



**ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE E TECNOLOGIE AGROAMBIENTALI**

e

**REGIONE EMILIA-ROMAGNA
SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO, DELLA COSTA E BONIFICA
DIREZIONE GENERALE AMBIENTE E DIFESA DEL SUOLO E DELLA COSTA**

per il

**MONITORAGGIO DELLO SVILUPPO DELLA VEGETAZIONE E DELL'ACCRESIMENTO
DELLA DUNA IN CORRISPONDENZA DELL'INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE
FUNZIONALE DEL TRATTO COSTIERO DI FOCE BEVANO**

Relazione finale

PARTE VII

**PROPOSTA DI PROTOCOLLO PER LA REALIZZAZIONE/RESTAURO
DELLA COPERTURA VEGETALE DI DUNE SABBIOSE COSTIERE**



**Responsabile scientifico: Prof. Maria SPERANZA (DiSTA)
Collaboratori: dott. Lucia FERRONI, dott. Giuseppe PRITONI (DiSTA)
Coordinamento: dott. Roberto MONTANARI - Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica -
Regione Emilia-Romagna**

29 Ottobre 2009

INDICE	pag
0. Premessa	3
1. Il modello di riferimento per i sistemi dunosi costieri dell'Alto Adriatico	4
2. La specie chiave da utilizzare negli interventi di costruzione/restauro di sistemi dunosi	6
3. Considerazioni sulla biodiversità	8
4. Provenienza del materiale vegetale utilizzato, tempi e modalità di raccolta	9
5. Propagazione e coltivazione in vivaio	10
6. Piantumazione: epoca, aspetti logistici, modalità	12
7. Protezione dal calpestio	14
8. Monitoraggio	15
9. Esempio costi	15
10. Letteratura citata	16

PROPOSTA DI PROTOCOLLO PER LA REALIZZAZIONE/RESTAURO DELLA COPERTURA VEGETALE DI DUNE SABBIOSE COSTIERE

0. Premessa

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 di aree dove sono in atto processi di 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, promuovendo, in questo secondo caso, la costruzione e/o il restauro di sistemi dunosi che possano dinamicamente integrarsi con il sistema spiaggia.

Sul litorale emiliano-romagnolo la riduzione dei sistemi dunosi costieri e delle comunità naturali ad essi collegate iniziò a cavallo tra il XIX e il XX secolo, a seguito delle opere di rimboschimento tese a salvaguardare il valore agricolo del territorio costiero (Cencini, 1980). Ma a partire dagli anni '50 del secolo scorso, l'uso intensivo degli arenili e delle zone retrostanti a scopo turistico-balneare è stato la maggior causa di contrazione dei sistemi dunosi costieri. Attualmente le aree dunose regionali si estendono su una superficie di 19 km², ma solo il 3% di tale superficie è occupata da dune attive, di cui circa un quarto è a rischio di erosione marina, visto il ridotto sviluppo della spiaggia antistante (< 20 m). La scarsa attenzione e l'uso inappropriato dei sistemi dunosi nelle aree a frequentazione turistica (calpestio, creazione di varchi per l'accesso alla spiaggia e per parcheggio), rappresentano altri elementi negativi che, da soli o sommati agli effetti dell'erosione marina, provocano un degrado del sistema. La copertura vegetale delle poche dune attive rimaste è spesso scarsa o quasi assente (Simeoni et al., 2009), comunque non tale da assicurare la funzioni di cattura e stabilizzazione dei sedimenti che è esercitata da una copertura vegetale non disturbata e adeguatamente sviluppata.

Nell'ambito del piano regionale decennale di gestione della costa, che prevede il ricorso ad interventi di ripascimento (Preti, 2009), risulta importante, laddove possibile, affiancare a tali interventi 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).

