di altezza irregolare, non oltre 25 - 30 m nella parte più occidentale, dove le dune più recenti coprono le formazioni dunali relitte, mentre nella parte più meridionale, in cui la copertura sabbiosa è stabilizzata dalla vegetazione, presumibilmente coprono unità più antiche e raggiungono altezze di 40 - 45 m.

La rete idrografica è rappresentata principalmente dal Rio Pischinappiu, un corso d'acqua a carattere torrentizio con regime essenzialmente legato agli apporti meteorici autunnali e primaverili che sfocia nella parte settentrionale della spiaggia.

Per la caratterizzazione climatica sono stati utilizzati i dati termo-pluviometrici della stazione di Riola Sardo del Servizio Idrografico della Regione, che risulta essere la più prossima all'area di studio. L'elaborazione dei dati, relativi al periodo 1988-2007 per le temperature e al periodo 1982-2007 per la piovosità, indica una media annua di 536,7 mm di pioggia con un massimo nel mese di novembre (94,8 mm) e un minimo nel mese di luglio con soli 3 mm di media. Le temperature medie si mantengono elevate tutto l'anno, con una media annua di 16,9 °C; i mesi più freddi sono gennaio e febbraio (rispettivamente con una media di 9,7 °C e 10 °C), quelli più caldi luglio e agosto con temperature medie superiori ai 20 °C nel quadrimestre giugno-settembre. Un altro fattore climatico importante è la forte ventosità; il vento dominante è il Maestrale (NW) che spesso raggiunge e supera la velocità di 25 m s⁻¹ [11], ma soffiano frequentemente anche venti da N-NE e da W-SW. L'energia media annua trasferita alla spiaggia dal moto ondoso è di 13,4 106 t m m⁻¹, la più alta per le coste sarde [4]. L'escursione media di marea, per il decennio 1997-2007, risulta dell'ordine di 0,4 m (<http://www.apat.gov.it>); sulla base di tali dati possiamo classificare la spiaggia di Is Arenas come sistema microtidalico dominato dal moto ondoso.

Gli indici e il diagramma bioclimatico elaborato in base alla classificazione proposta da Rivas-Martínez [19], evidenziano un periodo di aridità con un deficit idrico che si protrae per tutta la stagione estiva (figura 2). Dal punto di vista della classificazione bioclimatica, le elaborazioni effettuate secondo Rivas-Martínez. [19], consentono di inquadrare il territorio nel macrobioclima Mediterraneo pluvistagionale oceanico con termotipo termomediterraneo superiore e ombrotipo secco superiore.

Dal punto di vista floristico non si hanno studi specifici relativi all'area di Is Arenas; recenti analisi di carattere floristico relative all'intera Penisola del Sinis [11] riportano 760 unità tassonomiche di cui 615 di rango specifico, 134 subspecifico, 10 varietale

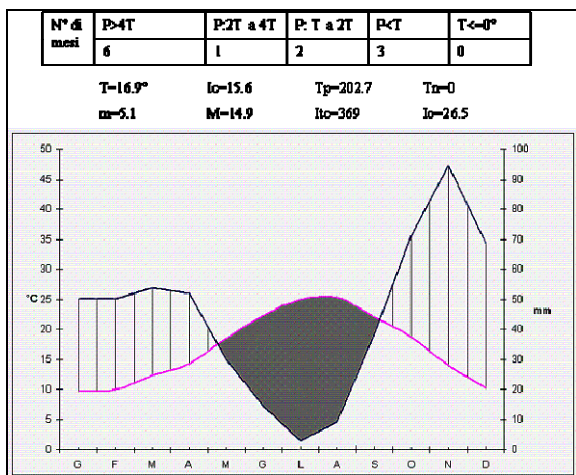


Figura 2 – Diagramma bioclimatico per la stazione termopluviometrica di Riola Sardo (OR).

Figure 2 – Bioclimatic diagram for the thermopluviometrical station of Riola Sardo (OR).

e un ibrido, appartenenti a 87 famiglie e 365 generi. Tra le *Angiospermae*, le *Eudicots* costituiscono il gruppo sistematico di gran lunga più numeroso con 549 *taxa*, riferibili a 57 famiglie e 259 generi; le *Monocots* contano invece 198 entità, appartenenti a 20 famiglie e 96 generi. Le *Pteridophyta* e le *Gymnospermae*, con 4 e 5 *taxa*, rappresentano rispettivamente lo 0,53 % e lo 0,66 % della flora [11]. Tali dati confermano l'elevata diversità vegetale dell'intera area e la peculiarità floristica, geologica e geomorfologica che ha consentito di definire un sottosectore biogeografico autonomo, chiamato Sinisico [11].

Allo scopo di evidenziare le relazioni esistenti tra parametri fisici ed ecologici e quindi tra componenti abiotiche e biotiche, è stata condotta un'indagine integrata che ha consentito di rilevare i caratteri morfo-sedimentologici, geobotanici ed ecologici.

