



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale
in Scienze Ambientali
Valutazione e Gestione dei Sistemi
Ambientali

Tesi di Laurea

**Ripristino degli ecosistemi
dunali con tecniche di
ingegneria naturalistica – il
caso di Vallevecchia**

Relatrice
Prof.ssa Gabriella Buffa

Correlatore
Dr. Edy Fantinato

Laureando
Enrico De Pellegrini
Matricola 851746

Anno Accademico
2018 / 2019

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag. 3
2. MATERIALI E METODI	pag. 8
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	pag. 8
2.2 INQUADRAMENTO STORICO	pag. 9
2.3 INQUADRAMENTO CLIMATICO	pag. 10
2.4 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	pag. 11
2.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	pag. 11
2.6 INQUADRAMENTO VEGETAZIONALE	pag. 12
2.7 GLI INTERVENTI DEL PROGETTO LIFE REDUNE	pag. 12
2.8 CAMPIONAMENTO E RACCOLTA DATI	pag. 15
2.9 ANALISI DEI DATI	pag. 16
3. RISULTATI	pag. 18
4. DISCUSSIONE	pag. 35
5. BIBLIOGRAFIA	pag. 38

1. INTRODUZIONE

Le dune costiere sono, a livello mondiale, tra gli ecosistemi più rilevanti dal punto di vista ecologico e paesaggistico (Salizzoni, 2010). Gli ecosistemi dunali sono definiti come ecosistemi di transizione, aree relativamente strette e dinamiche, costituite prevalentemente da depositi sabbiosi, collocate tra altri due grandi sistemi: marino e terrestre (Masselink & Hughes, 2003). Gli aggettivi stretta e dinamica identificano la sua conformazione e la sua predisposizione a subire cambiamenti causati da onde, maree, correnti e vento (Pallottini et al., 2010).

L'ampiezza e la morfologia delle dune costiere sono il risultato dell'interazione tra moto ondoso, vento, sedimento e organismi vegetali (Buffa et al., 2012). Questo coinvolge apporti e perdite di energia e materiale da un lato e cicli di feedback positivi e negativi dall'altra (Bird, 2008). Le dune costiere, infatti, sono il risultato di processi di accumulo, dovuti all'azione del vento, delle sabbie depositate lungo le coste dal moto ondoso. La morfologia degli ecosistemi sabbiosi costieri è strettamente condizionata da tre parametri fondamentali: l'energia del moto ondoso, il tipo e la quantità di sedimento a disposizione, e il vento e la sua intensità (Masina, 2012). All'azione dei parametri abiotici, si unisce poi quella della vegetazione che garantisce la crescita e il continuo sviluppo della duna (Ruggiero, 2018).

I sistemi costieri forniscono numerosi servizi ecosistemici. Rappresentano efficaci difese naturali contro la forza del mare, assorbendo la potenza delle onde. Costituiscono un “serbatoio dinamico” di sabbia, grazie all'azione delle piante in grado di intrappolare la sabbia e poi di restituirla alla spiaggia antistante. Le dune sono definite come l’“elemento sacrificale” dei sistemi costieri, in quanto, in caso di forti mareggiate vengono parzialmente distrutte, ma in questo modo preservano l’entroterra dal rischio di sommersione. Infine, grazie alla loro morfologia rilevata, contrastano il rischio di sommersione dell’entroterra e l’intrusione del cuneo salino (Pallottini & Cappucci, 2009).

La vegetazione psammofila, ovvero che cresce sulla sabbia, riveste un ruolo fondamentale nell’edificazione, stabilizzazione ed evoluzione geomorfologica dei sistemi dunali costieri. In base alla loro morfologia, le piante possono adottare tre tipi di strategie differenti, esistono infatti le specie (Antelmi, 2010):

- **stabilizzatrici:** caratterizzate da una crescita rapida, queste specie sono caratterizzate da un apparato sotterraneo che tende a svilupparsi per lo più orizzontalmente. In questo modo grandi porzioni di sabbia vengono stabilizzate in poco tempo. Le specie stabilizzatrici costituiscono l'impalcatura delle dune (ad es. *Elymus farctus* Viv.).
- **edificatrici:** queste specie contribuiscono alla formazione delle dune intrappolando la sabbia in movimento e fissandola. La parte epigea è in grado di trattenere la sabbia trasportata dal vento e questo porta alla formazione delle dune (ad es. *Ammophila arenaria* Husn.).
- **fissatrici:** specie che riducono il movimento della sabbia. Una volta che sono seppellite hanno la possibilità di attraversare lo strato di sabbia, il che contribuisce a stimolare lo sviluppo dei loro organi sotterranei rendendo la loro azione conservatrice molto più efficace (ad es. *Cakile maritima* Scop.).

Sul margine della spiaggia, la battigia, continuamente bagnato dalle onde, non si sviluppa alcun tipo di vegetazione, a causa della elevata salinità e delle frequenti sommersioni (zona afitoica). Le onde depositano sabbia, successivamente il vento provvede ad accumularla contro gli ostacoli come rami e tronchi depositati sulle spiagge da precedenti mareggiate in modo parallelo alla linea di costa (Rossetti, 2009). Una volta che la sabbia non viene più raggiunta dall'acqua marina, asciuga rapidamente e può essere trasportata dal vento verso l'entroterra (Masselink, 2003). Su questa prima frazione prende forma una comunità pioniera, composta esclusivamente da terofite, piante erbacee a ciclo annuale (prevalentemente *Cakile maritima*). Contro i fusti di queste piante il vento può determinare la formazione di piccoli accumuli di sabbia, che contribuiscono a rallentare la forza del vento. Procedendo verso l'entroterra, alla vegetazione pioniera dominata da terofite segue quella delle dune embrionali mobili dominata da specie perenni come *Elymus farctus*. *E. farctus* blocca la sabbia con i suoi lunghi rizomi orizzontali, formando le prime dune dirimpetto al mare, definite dune "embrionali" (Rossetti, 2009). Alla vegetazione dominata da *E. farctus* segue quella dominata da *Ammophila arenaria* Husn. *A. arenaria*, definita come la specie edificatrice delle dune, è caratterizzata da apparati radicali molto sviluppati. Possiede sia rizomi orizzontali che verticali, i primi hanno il compito di fornire stabilità alla pianta e produrre i nuovi germogli mentre gli altri si sviluppano in relazione alla quantità di sabbia accumulata attorno alla pianta. La forma e la dimensione che ne

derivano permettono alla duna di edificarsi e stabilizzarsi. Si crea così un rapporto equilibrato tra l'accrescimento della pianta e la quantità di sabbia che vi si è depositata (Buffa et al., 2007), che porta alla formazione delle cosiddette dune mobili. Grazie alla protezione fornita dai cespi di *Ammophila* la comunità si arricchisce di altre specie più sensibili allo stress e al disturbo ambientale. La duna a sua volta forma un ostacolo al vento proveniente dal mare che in maniera continua accumula nuova sabbia contro di essa. Progressivamente davanti alla prima duna se ne forma una seconda, portando alla formazione di cordoni dunali paralleli l'uno all'altro, formando così una zonazione costiera della vegetazione (Fig. 1; Biondi et. al., 2010). La presenza dei cordoni dunali contribuisce a smorzare la forza del vento provocando la selezione delle particelle di sabbia più leggere, la cui percentuale aumenta man mano che si procede verso l'interno (Converio, 2002).

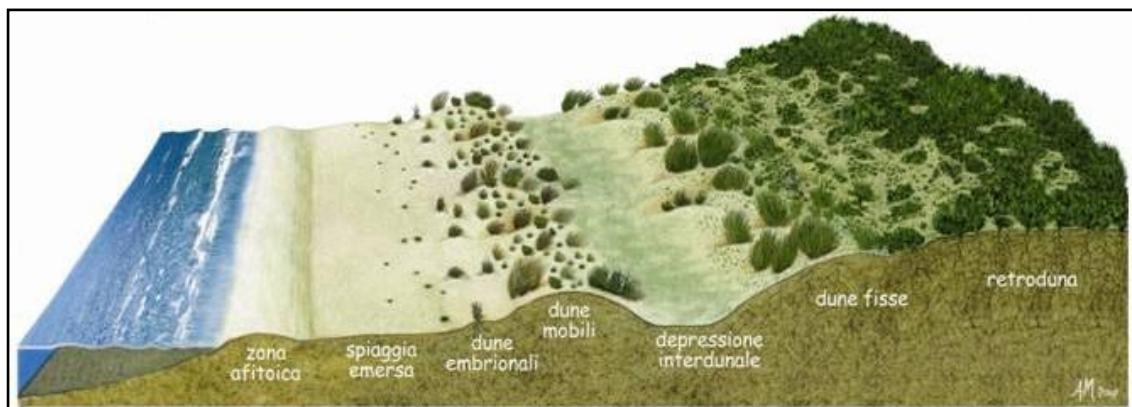


Figura 1: Profilo di spiaggia in assenza di fattori di disturbo. Fonte: <https://digilander.libero.it/gasbarrostefano/ambiente.html>

Segue alle dune mobili la fascia di depressione interdunale (Bezzi et al., 2008). Successivamente si trovano le dune fisse, punto del gradiente dove inizia la transizione all'ambiente continentale. Grazie alla protezione fornita dalle dune mobili, le condizioni ambientali diventano meno limitanti, consentendo lo sviluppo di comunità più complesse, il pool di specie cambia e comprende prevalentemente specie perenni, a carattere arbustivo e arboreo.

Le dune costiere sono, quindi, ecosistemi complessi in cui la vegetazione svolge un ruolo fondamentale nella stabilizzazione. La mancanza di vegetazione, causata da fenomeni di disturbo, innesca processi di erosione che impoveriscono ulteriormente la struttura e la funzionalità di questi ecosistemi (Simeone et. al., 2018). Questo problema

è emerso particolarmente durante il XX secolo, e negli ultimi decenni, gli ecosistemi dunali e la loro funzionalità sono stati fortemente compromessi da fattori di disturbo e pressione antropica (Masselink, 2003) quali urbanizzazione, costruzione di opere di difesa costiera, pulizia delle spiagge e calpestio incontrollato (Ruggiero, 2018). Il passaggio dei bagnanti lungo vie preferenziali e l'attraversamento delle dune con motoveicoli, provocano l'alterazione delle comunità vegetali, la compattazione del substrato sabbioso e la perturbazione degli equilibri che regolano la formazione delle dune costiere. Se prolungate nel tempo, queste forme di disturbo possono creare linee di erosione in cui il vento, erodendo i cordoni dunali lungo linee preferenziali a causa della riduzione della copertura vegetale, innesca la formazione di *blowout*, bacini di deflazione prodotti dalla rimozione delle particelle di sabbia ad opera del vento (Acosta & Ercole, 2015). Il vento incanalando aumenta la sua velocità e la sua forza erosiva, creando aree di erosione che si ingrandiscono con progressiva distruzione dei cordoni dunali e perdita di funzionalità.

La crescente compromissione dello stato di conservazione degli ecosistemi dunali ha imposto la pianificazione e l'implementazione di azioni di salvaguardia (Izzi et al., 2007). Data la crescente perdita di superficie degli ecosistemi dunali e il degrado delle aree naturali rimaste (Fantinato, 2019), interventi di riqualificazione e recupero rappresentano sempre più una strategia essenziale per la loro conservazione e il mantenimento dei servizi forniti.

Gli interventi di ripristino e riqualificazione comprendono pratiche volte a ristabilire un grado di conservazione soddisfacente degli ecosistemi disturbati da azioni antropiche (Vigliotti, 2005). Quindi, mediante un intervento di ripristino ecologico, si intraprende un processo che ha come scopo quello di favorire il parziale o totale recupero di un ecosistema che è stato degradato, danneggiato o distrutto (Galatowitsch, 2012). Lo scopo primario del ripristino ecologico è di riportare un habitat o un ecosistema in una condizione simile, in termini di struttura e funzioni ecologiche, a quella che esisteva prima che fosse disturbato o degradato, e in generale, ad uno stato di conservazione soddisfacente (Rossi et al., 2002).

Gli interventi di ripristino portano a tre tipi di vantaggi (Rossi et al., 2002): ambientale e sociale in quanto si ottiene la rigenerazione di un'area naturalistica che può portare ad un nuovo senso di consapevolezza ed educazione nei confronti del bene reso nuovamente disponibile alla popolazione; economico, in quanto permette un risparmio

per le società che non dovranno più farsi carico di pagare dei servizi che gli ecosistemi offrono spontaneamente.