L'esperienza acquisita nel corso del progetto Beachmed-e sottoprogetto POSIDUNE (2006/2008) presso il sito pilota di Foce Bevano e nel corso del monitoraggio 2008/09, finanziato dal Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica della Regione Emilia-Romagna ed effettuato nel medesimo sito, consente di formalizzare alcune linee guida che rappresentano un primo protocollo operativo applicabile in ambito regionale per la ricostruzione e/o il restauro della copertura vegetale di sistemi dunosi. Va a questo riguardo evidenziato che:

- La ricostruzione/restauro di un sistema ecologico o di sue componenti avviene necessariamente con forti semplificazioni rispetto al riferimento naturale.

- Attraverso interventi di ricostruzione/restauro che, per quanto semplificativi, rispettino gli elementi chiave del funzionamento del sistema stesso è possibile avviare dinamiche utili al ripristino, anche in tempi brevi, di alcune delle funzioni del sistema, oltre che al raggiungimento in tempi più lunghi, di condizioni di maggiore naturalità.
- Adeguate procedure di ricostruzione/restauro rappresentano dunque uno strumento pienamente sostenibile per il recupero delle funzioni di ecosistemi distrutti e/o compromessi, oltre che per il miglioramento della qualità ambientale.
- L'avviarsi di dinamiche positive, anche in presenza di fattori di disturbo e in assenza di ulteriori input favorevoli, è di per sé indice della buona riuscita e della sostenibilità dell'intervento.

Le immagini di figura 1 esemplificano visivamente le considerazioni qui sopra enunciate.



Figura 1 – Il sito di Foce Bevano alla data del 24 maggio 2006 e del 27 maggio 2009. L'aspetto della copertura vegetale e lo sviluppo raggiunto sono indice della sostenibilità dell'intervento effettuato.

1. Il modello di riferimento per i sistemi dunosi costieri dell'Alto Adriatico

E' senz'altro opportuna una breve descrizione di come è strutturato, dal punto di vista geomorfologico e vegetazionale, un sistema dunoso costiero ben conservato, in quanto modello di riferimento per eventuali interventi di ricostruzione/ripristino di sistemi dunosi. Si fa qui riferimento a quella parte del sistema dunoso costituito da dune non fissate, che rappresentano la parte "viva" e dinamicamente attiva del sistema (figura 2).

Dal punto di vista geomorfologico, per valutare la vulnerabilità all'erosione della costa, si possono utilizzare parametri quali la quota della cresta e la continuità laterale della duna, l'ampiezza e la quota di chiusura della spiaggia libera emersa, la pendenza e la classificazione morfodinamica della spiaggia sommersa (Calabrese *et al.*, 2010). Ugualmente tali parametri e le corrispondenti classi di vulnerabilità dovrebbero essere presi in considerazione nella fase di progettazione di sistemi dunosi artificiali, o nella fase di restauro di sistemi dunosi naturali. Si cercherà di realizzare al meglio possibile rispetto ai vincoli esistenti, situazioni geomorfologicamente stabili o che possono tendere alla stabilità in tempi relativamente brevi in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del sito e degli interventi da effettuarsi sulla copertura vegetale. Considerati i vincoli esistenti e le dinamiche geomorfologiche in atto, si valuterà anche l'effettiva convenienza all'esecuzione degli interventi ipotizzati. A titolo esemplificativo, secondo Calabrese *et al.* (2010), in un sistema dunoso a vulnerabilità media la cresta della duna si trova ad una quota di 1.5-2.5 m, la continuità del sistema dunoso può essere inferiore a 300 m, la spiaggia antistante ha un'ampiezza di 40-70 m e una quota di chiusura a 1.0-1.5 m. La pendenza della spiaggia sommersa è di 0.7-0.8% e il dominio morfodinamico è mediamente dissipativo. Partendo da una situazione in cui la cresta della duna si trovi a quota intorno a 1.5 m o di poco inferiore e gli altri parametri soddisfino le condizioni per un livello di vulnerabilità media, un intervento di piantumazione può incrementare la stabilità del sistema se la copertura vegetale funzionerà in tempi brevi come trappola nei confronti della sabbia e porterà ad un incremento della quota della cresta della duna stessa. Condizioni in cui l'ampiezza della spiaggia risulti inferiore a 40 m sono invece da ritenersi critiche, con livelli di vulnerabilità variabili da alta (per 20-40 m di ampiezza) a molto alta