I rilievi di campo sono stati realizzati nella spiaggia emersa nel periodo compreso tra giugno 2007 e marzo 2008, con cadenza trimestrale. Sono stati tracciati 6 transetti (tabella 1), tre nella parte settentrionale di Is Arenas, presso la foce del Rio Piscinappiu e altri tre nella parte più meridionale del campo dunale, che è stata indicata con il nome del retrostante stagno di Is Benas. I transetti, con andamento lineare dalla battigia alla zona retrodunale fino al limite della pineta, sono orientati sulle tre direttrici principali che seguono quelle dei venti dominanti, al fine di verificare le possibili variazioni dei parametri rilevati a seconda dell'esposizione ai principali venti che insistono sull'area.

Lungo i transetti sono stati posizionati 25 *plots* permanenti di studio; per ogni transetto è stato condotto un campionamento di sedimenti sulle unità morfologiche presenti e all'interno di ogni *plot*; in questi ultimi sono stati inoltre realizzati inventari floristici e rilievi della vegetazione secondo il metodo fitosociologico della scuola sigmatista di Zurich-Montpellier [5]. I campionamenti sedimentologici e le analisi geobotaniche sono stati eseguiti lo stesso giorno per ottenere dati omogenei ed evitare discordanze legate all'effetto delle variazioni climatiche marine sulla topografia e sulle dimensioni granulometriche. I sedimenti campionati sono stati sottoposti ad analisi sedimentologiche per la determinazione delle granulometrie e dei parametri di Folk *et Ward* [12], quali diametro medio (Mz), selezione (σ), asimmetria (SKI), e ad analisi geopedologiche e chimiche per la determinazione del pH, della sostanza organica, della conduttività e della calcimetria.

Per le analisi floristiche si è fatto riferimento principalmente a Fenu *et* Bacchetta [11], per la nomenclatura ai recenti lavori di Conti *et al.* [9; 10]. Forma e sottoforma biologica e corologica sono state espresse secondo quanto riportato da Fenu *et* Bacchetta [11]. I campioni erborizzati sono stati conservati presso *Herbarium* CAG del Dipartimento di Scienze Botaniche dell'Università di Cagliari. Per le abbreviazioni degli autori, come raccomandato dal codice internazionale di tassonomia, si è seguito Brummitt *et* Powell [6].

Tabella 1 – Caratteristiche dei transetti. Lung.: Lunghezza; Esp.: Esposizione; Incl.: Inclinazione; Coer.: Coerenza; Dren.: Drenaggio.

Table 1 – Features of the considered six transects. Lung: Length; Esp: Exposition; Incl: Slope; Coer: Coherence; Dren.: Drainage.

Transetto	Zona	Coordinate	Lung. (m)	Quota (m.l.m.)	Esp. (°)	Inclin. (°)	Coer. (1-5)	Dren. (1-5)	N° Plot
T1	Nord	N - 40° 04' 497 E - 8° 29' 106	56,6	2-7	W 270	5	3-4	5	6
T2	Nord	N - 40° 04' 539 E - 8° 29' 126	50,4	3-5	NW300	2-3	3-4	5	4
T3	Nord	N - 40° 04' 671 E - 8° 29' 264	42	1.5-3	N 330	20	3-4	5	4
T4	Sud	N - 40° 02' 955 E - 8° 26' 810	19,4	0.5-2	NW 330	5	4	4-5	3
T5	Sud	N - 40° 02' 960 E - 8° 26' 820	26,7	1-2	NW 300	5-10	3-4	4-5	4
T6	Sud	N - 40° 03' 036 E - 8° 27' 098	17,6	1-3	N 345	45	3	5	4

Risultati e discussione

Dai rilievi effettuati nel periodo di studio è stato possibile osservare un cambiamento delle morfologie legato alle variazioni stagionali e/o ad eventi meteorologici straordinari, oltre a differenze nell'ampiezza della spiaggia emersa tra la zona settentrionale e meridionale; la prima mostra infatti un'estensione media di 50 m mentre l'altra è lunga mediamente 21 m. Il transetto T1 è quello con la lunghezza maggiore (56,6 m) probabilmente per la vicinanza della foce del Rio Pischinappiu che ridistribuisce i sedimenti trasportati prevalentemente in quest'area. Il T6 con i suoi 17,6 m è invece il transetto più corto.

L'indagine floristica complessiva realizzata nei 6 transetti ha consentito di redigere un inventario floristico di 75 unità tassonomiche di cui 46 di rango specifico, 27 subspecifico e 2 varietale, appartenenti a 34 famiglie e 65 generi. Dallo spettro biologico generale risulta evidente l'elevato valore delle terofite (35 %) che confermano la mediterraneità dell'area e l'adattamento alle condizioni di elevata xericità proprie degli ecosistemi dunali. L'elevata percentuale di fanerofite (20 %) è legata alla consistente presenza nei *plot* di formazioni a ginepri. Il valore delle camefite (16 %) è invece correlato alle condizioni climatiche e in particolare alla presenza di elevata ventosità mentre il dato relativo alle geofite (16 %) va messo in relazione alla xericità ambientale. Le emicriptofite rappresentano il 12 % del totale, mentre la percentuale delle idrofite (1 %) è legata alla presenza della sola *Posidonia oceanica* (L.) Delile presente sotto forma di egagropili spiaggiate.

