

Dal monitoraggio di un intervento pilota al protocollo operativo per la realizzazione della copertura vegetale di dune costiere

Maria Speranza, Lucia Ferroni e Giuseppe Pritoni

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali
Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Viale Fanin, 44 - 40127 Bologna
E-mail: maria.speranza@unibo.it

Riassunto

L'esperienza acquisita nel corso del progetto Beachmed-e INTERREG III C sottoprogetto POSIDUNE (2006/2008), per la realizzazione della copertura vegetale di una duna costruita artificialmente presso il sito pilota di Foce Bevano (Ravenna) ha avuto seguito nell'attività di monitoraggio finanziata nel 2008/2009 dalla Direzione Generale Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa della Regione Emilia-Romagna, riguardante lo sviluppo della copertura vegetale e dell'accumulo di sabbia nella zona vegetata del medesimo sito. Il protocollo adottato per realizzare la copertura vegetale utilizza due graminacee presenti in maniera importante nella dune embrionali (*Agropyron junceum* (L.) Beauv.) e nelle dune mobili (*Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm.) naturali. Esso ha consentito di ottenere in tempi relativamente brevi (8-12 mesi dalla piantumazione) una copertura vegetale funzionale ad intercettare e fissare sabbia nell'area vegetata. I risultati del monitoraggio e l'evoluzione del sistema nell'arco di tre anni evidenziano l'importanza di un corretto protocollo d'impianto delle specie per il futuro sviluppo della copertura vegetale, ma mettono altresì in evidenza l'importanza di una corretta progettazione della morfologia e delle geometrie della duna stessa per realizzare sistemi dunosi vegetati in grado di evolvere e persistere nel tempo. Tali valutazioni risultano funzionali anche alla progettazione e gestione di ripascimenti della spiaggia. Questi possono infatti essere vantaggiosamente affiancati da interventi che tendano a trattenere la sabbia là dove essa è stata artificialmente depositata, agendo sia al lato mare che a lato terra, e promuovendo, in questo secondo caso, la costruzione e/o il restauro di sistemi dunosi che possano dinamicamente integrarsi con il sistema spiaggia.

Parole chiave: *Agropyron junceum*, *Ammophila littoralis*, copertura vegetale, dune costiere, monitoraggio, restauro sistemi dunosi, sistema spiaggia-duna.

Abstract

Coastal areas are in critical status in most parts of Europe. One of the main causes for that is an altered balance between sedimentation and erosion processes caused by reduced sediment supply by rivers. Beach nourishment can be a solution, especially when followed by measures that can help hold sand where it was artificially deposited. These can act at sea (offshore breakwaters) and on the land side (construction and/or restoration of dune systems).

Planting can be a useful measure also for restoring the vegetation cover of dune systems which had been modified due to other reasons than marine erosion. This paper reports the results of planting vegetation on a young dune artificially built near the mouth of Bevano river (Ravenna, Italy).

The experimental area is located between the December 2005 river mouth position, and the position of the new mouth, opened artificially in winter 2006 (circa 800 m southwards). Change in Bevano river mouth position, executed due to hydraulic security reasons, was followed by other interventions, such as: 1) shaping of a dune; 2) installation of windbreaker in the dune area; 3) planting of *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. and *Agropyron junceum* (L.) Beauv. in the windbreaker area. Monitoring of the development of plant cover (quarterly measurements of diameter, circumference and height of *A. junceum* and *A. littoralis* tufts) as well as of sand accumulation (monthly recording of sand level on 138 fixed poles) was performed from October 2008 to September 2009. In winter 2008/2009, plant cover was evidently reduced due to destructive effects of storms, combined with interruption in vegetative growth. By June 2009, winter losses had been in most cases recovered, whereas in the end of September 2009 the plant cover volume had far exceeded that from the previous year.

In spite of a general increase in plant cover volume, winter 2008/2009 events have significantly changed the spatial structure of plant cover as it existed in autumn 2008. Vegetated areas lower than sea level became heavily damaged because of repeated intrusion of sea water. Similarly, the first three plant rows from the shoreline suffered more damage from winter storms, while increases in volume concerned the three innermost plant rows. At the end of the monitoring period sediment accumulation in the vegetated area showed a positive balance. Sand accumulated mainly due to sea storm events (in winter), and transportation and redistribution by wind of sediment already present in the area (in summer).

The second monitoring period occurred in a time of the year when conditions happen to be more favourable to vegetative growth and there is little disturbance caused by intense meteomarine events; interactions between plant cover and sand become more important than during the winter period, resulting in greater sand accumulation where plant cover was more developed. Monitoring results shows that, if the protocol reported in this paper is followed, it is possible to plant vegetation cover that acts as active sediment trap and works as a "dune builder" in a relatively short time (8-12 months after planting). The maintenance of plant cover functions, however, strictly depends on site morphology, elevation above sea level, and width of the beach. Concerning nourishment interventions and planning of artificial dunes, the shape and geomorphology of active, well-structured natural dune systems, present in neighbouring areas, can be used as a reference model.

Keywords: *Agropyron junceum*, *Ammophila littoralis*, coastal dunes, dune-beach system, dune system restoration, nourishment, monitoring, plant cover.

Introduzione

Come risulta dal recente rapporto dell'European Environment Agency (EEA, 2006), che traccia un esauriente quadro della situazione, le aree costiere sono in gran parte dell'Europa in uno stato di forte criticità. Tra i fattori che agiscono negativamente su di esse, l'alterato equilibrio tra sedimentazione-erosione, per il ridotto apporto a mare di sedimenti da parte dei corsi d'acqua regimati, è uno di quelli a maggior impatto. Si stima che a scala europea il deficit di sedimenti sia di 100 milioni di tonnellate/anno (Eurosion - www.eurosion.org). Ad accentuare gli effetti di tale squilibrio, si aggiungono l'innalzamento del livello del mare, legato anche a fenomeni di subsidenza, e la tendenza ad un incremento di intensità negli eventi di mareggiata e inondazione.

Considerata l'importanza socio-economica delle aree costiere, il ripristino di un equilibrio nel bilancio sedimentazione-erosione è problema di grande importanza; un'azione di questo genere richiede sia l'identificazione delle aree dove sono in atto fenomeni di erosione, trasporto, sedimentazione, sia l'identificazione di riserve strategiche di sedimenti, da cui i sedimenti stessi possano essere prelevati senza compromettere altri equilibri. In funzione del raggiungimento di questi equilibri e con una visione più moderna e più ampia del problema, si tende oggi a privilegiare la gestione complessiva dei sedimenti piuttosto che la sola difesa della costa e la gestione della spiaggia. A questo scopo si ricorre a tecniche "soft" di ingegneria costiera, che ben si conciliano con la valorizzazione degli ecosistemi naturali (dune, stagni retrodunali, ecc.), la cui integrità contribuisce a mantenere positivo il bilancio di sedimentazione e quindi anche alla difesa del territorio retrostante (EEA, 2005). Interventi di ripascimento della spiaggia possono pertanto essere vantaggiosamente affiancati da interventi che tendano a

trattenere la sabbia là dove essa è stata artificialmente depositata, agendo sia al lato mare che a lato terra e promuovendo, in questo secondo caso, la costruzione e/o il restauro di sistemi dunosi che possano dinamicamente integrarsi con il sistema spiaggia.

Nel rapporto sullo Stato del Litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007, che contiene indicazioni sugli interventi di ripascimento ai fini della gestione costiera (Preti, 2009), viene sottolineata la necessità di affiancare a tali interventi, laddove possibile, un miglioramento delle condizioni dei sistemi dunosi esistenti o la realizzazione di sistemi dunosi nuovi. Ripascimento e sistema dunoso efficiente dovrebbero infatti agire in sinergia per ristabilire l'equilibrio del bilancio sedimentazione-erosione. Laddove non sussistono le condizioni/necessità per effettuare ripascimenti, ugualmente può essere opportuno intervenire con operazioni di piantumazione se la copertura vegetale dei sistemi dunosi esistenti si presenta più o meno degradata. Ciò allo scopo di iniziare e/o accelerare il recupero della funzionalità del sistema, secondo un approccio che si inserisce nelle linee di azione della *Restoration Ecology* (SER, 2004).