Il presente lavoro di tesi si inserisce nell'ambito delle attività di ripristino del settore delle dune mobili previste all'interno del Progetto LIFE Redune (LIFE16 NAT/IT/000589 Restoration of dune habitats in Natura 2000 sites of the Veneto coast). L'azione di ripristino prevede la ricostruzione della continuità spaziale dei cordoni dunali, mediante la realizzazione di settori di dune mobili e l'impianto di nuclei di specie tipiche di dune embrionali e mobili per accelerare la formazione dei nuovi settori dunali e favorirne la stabilizzazione.

Specificamente, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è la valutazione dell'efficacia degli interventi di reintroduzione di specie vegetali al fine di ripristino ecologico dell'habitat dune mobili con presenza di *A. arenaria*.

2. MATERIALI E METODI

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il presente lavoro di tesi è stato svolto presso il sito di Vallevecchia (VE). Vallevecchia si colloca nel tratto centrale della costa veneta, tra le foci dei fiumi Livenza e Tagliamento, indicativamente tra gli abitati di Bibione e Caorle (comune a cui appartiene). Presenta una superficie di circa 900 ettari delimitati a sud dal Mar Adriatico, a nord dai canali Canadare e Cavanella, ad est dalla sacca lagunare di porto Baseleghe e dal canale dei Lovi mentre ad ovest dal bacino lagunare di Porto Falconera (Fig. 2; Brecciaroli, 2007). Il sito, compreso nel SIC IT3250033, costituisce un ambito geografico di elevata complessità ambientale. L'area presenta infatti la fisionomia di un ricco mosaico di situazioni diverse, in cui le tessere sono costituite habitat agroforestali, lagunari, palustri e di litorale sabbioso. Ciascuno di essi arricchisce significativamente la biodiversità dell'area (Rossetti, 2009). Vallevecchia risulta per gran parte coltivata, ma il tratto litoraneo è caratterizzato da un sistema dunale relativamente integro, lungo circa cinque chilometri (Antelmi, 2010).

L'area oggetto di studio, comprende nello specifico solo una porzione del sistema dunale di Vallevecchia, ovvero un tratto di spiaggia libera lungo 700 metri (Fig. 3).

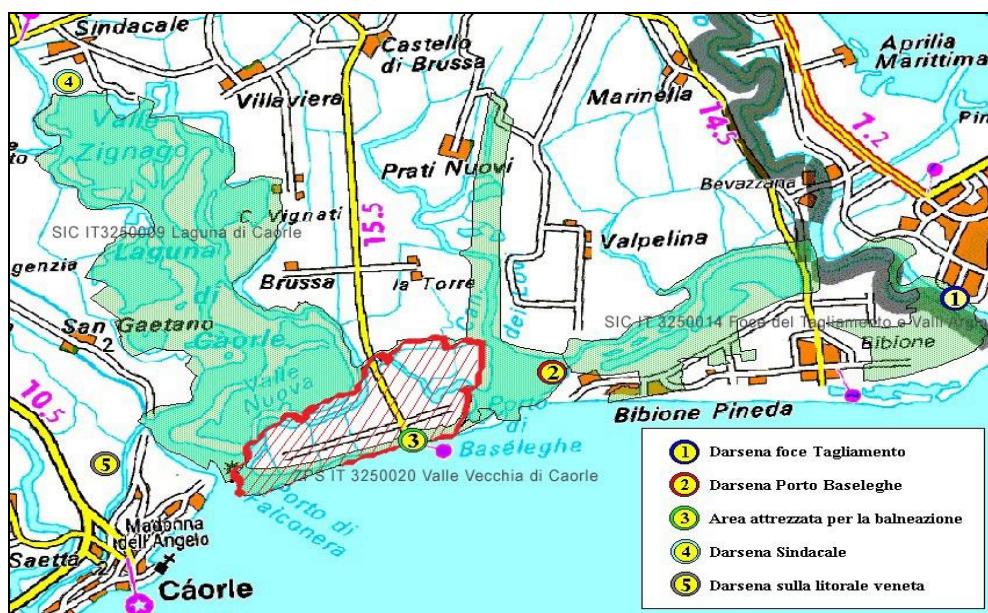


Figura 2: Inquadramento generale di Caorle. Evidenziato in rosso il sito di Vallevecchia

Fonte: <http://www.parcolagunare.it/> (ultimo accesso 15/11/2019)



Figura 3: Tratto di costa oggetto di studio

2.2 INQUADRAMENTO STORICO

Le coste venete sono contraddistinte dal susseguirsi di lagune e di piccoli delta fluviali avvicendati a loro volta da velme, isole sabbiose e limitati tratti di litorale, la cui formazione nella maggioranza dei casi è attribuita a recenti digressioni dei principali corsi d'acqua della pianura Padano-Veneta (Brambati, et al., 1978). La laguna di Caorle, più in particolare, ha origini oloceniche, dal momento che studi paleoecologici e litostratigrafici indicano che essa possa essersi originata nel periodo Boreale, fra 9.000 e 8.500 anni fa. La sua attuale fisionomia geomorfologica, tuttavia, è ancora più recente e si deve a dinamiche di deposizione legate all'avanzamento dei delta fluviali nel corso degli ultimi 2.000 anni (Rossetti, 2009). Questi sono stati interessati anche da una notevole subsidenza, circa 8 cm/secolo, nonché dalle modificazioni dei percorsi di alcuni fiumi principali (Antelmi, 2010). Proprio in questo periodo, probabilmente, si formò il sistema di lagune di Venezia, Caorle e Grado, per progressiva frammentazione della paleolaguna che ricopriva quasi ininterrottamente la superficie che va dalla foce del Po fino all'Isonzo. La laguna di Caorle rappresenta forse la parte più antica nel suddetto sistema lagunare (Brambati et al., 1978). L'ampia laguna primigenia venne

parzialmente prosciugata nel corso di imponenti attività di bonifica, avviate prima della Repubblica di Venezia, sospese in anni non particolarmente brillanti per l’Italia, come ad esempio durante i conflitti bellici, e successivamente proseguite quasi fino alla fine del secolo scorso (Pavanini, 1986). L’area di Vallevacchia così come la conosciamo oggi, costituisce una sintesi particolare delle trasformazioni messe in atto in ambiente litoraneo dall’uomo fino a qualche decennio fa (Gandolfi et al., 1978). A causa delle guerre e della povertà che ne è derivata, per la prima metà del Novecento, il territorio ha conservato una fisionomia ambientale ed ecologica molto simile a quella naturale, con limitati interventi di modifica. Dopo il 1960, è stata avviata una sequenza di trasformazioni tradizionali, relative al prosciugamento delle superfici palustri, all’organizzazione del paesaggio agrario, al dissodamento dei suoli ed allo sfruttamento dello stesso. Dalla bonifica è emersa una realtà nuova e diversa dalle altre che caratterizzavano il paesaggio circostante (Pavanini, 1986). Vallevacchia, priva di insediamento rurale, era infatti divenuta una singolare steppa cerealicola, adagiata ad una lunga spiaggia non urbanizzata e separata da questa da un complesso sistema di dune. Su queste, negli anni che precedettero il prosciugamento, era stata realizzata la prima grande trasformazione dell’ambiente, rappresentata dal rimboschimento di dune stabilizzate e di depressioni interdunali. La pineta è stata infatti realizzata in più interventi successivi a partire dai decenni compresi tra le due guerre. Essa ha mutato il paesaggio del litorale di Vallevacchia ma soprattutto ha modificato il microclima, il suolo e di conseguenza l’assetto della vegetazione relativa alle dune più interne (Rossetti, 2009).

2.3 INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il sito rientra nella regione costiera del litorale dell’Alto Adriatico, caratterizzata da temperature medie annue inferiori ai 13°C e da assenza di un periodo di aridità; la precipitazione annua è di circa 828 mm, con regime pluviometrico sub-equinoziale primaverile (Del Favero et al., 1989). L’area è fortemente influenzata dalla bora, che nel periodo invernale abbassa notevolmente i limiti termici, e dai venti di scirocco.

2.4 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Il comprensorio di Vallevecchia appartiene alla categoria di territorio ALO1 della carta dei suoli della provincia di Venezia. Comprende sistemi di dune rilevati della pianura litoranea sabbiosa attuale (cordone dunale), in ambienti naturali (pinete, boschi, spiagge). Il materiale parentale e il substrato sono costituiti da sabbie di cordone, da molto ad estremamente calcaree. Per quanto concerne le proprietà, sono suoli a bassa differenziazione del profilo, con orizzonte superficiale (A) molto sottile e a granulometria sabbiosa. Hanno profondità utile alle radici elevata, limitata da bassa ritenuta idrica, drenaggio interno rapido, permeabilità molto alta, capacità d'acqua disponibile bassa; la falda è da profonda a molto profonda.

L'orizzonte A ha uno spessore di 10 cm; colore bruno; tessitura sabbiosa; scheletro assente; da estremamente a molto calcareo; alcalino; saturazione molto alta; non salino; contenuto in carbonio organico moderato. L'orizzonte C invece si presenta a partire da 10 cm; colore bruno giallastro; tessitura sabbiosa; scheletro assente; da estremamente a fortemente calcareo; fortemente alcalino; saturazione molto alta; non salino; contenuto in carbonio organico molto basso.

La lavorabilità è facile, per resistenza meccanica scarsa e tempo d'attesa breve, la percorribilità è discreta e il rischio di sprofondamento moderato. Problemi nutrizionali derivano dall'alcalinità (forte in profondità), dalla salinità (leggermente salino in superficie) e dalla capacità di scambio cationico (molto bassa lungo tutto il profilo). (Vitturi, Giandon, 2008).

2.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La formazione e lo sviluppo del sito di Vallevecchia sono il risultato di azioni e fattori molto diversi tra loro, sia naturali e connessi ai fiumi Lemene, Livenza e Tagliamento, che antropici e conseguenti alle opere di bonifica ed urbanizzazione.

L'attuale assetto morfologico dell'area è intimamente connesso al regime idraulico di Porto Baseleghe, che risulta fortemente influenzato dagli apporti solidi e liquidi del fiume Tagliamento (Antelmi, 2010). Più internamente i terreni di bonifica sono contraddistinti da un piano campagna il cui valore è compreso tra 1.50 e 0.50 metri sul livello del mare (Del Favero et al., 1989). Infatti, le acque circostanti l'isola di

Vallevecchia, sono quelle dolci o a salinità molto bassa dei canali lagunari. La rete idrografica, che rientra nel comune di Caorle, fa parte del Bacino interregionale del fiume Lemene.

2.6 INQUADRAMENTO VEGETAZIONALE

La vegetazione naturale e seminaturale di Vallevecchia presenta un carattere propriamente forestale, dove la specie maggiormente presente è il pino domestico, specie non nativa, proveniente da introduzione antropica. Nell'entroterra invece la vegetazione è dominata dall'associazione *Asparago – Quercetum roboris*, tipico della Pianura Padana veneta e che costituisce il climax vegetazionale della zona. Come già introdotto nel capitolo 2.1, data l'elevata complessità ambientale del sito, la vegetazione risulta essere caratterizzata da un livello di biodiversità molto elevato.

La spiaggia emersa e le dune sono invece caratterizzate da un susseguirsi di comunità vegetali che dalla battigia, del tutto priva di vegetazione, si alternano sino a colonizzare le zone più stabili dell'entroterra (Antelmi, 2010). Seguendo questo gradiente, le prime specie che si incontrano sono *Salsola kali* L. e *Cakile maritima* Scop. che colonizzano le prime linee di deposito marino. In successione troviamo la presenza abbondante di *Elymus farctus*. Le dune cominciano a stabilizzarsi e ad accrescere in presenza delle specie *Echinophora spinosa* L. ed *Ammophila arenaria*. La totale copertura del suolo si raggiunge soltanto sulle dune più stabili (Rossetti, 2009).

Per quanto concerne l'ultima zona descritta, ovvero quella dunale, durante il progetto sono state individuate 12 specie: *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Eringium maritimum* L. ed *Echinophora spinosa* (specie target, vedi descrizione in Appendice) e *Ambrosia coronopifolia* DC., *Apocynum venetum* L., *Cakile maritima*, *Calystegia soldanella* L., *Cynodon dactylon* L., *Cyperus capitatus* Vand., *Salsola kali*, *Xantium italicum* Moretti.