Per ciò che concerne lo spettro corologico generale, risulta prevalente il gruppo delle specie mediterranee *sensu strictu* (72 %) rispetto alle altre componenti. All'interno del gruppo delle mediterranee prevalgono le specie a distribuzione circum-mediterranea (34 *taxa*), seguite dalle ovest-mediterranee (8) e mediterraneo-atlantiche (6). Tali dati confermano il baricentro biogeografico dell'area di studio e l'inquadramento nella subregione mediterranea occidentale [11]. Da evidenziare è il numero totale delle endemiche rilevate che raggiungono il 12 % dell'intera flora. Viene mostrata di seguito la tabella riassuntiva (tabella 2) dei risultati dei rilievi botanici, nella quale vengono riportate le variazioni nel numero di unità tassonomiche e nella copertura di ogni singolo *plot* nei quattro campionamenti eseguiti.

Dall'analisi comparata sul numero di *taxa* presenti nelle quattro stagioni dell'anno (tabella 2) si rileva una maggiore ricchezza nei transetti T4-T6, ubicati nella zona meridionale della spiaggia (42 *taxa*) rispetto alla zona settentrionale (38).

Il transetto con la maggiore ricchezza floristica media risulta essere il T4 ($9 \pm 4,49$ *taxa*) nonostante sia il quello con il numero più basso di *plots*; al contrario il transetto con la minore ricchezza risulta essere il T1 ($5,6 \pm 3,05$) che rappresenta il transetto più lungo e con il maggior numero di *plots*. Lungo ogni transetto il numero di specie così come il valore della copertura percentuale, tende ad aumentare fino a raggiungere valori maggiori

Tabella 2 – Numero di *taxa* e copertura presente nei singoli *plot* nei 4 campionamenti eseguiti (G: Giugno; S: Settembre; D: Dicembre; M: Marzo).

Table 2 – *Taxa* number and coverage in the individual plots. G: June; S: September; D: December; M: March.

Transetto	Plot	Taxa	Taxa	Taxa	Taxa	Copertura	Copertura	Copertura	Copertura
		G	S	D	M	(%) G	(%) S	(%) D	(%) M
T1	a	2	2	2	3	20	5	5	20
	b	3	3	3	3	65	20	5	15
	c	6	4	5	7	80	60	60	70
	d	11	5	8	9	70	30	40	70
	e	7	2	7	8	90	15	20	80
	f	11	5	8	12	90	70	90	90
T2	a	6	4	4	4	50	15	20	30
	b	8	4	6	8	80	70	80	80
	c	6	4	5	7	90	70	80	80
	d	13	6	9	15	80	70	70	80
T3	a	8	6	6	6	70	50	40	60
	b	4	4	6	6	60	35	20	40
	c	10	10	10	13	90	70	80	90
	d	13	7	9	12	100	70	80	90
T4	a	4	2	3	6	60	50	40	60
	b	12	7	9	11	100	80	80	100
	c	14	10	13	17	100	90	90	95
T5	a	3	3	3	4	40	30	20	30
	b	8	7	7	8	80	60	60	80
	c	8	5	9	9	90	50	50	70
	d	6	5	7	9	100	95	90	80
T6	a	5	4	5	6	40	30	15	15
	b	6	3	4	7	70	40	20	50
	c	10	5	9	12	70	50	50	80
	d	11	8	13	14	100	90	90	100

nella zona retrodunale (*plot* c, d, e, f), dove la duna è maggiormente stabilizzata e dove è minore l'influenza dell'azione dei principali agenti meteo-marini. All'interno di ogni *plot* il maggior numero di *taxa* si rileva nel campionamento di marzo ($8,64 \pm 3,7$ *taxa* per *plot*), in concomitanza con la ripresa vegetativa e la maggior disponibilità idrica. Al contrario la minore ricchezza floristica si registra nel mese di settembre ($5 \pm 2,17$ *taxa* per *plot*) coerentemente con il fatto che in tale periodo si raggiunge il maggior deficit idrico. All'interno dei *plot* il numero di *taxa* varia nel corso dell'anno da un minimo di 2 (T1-a giugno) ad un massimo di 17 (T4-c marzo). Per quanto riguarda i valori medi della copertura si osserva che i valori più elevati si registrano nel mese di giugno ($75,4 \pm 21,08$ %), mentre quelli più bassi si rilevano a settembre e dicembre con, rispettivamente, $52,6 \pm 24,86$ % e $51,8 \pm 29,32$ % di copertura vegetale; risulta quindi importante osservare come il periodo in cui si ha la minore copertura vegetale coincide con quello della massima fenomenologia degli eventi meteomarini che determinano le maggiori variazioni morfologiche della spiaggia.