(> 20 m di ampiezza). Interventi di piantumazione, stante la breve distanza dalla linea di riva, risulterebbero frequentemente esposti ad eventi di mareggiata e non potrebbero neppure contare su un'adeguata alimentazione di sabbia asciutta trasportata dal vento, essendo molto ridotta o addirittura assente la parte di spiaggia non bagnata dalle onde che alimenta il trasporto di sabbia per via eolica. In situazioni di ridotto sviluppo della spiaggia, interventi di restauro di cordoni dunosi in erosione, se non accompagnati da altre misure che possano incrementare la profondità della spiaggia, non sono da prendere in considerazione.

Riguardo alla vegetazione, questa gioca un ruolo fondamentale nella genesi dei sistemi dunosi costieri, contribuendo alla sedimentazione della sabbia trasportata dal vento e alla sua fissazione. In un sistema dunoso naturale le sabbie vengono colonizzate da comunità di specie vegetali in grado di tollerare condizioni ambientali più o meno difficili e selettive in funzione della distanza dal mare e quindi dei fattori limitanti che agiscono sul sistema: aerosol marino, possibilità di sommersione da parte delle onde, salinità dell'acqua di falda. Dopo un tratto di spiaggia privo di vegetazione, ad almeno 15-20 m di distanza dalla linea di riva si forma una comunità pioniera a copertura fortemente discontinua (*Cakiletum*), composta esclusivamente da piante annuali tra cui predomina *Cakile maritima*. La presenza di specie annuali è indice assai significativo dell'elevato disturbo che caratterizza questo tipo di comunità, frequentemente sottoposta all'azione diretta delle onde. In posizione più arretrata e dunque in ambiente meno selettivo, si sviluppa la comunità dell'*Agropyretum* dominata dalla perenne *Agropyron junceum* (= *Elymus farctus*, = *Elytrigia juncea*). *A. junceum* fissa la sabbia con i suoi lunghi rizomi orizzontali e costituisce un ostacolo per il vento, ben maggiore di quanto non sia il rado *Cakiletum*; il livello della sabbia si innalza perciò a formare delle dune dette "embrionali". Ad ulteriore distanza *Ammophila littoralis* è la specie che predomina nella comunità vegetale dell'*Ammophiletum* e che maggiormente contribuisce all'edificazione della duna. Contro i suoi ampi e densi cespi, alti anche più di un metro, il vento di mare accumula continuamente nuova sabbia determinando la formazione di dune "mobili", che possono raggiungere alcuni metri di altezza (2-10 m e più). L'immagine di figura 2 mette chiaramente in evidenza anche un altro aspetto di interesse: aumentando la distanza dal mare la struttura (sviluppo verticale e stratificazione) della vegetazione diventa più articolata e complessa. L'ostacolo fornito dalla copertura vegetale e l'effetto trappola nei confronti della sabbia trasportata dal vento aumenta parimenti, determinando la tipica morfologia del versante della duna rivolto verso mare.



Figura 2 – Un esempio di sistema dunoso ben conservato a Casal Borsetti. La foto, scattata nel 2000, è di Nicola Merloni (Cervia).

2. Le specie chiave da utilizzare negli interventi di costruzione/restauro di sistemi dunosi

Da quanto precedentemente detto sulla vegetazione dei sistemi dunosi naturali ben conservati, le specie che con particolare evidenza determinano fissazione e accumulo di sabbia sono *Ammophila littoralis*, in primo luogo, e, secondariamente, *Agropyron junceum* (figura 3). Tali specie sono dunque quelle da utilizzare se il risultato che si intende perseguire come primo effetto di un'azione di costruzione/restauro di sistemi dunosi è quello di avviare/incrementare un significativo accumulo di sabbia.