2.7 GLI INTERVENTI DEL PROGETTO LIFE REDUNE

Il progetto LIFE Redune (LIFE16 NAT/IT/000589 “Restoration of dune habitats in Natura 2000 sites of the Veneto coast”) ha come obiettivo quello di ristabilire e mantenere l’integrità ecologica di habitat dunali, mediante l’utilizzo di un approccio

ecosistemico. Data l'importanza dei complessi di dune mobili nel garantire la protezione dell'entroterra, le prime fasi del progetto si sono concentrate nella ricostruzione della continuità spaziale dei cordoni dunali, mediante la realizzazione di settori di dune mobili, danneggiate da un utilizzo a scopo turistico non sostenibile.

La ricostruzione dei cordoni si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) ricostruzione della continuità spaziale dei cordoni dunali: questa è avvenuta utilizzando un approccio naturalistico a basso impatto e basso costo. Il materiale sabbioso è stato recuperato in loco ed il processo di formazione ed evoluzione delle dune è stato facilitato integrando materiale biologico spiaggiato in loco (residui legnosi e biomasse utili quali alghe e fanerogame marine). Gli spostamenti dei materiali e la realizzazione dei profili dunali sono stati effettuati tramite l'utilizzo di piccoli scavatori cingolati e la rimodellazione manuale dei profili.
- 2) Stabilizzazione del piede delle nuove dune: la stabilizzazione della superficie dunale è avvenuta tramite il posizionamento di tronchi spiaggiati predisposti parallelamente alla linea di costa; successivamente, alla base di questi, si è scavato un piccolo fossato dove sono state inserire le fascinate, ognuna di esse avente una lunghezza pari a 2 metri (Fig. 4).



Figura 4: Scavo del fossato e inserimento delle fascinate alla base della duna

Queste sono state realizzate mediante l'intreccio di rami di salice bianco e frassino, costituenti circa il 70%, mentre il restante era formato usando legno di pioppo. Ai lati delle fascine, ad una distanza di un metro dall'altra, sono state conficcate nel terreno delle palificate affinché il sistema fossa-fascina fosse ancora più stabile (Fig. 5).



Figura 5: Palificate atte a stabilizzare le fascine

Tutto il materiale legnoso è stato prelevato dal delta del fiume Dese, ad opera del consorzio di bonifica Acque Risorgive.

3) Impianto di nuclei di vegetazione propria degli habitat di dune embrionali e mobili allo scopo di accelerare la formazione dei nuovi settori dunali e favorirne la stabilizzazione. Tutte le piante introdotte sono state prodotte in vivaio (Vivaio di Veneto Agricoltura di Montecchio Precalcino (VI)), per via gamica ed agamica. Per aumentare la diversità specifica degli habitat e la copertura del suolo, oltre alle specie edificatrici (*E. farctus* ed *A. arenaria*) sono state utilizzate anche specie “accessorie” tipiche delle comunità di riferimento, quali ad esempio *Echinophora spinosa*, *Medicago marina* Willd, *Eringium maritimum*, *Euphorbia paralias* L., *Calystegia soldanella*. In totale, sono state inoculate oltre 1.000 piante. Il trapianto (Fig. 6) è avvenuto a metà novembre 2018.

Accanto alla ricostruzione fisica e funzionale dei cordoni dunali, il progetto prevede interventi diretti e indiretti a protezione delle dune, comprendendo anche le aree retrodunali e i passaggi tra queste e la spiaggia distrutti dal calpestio, degrado causato dal continuo passaggio dei turisti. Si tratta quindi di creare nuovi accessi alla spiaggia,

limitazioni e cartellonistica per sensibilizzare tutti coloro che godono dell'intero ecosistema.



Figura 6: Inoculo delle piante

2.8 CAMPIONAMENTO E RACCOLTA DATI

Dopo il trapianto degli individui vegetali, avvenuto nel novembre 2018, si è provveduto a registrare le posizioni dei punti di trapianto mediante l'uso di un dispositivo GPS (modello Garmin GPS 62S). Il campionamento ha previsto il posizionamento di 19 plot permanenti (di dimensioni $1\text{m} \times 1\text{m}$; Fig. 7) in corrispondenza dei trapianti. Gli individui trapiantati sono stati marcati da una fascetta identificativa. Il campionamento ha avuto cadenza mensile con inizio a gennaio 2019 e fine a novembre 2019. Per ogni plot è stata censita la ricchezza in specie e, ad ogni monitoraggio, sono stati annotati dati relativi alla presenza di disturbo antropico (impronte umane e animali, erosione del piede della duna, ecc.). Allo scopo di valutare la vitalità degli impianti e il tasso di accrescimento, per ogni individuo sono state raccolte le seguenti misure:

1. altezza (mm),
2. copertura (%),

3. numero di foglie o nuovi getti (relativamente alle sole specie *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus* e *Cynodon dactylon*).



Figura 7: Plot di campionamento

2.9 ANALISI DEI DATI

Per verificare l'omogeneità dei plot abbiamo effettuato una *cluster analysis*, ovvero una ripartizione oggettiva utilizzando l'algoritmo di Bray-Curtis, sulla base di una matrice specie × plot riportante i valori di copertura delle specie raccolti durante il picco della stagione vegetativa (luglio 2019). Per verificare la presenza di differenze significative in termini di ricchezza di specie tra i gruppi di plot individuati dalla *cluster analysis* abbiamo effettuato un t-test.

È stato effettuato anche un t-test sulla percentuale di individui morti per ogni plot. Attraverso questo test abbiamo testato se il tasso di mortalità degli individui dei due gruppi fosse significativamente diverso.

La variazione temporale di altezza, numero di foglie/getti e copertura di ogni singola specie è stata effettuata mediante modelli lineari misti LMMs (pacchetto R nlme),

separatamente per i gruppi individuati dalla cluster analysis. Abbiamo analizzato ogni parametro rispetto ad una tendenza lineare e una quadratica, scegliendo quale meglio rappresentasse l'andamento dei dati scegliendo, tra quelli significativi, quello con l'AIC minore. In ogni modello è stato aggiunto, quale fattore random l'identità dell'individuo monitorato. Le possibili dipendenze temporali tra i valori misurati in monitoraggi diversi sono state prese in considerazione utilizzando un modello autoregressivo di primo ordine per gli errori casuali (Fantinato, 2019).

3. RISULTATI

In totale, sono state monitorate 12 specie e 236 individui, suddivisi come riportato in Tabella 1:

Tabella 1: Numero di individui monitorati suddivisi per specie

Specie	Numero individui	%
<i>Ammophila arenaria</i>	24	10.17
<i>Elymus farctus</i>	2	0.85
<i>Ambrosia coronopifolia</i>	41	17.37
<i>Apocynum venetum</i>	6	2.54
<i>Cyperus capitatus</i>	25	10.59
<i>Cakile maritima</i>	29	12.29
<i>Calystegia soldanella</i>	16	6.78
<i>Cynodon dactylon</i>	11	4.66
<i>Eringium marittimum</i>	23	9.75
<i>Echinophora spinosa</i>	2	0.85
<i>Salsola kali</i>	2	0.85
<i>Xantium italicum</i>	55	23.30
Totale	236	100

In generale, la specie più abbondante era *Xantium italicum*, seguita da *Ambrosia coronopifolia* e *Cakile maritima*; mentre quelle meno presenti sono risultate *Elymus farctus*, *Echinophora spinosa* e *Salsola kali*.

Dalla *cluster analysis* è emersa la presenza di due gruppi distinti di plot.

Questa suddivisione corrisponde al livello di disturbo da calpestio del plot. Il gruppo 1 comprende plot disturbati, dove, in occasione dei monitoraggi sono stati riscontrati e annotati segni di disturbo antropico, mentre il gruppo 2 include plot non disturbati (Fig. 8).

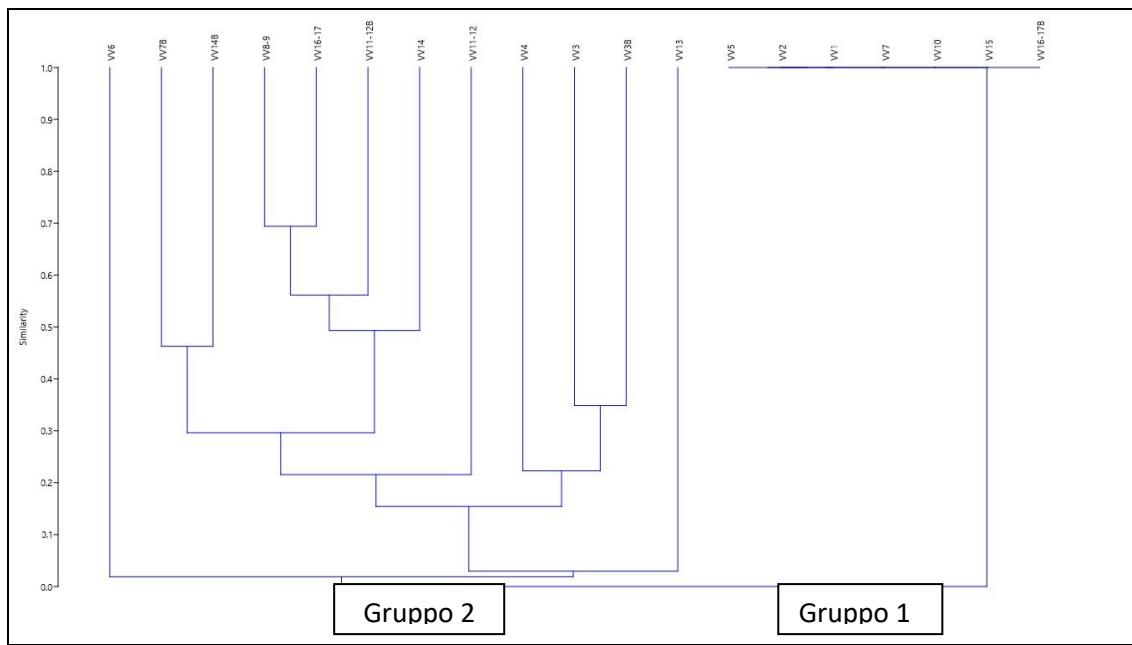


Figura 8: Dendrogramma risultante dalla *Cluster analysis* con indicati i due gruppi di plot

I due gruppi hanno mostrato differenze significative in termini di ricchezza di specie ($P = 0.046$; Fig. 9). I plot del gruppo 1 presentavano una ricchezza di specie media pari a 3, mentre quelli del gruppo 2 contenevano mediamente 5 specie.

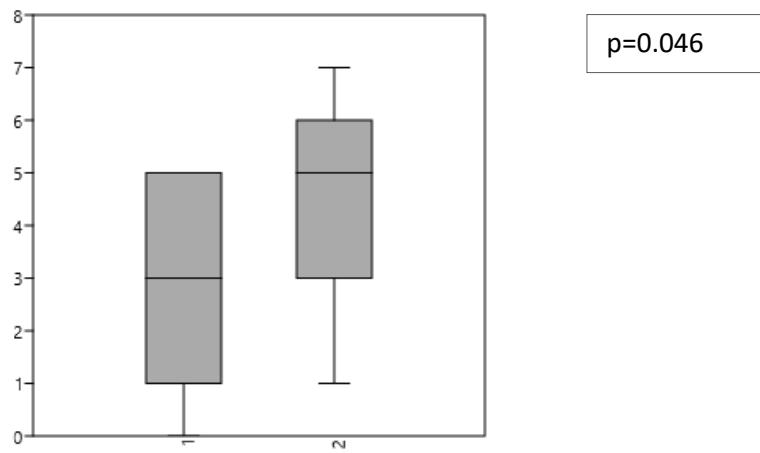


Figura 9: Boxplot relativi alla ricchezza in specie dei due gruppi. Gruppo 1: plot disturbati; Gruppo 2: plot non disturbati.

All'interno del Gruppo 1 sono state riscontrate le seguenti specie: *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Cakile maritima*, *Eringium maritimum*, *Echinophora spinosa*, *Salsola kali* e *Xantium italicum*. Nel Gruppo 2 erano invece presenti le seguenti specie: *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Ambrosia coronopifolia*, *Apocynum venetum*, *Cyperus capitatus*, *Cakile maritima*, *Calystegia soldanella*, *Cynodon dactylon*, *Eringium maritimum*, *Salsola kali* e *Xantium italicum*.