Le analisi sedimentologiche e geopedologiche riferite ai transetti e ai *plots* sono riportate nelle tabelle 3 e 4; per ogni parametro viene riportato il valore medio \pm deviazione standard, relativo ai quattro campionamenti.

I risultati delle analisi geopedologiche (tabella 3) indicano che la conduttività presenta valori nettamente superiori nell'area dello stagno di Is Benas, con una media di $444,36 \mu\text{S cm}^{-1}$ rispetto ai $173,92 \mu\text{S cm}^{-1}$ dell'area settentrionale di Is Arenas, dato legato ai valori molto elevati riscontrati nei *plot* T4-a, T5-a e T6-a, corrispondenti al piede della duna.

Tabella 3 – Valori medi dei principali parametri geopedologici nei *plots*.
Table 3– Mean values of the main geopedological parameters in the plots.

Transetto	Plot	Conduttività ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	Sostanza organica (g kg^{-1})	Calcimetria ($\text{g } 10^{-2} \text{ g}$)
T1	a	350 ± 197	$8,65 \pm 0,19$	$1,00 \pm 1,19$	$84,63 \pm 7,71$
	b	154 ± 74	$8,70 \pm 0,16$	$0,89 \pm 0,65$	$85,53 \pm 8,45$
	c	121 ± 56	$8,70 \pm 0,11$	$0,20 \pm 1,19$	$80,56 \pm 3,46$
	d	55 ± 9	$8,64 \pm 0,13$	$1,00 \pm 0,35$	$75,59 \pm 4,41$
	e	61 ± 27	$8,68 \pm 0,20$	$2,10 \pm 1,03$	$69,83 \pm 4,32$
	f	134 ± 104	$8,56 \pm 0,20$	$1,89 \pm 0,4$	$71,64 \pm 5,69$
T2	a	336 ± 252	$8,55 \pm 0,33$	$0,43 \pm 0,29$	$76,61 \pm 12,84$
	b	304 ± 158	$8,62 \pm 0,17$	$0,47 \pm 0,42$	$72,54 \pm 11,05$
	c	102 ± 12	$8,69 \pm 0,08$	$0,83 \pm 0,82$	$75,82 \pm 4,53$
	d	100 ± 108	$8,65 \pm 0,15$	$1,37 \pm 1,16$	$68,81 \pm 4,31$
T3	a	391 ± 278	$8,51 \pm 0,15$	$0,27 \pm 0,32$	$76,15 \pm 5,65$
	b	86 ± 17	$8,69 \pm 0,08$	$0,42 \pm 0,38$	$79,32 \pm 4,86$
	c	99 ± 41	$8,52 \pm 0,26$	$0,71 \pm 0,39$	$75,93 \pm 3,78$
	d	147 ± 28	$8,55 \pm 0,29$	$2,96 \pm 1,69$	$71,41 \pm 7,82$
T4	a	1271 ± 1212	$8,63 \pm 0,56$	$1,14 \pm 0,6$	$66,89 \pm 3,88$
	b	110 ± 52	$8,43 \pm 0,44$	$20,26 \pm 4,56$	$65,08 \pm 3,13$
	c	115 ± 77	$8,29 \pm 0,30$	$13,61 \pm 7,19$	$64,29 \pm 3,00$
T5	a	1912 ± 1531	$8,33 \pm 0,37$	$1,05 \pm 0,32$	$73,44 \pm 5,35$
	b	175 ± 22	$8,59 \pm 0,09$	$1,38 \pm 0,51$	$74,37 \pm 3,48$
	c	93 ± 50	$8,46 \pm 0,15$	$1,34 \pm 0,75$	$77,17 \pm 3,52$
	d	293 ± 113	$8,63 \pm 0,16$	$1,89 \pm 0,9$	$68,47 \pm 4,08$
T6	a	466 ± 434	$8,34 \pm 0,19$	$1,11 \pm 0,51$	$69,49 \pm 2,48$
	b	141 ± 68	$8,51 \pm 0,16$	$0,94 \pm 0,29$	$67,11 \pm 4,31$
	c	87 ± 23	$8,67 \pm 0,14$	$1,16 \pm 0,2$	$69,26 \pm 3,84$
	d	225 ± 72	$8,52 \pm 0,34$	$2,19 \pm 1,88$	$64,85 \pm 7,74$

Il valore medio massimo si registra proprio nel transetto T5 mentre il valore minimo è stato rilevato nel transetto T1. All'interno dei singoli *plot* i valori della conduttività diminuiscono bruscamente nel retroduna rispetto al piede duna, dove presenta una maggiore influenza l'aerosol marino e l'effetto delle mareggiate. I transetti T1, T3, T5 e T6 registrano invece un lieve aumento dei valori di conduttività nel *plot* più interno.