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 (figura 4). 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.



Figura 3 – Evidente differenza di struttura e dimensioni tra *Agropyron junceum* e *Ammophila littoralis* a 20 mesi dalla piantumazione, presso il sito di Foce Bevano



Figura 4 – A sinistra, particolare di un cespo di *A. littoralis* e dello sviluppo di nuovi getti da rizomi sotterranei. A destra, l'articolato sistema sotterraneo di rizomi e radici avventizie di *A. littoralis*.

Agropyron junceum, in quanto specie propria della duna embrionale, quindi di una fascia vegetata più vicina alla linea di riva di quella della duna mobile dove predomina *A. littoralis*, tollera meglio gli effetti dell'aerosol

marino. In caso di mareggiate può tollerare anche una temporanea sommersione da parte dell'acqua di mare. Tuttavia, se la mareggiata determina la sedimentazione di abbondanti quantità di sabbia, tali da ricoprire completamente i cespi di agropiro, questo può rappresentare un problema per la sopravvivenza della pianta. *A. littoralis*, ha minori capacità di tollerare gli effetti continui dell'aerosol marino, ma temporanee sommersioni in acqua in occasioni di mareggiate, come l'interramento da parte di abbondanti quantità di sabbia non pregiudicano la sua sopravvivenza. La sommersione da parte della sabbia stimola piuttosto la formazione di nuove parti dell'apparato rizomatoso sotterraneo e di nuovi getti aerei, con un positivo effetto di ringiovanimento dell'intera pianta.

La maggior velocità di crescita di *Ammophila littoralis*, unita ad altre caratteristiche favorevoli allo sviluppo di una importante massa vegetale e, conseguentemente, la maggior efficienza di questa specie nella cattura e fissazione della sabbia, 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 (figura 5). E' da tenere però presente che, essendo questa specie propria di quella parte della vegetazione delle dune attive, situata a maggior distanza dal mare, il suo utilizzo deve essere strettamente subordinato alla presenza di una spiaggia sufficientemente profonda (almeno 40-45 m dalla linea di riva).