Uno dei primi e più importanti interventi di ripascimento eseguiti in Italia, accompagnato da piantumazione di specie vegetali è stato eseguito negli anni 1994-1999 sulla spiaggia del Cavallino (Venezia) dal Consorzio Venezia Nuova con un finanziamento del Ministero dei Lavori Pubblici e del Magistrato alla Acque di Venezia (Cecconi e Nascimbeni, 1997; Cecconi e Ardone, 1998; Nascimbeni, 1998). Il ripascimento ha riguardato 11 km di spiaggia e più di 2 milioni di m³ di sabbia, di cui circa 150.000 m³ sono stati utilizzati per la ricostruzione di sei cordoni dunosi paralleli alla costa. Per la piantumazione di questi si sono utilizzate circa 800.000 piante di *Ammophila littoralis* prelevate in popolazioni spontanee del litorale veneziano. Un monitoraggio sulla riuscita dell'impianto eseguito nel 2001 (Caniglia e Bonello, 2002; Caniglia, 2006) ha però messo in evidenza che, dopo un buon attecchimento iniziale, *Ammophila littoralis* presentava segni di riduzione nella crescita, probabilmente dovuti allo scarso apporto di sabbia e alla concorrenza di specie nitrofile, quali: *Oenothera biennis* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, *Cenchrus incertus* Curtis, *Ambrosia coronopifolia* Torrey et A. Gray, *Amorpha fruticosa* L., *Bidens tripartita* L.. Le specie qui ricordate, sottraendo spazio ad *Ammophila littoralis*, per eccellenza specie edificatrice e stabilizzatrice dei sistemi dunosi, finiscono per attenuare gli effetti positivi della copertura vegetale sulla cattura e fissazione della sabbia. La presenza di queste specie, probabilmente dovuta a un'eccessiva frequentazione dei luoghi e all'origine del materiale sabbioso utilizzato per il ripascimento, è senza dubbio elemento negativo nell'ambito dell'esperienza citata. Se dunque da un lato l'intervento eseguito presso il litorale del Cavallino rappresenta un buon esempio di integrazione tra pratiche di ripascimento e pratiche di intervento naturalistico, dall'altro ha messo in evidenza alcuni punti deboli della situazione considerata e del protocollo utilizzato.

Il presente contributo riporta i risultati di un'esperienza di realizzazione della copertura vegetale su una giovane duna, costruita artificialmente nei pressi della foce del Torrente Bevano (Ravenna), sito pilota nell'ambito del progetto Beachmed-e INTERREG III C, sottoprogetto POSIDUNE (<http://www.beachmed.eu/Beachmede/SousProjets/POSIDUNE>). Il monitoraggio di dettaglio, eseguito nel corso di un intero anno, sullo sviluppo della copertura vegetale e sull'accumulo di sabbia nella zona vegetata fornisce diversi elementi interessanti per la formalizzazione di un protocollo applicabile ad altri siti nel medesimo contesto bioclimatico, compresi siti di futuri interventi di ripascimento.

Materiali e metodi

L'area di studio

L'area di studio (Fig. 1) è compresa tra la vecchia foce del torrente Bevano alla data del dicembre 2005 e la nuova foce del medesimo corso d'acqua, situata circa 800 m più a Sud, creata artificialmente a seguito dei lavori svolti nel periodo gennaio-aprile 2006 dalla Regione Emilia-Romagna per motivi di sicurezza idraulica. Questo tratto di costa, fino a metà degli anni cinquanta occupato da un cordone dunoso attivo, fu fortemente modificato dalle dinamiche del torrente Bevano che dal 1954 al 2005 circa, spostò progressivamente più a Nord la propria foce, con conseguente erosione della duna situata in questo tratto (Ciavola et al., 2005; Gardelli et al., 2007).

Questo specifico tratto di costa presenta un andamento della linea di riva e un bilancio sedimentario abbastanza soddisfacenti (Preti, 2009). La linea di riva è infatti in avanzamento da Foce Savio, situata circa 4 km più a Sud, fino a Foce Bevano. A partire da 1 km più a Nord di Foce Bevano e fino alla Foce Fiumi Uniti, per un tratto di 8-9 km, la situazione è invece fortemente critica.

Per una trattazione più generale delle problematiche geomorfologiche di questo tratto di costa, nell'ambito delle problematiche delle aree costiere ravennati e dell'intera costa romagnola, esiste un'ampia documentazione bibliografica (Borghi, 1938; Bondesan et al., 1978; Cencini et al., 1979; Cencini, 1980; Simeoni et al., 2006; Armaroli et al., 2007; Preti, 2009; Perini e Calabrese, 2010).

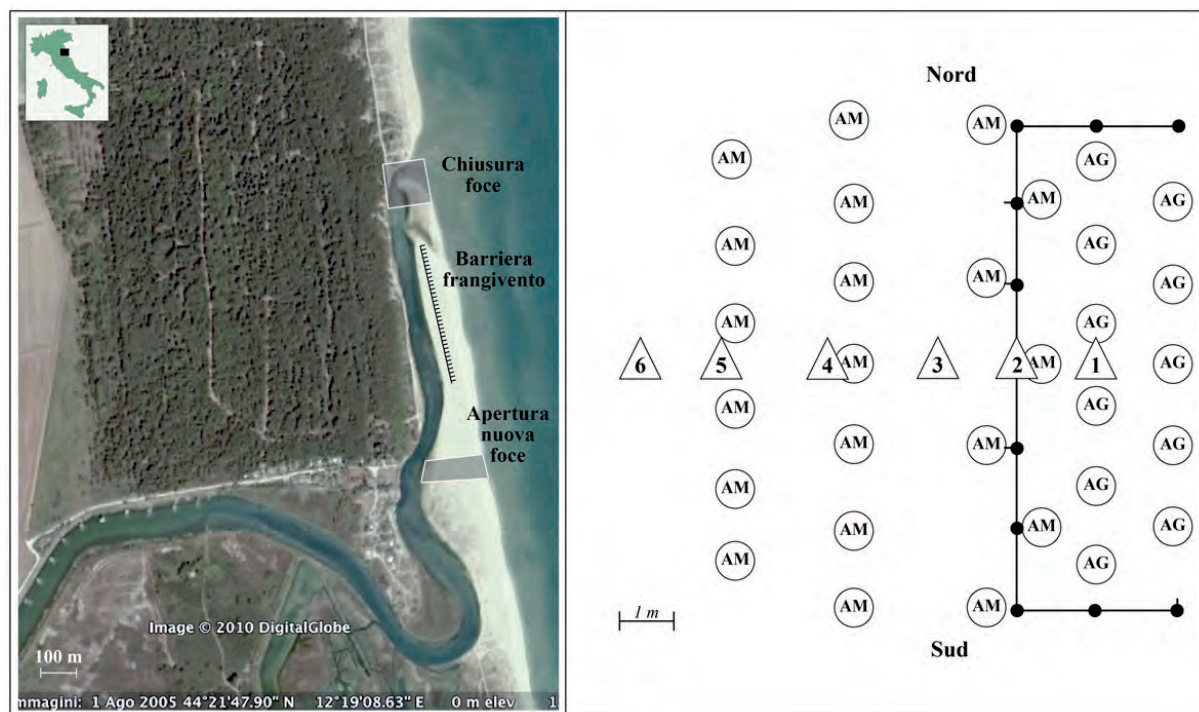


Figura 1 - A sinistra l'area di studio compresa tra la vecchia foce del torrente Bevano e la nuova foce aperta nell'inverno 2006. A destra lo schema di piantumazione di una parcella della barriera frangivento, organizzato su sei file parallele alla linea di costa, con la posizione delle aste fisse per il monitoraggio dell'accumulo di sabbia.

● palo della barriera frangivento;

△ asta fissa per il monitoraggio dell'accumulo di sabbia; AG *Agropyron junceum*; AM *Ammophila littoralis*.

Gli interventi di ripristino della duna a Foce Bevano

Il riposizionamento della foce del Bevano, all'incirca nella medesima posizione occupata agli inizi degli anni '90, è stato accompagnato da una serie di attività per ripristinare la duna erosa. In sintesi si è provveduto:

- a modellare un abbozzo di duna raccordata con il sistema dunoso attivo situato immediatamente a Nord della vecchia foce (inverno 2006);
- a installare a circa 40 metri dalla battigia una barriera frangivento a pettine, con asse maggiore parallelo alla linea di riva, costituita da 69 celle di 6 x 2 m e con elementi trasversali, costituiti da rami di salice/pioppo intrecciati, posizionati fino a circa 80 cm di altezza (aprile 2006; Fig. 1);
- ad avviare la formazione di una copertura vegetale piantumando con *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm. e con *Agropyron junceum* (L.) Beauv. l'area compresa nella barriera frangivento (fine ottobre 2006 e inizio novembre 2007).

La realizzazione della copertura vegetale

Per ricostruire la copertura vegetale della duna si sono scelte due specie graminacee rizomatose perenni, *Agropyron junceum* e *Ammophila littoralis*, che nei sistemi dunosi naturali caratterizzano, rispettivamente, la duna embrionale e la duna mobile. Sia pure con notevoli differenze, dovute alla diverse dimensioni e struttura di ciascuna, entrambe le specie hanno un ruolo importante come specie edificatrici, contribuendo ad intercettare ed accumulare la sabbia trasportata dal vento.