Il pH presenta valori medi costanti in tutti i transetti e nei 25 *plots*, con oscillazioni comprese tra 8,25 a 8,7. Si può notare anche in questo caso una differenza tra le due zone di rilevamento, con una lieve flessione dei valori di pH nella zona meridionale.

La sostanza organica, così come la conduttività, mostra valori superiori nei transetti meridionali e in particolare nei transetti T4 e T6, nei quali si registrano valori eccezionalmente alti (20,26 g kg⁻¹ e 13,6 g kg⁻¹) relativi ai *plots* T4-b e T4-c. In generale in tutti i transetti la sostanza organica raggiunge valori massimi nei *plots* retrodunali dove è presente una vegetazione fanerofitica e dove la duna, maggiormente stabilizzata, presenta fenomeni pedogenetici talvolta intensi, presenza di lettiera e strati muscinali talora continui. La calcimetria mostra valori medi compresi tra 64,29 g kg e 85,53 g kg nella zona meridionale si registrano valori della calcimetria inferiori rispetto alla zona settentrionale della spiaggia; in generale i valori più elevati si registrano nel transetto T1 mentre i più bassi si trovano nel transetto T4.

Per quanto riguarda le caratteristiche sedimentologiche (tabella 4), dall'analisi del granulo medio (Mz) si nota una differenza significativa tra la granulometria delle due zone del litorale esaminate. Si evidenzia come la zona settentrionale sia composta da sabbia di

Tabella 4 – Valori medi dei principali parametri sedimentologici nei *plots*.

Table 4 – Mean values of the main sedimentological parameters in the plots.

Transetto	<i>Plot</i>	Md (Φ)	Mz(Φ)	SHI(Φ)	kg(Φ)	σ(Φ)
T1	a	1,45 ± 0,123	1,40 ± 0,148	-0,13 ± 0,092	0,98 ± 0,097	0,54 ± 0,105
	b	1,29 ± 0,121	1,28 ± 0,094	0,02 ± 0,089	0,89 ± 0,046	0,52 ± 0,031
	c	1,19 ± 0,146	1,20 ± 0,112	0,05 ± 0,100	0,93 ± 0,092	0,50 ± 0,025
	d	1,48 ± 0,109	1,45 ± 0,088	-0,04 ± 0,060	0,91 ± 0,074	0,50 ± 0,023
	e	1,65 ± 0,088	1,60 ± 0,058	-0,13 ± 0,135	1,08 ± 0,074	0,47 ± 0,035
	f	1,73 ± 0,023	1,69 ± 0,024	-0,11 ± 0,009	1,16 ± 0,030	0,43 ± 0,010
T2	a	1,04 ± 0,121	1,09 ± 0,067	0,09 ± 0,116	0,93 ± 0,096	0,57 ± 0,076
	b	1,53 ± 0,012	1,49 ± 0,017	-0,12 ± 0,043	0,96 ± 0,033	0,44 ± 0,039
	c	1,80 ± 0,464	1,78 ± 0,480	-0,04 ± 0,075	1,06 ± 0,032	0,46 ± 0,090
	d	1,65 ± 0,143	1,62 ± 0,144	-0,08 ± 0,014	1,14 ± 0,049	0,47 ± 0,004
T3	a	1,17 ± 0,229	1,19 ± 0,174	0,03 ± 0,117	0,91 ± 0,036	0,55 ± 0,035
	b	1,41 ± 0,080	1,39 ± 0,075	-0,05 ± 0,044	0,88 ± 0,010	0,48 ± 0,057
	c	1,36 ± 0,048	1,35 ± 0,041	-0,03 ± 0,047	0,89 ± 0,031	0,50 ± 0,014
	d	1,34 ± 0,025	1,33 ± 0,013	-0,03 ± 0,044	0,86 ± 0,020	0,52 ± 0,016
T4	a	2,50 ± 0,074	2,49 ± 0,070	-0,08 ± 0,022	1,02 ± 0,030	0,37 ± 0,016
	b	2,45 ± 0,015	2,44 ± 0,016	-0,07 ± 0,025	0,97 ± 0,030	0,38 ± 0,012
	c	2,40 ± 0,143	2,39 ± 0,132	-0,14 ± 0,113	1,17 ± 0,303	0,41 ± 0,082
T5	a	2,45 ± 0,106	2,41 ± 0,080	-0,18 ± 0,094	1,03 ± 0,167	0,42 ± 0,045
	b	2,38 ± 0,073	2,37 ± 0,056	-0,04 ± 0,082	0,98 ± 0,028	0,36 ± 0,047
	c	2,41 ± 0,040	2,39 ± 0,045	-0,07 ± 0,007	1,03 ± 0,056	0,37 ± 0,020
	d	2,41 ± 0,049	2,40 ± 0,064	-0,07 ± 0,045	0,98 ± 0,065	0,39 ± 0,020
T6	a	2,42 ± 0,009	2,41 ± 0,019	-0,03 ± 0,023	1,03 ± 0,039	0,37 ± 0,010
	b	2,45 ± 0,044	2,45 ± 0,050	0,00 ± 0,014	1,09 ± 0,059	0,34 ± 0,012
	c	2,34 ± 0,104	2,33 ± 0,099	-0,01 ± 0,015	1,07 ± 0,033	0,35 ± 0,012
	d	2,40 ± 0,010	2,39 ± 0,011	-0,02 ± 0,018	1,07 ± 0,063	0,35 ± 0,010