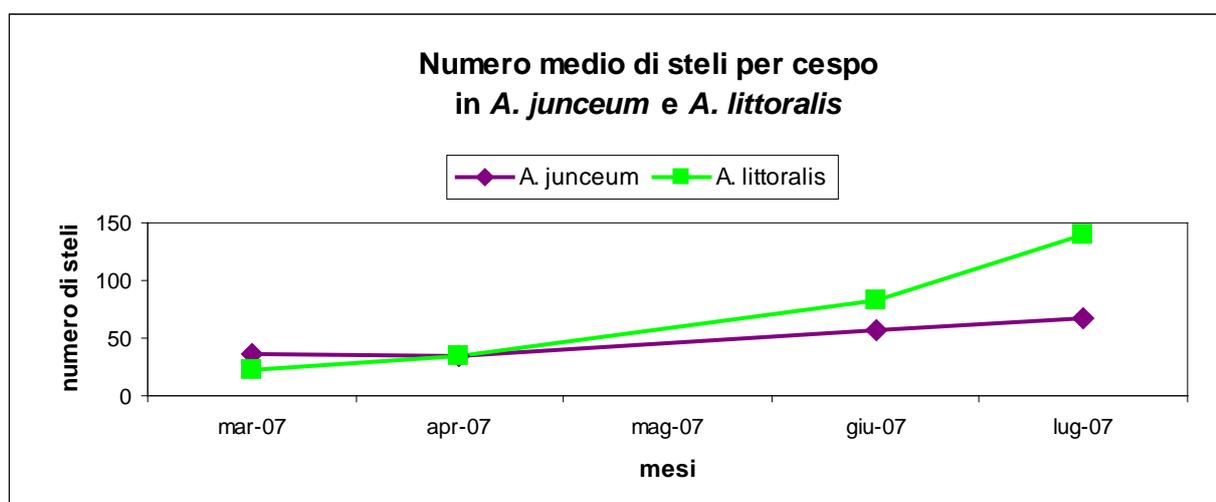


Figura 5 – Accrescimento di *Ammophila littoralis* e di *Agropyron junceum* attraverso la produzione di nuovi ricacci vegetativi. I dati riportati derivano da osservazioni eseguite sull'impianto di Foce Bevano nel corso del periodo primaverile-estivo 2007, prima stagione di attività vegetativa dopo la piantumazione effettuata nell'ottobre 2006.

Nonostante che *Agropyron junceum* sia per la sua struttura morfologica meno efficiente di *A. littoralis* nell'intercettazione della sabbia, l'impiego di questa specie è da ritenersi ugualmente utile per integrare piantumazioni di *Ammophila littoralis*, che finirebbero per avere un livello di biodiversità eccessivamente ridotto, qualora si utilizzasse la sola ammfila. In un impianto misto di *A. littoralis* e *A. junceum*, la proporzione tra le due specie può indicativamente essere di 2/3 di ammfila e di 1/3 di agropiro. Considerando le diverse dimensioni che le due specie possono raggiungere, al momento della piantumazione si avrà cura di distribuire i cespi di agropiro in posizione più esterna rispetto a quelli di ammfila, tenendo anche conto della direzione dei venti dominanti.

3. Considerazioni sulla biodiversità

Nei sistemi viventi, una buona biodiversità specifica favorisce il potenziamento delle relazioni di reciproca integrazione tra i diversi componenti del sistema, aumenta la complessità del sistema stesso, lo rende più stabile rispetto alle perturbazioni esterne e contribuisce ad avvicinarlo alla struttura funzionale di un sistema naturale.

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. Le osservazioni fatte al sito di Foce Bevano, dove una delle due estremità dell'area piantumata è adiacente ad un sistema dunoso naturale vegetato, indicano tuttavia che il processo di colonizzazione spontanea avviene con relativa lentezza. A più di tre anni dalla piantumazione, c'è stato un discreto ingresso di specie nuove, quali *Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Anthemis maritima*, *Medicago marina*, *Echinophora spinosa*, *Euphorbia paralias*; il numero di individui e l'estensione di superficie colonizzata da tali specie è però ancora molto limitato.

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. *Carpobrotus* spp. e *Yucca gloriosa* (figura 6), ad esempio, rientrano in questa categoria di specie. A prevenzione della loro diffusione negli ambienti dunosi, ne andrebbe vietata la coltivazione nelle aree limitrofe.



Figura 6 – *Carpobrotus acinaciformis* (a sinistra) e *Yucca gloriosa* (a destra)

4. Provenienza del materiale vegetale utilizzato, tempi e modalità di raccolta

Riguardo al reperimento del materiale da utilizzare per la piantumazione, questo dovrà essere rigorosamente di provenienza locale, da siti dove siano presenti popolamenti spontanei delle specie che si intende utilizzare. Tutti i siti della costa romagnola dove esistono sistemi dunosi con popolamenti vegetali naturali possono essere considerati idonei per la raccolta di materiale da impiegare in interventi di restauro effettuati in ambito regionale. Possono essere presi in considerazione anche siti delle vicine coste venete nell'area del delta del Po, considerato che si tratta di territori dello stesso ambito bioclimatico.



Figura 7 – Foce Bevano: sviluppo raggiunto dalla copertura vegetale dopo 8 mesi dall'impianto (foto a destra). L'impianto è stato realizzato il 26 ottobre 2006; la foto di sinistra è del 26 novembre 2006, la foto di destra è del 22 giugno 2007.