Il materiale vegetale da utilizzare nella piantumazione è stato raccolto in diversi popolamenti spontanei della costa romagnola, nel periodo immediatamente precedente la ripresa vegetativa primaverile (fine febbraio-inizio marzo 2006 e 2007). In ogni popolamento si sono raccolti da più individui segmenti dei rizomi sotterranei con le rispettive foglie e radici, situati preferenzialmente in corrispondenza della parte periferica e quindi più giovane dei cespi della pianta, dove è più facile siano localizzati nodi con tessuti meristemati pronti ad attivarsi e a produrre nuovi getti. Tale materiale è stato poi propagato presso il centro di Cadriano dell'Azienda Agraria dell'Università di Bologna (AUB) tagliando i segmenti dei rizomi in più parti, ciascuna provvista di una o più gemme che, staccati dalla pianta madre, sono stati interrati in vasi contenenti 2/3 di sabbia e 1/3 di terra di campo. Ugualmente sono stati utilizzati i cespi con foglie, cui originariamente erano collegati i rizomi di cui sopra, che accestiscono facilmente. Il materiale propagato è stato allevato in vivaio fino alla fine di ottobre 2006 e, rispettivamente primi di novembre 2007, quando furono realizzati gli impianti *in situ*. All'epoca dell'impianto, realizzato con una densità di 4 cespi/m², tutto il materiale vegetale era in ottime condizioni vegetative e provvisto di un apparato radicale ben sviluppato. In Figura 1, a destra, è riportato uno schema della distribuzione delle specie piantumate per ogni parcella della barriera frangivento.

Il monitoraggio della copertura vegetale

Nel periodo ottobre 2008-settembre 2009 si è monitorato lo sviluppo della copertura vegetale nell'area piantumata. Tale monitoraggio ha riguardato 23 delle 69 parcelle piantumate, regolarmente distribuite, una ogni tre, su tutta la lunghezza della barriera frangivento. Alle date del 1 ottobre 2008, 9-19 dicembre 2008, 4 febbraio 2009, 17 aprile 2009, 10 giugno 2009, 29 settembre 2009, per ciascuno dei cespi di *A.junceum*/*A. littoralis* di ogni parcella sono stati misurati l'altezza, il diametro maggiore e minore, il perimetro di base e il perimetro del cespo, stretto in modo da non lasciare spazi vuoti tra gli steli. Le misure eseguite sono state utilizzate per calcolare il volume della copertura vegetale di ogni parcella, disaggregata per file e totale, ad ognuna delle date dei rilievi di campo. Per questo tipo di calcolo, il cespo di ogni pianta è stato assimilato ad un cilindro, avente per base l'ellisse definita dai due diametri massimo e minimo del cespo e per altezza, l'altezza del cespo stesso.

Il monitoraggio dell'accumulo di sabbia nell'area vegetata

Il monitoraggio dell'accumulo di sabbia nell'area vegetata è stato effettuato su una serie di aste di PVC montate su un piede a croce e interrate almeno 40 cm in posizioni fisse, in ciascuna delle 23 parcelle in cui è stato monitorato lo sviluppo della copertura vegetale. La distribuzione delle aste in ogni parcella monitorata segue un allineamento est-ovest come indicato in Figura 1 e comprende anche il paletto centrale dell'asse maggiore della barriera frangivento; la distanza tra le aste varia da 1.5 m (aste 1-2, 2-3, 5-6) a 2 m (aste 3-4, 4-5) per una lunghezza totale di 8.5 m dell'intero transetto. L'accumularsi della sabbia è stato misurato con frequenza mensile, utilizzando un metro rigido con scala millimetrica e leggendo la distanza tra la sommità dell'asta e il livello della sabbia su un insieme di 138 punti fissi. I dati ricavati dalle letture periodiche sulle aste fisse, unitamente alle misure lineari sulle dimensioni dell'area monitorata (402 m di lunghezza x 8.5 m di larghezza), sono stati utilizzati per stimare i volumi di sabbia accumulati nell'area stessa, nel corso del periodo di monitoraggio.

Condizioni meteo-marine durante il periodo di monitoraggio

Per un inquadramento di massima delle condizioni meteo-marine del periodo di monitoraggio, si sono utilizzati i dati della Rete Mareografica Nazionale, stazione di Ravenna e in particolare i valori del livello idrometrico sullo zero mareografico, ritenuto un utile, anche se parziale indicatore delle condizioni meteo marine (Fig. 2)

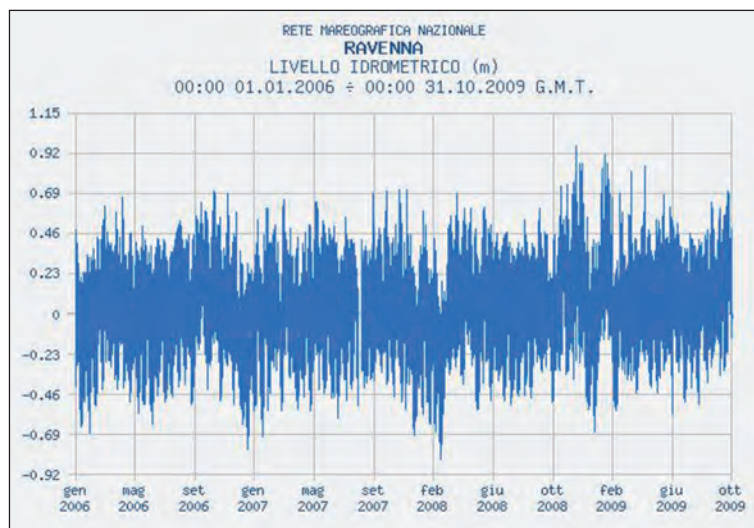


Figura 2 - Rete Mareografica Nazionale, stazione di Ravenna: livello idrometrico sullo zero mareografico per il periodo gennaio 2006-ottobre 2009.

Risultati

Il monitoraggio della copertura vegetale e dell'accumulo di sabbia nell'area vegetata, si riferiscono ad un periodo in cui nei mesi autunnali, invernali e all'inizio primavera i fenomeni meteo marini sono stati particolarmente intensi e frequenti. Da un esame di Figura 2 risulta evidente la particolare situazione dell'autunno inverno 2008/2009, caratterizzata frequentemente da valori del livello idrometrico di quasi 0.2 m superiori ai valori massimi registrati nei 2 anni precedenti.

Evoluzione della copertura vegetale

In Figura 3a sono riportati i valori del volume totale della copertura vegetale nelle 23 parcelle monitorate, alle sei date di monitoraggio. La copertura vegetale ha subito un primo decremento, abbastanza contenuto, evidenziato dal rilievo di dicembre 2008 e un secondo decremento, più importante, nel periodo dicembre 2008 - febbraio 2009. Al 17 aprile 2009 si nota già una tendenza al recupero, che è particolarmente evidente nel periodo primaverile (dato del 10 giugno 2009), e prosegue anche nel periodo estivo (dato del 29 settembre 2009).

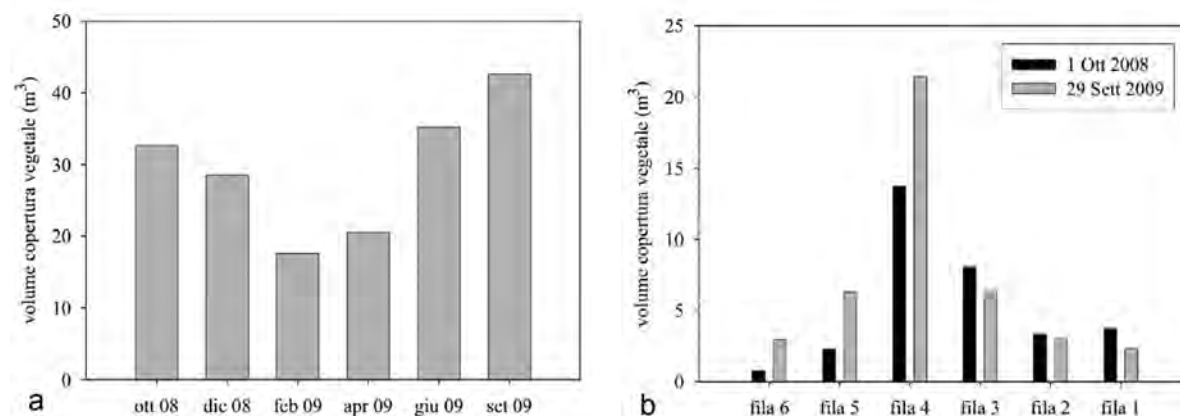


Figura 3 - a) Variazione del volume totale della copertura vegetale nelle 23 parcelle durante il periodo di monitoraggio. b) Volume totale della copertura vegetale nelle 23 parcelle all'inizio del monitoraggio (1 ottobre 2008) e a fine monitoraggio (29 settembre 2009), distinto per file di impianto. L'ordine delle file da 6 a 1 tiene conto della distanza dalla battigia: più vicina alla fila 1 e progressivamente più lontana rispetto alle altre.