Tabella 5 – Frequenza percentuale dei taxa strutturali nelle principali morfologie dunali (piede duna: PD; cresta duna: CD; retroduna: RD) e confronto tra le due aree di campionamento.

Table 5 – Frequency of the structural taxa for the most important dune morphologies: Foot of the dune (PD), Crest of the dune (CD), Rear of the Dune (RD) and comparison between two areas.

Taxon strutturale	PD	CD	RD	Nord	Sud
<i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis subsp. <i>farctus</i>	100	81	89	98	79,5
<i>Eryngium maritimum</i> L.	90	81	73	87,5	68
<i>Sporobolus virginicus</i> Kunth	38	19	5	7	25
<i>Pancratium maritimum</i> L.	28,5	52	60	48	57
<i>Cakile maritima</i> Scop. subsp. <i>maritima</i>	24	19	16	20	16
<i>Otanthus maritimus</i> (L.) Hoffmanns. et Link subsp. <i>maritimus</i>	9,5	28,5	33	50	0
<i>Euphorbia paralias</i> L.	14	0	0	0	9
<i>Euphorbia terracina</i> L.	0	38	13	0	34
<i>Ephedra distachya</i> L. subsp. <i>distachya</i>	0	19	47	28,5	32
<i>Crucianella maritima</i> L.	0	19	13	9	14
<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link subsp. <i>australis</i> (Mabille) Lainz	0	19	7	21	0
<i>Juniperus oxycedrus</i> L. subsp. <i>macrocarpa</i> (Sibth. et Sm.) Neilr.	0	9,5	53	27	43
<i>Medicago marina</i> L.	0	9,5	5	9	0
<i>Matthiola incana</i> (L.) R. Br. subsp. <i>incana</i>	0	5	27	28,5	0
<i>Ononis variegata</i> L.	0	5	25	25	9
<i>Daucus carota</i> L. subsp. <i>carota</i>	0	5	0	0	2
<i>Asparagus stipularis</i> Forssk.	0	0	22	14	9
<i>Pistacia lentiscus</i> L.	0	0	22	7	18
<i>Helichrysum microphyllum</i> (Willd.) Camb. subsp. <i>tyrrhenicum</i> Bacch., Brullo et Giusso	0	0	14,5	14	0
<i>Sixalix atropurpurea</i> (L.) Greuter et Burdet subsp. <i>grandiflora</i> (Scop.) Soldano et F. Conti	0	0	11	3,5	9
<i>Lotus cytisoides</i> L. subsp. <i>conradiae</i> Gamisans	0	0	7	7	0
<i>Anthemis maritima</i> L.	0	0	5	0	7
<i>Crithmum maritimum</i> L.	0	0	5	0	7
<i>Matthiola tricuspidata</i> (L.) R. Br.	0	0	2	0	2

media granulometria ($1 \div 2 \text{ phi}$, *sensu* Wentworth [23]). La zona meridionale comprendente i transetti T4, T5 e T6 mostra una granulometria fine ($2 \div 3 \text{ phi}$) con valori che si mantengono omogenei per tutti i *plot* di ogni transetto. Il test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov conferma che esistono differenze estremamente significative ($p < 0.001$) tra le granulometrie campionate nel settore settentrionale ($N = 14$) e quelle campionate nel settore meridionale ($N = 11$).

È stata analizzata la correlazione tra le principali specie strutturali e la morfologia della duna (tabella 5); relativamente alla morfologia sono state prese in considerazione tre suddivisioni: il piede duna, la cresta e il retroduna; è stata quindi calcolata la frequenza delle specie strutturali all'interno di queste categorie e tra le due distinte zone di campionamento.

La tabella 5 mostra le variazioni della frequenza per le specie strutturali in funzione delle morfologie dunali e delle due aree di rilevamento. Da questa appare evidente

come il piede duna risulti essere la morfologia con la minore presenza di *taxa* (circa 1/3 dei *taxa* strutturali considerati), segue la cresta della duna dove si rilevano circa i 2/3 dei *taxa* totali, mentre nel retroduna si ha la massima diversità vegetale. Tale dato riveste particolare importanza a fini gestionali in quanto si osserva che proprio nelle aree retrodunali si concentrano le attività legate all'utilizzo antropico dei litorali.