In Tabella 2 sono riportati i tassi di mortalità relativi ai soli individui inoculati, che fanno riferimento alle specie target. I tassi di mortalità/sopravvivenza sono relativi al monitoraggio effettuato in corrispondenza della stagione di massimo sviluppo vegetativo degli individui (31/08/2019). Anche in questo caso, i dati sono stati calcolati mantenendo separati i plot disturbati (Gruppo 1) da quelli indisturbati (Gruppo 2).

Tabella 2: Dati relativi alle sole specie target

Data	31/08/2019			
	Plot	Disturbati (Gr. 1)		Non Disturbati (Gr. 2)
Individui	Numero	%	Numero	%
Danneggiati/morti	12	85.71	14	48.28
Sopravvissuti	2	14.29	15	51.72
Totale	14	100	29	100

Come si può osservare, i tassi di mortalità risultano differenziati. In particolare, mentre i plot del Gruppo 1 hanno evidenziato un tasso medio di mortalità di oltre l'85%, nei plot del secondo gruppo questo era inferiore al 50%. Il t-test ha messo in luce come ci siano differenze significative ($P < 0.001$) in termini di mortalità degli individui inoculati tra plot disturbati e non disturbati.

I risultati dei modelli lineari misti in relazione all'andamento temporale di altezza, numero di foglie/getti e copertura delle specie monitorate vengono riportati nelle Tabelle 3 (individui monitorati nei plot disturbati) e 4 (individui monitorati nei plot non disturbati).

Tabella 3: Plot disturbati

AA = *Ammophila arenaria*, EF = *Elymus farctus*, CM = *Cakile maritima*, EM = *Eringium maritimum*, ES = *Echinophora spinosa*, SK = *Salsola kali*, XI = *Xantium italicum*.

DISTURBATI		Function Type	Value	DF	Standard Error	p-value
AA	ALTEZZA	\	-17.743	71	7.621	0.023
	GETTI/FOGLIE	\	-0.621	71	0.148	<0.001
	COP	U	0.016	70	0.005	0.005
EF	ALTEZZA	.	.	.	.	n.s.
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	.	.	.	.	n.s.
CM	ALTEZZA	.	.	.	.	n.s.
	GETTI/FOGLIE	\	-0.273	107	0.072	<0.001
	COP	.	.	.	.	n.s.
EM	ALTEZZA	.	.	.	.	n.s.
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	.	.	.	.	n.s.
ES	ALTEZZA	.	.	.	.	n.s.
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	.	.	.	.	n.s.
SK	ALTEZZA	.	.	.	.	n.s.
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	.	.	.	.	n.s.
XI	ALTEZZA	∩	-2.863	178	0.631	0
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.119	178	0.036	0.001
	COP	∩	-0.007	178	0.002	0.003

Tabella 4: Plot non disturbati

AA = *Ammophila arenaria*, EF = *Elymus farctus*, AC = *Ambrosia coronopifolia*, AV = *Apocynum venetum*, CC = *Cyperus capitatus*, CM = *Cakile maritima*, CS = *Calystegia soldanella*, CY = *Cynodon dactylon*, EM = *Eringium maritimum*, SK = *Salsola kali*, XI = *Xantium italicum*.

NON DISTURBATI		Function Type	Value	DF	Standard Error	p-value
AA	ALTEZZA	\	-17.253	143	6.99	0.015
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.293	142	0.099	0.004
	COP	∩	-0.027	142	0.012	0.029
EF	ALTEZZA	/	30.028	17	12.906	0.033
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	/	0.114	17	0.044	0.019
AC	ALTEZZA	∩	-5.448	367	0.637	0
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.516	367	0.075	0
	COP	∩	-0.019	367	0.003	0
AV	ALTEZZA	∩	-8.154	52	2.02	<0.001
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.182	52	0.042	<0.001
	COP	∩	-0.013	52	0.003	<0.001
CC	ALTEZZA	∩	-10.147	223	1.467	<0.001
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.1	223	0.019	0
	COP	∩	-0.005	223	0	0
CM	ALTEZZA	∩	-6.171	151	1.306	0
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.211	151	0.046	0
	COP	∩	-0.045	151	0.012	<0.001
CS	ALTEZZA	/	3.31	143	0.53	0
	GETTI/FOGLIE	/	0.447	143	0.105	0
	COP	/	0.018	143	0.004	0
CY	ALTEZZA	∩	-1.926	88	0.799	0.018
	GETTI/FOGLIE	/	0.558	89	0.133	<0.001
	COP	/	0.178	89	0.039	0
EM	ALTEZZA	.	.	.	.	n.s.
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	.	.	.	.	n.s.
SK	ALTEZZA	∩	-7.532	7	3.105	0.046
	GETTI/FOGLIE	.	.	.	.	n.s.
	COP	∩	-0.108	7	0.026	0.004
XI	ALTEZZA	∩	-3.426	313	0.621	0
	GETTI/FOGLIE	∩	-0.229	313	0.068	<0.001
	COP	∩	-0.016	313	0.004	0

Nei plot disturbati si osserva come i risultati relativi a quattro specie (ovvero più della metà) non siano significativi. Questo può essere dovuto al numero esiguo di individui, ma allo stesso tempo evidenzia la mancanza di una tendenza nell'accrescimento degli individui e quindi una scarsa vitalità delle specie. Nel secondo gruppo invece (plot non disturbati), sono emerse tendenze descrivibili significativamente da trend lineari o quadratici per la quasi totalità delle specie (10 su 11).

Nella tabella seguente (Tab.5) sono stati riportati i risultati di tutti i parametri misurati per specie, indicando il tipo di funzione e la significatività.

Tabella 5: Tipo di funzione e significatività

Il grado di significatività di tutte le funzioni è stato calcolato mediante il valore del p-value in base ai seguenti criteri:

- p-value > 0.05= non significativo (n.s.);
- $0.01 < p\text{-value} < 0.05$ = significatività bassa (*);
- $0.001 < p\text{-value} < 0.01$ = significatività media (**);
- $p\text{-value} < 0.001$ = significatività alta (***)�.

	altezza disturbati	altezza non disturbati	getti/foglie disturbati	getti/foglie non disturbati	copertura disturbati	copertura non disturbati
AA	*	*	***	∩**	U**	∩*
EF	n.s.	/*	n.s.	n.s.	n.s.	/*
AC	.	∩***	.	∩***	.	∩***
AV	.	∩***	.	∩***	.	∩***
CC	.	∩***	.	∩***	.	∩***
CM	n.s.	∩***	***	∩***	n.s.	∩***
CS	.	/***	.	/***	.	/***
CY	.	∩**	.	/***	.	/***
EM	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ES	n.s.	.	n.s.	.	n.s.	.
SK	n.s.	∩*	n.s.	n.s.	n.s.	∩**
XI	∩***	∩***	∩**	∩***	∩**	∩***

I simboli inseriti nella Tabella 5 esprimono il Function type e stanno ad indicare la forma ed il grado della funzione: \ indica un trend lineare negativo, / indica invece un trend lineare positivo, U esprime una funzione quadratica positiva mentre ∩ una funzione quadratica negativa.

Di seguito vengono riportati i risultati relativi a tutte le specie, confrontando per ogni parametro l'andamento temporale in presenza o meno di disturbo.

Per quanto riguarda *A. arenaria* i dati mostrano come gli individui appartenenti al secondo gruppo (plot non disturbati) abbiano avuto un accrescimento maggiore. In media un individuo sviluppatosi in condizioni di disturbo presenta altezza pari a 85 mm, 1.17 getti e una copertura percentuale di 0.17 %. In assenza di disturbo, invece, risulta avere altezza di 204.69 mm, 7.81 getti e 1.06 % di copertura. I grafici di questa specie sono quelli che si differenziano maggiormente tra di loro: i trend relativi all'altezza sono entrambi lineari negativi (Fig. 10), anche i getti sono rappresentati da funzioni negative ma per gli individui del gruppo 1 il trend è lineare e pertanto non presenta mai uno sviluppo mentre per gli individui del gruppo 2 è unimodale e quindi, vista l'assenza di disturbo, riesce a raggiungere un picco positivo di crescita (Fig. 11); infine, la copertura degli individui dei due gruppi è speculare, entrambe le funzioni sono unimodali ma per gli individui influenzati da disturbo è positiva (Fig. 12), si può capire subito come il disturbo influenzi notevolmente l'accrescimento di questa specie.

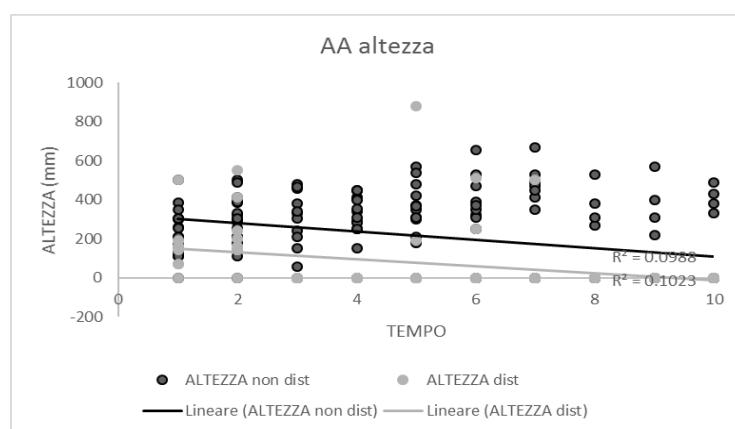


Figura 10: trend altezza di *Ammophila arenaria*

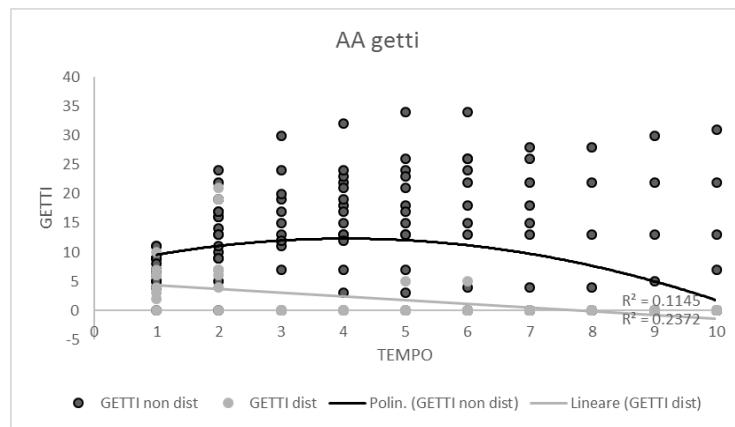


Figura 11: trend getti di *Ammophila arenaria*

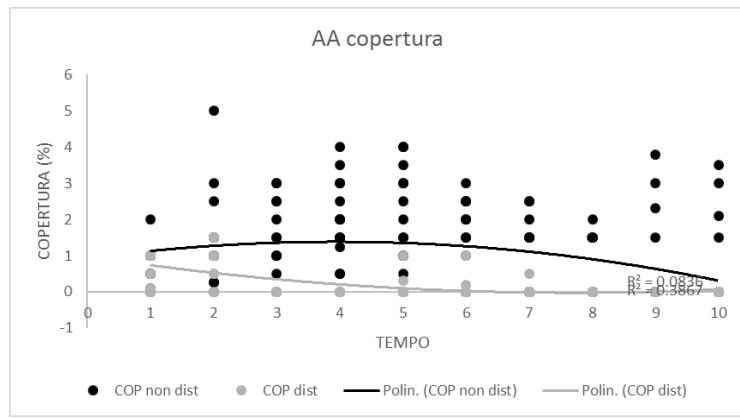


Figura 12: trend copertura di *Ammophila arenaria*

Elymus farctus non presenta risultati relativi agli individui del primo gruppo perché non significativi, mentre nel secondo gruppo sono emersi trend temporali significativi rispetto a due parametri su tre: altezza (Fig. 13) e copertura (Fig. 14). In entrambi i casi si vede come la crescita sia crescente nel tempo e in modo lineare. È difficile avanzare ipotesi vista la mancanza di metà risultati in quanto non significativi, ma si può dedurre che questa specie, se non influenzata da disturbo, possa svilupparsi notevolmente.