Il dato volumetrico totale del 29 settembre 2009 (42.6 m^3) è superiore al dato del 1 ottobre 2008 (32.7 m^3) di 9.9 m^3 ; l'incremento medio per parcella è di $0.43 \text{ m}^3/\text{anno}$.

Gli incrementi rilevati, tuttavia, non sono uniformemente distribuiti su tutta l'area piantumata, né su ciascuna delle file dell'impianto. Riguardo al primo aspetto, nel tratto meridionale e centrale dell'area vegetata (da parcella 9 a parcella 49) la copertura vegetale è in regresso in 6 parcelle su 14 e due di queste risultano completamente prive di copertura vegetale per i danneggiamenti distruttivi delle mareggiate invernali e di inizio primavera. Nel tratto settentrionale (da parcella 52 a parcella 67), invece, la copertura vegetale è in aumento in 5 parcelle su 6. Per quanto riguarda il secondo aspetto (variazioni di copertura sulle file), le file 1, 2 e 3 sono tutte in decremento (-14.8%, -3.8%, -19.9%), mentre sulla fila 4, 5 e 6 si ripartiscono, rispettivamente il 75.4%, il 41% e il 22.3% degli incrementi (Fig. 3b).

Accumulo di sabbia nell'area vegetata

La Figura 4a illustra in sintesi i tratti più salienti della dinamica di accumulo di sabbia nell'area monitorata. In essa vengono indicati i valori di accumulo di sabbia su un profilo est-ovest (dall'asta in posizione 1 all'asta in posizione 6), che rappresenta la media delle letture effettuate sui 6 allineamenti Nord-Sud, paralleli alla linea di riva, definiti dall'insieme delle aste fisse di ogni parcella, che occupano una stessa posizione (posizione da 1 a 6). La Figura 4a considera le quattro diverse situazioni determinate dalla combinazione dei due diversi periodi dell'anno (invernale - estivo) e della parte di area monitorata (parte meridionale, parcelle da 1 a 49 - parte settentrionale, parcelle da 50 a 67).

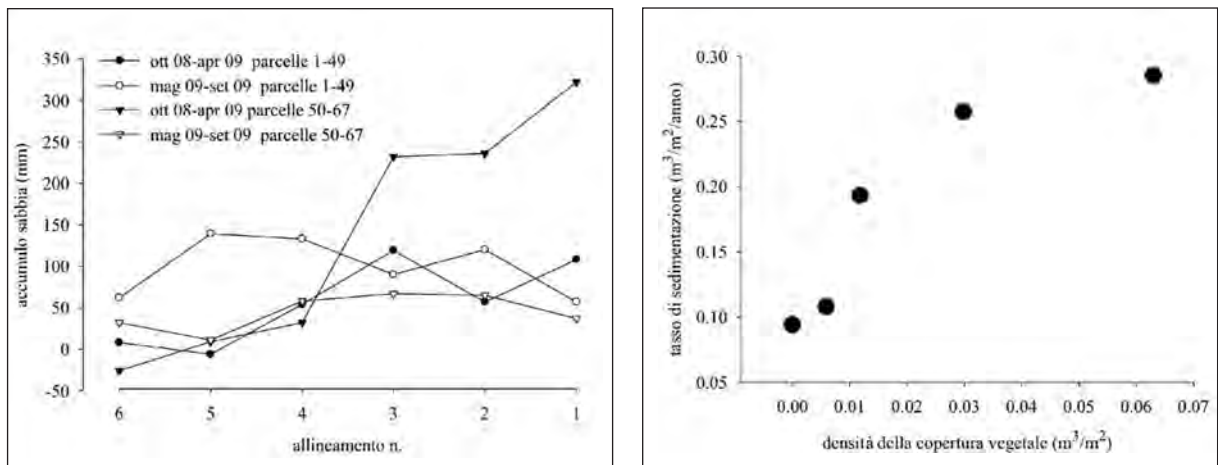


Figura 4 - a) Accumulo di sabbia su un profilo medio est-ovest (da allineamento delle aste 1 ad allineamento delle aste 6) nell'area vegetata, distinto per periodo dell'anno e per posizione lungo la barriera frangivento. b) Relazione tra densità della copertura vegetale e tasso di sedimentazione della sabbia in cinque sezioni dell'area monitorata.

L'apporto totale medio di sabbia sugli allineamenti 1, 2, 3 è circa doppio rispetto a quello sugli allineamenti 4, 5, 6. Nel periodo invernale l'apporto di sabbia riguarda soprattutto gli allineamenti 1, 2, 3, nel periodo estivo soprattutto gli allineamenti 4 e 5. Nella parte meridionale dell'area si registra accumulo di sabbia un po' su tutti gli allineamenti, mentre nella parte settentrionale c'è una differenza molto più marcata tra gli allineamenti 1, 2, 3 e gli allineamenti 4, 5, 6.

Durante il periodo invernale vi è un notevole apporto di sedimento in corrispondenza degli allineamenti longitudinali 1, 2 e 3 e in particolare nella porzione settentrionale dell'area (parcelle 50-67). L'apporto cala decisamente in corrispondenza degli allineamenti 4, 5 e 6, più lontani dalla linea di riva. Nel periodo estivo la situazione muta notevolmente; l'accumulo di sabbia si localizza soprattutto nella porzione meridionale dell'area monitorata (parcelle 1-49) e in corrispondenza degli allineamenti più interni (profilo 4 e 5 soprattutto).

Tabella 1 - Stime dei volumi di sabbia accumulata (m^3) nell'area monitorata.

	Da ottobre 2008 ad aprile 2009	Da maggio 2009 a settembre 2009
Tutta l'area ($3417 m^2$)	287	366
Parcelle da 1 a 49 ($2499 m^2$)	156	308
Parcelle da 50 a 67 ($918 m^2$)	123	44

Tabella 2 - Stime dei tassi di sedimentazione ($m^3/m^2/mese$) nell'area monitorata.

	Da ottobre 2008 ad aprile 2009	Da maggio 2009 a settembre 2009
Tutta l'area ($3417 m^2$)	0.012	0.021
Parcelle da 1 a 49 ($2499 m^2$)	0.009	0.025
Parcelle da 50 a 67 ($918 m^2$)	0.019	0.010

Nell'area monitorata si è dunque verificato accumulo di sabbia con differenti intensità a seconda del periodo dell'anno e della posizione nell'ambito dell'area monitorata. In Tabella 1 e in Tabella 2 sono riportate, rispettivamente, le stime dei volumi di sabbia accumulata e dei corrispondenti tassi di sedimentazione.

Complessivamente, nell'ambito delle tendenze evidenziate, risulterebbe che le dinamiche invernali risentono soprattutto degli apporti di sabbia dovuti alle mareggiate, con maggior apporto di sabbia sugli allineamenti più vicini alla linea di riva, mentre le dinamiche estive risentono soprattutto delle azioni di redistribuzione ad opera del vento e dell'effetto di intercettazione e accumulo ad opera della vegetazione.

Relazioni tra copertura vegetale e accumulo di sabbia

Riguardo all'importanza della copertura vegetale sull'accumulo di sabbia, si propone qui di seguito un'elaborazione di sintesi, relativa all'intero periodo di monitoraggio. In Figura 4b sono riportati i valori di densità della copertura vegetale a fine settembre 2009, in cinque diversi settori longitudinali dell'area monitorata, adiacenti tra loro. Tali settori corrispondono ad altrettante superfici di lunghezza pari alla lunghezza dell'area monitorata (402 m) e di larghezza (variabile tra 1.5 e 2 m) pari al tratto compreso tra due aste fisse contigue, utilizzate per il rilievo del livello della sabbia. Per i medesimi settori sono pure riportati i tassi di sedimentazione della sabbia sull'intero periodo monitorato. La correlazione tra i parametri considerati è significativamente positiva ($R=0.896$, $P=0.039$). Risulterebbe inoltre che per valori di densità della copertura vegetale compresi tra $0.006 m^3/m^2$ e $0.03 m^3/m^2$, il tasso di sedimentazione della sabbia aumenta di 2.5 volte (da $0.107 m^3/m^2/anno$ a $0.257 m^3/m^2/anno$), mentre per valori di densità della copertura vegetale intorno a $0.06 m^3/m^2$, il tasso di sedimentazione della sabbia tenderebbe a stabilizzarsi intorno al valore di $0.3 m^3/m^2/anno$.