Due *taxa* strutturali (*Elymus farctus* subsp. *farctus* ed *Eryngium maritimum*) mostrano sempre una elevata frequenza indipendentemente dalla morfologia e dal settore di spiaggia considerato. Altri importanti *taxa* strutturali quali *Ammophila arenaria* subsp. *australis*, *Lotus cytisoides* subsp. *conradiae*, *Medicago marina*, *Matthiola incana* subsp. *incana*, *Helichrysum microphyllum* subsp. *tyrrhenicum*, *Otanthus maritimus* subsp. *maritimus* non sono stati rilevati nella parte meridionale del sistema dunale; al contrario *Euphorbia paralias*, *Euphorbia terracina*, *Matthiola tricuspidata*, *Criothum maritimum*, *Daucus carota* subsp. *carota* e *Anthemis maritima* non sono presenti lungo i transetti della zona settentrionale.

Conclusioni

Lo studio realizzato nel campo dunare di Is Arenas ha permesso di evidenziare la presenza di correlazioni tra l'evoluzione morfo-sedimentaria della spiaggia e dei depositi eolici, la flora e lo sviluppo delle associazioni vegetali dalle avandune alle aree retrodunari.

Le analisi evidenziano delle differenze tra i transetti in relazione alla loro localizzazione geografica. La zona settentrionale della spiaggia si presenta generalmente più ampia ma con un minor numero di *taxa* censiti, valori più bassi di conduttività, sostanza organica ma valori più alti di pH e calcimetria rispetto alla zona Sud. Nella parte meridionale invece la spiaggia risulta mediamente più stretta e si rinvergono granulometrie più fini; a queste differenze non corrisponde una variazione significativa, tra le due aree indagate, nel numero medio di *taxa* presenti e nel grado di copertura medio.

Dall'analisi sulla frequenza dei *taxa* strutturali (tabella 5) emerge una sostanziale omogeneità tra le due aree della spiaggia esaminate, cui però si associa una disomogeneità a livello morfodinamico e sedimentologico. La ricchezza specifica risulta lievemente superiore nella parte meridionale della spiaggia definita con il tipo dissipativo intermedio, dato in disaccordo con quanto previsto da Hesp per la tipologia dissipativa pura [16]. Il retroduna rappresenta la morfologia dunale con la più alta frequenza di *taxa* e quindi con massima biodiversità, dato questo da correlare con la minore influenza dell'effetto dei principali eventi meteo-marini, in particolare l'aerosol marino che rappresenta il più importante fattore limitante per la flora e la distribuzione degli habitat all'interno del campo dunale [18]. A tal proposito risulta importante sottolineare come questa notevole diversità floristica sia da sempre sottoposta ad una forte pressione antropica che si è esplicata con numerosi interventi quali imboschimenti, rimboschimenti e installazione di strutture ricettive di diversa natura (strutture alberghiere, camping, strade litoranee e parcheggi, campi da golf, etc.); a questo si unisce una maggiore incidenza di specie aliene, legate sempre alle attività antropiche, che si affermano rapidamente per effetto della maggiore competitività ecologica rispetto alle specie autoctone; in particolare per l'area di studio è importante segnalare l'alta invasività di numerose specie introdotte negli anni quali *Acacia saligna* (Labill.) H.L. Wendl., *Agave fourcroydes* Lem. e *Carpobrotus sp. pl.* che mostrano una eccezionale diffusione nel campo dunale.

Merita inoltre evidenziare come alcuni *taxa*, quali *Elymus farctus* subsp. *farctus*, *Eryngium maritimum*, *Sporobolus virginicus*, *Pancratium maritimum*, manifestino un' alta frequenza in tutte le differenti morfologie dunali. Questa indicazione risulta estremamente importante in quanto evidenzia un gruppo di *taxa* potenzialmente utili, in ragione della loro plasticità ecologica e per la capacità di vegetare sulle diverse morfologie dunali, per un eventuale ripristino dell'area. Dal punto di vista della conservazione della diversità vegetale sarà dunque fondamentale la conservazione del germoplasma di tali unità tassonomiche, oltre a quello delle specie endemiche, rare o minacciate rinvenute a Is Arenas.

Un'ultima considerazione merita l'elevata frequenza delle cenosi a *Ephedra distachya* subsp. *distachya* nel retroduna di tutto il campo dunale, in quanto tale unità tassonomica costituisce un habitat peculiare, particolarmente sensibile e minacciato che meriterebbe una maggiore salvaguardia e tutela.

Le analisi condotte hanno consentito di realizzare un monitoraggio completo dell'intera area di studio e costituiscono una base implementabile nel tempo e che potrebbe essere riproposto anche in altri sistemi costieri.

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare al Dott. Paolo Mulè per l'aiuto nelle analisi geopedologiche.