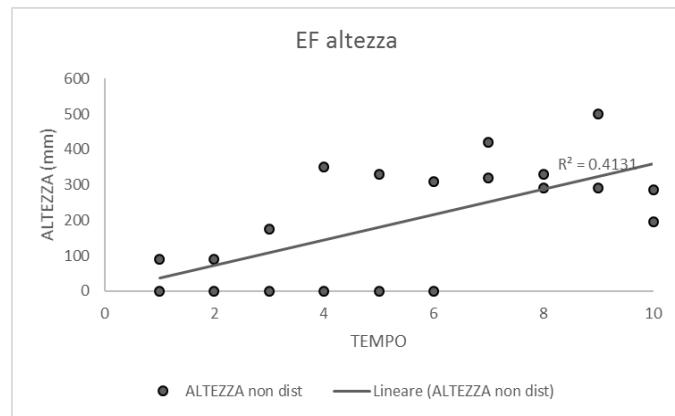


Figura 13: trend altezza di *Elymus farctus*

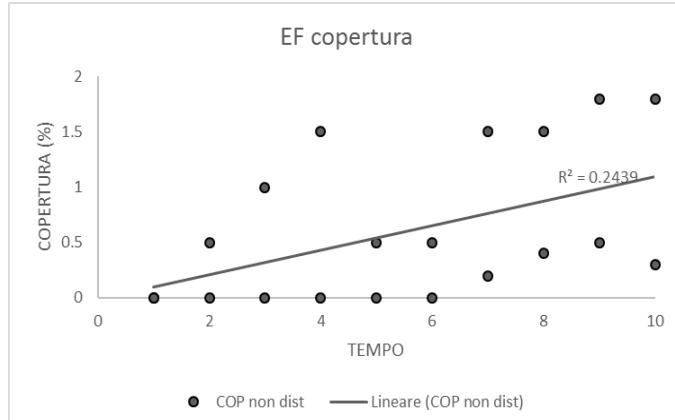


Figura 14: trend copertura di *Elymus farctus*

I trend relativi a *Cakile maritima* sono tutti significativi esclusi quelli relativi ad altezza e copertura degli individui appartenenti al primo gruppo. Tutti i trend relativi agli individui del secondo gruppo sono unimodali negativi (Fig. 15, 16 e 17) mentre per l'unico parametro significativo, il numero di fusti, degli individui del primo gruppo il trend è lineare negativo (Fig. 16). Il discorso relativo all'influenza del disturbo sulla crescita fatto per la specie precedente può essere ripetuto anche in questo caso, tuttavia, *Cakile* si differenzia in quanto il trend è unimodale; pertanto, finita la stagione calda, indipendentemente dalla presenza di disturbo, registra un arresto e un conseguente calo nell'accrescimento.

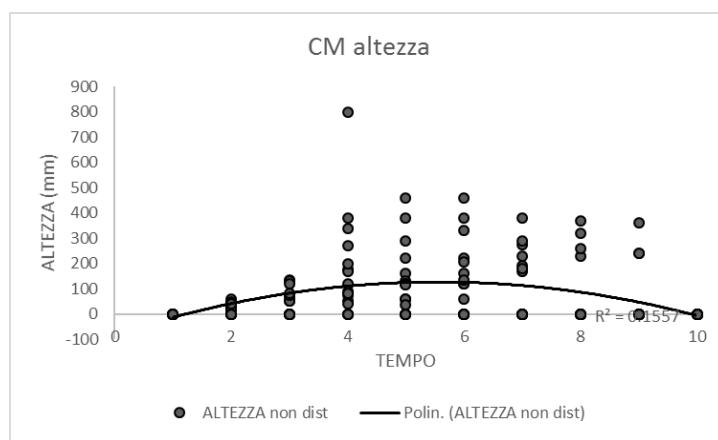


Figura 15: trend altezza di *Cakile maritima*

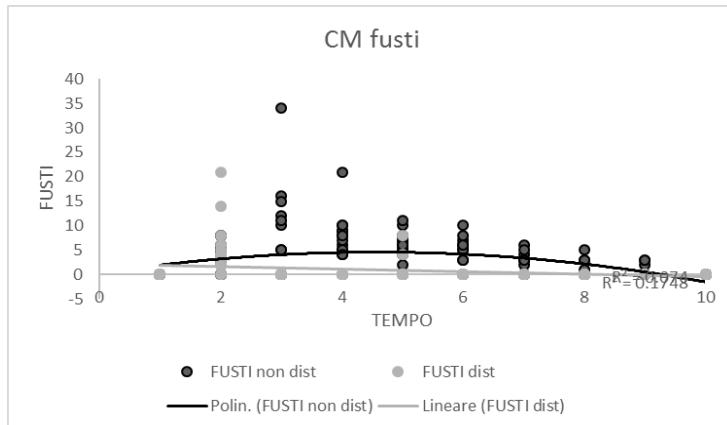


Figura 16: trend fusti di *Cakile maritima*

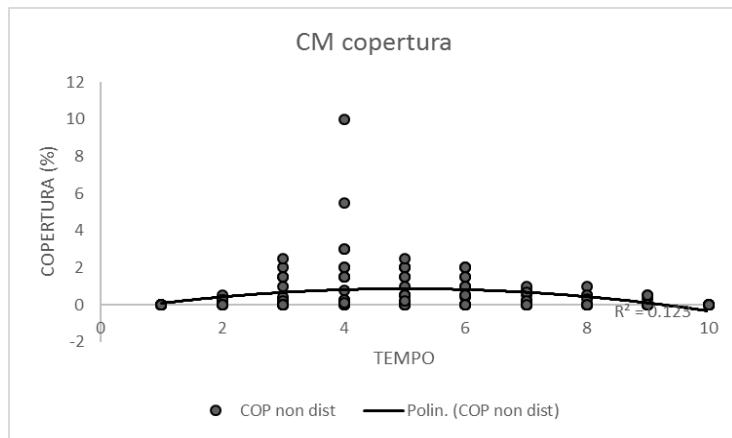


Figura 17: trend copertura di *Cakile maritima*

Non risultano essere significativi i dati relativi a *Eringium maritimum*, *Echinophora spinosa* e *Salsola kali* appartenenti al primo gruppo.

L'ultima specie è *Xantium italicum*, i cui dati sono quelli che presentano le minori differenze tra gli individui dei due gruppi. Infatti, tutti i trend sono unimodali e negativi (Fig. 18, 19 e 20), cambia solo la significatività del risultato che nel caso del Gruppo 1 è media mentre nel Gruppo 2 è alta. Si può quindi affermare che sia la specie che risente meno della presenza di disturbo antropico nella fase di sviluppo. Questa specie, insieme ad *Ammophila*, si distingue inoltre per il notevole accrescimento rispetto alle altre.

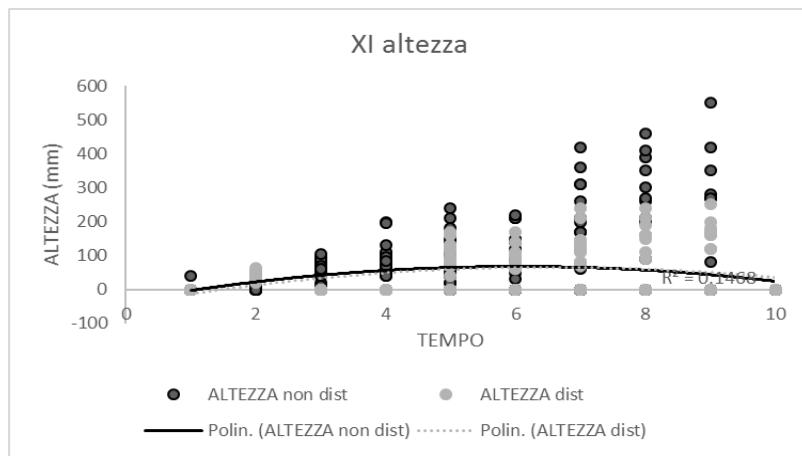


Figura 18: trend altezza di *Xantium italicum*

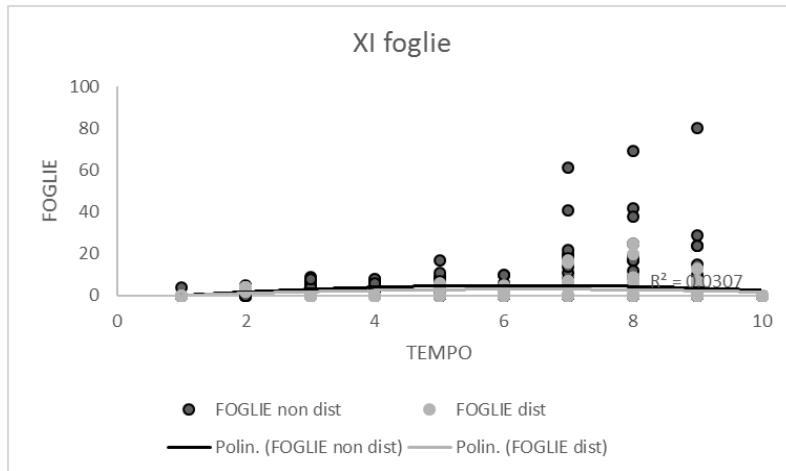


Figura 19: trend foglie di *Xanthium italicum*

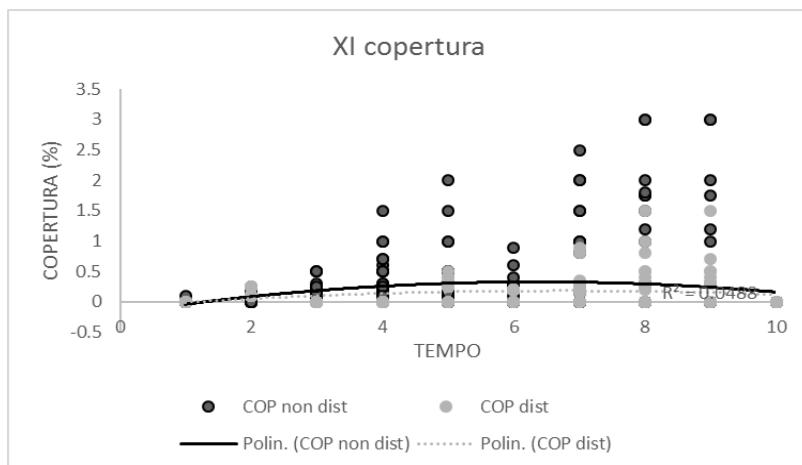


Figura 20: trend copertura di *Xanthium italicum*

Le specie che seguono riportano invece i dati relativi solo agli individui appartenenti al secondo gruppo, in quanto presenti solo in plot non disturbati o, se presenti anche in quelli disturbati, l'analisi non ha prodotto risultati significativi.

Ambrosia coronopifolia (Fig. 21, 22 e 23), *Apocynum venetum* (Fig. 24, 25 e 26) e *Cyperus capitatus* (Fig. 27, 28 e 29) presentano un trend unimodale negativo significativo per tutti e tre i parametri misurati, denotando una crescita lenta nel periodo iniziale, con una tendenza all'aumento all'arrivo del periodo estivo.