Discussione

Nonostante le distruzioni da mareggiate, la copertura vegetale è in crescita di quasi $10 m^3$ sul complesso delle 23 parcelle monitorate.

Nel pieno dell'inverno la copertura vegetale appare in evidente regresso per il combinarsi dell'effetto distruttivo delle mareggiate e del fermo dell'attività vegetativa. I dati di sintesi indicano che il decremento di copertura vegetale è stato particolarmente importante nel periodo che intercorre tra il rilevamento di dicembre (9-19 dicembre 2008) e quello successivo di inizio febbraio (4 febbraio 2009). Il rilevamento di metà aprile 2009 mostra invece segni di accrescimento e di ripresa generalizzati un po' dovunque, nonostante il verificarsi anche in questo periodo di forti mareggiate e conseguente invasione dell'area piantumata da parte delle acque marine. Già nel periodo febbraio 2009-aprile 2009 il volume della copertura vegetale è dunque in crescita rispetto al minimo toccato agli inizi di febbraio. A giugno le perdite invernali sono state recuperate in moltissimi casi e a fine settembre il volume della copertura vegetale supera decisamente quello di un anno prima. La crescita si è verificata

su tutto l'arco del periodo primaverile-estivo, fino alla fine di settembre 2009, ma con particolare intensità nel periodo primaverile. In tale periodo dell'anno si sommano gli effetti positivi dovuti alla ripresa dell'attività vegetativa e all'assenza di mareggiate di forte intensità. Fanno ovviamente eccezione rispetto a questa tendenza quelle parcelle in cui la copertura vegetale piantumata è stata completamente o quasi completamente asportata e distrutta dalle mareggiate invernali. Laddove è invece rimasta la presenza anche frammentaria di piante, alla ripresa della crescita vegetativa si assiste alla produzione di nuovi ricacci verdi. Le piante ricoperte dalla sabbia apportata nel corso delle mareggiate (prima fila di *Agropyron junceum*, soprattutto) sono in grado di riemergere con nuovi culmi e nuove foglie se lo strato di sabbia accumulato su di esse non è troppo profondo. Ugualmente, le temporanee sommersioni da parte dell'acqua marina non pregiudicano la sopravvivenza delle due specie utilizzate. Esse risultano capaci di superare condizioni di disturbo anche forte (parziale insabbiamento, ingresso di acqua marina), purché non vengano sottoposte ad eventi meccanici di tipo distruttivo. La scelta fatta sulle due specie (*Agropyron junceum* e *Ammophila littoralis*) sembra pertanto corretta e l'insediamento di queste nel sito è sostanzialmente stabile e ben consolidato; ciò vale in particolare *A. littoralis*.

Nonostante il bilancio complessivamente positivo, a un anno dall'inizio del monitoraggio, in un numero significativo di parcelle localizzate prevalentemente nella parte centrale dell'impianto, la copertura vegetale è però in regresso. Ugualmente in regresso è la copertura vegetale delle file 1, 2 e 3, mentre gli incrementi si localizzano soprattutto sulla fila 4, seguita dalle file 5 e 6.

Gli eventi invernali hanno dunque modificato abbastanza profondamente la struttura spaziale complessiva della copertura vegetale esistente all'autunno 2008. Sono state particolarmente penalizzate le parcelle localizzate nelle zone a quote più basse rispetto al livello del mare, invase più volte dalle acque marine. Ugualmente, le prime tre file di piante hanno risentito maggiormente dei danni da mareggiate invernali, mentre gli incrementi di volume hanno riguardato le tre file più interne dell'impianto. Rispetto all'assetto dell'autunno 2008, all'autunno 2009 si accentua l'importanza della fila 4, quale principale ostacolo-barriera per il deposito della sabbia trasportata dal vento, oltre che delle file 5 e 6, più o meno paragonabili per l'importanza dei volumi alle file 3 e 2 rispettivamente.

Il periodo di monitoraggio si chiude con un bilancio positivo riguardo all'apporto di sedimenti nell'area vegetata, avvenuto prevalentemente per fenomeni marini nel periodo invernale e per trasporto eolico e redistribuzione di sedimento già presente nell'area, nel periodo estivo. Gli eventi meteo-marini e gli apporti di sabbia da parte del mare hanno dominato lo scenario del periodo ottobre 2008/aprile 2009, mentre la vegetazione ha avuto un ruolo di minor rilievo. Nel corso del secondo semestre di monitoraggio, coincidente con un periodo dell'anno favorevole alla crescita vegetale e di sostanziale tranquillità riguardo agli eventi meteo-marini, le interazioni tra copertura vegetale e sedimento trasportato dal vento sono risultate più importanti, determinando maggiore accumulo di sabbia laddove maggiore è la copertura della vegetazione. A questo riguardo va notato che il regime anemologico del periodo primaverile-estivo 2009, è risultato più dinamico rispetto a quello degli anni precedenti e, contemporaneamente, più efficace ai fini della movimentazione della sabbia. La sabbia movimentata si è poi depositata in maggior misura laddove la copertura vegetale presentava maggiore consistenza.

Riguardo alla quantità di sabbia apportata sull'area monitorata durante le mareggiate invernali, si sono verificate dislocazioni di importanti volumi di sabbia verso il corpo d'acqua retrostante la duna, materializzati in una serie di lobi distribuiti lungo tutto lo sviluppo della duna stessa, dall'estremità Sud (parcella 1) fino alla parcella 50. In questo tratto, segni quali solchi di erosione, piante abbattute e trascinate o sradicate indicano un apporto di sabbia avvenuto per lo più in maniera violenta da parte delle acque marine. Dalla parcella 51 e fino alla parcella 67, invece, i fenomeni di sfondamento e le morfologie che ne derivano non sono più presenti. I sedimenti sabbiosi sono arrivati con abbondanza (incremento del livello della sabbia fino a 40 cm circa) e in modo non distruttivo. È opportuno notare che esiste una buona corrispondenza tra zone dove si sono verificati fenomeni distruttivi e distribuzione delle aree a quote più basse. In fase di progettazione e di realizzazione di strutture fisiche dunose, su cui inserire una copertura vegetale, sembra dunque di grande importanza un'attenta progettazione geomorfologica. Questa dovrà provvedere all'individuazione e alla realizzazione di quote sufficientemente elevate nel sito, tali da evitare fenomeni di scavalco marino quali quelli verificatisi in alcune parti dell'area Bevano

nell'inverno 2008/09. Nei tempi successivi all'intervento sarà inoltre importante effettuare un monitoraggio delle dinamiche geomorfologiche a grande scala, in modo da poter intervenire, se del caso, in maniera tempestiva, evitando il degrado dell'intero sistema.

Conclusioni

Il monitoraggio congiunto, sviluppo della copertura vegetale - accumulo di sabbia, nell'area di Foce Bevano per il periodo ottobre 2008-settembre 2009 ha consentito di cogliere diversi aspetti interessanti dei fenomeni studiati, utili alla definizione di un protocollo operativo applicabile per la realizzazione/restauro della copertura vegetale di aree dunose costiere.

Le specie utilizzate si sono affermate e accresciute facilmente. *Ammophila littoralis* in particolare ha dimostrato di essere dotata di ottime capacità di colonizzazione dello spazio, di recupero dopo eventi di disturbo, oltre che di una struttura morfologica adatta a intercettare, trattenere e fissare la sabbia nelle diverse stagioni dell'anno. Non risulta dunque problematico realizzare, anche in tempi relativamente brevi (8-12 mesi dalla piantumazione), una copertura vegetale idonea e funzionale per sistemi dunosi costieri. Più problematico sembra essere il mantenimento nel tempo di tale copertura, che necessariamente verrà sottoposta all'azione dei fenomeni fisici che governano il sistema e in particolare all'azione distruttiva delle mareggiate. Il monitoraggio effettuato ha messo in evidenza l'alternarsi nel corso dell'anno di momenti favorevoli (periodo primaverile-estivo) in cui la copertura vegetale è in crescita e i fenomeni meteo-marini distruttivi sono in attenuazione, e di momenti sfavorevoli (tardo autunno-inverno) in cui la copertura vegetale è in contrazione per effetto della stasi vegetativa, combinata con i fenomeni distruttivi meteo marini che sono invece in intensificazione. Se in questo alternarsi ciclico di momenti favorevoli e sfavorevoli, il bilancio complessivo tra incrementi e perdite si manterrà positivo per la copertura vegetale, questa potrà allora esercitare effettivamente la sua funzione edificatrice e conservatrice della duna. Al raggiungimento di questo equilibrio contribuiscono in maniera determinante la morfologia del sito, la distribuzione delle quote rispetto al livello del mare, la profondità della spiaggia antistante. La valutazione di questi aspetti e la loro considerazione, in fase di progettazione di interventi di ricostruzione di sistemi dunosi, sono più difficilmente affrontabili di quelli riguardanti la sola realizzazione della copertura vegetale, ma non possono essere ignorati ai fini di una buona riuscita dell'intervento nel suo complesso. Al riguardo è senza dubbio utile considerare come modelli di riferimento le geometrie e la geomorfologia di sistemi dunosi naturali, attivi e ben strutturati, presenti in aree abbastanza vicine a quella dove verranno effettuati interventi. L'assetto di tali sistemi e i parametri morfologici che li caratterizzano, dovrebbe infatti rappresentare il risultato di un equilibrio dinamico raggiunto tra i diversi fattori fisici in gioco a media scala territoriale.