Bibliografia

- [1] Acosta A., Ercole S., Stanisci A., De Patta Pillar V., Blasi C. - *Coastal Vegetation Zonation and Dune Morphology in Some Mediterranean Ecosystems*, Journal of Coastal Research (2007) 23 (6), 1518 – 1524.
- [2] Acosta A., Carranza M.L., Izzi C.F. - *Combining land cover mapping of coastal dunes with vegetation analysis*, Applied Vegetation Science (2005) 8, 133 - 138.
- [3] Acosta A., Blasi C., Stanisci A. - *Spatial connectivity and boundary patterns in coastal dune vegetation in the Circeo National Park, Central Italy*, Journal of Vegetation Science (2000) 11, 149 - 154.
- [4] Atzeni A., Ginesu S. - *Evoluzione dei litorali della Sardegna e interventi di riequilibrio*, La difesa dei litorali in Italia (1993), Edizioni delle Autonomie-Roma, 215 – 231.
- [5] Braun Blanquet J. - *Pflanzensoziologie. Grundzüge der vegetationskunde* (1951), Springer-Verlag, Wien.
- [6] Brummitt R.K., Powell C.E. (Eds.) - *Authors of plant names* (1992), Royal Botanic Gardens, Kew.
- [7] Carboni S., Demuro S., Ferrara C., Ibba A., Onnis A., Usai A. - *Sedimentological characteristics and littoral dynamics of the Is Arenas beach (Narbolia) on the west coast of Sardinia*. Atti del convegno Geosed 2003 (2003), 137 - 142.
- [8] Carboni S., Pala A., Guaita S. - *Geologia e Idrologia di Is Arenas (Narbolia-San Vero Milis, Sardegna centro-occidentale)*, Rend. Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari (1998) 68, 177-220.
- [9] Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C. (Eds.) - *An Annotated checklist of the italian vascular flora* (2005), Palombi Editore, Roma.

- [10] Conti F., Alessandrini A., Bacchetta G., Banfi E., Barberis G., Bartolucci F., Bernardo L., Bonacquisti S., Bouvet D., Bovio M., Brusa G., Del Guacchio E., Foggi B., Frattini S., Galasso G., Gallo L., Gangale C., Gottschlich G., Grünanger P., Gubellini L., Iiriti G., Lucarini D., Marchetti D., Moraldo B., Peruzzi L., Poldini L., Prosser F., Raffaelli M., Santangelo A., Scassellati E., Scortegagna S., Selvi F., Soldano A., Tinti D., Ubaldi D., Uzunov D., Vidali M. – *Integrazioni alla checklist della flora vascolare italiana*, Natura Vicentina (2007) 10, 5-74.
- [11] Fenu G., Bacchetta G. - *La flora vascolare della penisola del Sinis*, Acta Bot. Malacitana (2008) 33, 1 - 34.
- [12] Folk R.L., Ward W.C. - *Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters*, Jour. Sed. Petrology (1957) 27, 3 – 26.
- [13] Forti S., Orrù P. - *Geomorfologia costiera e sottomarina della Penisola del Sinis (Sardegna Occidentale)*, Boll. Soc. Geol. It. (1995) 114, 3 - 21.
- [14] Frederiksen L., Kollman J., Vestergaard P., Bruun H. H. – *A multivariate approach to plant community distribution in the coastal dune zonation of NW Denmark*, Phytocoenologia (2006) 36(3), 321 – 342.
- [15] Grunewald R., Schubert H. - *The definition of a new plant diversity index “ H'_{dune} ” for assessing human damage on coastal dunes—Derived from the Shannon index of entropy H'* , Ecological Indicators (2007) 7, 1 - 21.
- [16] Haesp P. – *Surfzone, beach, and foredune interactions on the Australian South East Coast*, Journal of Coastal Research (1988) Special Issue No. 3, 15 – 25.
- [17] Haesp P. – *Ecological process and plant adaptations on coastal dunes*, Journal of Arid Environments (1991) 21, 165 – 191.
- [18] McLachlan A. - *Dynamics of an exposed beach/dune coast, Algoa Bay, SE Africa*, Journal of Coastal Research (1988) Special Issue No. 3, 91 – 95.
- [19] Rivas-Martínez S. – *Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España [Memoria del Mapa de Vegetación potencial de España. Parte I]* Itin. Geobot. (2007) 17.
- [20] Spano B., Pinna M. - *Il litorale della penisola del Sinis*, Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane. VII Le spiagge della Sardegna. CNR - Centro di studi per la geografia fisica presso l'istituto di geografia dell'Università di Bologna (1956), 139 – 150.
- [21] Vagge I., Corradi N., Ferrari M., Balduzzi I., Mariotti, L. M. – *Aspetti vegetazionali e morfo sedimentologici dei campi dunari di Platamona-Marrizta con particolare riguardo all'area di Marina di Sorso (Sardegna settentrionale)*, Fitosociologia (2007) 44 (1), 33 – 48.
- [22] Viles H., Spencer T. - *Coastal Problems: Geomorphology, ecology and society at the coast* (1995), Edward Arnold, London.
- [23] Wentworth C.K. – *A scale of grade and class terms for clastic sediments*, Journ. Geology (1922) 12, 317 – 334.