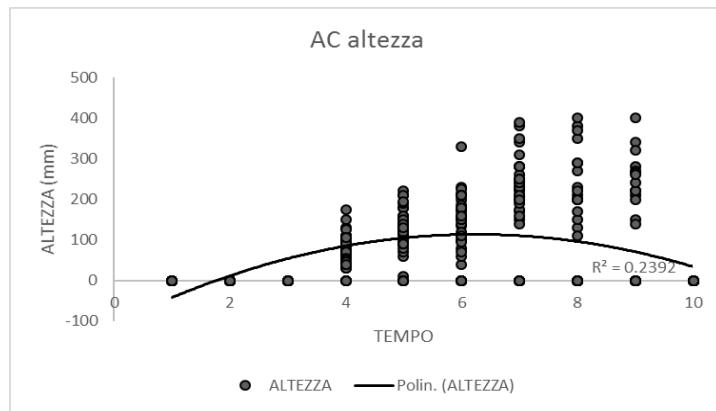


Figura 21: trend altezza di *Ambrosia coronopifolia*

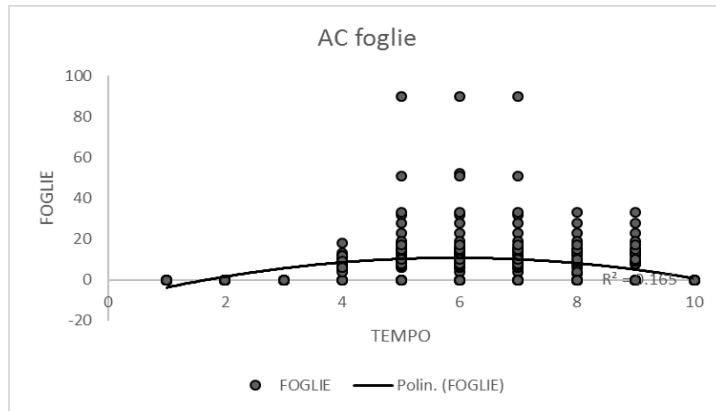


Figura 22: trend foglie di *Ambrosia coronopifolia*

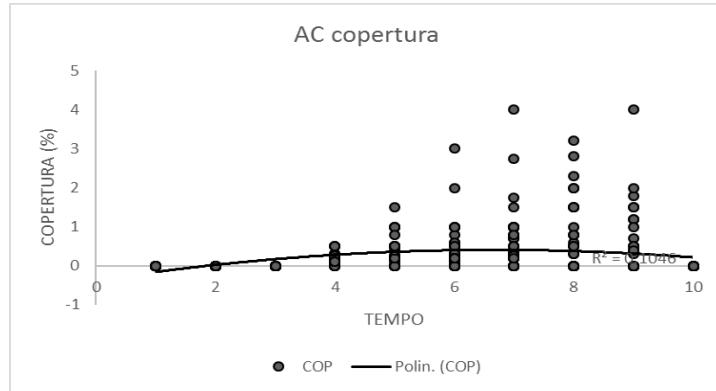


Figura 23: trend copertura di *Ambrosia coronopifolia*

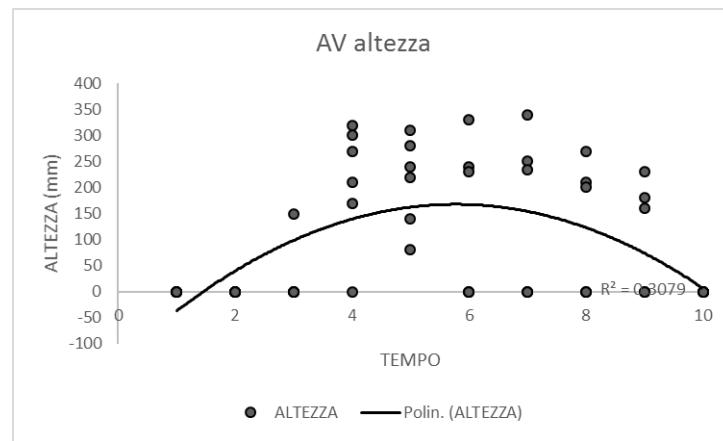


Figura 24: trend altezza di *Apocynum venetum*

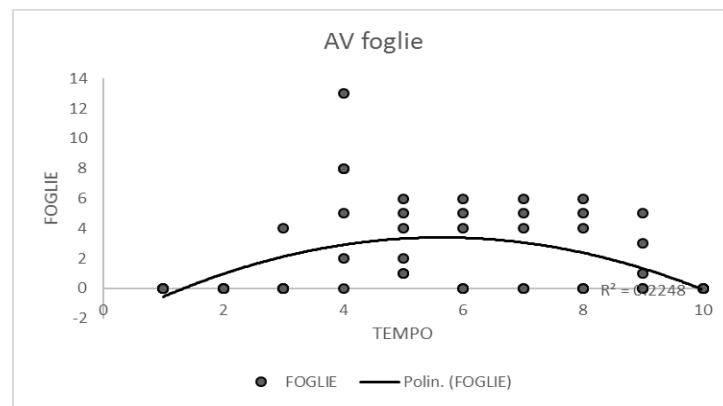


Figura 25: trend foglie di *Apocynum venetum*

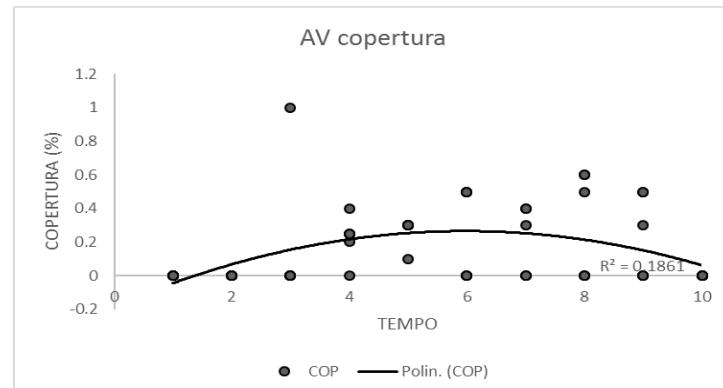


Figura 26: trend copertura di *Apocynum venetum*

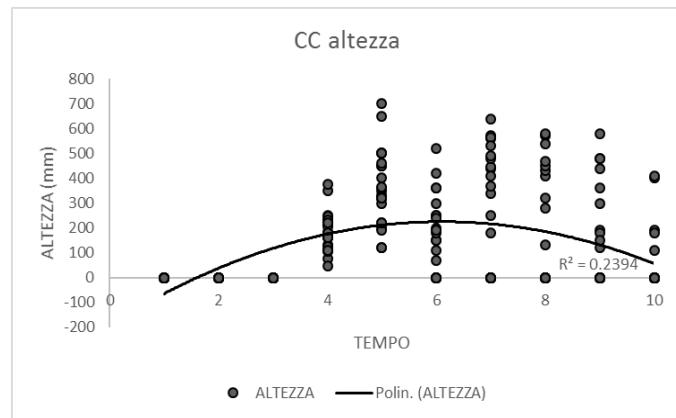


Figura 27: trend altezza di *Cyperus capitatus*

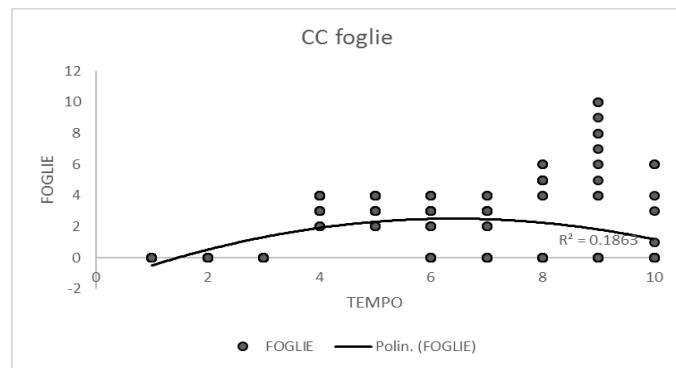


Figura 28: trend foglie di *Cyperus capitatus*

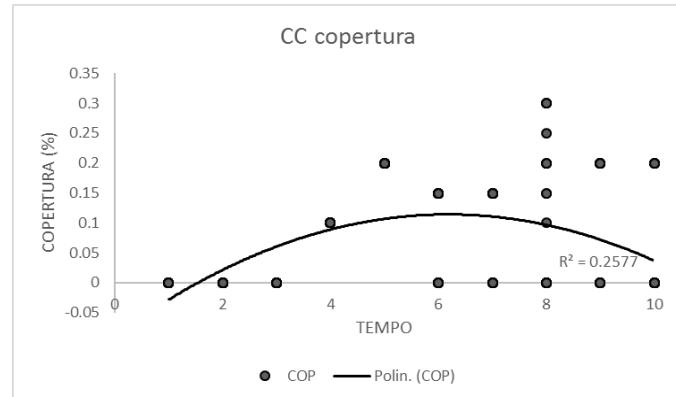


Figura 29: trend copertura di *Cyperus capitatus*

Calystegia soldanella è l'unica specie la cui crescita è significativamente positiva indipendentemente dal parametro misurato (Fig. 30, 31 e 32).

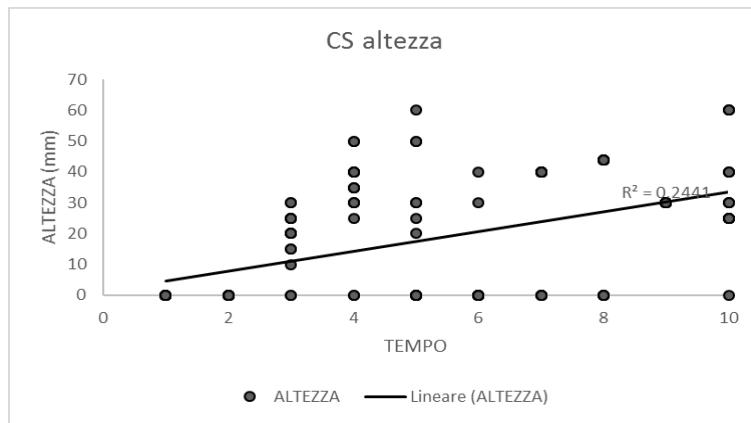


Figura 30: trend altezza di *Calystegia soldanella*

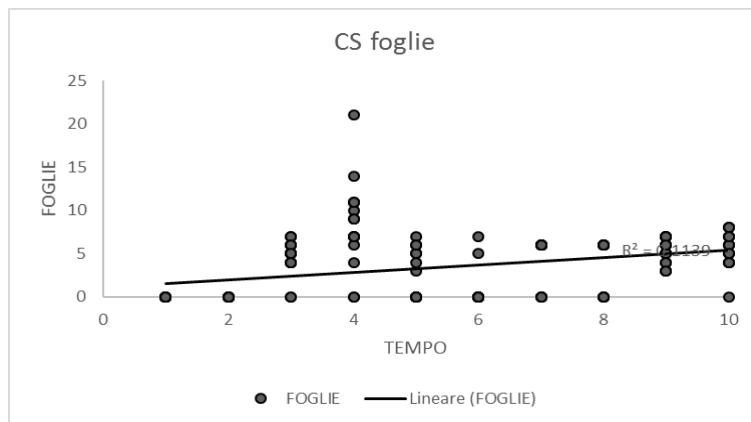


Figura 31: trend foglie di *Calystegia soldanella*

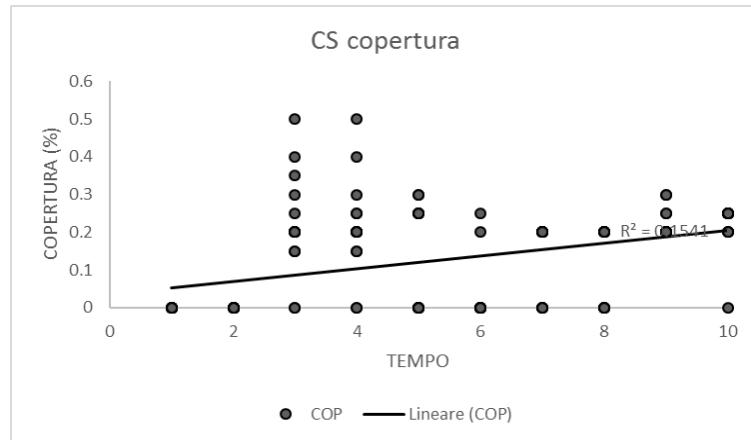


Figura 32: trend copertura di *Calystegia soldanella*

Cynodon dactylon è caratterizzato da una crescita molto lenta e da dimensioni non molto elevate, ad eccezione della copertura percentuale. L'altezza è l'unico parametro che dimostra una crescita unimodale (Fig. 33), mentre gli altri parametri sono lineari (Fig. 34 e 35).