Protocollo per la realizzazione della copertura vegetale di sistemi dunosi costieri

Qui di seguito si riporta il protocollo per la realizzazione della copertura vegetale di sistemi dunosi costieri, messo a punto attraverso l'esperienza effettuata presso il sito di Foce Bevano. L'impianto di specie in grado di intercettare e trattenere la sabbia è una delle possibili opzioni utilizzabili per la gestione e il restauro di sistemi dunosi costieri (Woodhouse et al., 1977; Coastal Engineering Research Center, 1984; Mauriello, 1989; Mendelssohn et al., 1991; Miller et al., 2001; Gómez-Pina et al., 2002). Si tratta di un tipo di intervento ritenuto di basso costo, potenzialmente auto-sostenibile, che non altera in maniera sostanziale l'aspetto del paesaggio costiero ed è applicabile anche nel caso di ripascimenti (Scottish Natural Heritage, 2009). Per tutti questi motivi si accorda bene con le più recenti tendenze, di tipo "soft", riguardanti la gestione e conservazione delle coste. Rispetto ad altre esperienze analoghe, il protocollo qui presentato è applicabile a tutte quelle situazioni che hanno condizioni bioclimatiche analoghe a quelle della costa romagnola. Con opportune variazioni sui momenti stagionali più appropriati per la raccolta, propagazione, impianto *in situ*, può essere applicato a tutti quegli ambiti territoriali in cui si trovano spontaneamente presenti le specie utilizzate. La sua applicazione consente di ottenere in tempi rapidi una copertura vegetale in grado di intercettare ed accumulare sabbia. Si utilizza infatti materiale vegetale, precedentemente propagato in vivaio, che ha già superato i primi e più delicati momenti dello sviluppo e che comunque non viene sottoposto a stress come nel caso di un trapianto diretto dal sito di raccolta al sito di

piantumazione (Cecconi e Nascimbeni, 1997). Il protocollo è particolarmente dettagliato riguardo alla scelta, raccolta, propagazione, impianto delle specie. Tutti questi aspetti, non trattati con altrettanti approfondimenti nel caso di altre esperienze, sono invece determinanti per assicurare un buon risultato nell'attecchimento e successivo sviluppo negli anni del materiale vegetale. Il protocollo non approfondisce valutazioni di tipo geomorfologico, che pure sono da considerare in fase di progettazione di qualunque intervento di realizzazione/restauro della copertura vegetale di dune costiere. A questo riguardo si sottolinea fortemente l'importanza di tali valutazioni, che dovrebbero essere oggetto di indagini specifiche per ogni sito di intervento.

1 - La scelta delle specie. Le specie che nei sistemi dunosi naturali determinano con particolare evidenza fissazione e accumulo di sabbia sono *Ammophila littoralis* (Beauv.) Rothm., in primo luogo, per la duna mobile e, secondariamente, *Agropyron junceum* (L.) Beauv per la duna embrionale. *Ammophila littoralis* raggiunge dimensioni davvero significative grazie alla spiccata capacità di produrre nuovi e vigorosi getti vegetativi dall'ampio sistema di rizomi che si sviluppa sotto la sabbia. I cespi sono particolarmente densi e la parte aerea mantiene la capacità di intercettare sabbia per tutto il corso dell'anno, non verificandosi decrementi della massa fogliare legati alla stagionalità. Il sistema di rizomi e radici avventizie sotterranee contribuisce a stabilizzare in profondità il sedimento sabbioso catturato dalla parte subaerea. *A. junceum*, pur essendo una rizomatosa perenne come *A. littoralis*, ha una minore capacità di produzione di nuovi getti; i cespi che esso forma sono molto meno densi, oltre che di minor altezza; la specie è inoltre caratterizzata da un periodo di riposo vegetativo estivo, in cui la massa fogliare e il volume dei cespi si riducono notevolmente, con conseguente netta diminuzione della capacità di intercettare e accumulare sabbia. La maggior velocità di crescita di *Ammophila littoralis*, unita ad altre caratteristiche favorevoli allo sviluppo di una importante massa vegetale, la rendono nettamente preferibile ad *A. junceum* in tutti quei casi in cui si vuole privilegiare un accrescimento il più rapido possibile del sistema dunoso restaurato/ricostruito. E' da tenere però presente che, essendo *A. littoralis* propria di quella parte della duna attiva, situata a maggior distanza dal mare, oltre il limite di risalita dell'onda e solo occasionalmente raggiunta dalle mareggiate di più forte intensità, il suo utilizzo deve essere strettamente subordinato alla presenza di una spiaggia sufficientemente profonda. Nel caso della costa romagnola, e in particolare nel tratto in prossimità della foce del Bevano, le condizioni idonee all'affermarsi di *A. littoralis* si realizzano intorno a 40-45 m dalla linea di riva. Tale indicazione non ha tuttavia valore assoluto e va di volta in volta verificata in funzione delle caratteristiche del moto ondoso e della morfologia della spiaggia del sito dove si effettuerà l'intervento. Se in prossimità di questo esistono sistemi dunosi attivi ben conservati, si può utilizzare la geometria di tali sistemi come utile riferimento operativo.

Nella realizzazione di un intervento di costruzione/restauro della copertura vegetale di sistemi dunosi può essere inizialmente privilegiata la funzione di cattura e trattenimento della sabbia tramite l'impianto di specie come *A. littoralis* e *A. junceum*, provvedendo successivamente, anche dopo qualche anno, all'inserimento di altre specie per incrementare il livello di biodiversità del sistema. Se l'intervento di costruzione/restauro viene effettuato in un sito dove nelle immediate vicinanze sono presenti sistemi dunosi già vegetati, si può pensare che in un arco di tempo di 7-10 anni la biodiversità dell'area di intervento tenderà ad aumentare a seguito dell'arrivo di semi e/o propaguli vegetativi di altre specie psammofile presenti nelle aree vicine. In questo contesto va inoltre prestata particolare attenzione a specie di origine esotica che vengono coltivate a scopo ornamentale nei giardini di abitazioni ubicate in prossimità delle spiagge o negli stabilimenti balneari. Molte di queste sono in grado di insediarsi anche in ecosistemi naturali e di propagarsi con rapidità, sottraendo spazio alle specie autoctone, più efficaci nella funzione di intercettazione della sabbia e di consolidamento della duna. A prevenzione della loro diffusione negli ambienti dunosi, ne andrebbe vietata la coltivazione nelle aree limitrofe.

2 - Provenienza del materiale vegetale utilizzato, tempi e modalità di raccolta - Il materiale da utilizzare per la piantumazione dovrà essere rigorosamente di provenienza locale, da siti dello stesso ambito bioclimatico, dove siano presenti popolamenti spontanei delle specie che si intende utilizzare. Con riferimento alle specie *A. littoralis* e *A. junceum*, che vengono qui proposte come specie chiave per gli interventi di restauro, la raccolta del

materiale riguarderà parti vegetative della pianta, quali segmenti dei rizomi sotterranei con le rispettive foglie e radici. Per non danneggiare la consistenza dei popolamenti naturali in cui vengono effettuate le raccolte, è necessario raccogliere una quantità limitata di materiale e prevedere una fase di propagazione vegetativa in vivaio che consenta di incrementare il materiale vegetale disponibile da utilizzare nell'intervento. La raccolta in natura va effettuata intorno alla fine di febbraio-inizio marzo, poco prima della ripresa dell'attività vegetativa. Si effettueranno prelievi limitati su uno stesso sito, raccogliendo comunque il materiale da più piante madri, ben distanziate tra loro. Si effettueranno inoltre raccolte in più siti. Questo consente di disporre di materiale diversificato dal punto di vista genetico e nello stesso tempo di disporre con buoni quantitativi, senza effetti negativi sulla consistenza delle popolazioni da cui viene effettuato il prelievo.