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. Vanno raccolti rizomi situati in corrispondenza della parte periferica e quindi più giovane dei cespi della pianta, dove è più facile siano localizzati nodi con tessuti meristematici pronti ad attivarsi e a produrre nuovi getti. Nell'effettuare la raccolta in natura 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 disporne 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 (figura 7) 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. Ovviamente è sempre opportuno mantenere un certo margine nelle valutazioni che si vanno a fare.

5. 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. *A. littoralis* è particolarmente vigorosa nell'accrescersi attraverso questa modalità (figura 8). *A. junceum* segue anch'esso questo schema di sviluppo, anche se con minore vigoria. 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 (figura 9). 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 (figura 10). 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'accostimento, 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.



Figura 8 – *Ammophila littoralis* (a sinistra) e *Agropyron junceum* (a destra) colonizzano lo spazio disponibile mediante la produzione di rizomi sotterranei e successiva formazione di cespi subaerei. Osservando la disposizione dei giovani cespi prodotti è possibile immaginare la disposizione dei rizomi sotterranei che collegano tra loro e alla pianta madre i vari cespi.

Tutto il materiale preparato per la propagazione può essere tenuto all'aperto (figura 11), curando soltanto il mantenimento di un'adeguata disponibilità di acqua. A partire da giugno e fino alla fine di agosto-prima metà di settembre è necessario proteggere le piante con un telo ombreggiante. Ad inizio estate, durante la coltivazione in vivaio si possono anche verificare fioriture, più facilmente in *A. junceum*. E' opportuno eliminare gli scapi fioriferi per indirizzare l'utilizzo dei metaboliti prodotti dalla pianta verso la formazione di parti vegetative, piuttosto che di fiori, semi e frutti. E' inoltre necessario provvedere di tanto in tanto ad operazioni di ripulitura di parti morte e di rimozione manuale di infestanti che si sviluppano nei vasi.

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.



Figura 9 – Il sistema rizomatoso sotterraneo di *A. junceum* (a sinistra) e *A. littoralis* (a destra).



Figura 10 – Cespi di *A. junceum* (a sinistra) e di *A. littoralis* (a destra) ottenuti per propagazione vegetativa da segmenti di rizoma provvisti di gemme, staccati dalla pianta madre.

6. 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.



Figura 11 – Il materiale allevato in vivaio e operazioni di ripulitura del medesimo.

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 (figura 12). 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 (figura 13).



Figura 12 – Trasporto del materiale vegetale sul sito dell'intervento.

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 (Ceconi & Nascimbeni, 1997; Nascimbeni 1998).



Figura 13 – Messa a dimora di un cespo di *A. junceum* e trasporto di acqua per una prima irrigazione subito dopo l'impianto.

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 (figura 7), 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.

Nel caso di integrazioni di copertura vegetale già esistente, nella maggior parte dei casi bisognerà adottare schemi di impianto più flessibili, che tengano conto della probabile necessità di inserire gruppi di piante qua e là in maniera irregolare. In casi di questo genere, dove si inseriscono piante in una copertura vegetale già esistente, di origine naturale, bisognerebbe cercare di rifarsi il più possibile al pattern naturale, fatte salve le esigenze di restaurare soprattutto le capacità di accumulo di sabbia del sistema.



Figura 14 - Immagine d'insieme (a sinistra) e dettaglio dello schema di piantumazione di *A. littoralis* (al centro) per l'intervento realizzato al Lido del Cavallino. A destra, schema di piantumazione di *A. littoralis* e di *Elymus arenarius* per la stabilizzazione di dune in Scozia.

Altri casi relativamente recenti di realizzazione di una copertura vegetale su sabbia apportata con ripascimenti (Lido del Cavallino, Venezia (Ceconi & Nascimbeni, 1997; Ceconi & Ardone, 1998)), o su sistemi di dune sabbiose costiere degradate (Scottish Natural Heritage) hanno adottato schemi di impianto ripetitivi e regolari (figura 14).