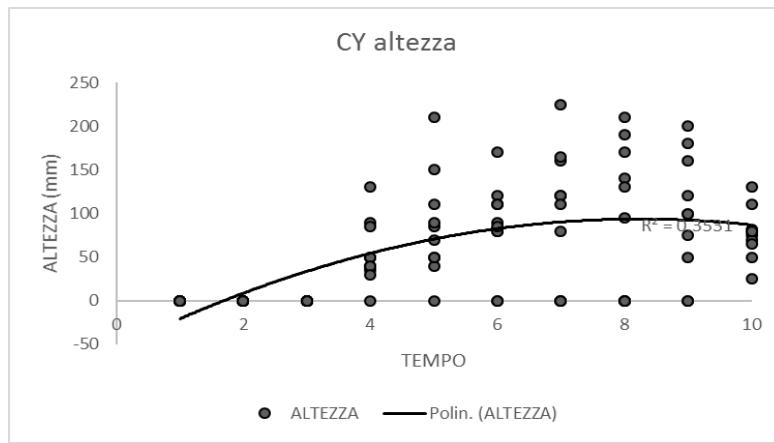


Figura 33: trend altezza di *Cynodon dactylon*

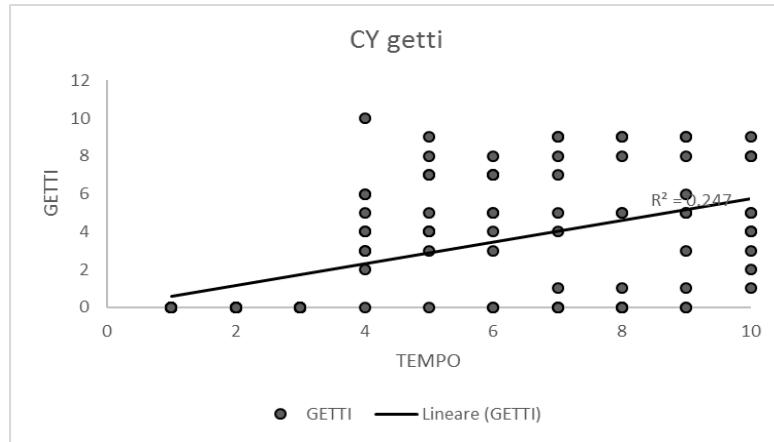


Figura 34: trend getti di *Cynodon dactylon*

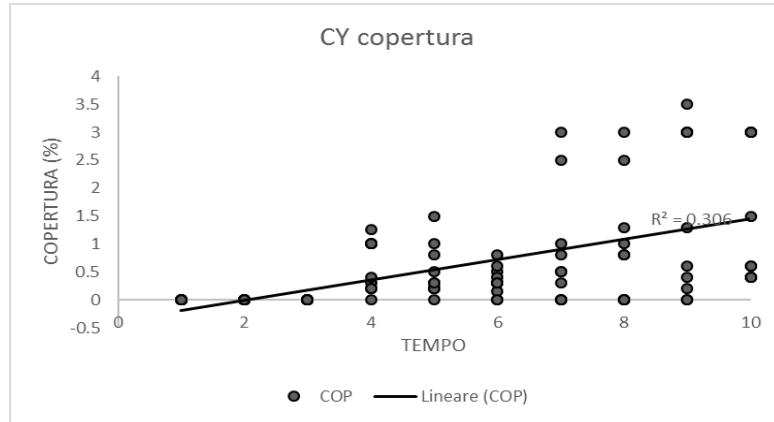


Figura 35: trend copertura di *Cynodon dactylon*

Altezza (Fig. 36) e copertura (Fig. 37) di *Salsola kali* presentano un trend unimodale negativo significativo.

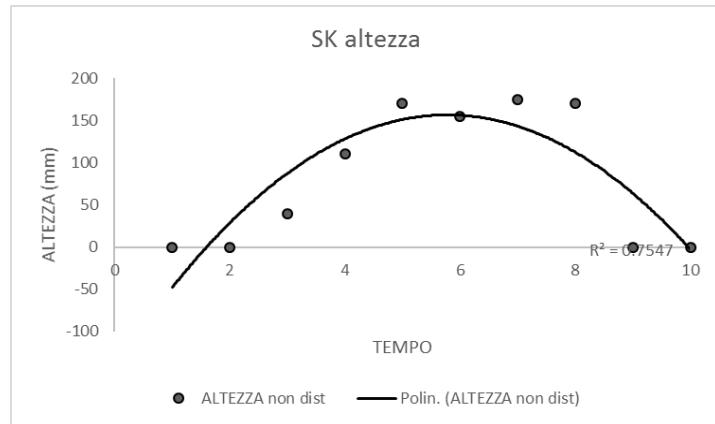


Figura 36: trend altezza di *Salsola kali*

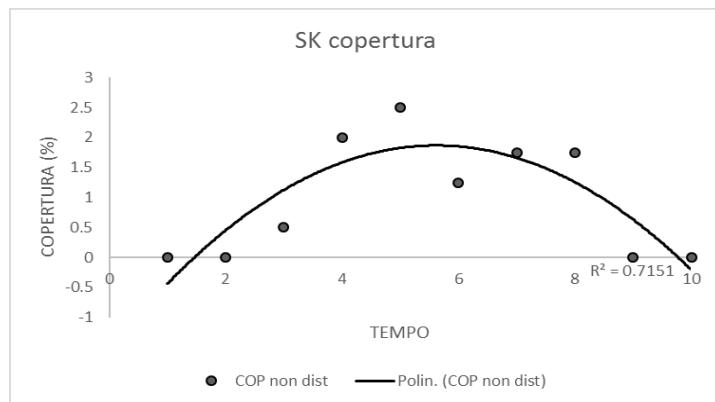


Figura 37: trend copertura di *Salsola kali*

4. DISCUSSIONE

Le tecniche di rinaturalizzazione dunale attraverso la piantumazione di piante tipiche delle dune sono state praticate con successo in nord Europa, dove sono state anche ampiamente studiate le capacità di attecchimento e di consolidamento di *Ammophila arenaria*. Al contrario, sono relativamente pochi gli interventi e gli studi effettuati nell'ambito Mediterraneo (Brecciaroli, 2008).

Le opere realizzate con le tecniche dell'ingegneria naturalistica sono flessibili e coerenti con i meccanismi omeostatici propri dell'ambiente costiero, assecondano i processi naturali di formazione e stabilizzazione dei depositi sabbiosi, rallentano quelli erosivi e concorrono alla conservazione di beni plurimi, compresa la biodiversità.

Tuttavia, in base a quanto osservato nel corso di questo studio è possibile affermare che perché un intervento di riqualificazione ambientale possa riuscire è necessario, in primo luogo, che siano stati rimossi i fattori di disturbo che ne hanno causato il degrado.

Una delle principali minacce per l'ambiente dunale è sicuramente rappresentato dall'impatto antropico, dovuto principalmente al calpestio da parte dei turisti, che innesca pericolosi fenomeni erosivi, ed alla pulizia delle spiagge effettuato con mezzi meccanici che porta allo spianamento della duna embrionale.

Il presente lavoro di tesi ha messo in luce come il disturbo antropico abbia un effetto negativo sulla ricchezza di specie dell'habitat delle dune mobili, e come questo interferisca con la crescita degli individui vegetali. Qualora non ci sia disturbo antropico da calpestio che pregiudichi lo sviluppo delle piante inoculate, il trapianto di specie vegetali per la riqualificazione degli habitat di dune mobili è efficace.

Se si considerano le specie cresciute nei plot non disturbati, è interessante notare come l'accrescimento sia stato coerente alle fasi fenologiche riportate in letteratura (Acosta & Ercole, 2015). Ciò dimostra l'efficacia degli interventi di recupero ecologico-naturalistico che prevedano la reintroduzione delle specie nel ripristino dell'habitat di dune mobili. Tra tutte le specie oggetto di studio individuate nei plot non disturbati *Eringium maritimum* ed *Echinophora spinosa* sono le uniche a non aver evidenziato trend fenologici significativi. La mancanza di un trend significativo potrebbe derivare dal basso numero di individui monitorati ($n = 2$ in *Echinophora*), ma è possibile che queste risentano maggiormente dello stress del trapianto rispetto alle altre specie monitorate.

Al contrario, nei plot disturbati l'accrescimento delle specie vegetali non ha seguito un andamento preciso e, nella quasi totalità dei casi, all'avanzare della stagione vegetativa non è stato possibile osservare un accrescimento degli individui in termini di altezza, numero di foglie/getti e copertura. L'unica specie che ha mostrato un accrescimento comparabile tanto nei plot disturbati quanto in quelli non disturbati è stata *Xantium italicum*. Questa presenta una crescita notevole in tutti i parametri (soprattutto per quanto riguarda in numero di foglie) e sembra non risentire del disturbo. È ragionevole ipotizzare che, essendo *Xantium italicum* una specie annuale e ruderale, riesca a svilupparsi anche in condizioni di disturbo.

Contrariamente alle attese, secondo cui tutte le specie dovessero evidenziare un accrescimento unimodale, lento nel periodo invernale-primaverile, notevole nel periodo estivo, e nuovamente lento durante la stagione autunnale, è emersa l'eccezione di *Calystegia soldanella*, la quale invece tende ad una crescita continua anche nel periodo autunnale. Una possibile spiegazione di questa tendenza può essere rappresentata dalle alte temperature registrate durante l'estate del 2019 ma, in mancanza di un paragone con gli anni precedenti, si può solo ipotizzare che quest'ultima specie soffra le temperature troppo alte nelle fasi iniziali di sviluppo e che, una volta che queste si abbassano leggermente, possa continuare la sua fase di crescita.

In conclusione, questo studio conferma l'effetto negativo dell'azione antropica, in questo caso relativa al calpestio incontrollato dei turisti per recarsi alla spiaggia.

Grazie al monitoraggio effettuato sia in plot disturbati che in plot non soggetti a disturbo, è stato possibile evidenziare come nei plot disturbati sia presente un numero inferiore di specie (ricchezza specifica), ma anche come le specie presentino parametri di crescita inferiori alla media, e come quindi la loro capacità di determinare copertura del suolo sia inferiore. Diversa è la condizione relativa al gruppo 2, dove le piante non hanno subito un elevato disturbo antropico: la ricchezza di specie è molto più alta, e queste presentano condizioni di crescita e copertura ottimali.

I diversi parametri di crescita si ripercuotono quindi sull'efficienza dell'azione consolidatrice e stabilizzatrice svolta da queste specie.

Inoltre, se si considera che le specie vegetali entrano nello stadio riproduttivo solo quando hanno raggiunto un determinato livello di biomassa, le limitazioni imposte alla crescita (accumulo di biomassa) dal disturbo si ripercuotono sulle loro potenzialità

riproduttive limitando la loro espansione e la naturale ricolonizzazione delle parti di duna prive di vegetazione ed esposte ad azioni erosive e demolitive.

Per migliorare e poter garantire la buona riuscita di un progetto di recupero si deve sicuramente investire in un programma di sensibilizzazione rivolto alle comunità che usufruiscono di un territorio. Infatti, durante tutte le cognizioni per la raccolta dati e monitoraggio, sono stati registrati numerosi comportamenti scorretti da parte di persone poco informate. Queste situazioni sono pericolose e nocive soprattutto nelle prime fasi di crescita delle piante, le quali non sono ancora ben sviluppate e non riescono a far fronte a tali condizioni di disturbo esterne.

Per aiutare la sensibilizzazione sono necessari pannelli didattici nei principali punti di accesso alla spiaggia, maggiori barriere naturali che delimitino le dune e la chiusura dei molti sentieri che, diversamente dagli accessi stabiliti, comportano l'attraversamento della duna prima di arrivare in spiaggia.

Infine, questo studio ha evidenziato la necessità di mettere in atto programmi di monitoraggio pluriennali che, analogamente a quanto fatto nel nord Europa, valutino i tassi di sopravvivenza e le modalità di accrescimento delle specie introdotte allo scopo di valutare le tecniche utilizzate e le specie per poter definire le modalità di intervento più efficaci.

5. BIBLIOGRAFIA

Acosta A.T.R. & Ercole S. (Eds), 2015. Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione. ISPRA, Serie Rapporti, 215/2015.

Antelmi M. (2010), Elaborazione di dati LIDAR aereo nello studio della distribuzione della vegetazione arborea nella pineta di Vallevecchia, pp. 15-22.

Anwar Maun M., (2009), The Biology of Coastal Sand Dunes, Oxford University Press.

Armaroli C., Ciavola P., Perini L., Luciani P., (2007), Morfologia delle spiagge ravennati e vulnerabilità per fenomeni di inondazione, Maggioli Editore.

Audisio P., (2002), Introduzione in: Dune e spiagge sabbiose – ambienti fra terra e mare, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Museo friulano di Storia Naturale, Comune di Udine.

Bezzi A., Fontolan G., Delli Quadri F., Pillon S., Pilla G., Caiselli M., (2008), Dune e strumenti di pianificazione: il piano dell'arenile del Lido di Venezia, Convegno Nazionale di Maratea.