La raccolta di materiale vegetativo effettuata in natura in febbraio-marzo consente di avere pronte per il mese di ottobre le piante da piantumare e, ad un anno dalla raccolta, di aver già le piante *in situ*, pronte per una prima stagione di crescita. Alla fine della prima stagione vegetativa, dopo 8-9 mesi dalla piantumazione, si può già raggiungere un discreto sviluppo della copertura vegetale, che comincia a determinare accumulo di sabbia. La quantità di materiale vegetale raccolto va commisurata in funzione delle dimensioni dell'area su cui si interverrà e del tipo di intervento (costituzione ex novo di una copertura vegetale, integrazione di una copertura vegetale già esistente). Per *A. junceum* e *A. littoralis* si può comunque far conto di riuscire ad ottenere alla fine della procedura di propagazione e dopo una stagione di crescita, circa 2.5 volte il numero di cespi raccolti.

3 - *Propagazione e coltivazione in vivaio* - *A. junceum* e *A. littoralis*, hanno strategie di crescita e di occupazione dello spazio che si prestano ad essere facilmente sfruttate per ottenere in tempi abbastanza rapidi materiale vegetale attraverso propagazione vegetativa. Entrambe sono specie perenni, caratterizzate da un sistema di rizomi sotterranei, articolati in nodi ed internodi; i rizomi si allungano nella sabbia e dalle gemme portate in corrispondenza dei nuovi nodi formati dai rizomi, si sviluppano nuove foglie e nuove radici. Ne consegue un incremento delle dimensioni della pianta e un progressivo allargamento dello spazio aereo e sotterraneo da essa colonizzato. Per la propagazione vegetativa delle due specie in vivaio, si possono quindi utilizzare segmenti dei rizomi sotterranei su cui siano presenti una o più gemme, che, staccati dalla pianta madre, verranno posti in vasi (si consigliano vasi di 18-20 cm di diametro) contenenti 2/3 di sabbia e 1/3 di terra di campo. Il distacco fisico dalla pianta madre ha un effetto stimolante sull'attivazione delle gemme poste sui segmenti di rizoma; da ciascuna di queste gemme originerà un nuovo cespo con foglie e radici. Ugualmente si possono utilizzare i cespi con foglie, cui originariamente erano collegati i rizomi di cui sopra. Anche nel cespo esistono nuclei di tessuto meristematico che determinano l'accrescimento, la formazione di nuovi ricacci con foglie e radici, oltre che nuovi rizomi. I segmenti di rizoma e i cespi producono innanzitutto nuove radici che, a un mese dalle operazioni di propagazione, raggiungono un significativo sviluppo. Successivamente si ha la produzione di nuove foglie e accrescimento anche della parte subaerea.

A. junceum e *A. littoralis* si riproducono anche per seme. I semi vengono prodotti con abbondanza all'inizio dell'estate, all'incirca nella prima metà di luglio, e possono anch'essi essere raccolti da popolamenti spontanei delle due specie seguendo le precauzioni già indicate per la raccolta del materiale vegetativo, in modo da avere materiale diversificato dal punto di vista genetico. Tuttavia la riproduzione da seme richiede circa 12 mesi in più per ottenere piante di dimensioni paragonabili a quelle che si possono ottenere a seguito di propagazione vegetativa. Considerati i tempi più lunghi e quindi anche le maggiori cure necessarie per la più lunga permanenza in vivaio, tale via non risulta particolarmente conveniente.

4 - *Piantumazione: epoca, aspetti logistici, modalità* - Le operazioni di piantumazione vanno eseguite nella seconda metà del mese di ottobre e anche fino ai primi di novembre, quando in natura le temperature sono ancora miti, nettamente al di sopra dello zero, ma non vi sono più momenti di carenza idrica. Collocando le operazioni di piantumazione in questo periodo dell'anno, si dà modo alle piante allevate in vaso e mantenute in vivaio per tutto il periodo estivo, di riattivare in settembre la crescita vegetativa radicale e fogliare finché sono ancora in

condizioni controllate per quanto riguarda l'irrigazione. Ai fini di una buona riuscita dell'impianto è infatti necessario che le piante utilizzate sino tutte in ottime condizioni e non abbiano subito stress idrici e/o nutrizionali. Per quanto riguarda gli aspetti logistici legati alla realizzazione dell'impianto, è quanto mai necessario che l'area dove si interverrà sia raggiungibile con mezzi di trasporto comuni o che l'ultimo tratto prima di arrivare al luogo dell'impianto sia percorribile con un trattore o altro mezzo in grado di avanzare su terreno sabbioso. Il posizionamento delle piante va effettuato scavando nella sabbia buche di 30-40 cm di profondità, all'interno di ciascuna delle quali verrà posizionato il contenuto di un vaso, avendo cura di mantenere il più intatto possibile il pane di terra con le radici e di rincalzare bene la sabbia intorno a queste. Se possibile, si consiglia di effettuare un'irrigazione artificiale subito dopo la messa a dimora.

In funzione del materiale vegetale disponibile e del tipo di intervento, si possono adottare differenti densità di impianto. Nell'esperienza fatta a Foce Bevano, dove si interveniva su una superficie totalmente priva di copertura vegetale, si è utilizzata una densità di circa 4 cespi/m², che ha dato buoni risultati in termini di copertura già ad un anno dall'impianto. Nelle medesime condizioni si sarebbe potuta adottare anche una densità di 5-6 cespi/m². In interventi dove si trattasse di incrementare una copertura vegetale già esistente, si adotteranno, ovviamente, densità inferiori, anche variabili da tratto a tratto dell'intervento, in funzione delle specifiche condizioni. Nell'ipotesi di totale assenza di copertura vegetale e di utilizzo di *A. littoralis* congiuntamente con *A. junceum* in rapporto 2/3-1/3 come consigliato in questo protocollo, valori di densità di 4-5 cespi/m² danno ottima certezza di ottenere una copertura superiore a quella ottenuta nella sperimentazione di Foce Bevano, dove si è lavorato con un rapporto *A. littoralis*-*A. junceum* di 1:1. Considerate le capacità di accrescimento delle specie utilizzate, densità superiori a quelle indicate risulterebbero eccessive. Queste valutazioni derivano anche dal fatto che la procedura adottata nella sperimentazione di Foce Bevano ha assicurato la sopravvivenza di tutte le piante fino alla primavera successiva e perdite del tutto trascurabili alla fine dell'estate del medesimo anno. Del resto, anche in esperienze precedenti, in cui si sono adottate diverse densità di impianto, si è poi giunti a concludere che, relativamente ad *A. littoralis* una densità di 4 cespi/m² sia preferibile rispetto a densità superiori (9 cespi/m²), perché la prima faciliterebbe la colonizzazione spontanea da parte di altre specie psammofile, incrementando la biodiversità del sito (Cecconi e Nascimbeni, 1997; Nascimbeni, 1998).

Riguardo infine alla distribuzione spaziale delle piante che vengono piantumate, nel caso di realizzazione di una copertura vegetale su un sito che ne è totalmente privo, si possono adottare disposizioni regolari per file, parallele alla linea di riva, ma dove i cespi si alternano di posizione tra file adiacenti. Questo è lo schema che è stato adottato a Foce Bevano (Fig. 1), dove la scelta di uno schema di impianto regolare è stata in parte obbligata anche dalla presenza di una barriera frangivento, a moduli 6 m x 2 m preesistente al progetto di piantumazione di specie vegetali. L'effetto che ne è risultato in termini visivi è forse di eccessiva regolarità e artificiosità, particolarmente evidente nei primi anni dall'impianto, ma tendente ad attenuarsi nel corso del tempo per via di differenze nella crescita, o per la perdita di alcuni cespi. In compenso, in fase di messa a dimora delle piante uno schema regolare è più facilmente realizzabile e si presta meno a dar luogo ad errori da parte degli esecutori del lavoro. Altri casi relativamente recenti di realizzazione di una copertura vegetale su sabbia apportata con ripascimenti (Lido del Cavallino, Venezia (Cecconi e Nascimbeni, 1997; Cecconi e Ardone, 1998)), o su sistemi di dune sabbiose costiere degradate (Scottish Natural Heritage) hanno adottato schemi di impianto ripetitivi e regolari.

5 - Protezione dal calpestio - Per una buona riuscita dell'intervento e per far sì che la copertura vegetale possa crescere e svilupparsi senza subire danneggiamenti da calpestio e da frequentazione antropica impropria, è d'obbligo proteggere l'area piantumata con una recinzione, indirizzando gli accessi alla spiaggia su percorsi stabiliti che interrompano il meno possibile la continuità del sistema dunoso. Si ricorda a questo proposito che una continuità di almeno 300 m di lunghezza del sistema dunoso è uno dei parametri che contribuisce a mantenere ad un livello medio la vulnerabilità rispetto all'erosione dei sistemi costieri (Calabrese et al., 2010). Oltre agli accessi obbligati su corridoi opportunamente distanziati, si può meglio ovviare all'interruzione della continuità della duna con la costruzione di passerelle di legno che fungono da sovrappasso rispetto alla duna stessa.