7. 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 (figura 15). 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 (figura 16).

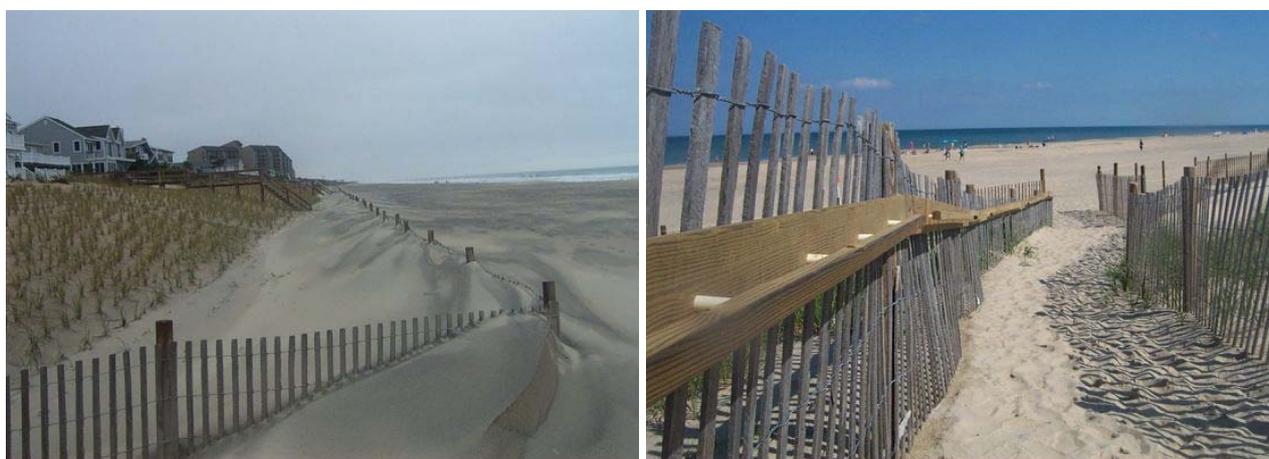


Figura 15 – A sinistra, esempio di recinzione a protezione di un impianto di *A. littoralis*. A destra, accesso alla spiaggia attraverso un percorso obbligato e recintato.



Figura 16 – A sinistra, frequentazione antropica impropria ed evidenti segni di riduzione della copertura vegetale a seguito di calpestio, in uno dei tratti più ampi della duna naturale compresa tra Lido di Dante e Foce Bevano. A destra, passerella in legno per eliminare gli effetti del calpestio nell'accesso alla spiaggia.

8. 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.

9. 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 su una superficie di 750 m². 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.

ATTIVITA'	COSTO
Raccolta materiale vegetale in natura (6 uscite x 300 euro)	1800,00 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>	6000,00 euro
Trasporto <i>in situ</i> del materiale vegetale e relativa piantumazione (manodopera, irrigazione post-impianto, utilizzo trattore)	3700,00 euro
Totale	11.500,00 euro
Totale/m ² vegetato	15,30 euro

10. Letteratura citata

- Calabrese L., Lorito S., Perini L., 2010 – Vulnerabilità all'erosione della costa ferrarese. In: Perini L. & Calabrese L. (eds.) – Il sistema mare-costa dell'Emilia-Romagna. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Pendragon, Bologna, pp. 211-223.
- 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, pp. 6-7.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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>
- Scottish Natural Heritage – A guide to managing coastal erosion in beach/dune systems. <http://www.snh.org.uk/publications/on-line/heritagemanagement/erosion/>
- Simeoni U., Corbau C., Brunelli V., 2009 – Lo stato attuale delle dune in Emilia-Romagna. In: Marasmi C. (ed.) – Foce Bevano: l'area naturale protetta e l'intervento di salvaguardia. Regione Emilia-Romagna, Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica, pag.14.