6 - *Monitoraggio* - Nel progettare un intervento di costruzione/restauro della copertura vegetale di sistemi dunosi, è quanto mai opportuno prevedere anche le risorse finanziarie per il monitoraggio dell'intervento. Questo aspetto è in genere trascurato, anche se di notevole importanza. Saranno oggetto del monitoraggio lo sviluppo della vegetazione, l'evoluzione geomorfologica del sito, gli eventi di mareggiata, il regime dei venti per un periodo di tempo significativo (almeno 3-5 anni). Scopo del monitoraggio è di verificare a posteriori la risposta della copertura vegetale e della sedimentazione di sabbia nella zona vegetata, di correlare tali risposte agli eventi fisici che con esse interagiscono, di intervenire prontamente con azioni di ripristino localizzate, qualora dovessero verificarsi delle parziali distruzioni del sistema, di incrementare le conoscenze sul funzionamento di processi naturali allo scopo di poterli prevedere e meglio dominare. Un investimento in monitoraggio degli interventi effettuati, può significare maggior efficienza e risparmio di costi in analoghi interventi futuri.

7 - *Costi* - A titolo di esempio si riporta qui una sintetica indicazione dei costi sostenuti per la realizzazione della piantumazione effettuata a Foce Bevano nell'ottobre 2006 (Tab. 3). I costi esposti coprono la raccolta del materiale vegetale in natura, la propagazione e coltivazione in vivaio, il trasporto del materiale vegetale sul luogo e l'esecuzione della piantumazione.

Tabella 3 - Costi sostenuti per la realizzazione della piantumazione nell'area monitorata.

Attività	Costo
Raccolta materiale vegetale in natura (6 uscite x 300 euro)	1800 euro
Propagazione e coltivazione in vivaio (irrigazioni, concimazioni, allestimento ombreggiatura) di 1200 cespi di <i>A. littoralis</i> e di 2400 cespi di <i>A. junceum</i>	6000 euro
Trasporto <i>in situ</i> del materiale vegetale e relativa piantumazione (manodopera, irrigazione post-impianto, utilizzo trattore)	3700 euro
Totale	11500 euro
Totale/m ² vegetato	15,3 euro

Ringraziamenti

La realizzazione della copertura vegetale sulla duna di Foce Bevano è stata finanziata dal progetto Beachmed-e INTERREG IIIC - Sottoprogetto Posidune (2006/2008), condotto dal Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica della Regione Emilia-Romagna. L'Azienda Agraria dell'Università di Bologna (AUB) e il Corpo Forestale dello Stato, ufficio Territoriale per la Biodiversità di Punta Marina (RA) hanno contribuito per la coltivazione delle piante in vivaio e per l'esecuzione dell'impianto.

La Regione Emilia-Romagna, Direzione Generale Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa ha finanziato il monitoraggio 2008/09 dell'area vegetata, nell'ambito di una convenzione con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali dell'Università di Bologna.

Bibliografia

- Armaroli C, Ciavola P., Perini L., Luciani L. (2007) - *Morfologia delle spiagge ravennati e vulnerabilità per fenomeni di inondazione*. In: Ferrucci E.M. (ed.), Ambiente e Territorio, n.127, pp. 363-389, Maggioli Editore.
- Bondesan M., Calderoni G., Dal Cin R. (1978) - *Il litorale delle province di Ferrara e Ravenna (Alto Adriatico). Evoluzione morfologica e distribuzione dei sedimenti*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 97: 247-287.
- Borghi G. (1938) - *Le spiagge romagnole da Cervia a Punta Gabicce*. In: Vicentini M. (ed.), Le spiagge Padane, C.N.R., Roma. pp. 73.
- Calabrese L., Lorito S., Perini L. (2010) - *Vulnerabilità all'erosione della costa ferrarese*. In: Perini L. e Calabrese L. (eds.) - Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Pendragon, Bologna, pp. 211-223.

- Caniglia G. (2006) - *Stato attuale dei litorali del Veneto*. Informatore Botanico Italiano, Atti del Convegno Conservazione e recupero degli habitat costieri, Ancona, 19-20 maggio 2005.
- Caniglia G., Bonello L. (2002) - *Potere aggregante di *Ammophila littoralis* nella ricomposizione dei litorali veneziani*. Atti del 97° Congresso della Società Botanica Italiana, Lecce, pag.86.
- Cecconi G., Ardone V. (1998) - *La progettazione dei litorali con ripascimento delle spiagge: l'esperienza dei litorali di Cavallino e Pellestrina*. Atti del 10° Seminario IAED - La progettazione ambientale nei sistemi costieri, 12: 11-31.
- Cecconi G., Nascimbeni P. (1997) - *Ricostruzione e naturalizzazione delle dune artificiali sul litorale di Cavallino*. Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova, 2: 45-61.
- Cencini C., 1980 - *L'evoluzione delle dune del litorale romagnolo nell'ultimo secolo*. Rassegna Economica, Camera di Commercio, Forlì: 6-7.
- Cencini A., Cucoli L., Fabbri P., Montanari F., Semboloni F., Torresani S., Varani L. (1979) - *Le spiagge di Romagna: uno spazio da proteggere*. Bologna, Programma Finalizzato Conservazione del Suolo - Sottoprogetto Dinamica dei Litorali, CNR.
- Ciavola P., Billi P., Armaroli C., Preciso E., Salemi E., Balouin Y. (2005) - *Valutazione della morfodinamica di foce del Torrente Bevano (RA): il ruolo del trasporto solido di fondo*. Geologia Tecnica ed Ambientale, 1/2005: 41-57.
- Coastal Engineering Research Center (CERC) (1984) - *Shore protection manual*. Ft. Belvoir, VA: US Army Corps of Engineers.
- European Environment Agency (2005) - *The European environment. State and outlook 2005*. Copenhagen.
- European Environment Agency (2006) - *The changing faces of Europe's coastal areas*. Copenhagen.
- Gardelli M., Caleffi S., Ciavola P. (2007) - *Evoluzione morfodinamica della foce del torrente Bevano*. Studi Costieri, 13: 55-76.
- Gómez-Pina G., Muñoz-Pérez J.J., Ramírez J.L., Ley C. (2002) - *Sand dune management problems and techniques, Spain*. Journal of Coastal Research, SI36:325-332.
- Mauriello M.N. (1989) - *Dune maintenance and enhancement: a New Jersey example*. In: Magoon O.T., Converse H., Miner D., Tobin L.T., Clark D. (eds.), Coastal zone. New York, American Society of Civil Engineers, pp. 1023-37.
- Mendelssohn I.A., Hester M.W., Monteferrante F.J., Talbot F. (1991) - *Experimental dune building and vegetative stabilization in a sand-deficient barrier island setting on the Louisiana coast, USA*. Journal of Coastal Research, 7:137-149.
- Miller D.L., Thetford M., Yager L. (2001) - *Evaluation of sand fence and vegetation for dune building following overwash by Hurricane Opal on Santa Rosa Island, Florida*. Journal of Coastal Research, 17: 936-948.
- Nascimbeni P., 1998 - *Ricostruzione e naturalizzazione delle dune artificiali sul litorale di Cavallino*. Atti del 10° Seminario IAED - La progettazione ambientale nei sistemi costieri, 12: 32-41.
- Nordstrom K.F., Hartman J.M., Freestone A.L., Wong M., Jackson N.L. (2007) - *Changes in topography and vegetation near gaps in a protective foredune*. Ocean & Coastal Management, 50: 945-959.
- Perini L., Calabrese L. (eds.), (2010) - *Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Pendragon, Bologna.
- Preti M. (ed.) (2009) - *Stato del litorale emiliano-romagnolo all'anno 2007 e piano decennale di gestione*. I Quaderni di Arpa - Arpa Emilia-Romagna, Bologna, 271 pp.
- Scottish Natural Heritage (2009) - *A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems*. <http://www.snh.org.uk/publications/on-line/heritagemanagement/erosion/>
- SER (Society for Ecological Restoration), 2004 - *The SER Primer on Ecological Restoration, Version 2*. Society for Ecological Restoration - Science and Policy Working Group. <http://www.ser.org/reading-resources.asp>
- Simeoni U., Valpreda E., Schiavi C., Corbau C. (2006) - *Le dune costiere dell'Emilia-Romagna*. Studi Costieri, 11: 121-132.
- Woodhouse Jr. W.W., Seneca E.D., Broome S.W. (1977) - *Effect of species on dune grass growth*. International Journal of Biometeorology, 21:256-266.

Ricevuto il 01/04/2010, accettato il 21/1/2011.