Biondi E., Blasi C., Burrascano S., Casavecchia S., Copiz R., Del Vico E., Galdenzi D., Gigante D., Lasen C., Spampinato G., Venanzoni R., Zivkovic L. (2010), Manuale italiano di interpretazione degli habitat (Direttiva 92/43/CEE), Progetto Artiser – Roma.

Bird E. (2008), Coastal geomorphology. An introduction, Wiley.

Blasi C., Anzellotti I., Acosta A., Stranisci A., Di Marzio P., (2018), Vegetazione e disturbo antropico nella duna costiera del Parco Nazionale del Circeo, Arsenale editrice.

Brambati A., (1985), “Modificazioni costiere nell’arco lagunare dell’Adriatico Settentrionale” in: “Antichità Altopadane XXVII. Studi su Portogruaro e Concordia”, EUT Edizioni Università di Trieste, pp. 13-47.

Brambati A., Marocco R., Catani G., Carobene L., Lenardon G., (1978), Stato delle conoscenze dei litorali dell’alto Adriatico e criteri d’intervento per la loro difesa, Memorie della Società Geologica Italiana, pp. 389-398.

Brecciaroli B. (2008), Ripristino degli ecosistemi marino-costieri con tecniche di ingegneria naturalistica, ISPRA, pp. 7-18.

Buffa G., Filesi L., Gamber U., Sburlino G., (2007), Qualità e grado di conservazione del paesaggio vegetale del litorale sabbioso del Veneto (Italia settentrionale), Fitosociologia vol. 44 (1): pp. 49-58.

Buffa G., Fantinato E., Pizzo L., (2012), Effects of disturbance on sandy coastal ecosystems of the north Adriatic coast, Biodiversity Enrichment in a Diverse World, Gbolagade Akeem Lameed, IntechOpen.

Caniglia G., (2007), Stato attuale dei litorali del Veneto, Fitosociologia vol. 44 (1): pp. 59-65.

Comune di Caorle, (2006), Rapporto di Analisi Ambientale iniziale.

Converio F., (2002), Repertorio nazionale degli interventi di ripristino, ISPRA, pp. 52-67.

Darderi A., (2006), Prove di sottopiantagione con leccio nella pineta artificiale di pino domestico a Vallevecchia-Caorle (VE), Veneto Agricoltura.

De Antonis L., Molinari V.M., (2007), Ingegneria naturalistica: nozioni e tecniche di base, Regione Piemonte.

De Falco G., Baroli M., Simeone S., Piergallini G., (2002), La rimozione della posidonia dalle spiagge: conseguenza sulla stabilità delle spiagge, Fondazione IMC.

Del Favero R., De Mas G., Ferrari C., Gerdol R., Lasen C., Masutti L., De Battisti R., Paiero P., Colpi C., Urso T., Zanotto S., (1989), Le pinete litorali nel Veneto, Multigraf in Spinea.

Fantinato E., Del Vecchio S., Gaetan C., Buffa G., (2019), The resilience of pollination interactions: importance of temporal phases, *Plant Ecology* vol. 12 (1): pp. 157-162.

Feoli E., Scoppola A., (1980), Analisi informazionale degli schemi di dinamica della vegetazione. Un esempio sul popolamento vegetale delle dune del litorale di Venezia, *Giornale botanico italiano* vol. 114 (5): pp. 227-236.

Florineth F., Molon M., (2005), Dispensa di ingegneria naturalistica, Università di Bodenkultur, Vienna.

Galatowitsch S.M. (2012), *Ecological Restoration*, Sinauer Associates.

Galleri A., (2009), La propagazione delle piante delle coste sabbiose. Sperimentazione in vivaio sulla propagazione vegetativa di specie del Parco Regionale Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli, Università degli studi di Pisa.

Gandolfi G., Mordini A., Paganelli L., (1978), Spiagge attuali e cordoni di dune nell'area del delta del Tagliamento e di Vallevecchia, *Miner. Petrog. Acta*.

Gigante D., Acosta A.T.R., Agrillo E., Ammiraglio S., Assini S., Attorre F., Bagella S., Buffa G., Casella L., Giancola C., Giusso del Galdo G.P., Marcenò C., Pezzi G., Prisco I., Venanzoni R., Viciani D., (2018), Habitat conservation in Italy: the state of the art in the light of the first European Red List of Terrestrial and Freshwater Habitats, *Rend. Fis. Acc. Lincei* 29, 251–265.

Izzi C.F., (2007), Diversità floristica e funzionale della vegetazione dunale costiera dell'Italia centrale e della Francia sud-occidentale, Università degli studi Roma Tre.

Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L., Carboni M., Ciaschetti G., Conti F., Del Vecchio S., Di Martino L., Frattaroli A., Pironi G., Stanisci A., (2007), Entità a rischio negli ambienti dunali costieri di alcune regioni dell'Italia centrale, *Fitosociologia*.

Kuchling R., (2000), Stato e pressioni sull'ambiente marino e costiero del Mediterraneo, AEA Copenaghen.

Lindstrom M.J., Bates D.M., (1990), Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measures Data, *Biometrics* vol. 46: pp. 673-687.

Marinella M., (2012), Risposta morfologica della spiaggia compresa tra Lido di Dante e Lido di Classe ad eventi di mareggiate, Università degli studi di Ferrara.

Massari A., (2016), Progetto di valorizzazione e riqualificazione degli ecosistemi dunali costieri – il caso dell'AMP Torre Cerrano e della Riserva Naturale Regionale Marina di Vasto, Università degli studi di Teramo.

Masselink G., Hughes M.G. (2003), *Coastal processes & geomorphology*, Hodder Arnold.

McKee E. D. (1979), *A study of global sand seas*, U.S. Government Printing Office.

Pallottini E., Cappucci S. (2009), Beach-dune system interaction and evolution, Rendiconti online Società Geologica Italiana.

Pallottini E., Cappucci S., Taramelli A., Innocenti C., Screpanti A., (2010), Variazioni morfologiche stagionali del sistema spiaggia-duna del Parco Nazionale del Circeo, *Studi Costieri*.

Pavanini P., (1986), Venezia verso la pianificazione? Bonifiche urbane nel XVI secolo a Venezia, *École Française de Rome*.

Pranzini E., (1994), Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge, *Il Quaternario*.

Rossetti V. (2009), Proposta d'intervento per il ripristino e la protezione delle dune bianche del litorale di Vallecchia di Caorle, pp. 4-38.

Rossi R., Ardinghi N., Cenni M., Ugolini M. (2002), Fondamenti di restauro ecologico della SER, Gruppo di lavoro Scienza e Politica.

Ruggiero M.G. (2018), Il volto nuovo dei sistemi costieri: un Waterpark lungo il litorale, pp. 7-22.

Sabato L., Longhitano S., Cilumbriello A., Gioia D., Spalluto L., Kalb G., (2011), Studio sedimentologico e dinamica marino-costiera del sistema litorale di Bosco Pantano di Policoro, *Società Geologica Italiana* vol. 17: pp. 161-168.

Salizzoni E., (2010), “Paesaggi protetti”, laboratori di sperimentazione per il paesaggio costiero mediterraneo, *Politecnico di Torino*.

Sgorlon G., (2016), La comunità ornitica in un sito oggetto di ripristino ambientale: la ZPS Vallecchia di Caorle (Provincia di Venezia), *Fitosociologia*.

Silan G., (2016), Influenza dei fattori naturali e antropici sull'habitat costiero dune grigie dell'alto Adriatico, *Università Ca' Foscari*.

Simeone S., Molinaroli E., Conforti A., De Falco G., (2018), Impact of ocean acidification on the carbonate sediment budget of a temperate mixed beach, *National Geographic*, pp. 227-242.

Sperandii M.G., Prisco I., Acosta A.T.R., (2018), Hard times for Italian coastal dunes: insights from a diachronic analysis based on random plots, *Biodiversity and conservation*, pp. 633-646.

Tondini E., (2016), Dinamica della copertura vegetale a seguito di interventi di riqualificazione morfologica ed ecologica del sistema dunale della spiaggia della Sterpaia, Piombino (LI), Università degli studi di Pisa.

Vagge I., Biondi E., (1999), La vegetazione delle coste sabbiose del Tirreno settentrionale italiano, *Fitosociologia* vol. 36 (2): pp. 61-95.

Veneto Agricoltura, (2010), Relazione Piano di Gestione dei siti Natura 2000 “Foce del Tagliamento – Valle Vecchia – Zumelle – Valli di Bibione”, pp. 20-36.

Vigliotti F., (2005), La valutazione dello stato di alterazione di ecosistemi acquatici: individuazione di strategie di conservazione, *Ann. Ist. Super Sanità* vol. 41 (3): pp. 299-304.

Vitturi A., Giandon P., (2008), I suoli della provincia di Venezia, *Servizio Geologico e Difesa del Suolo*.

APPENDICE

A.1 SPECIE TARGET

Il presente studio ha preso in considerazione quattro specie in particolare, definite specie target, ovvero quelle reintrodotte nell'area dal progetto LIFE Redune: *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Eringium maritimum* ed *Echinophora spinosa*.

Queste specie sono molto differenti tra loro e ognuna gioca un ruolo ben definito. Più in particolare si può vedere come queste piante differiscano tra di loro in termini di caratteristiche fisiche, strategie di sopravvivenza, modi di influenzare la duna e altre specie che crescono nelle loro vicinanze. *Ammophila arenaria* è la principale responsabile dei processi di edificazione e di stabilizzazione delle dune litoranee e può essere definita una specie trainante per le altre in quanto facilita l'insediamento di altre specie erbacee. È una specie perenne le cui foglie sono lineari e sottili con l'apice pungente. Possiede cespugli molto densi che riescono a bloccare efficacemente il trasporto eolico di sabbia, consentendo un accumulo alla base della duna di circa 10-30 cm all'anno, in base alla intensità e alla disponibilità di serbatoi di ricarica di sabbia antistanti, ovvero all'ampiezza della spiaggia (Antelmi, 2010). Viene per questo definita come la specie edificatrice per eccellenza. È caratterizzata da rizomi che emettono organi aerei molto imponenti e, grazie a questa conformazione, formano un ostacolo importante. Gli organi sotterranei invece, formano un intreccio molto denso e si impadroniscono della sabbia, fissandola; mentre gli organi aerei la intercettano. Dopo la germinazione iniziano a sviluppare un rizoma, la cui crescita, orizzontale al principio dello sviluppo, diviene poi verticale in base alla consistenza degli apporti di sabbia. Hanno la particolarità di ramificarsi e di far crescere nuovi fusti aerei. Mentre la duna si accresce e si edifica, gli organi sotterranei muoiono in successione, così, gli organi più giovani della pianta che all'inizio erano uniti, si dividono in più piante separate. Infatti, gli organi aerei che intercettano la sabbia finiscono piano piano per esserne ricoperti; successivamente, nuovi steli aerei e delle radici avventizie si accrescono sui nodi precedentemente sepolti (Del Favero et al., 1989). Nonostante sia una specie tipica del fronte marino risente della salinità, sia essa proveniente dalla falda, dall'aerosol oppure dagli schizzi.



Figura 38: *Ammophila arenaria*

Fonte: www.actaplantarum.org

Elymus farctus è una specie tipica del fronte di mare, caratterizzata da parti aeree molto alte e dense e un apparato radicale ben esteso. Occupa la zona delle dune embrionali e anche delle zone fertilizzate, possiede un alto grado di sopportazione della salinità. La fioritura ha inizio nel mese di aprile; i semi sono collocati su di una spiga lunga e rada. La disseminazione avviene alla fine dell'estate mentre la germinazione nella primavera seguente, ovviamente se le condizioni sono favorevoli. Le difficoltà possono presentarsi come insabbiamento dei semi, forte aridità estiva o destabilizzazione delle piante giovani ad opera del vento, in questi casi la pianta adotta la moltiplicazione vegetativa (Caniglia, 2007).



Figura 39: *Elymus farctus*

Fonte: www.actaplantarum.org

Eringium maritimum si distingue per la presenza di un fittone e dei lunghi fusti che si sviluppano nel sottosuolo e che possono arrivare ad una lunghezza superiore al metro. Le radici laterali sono prodotte dal fittone, queste si ramificano e si sviluppano orizzontalmente in tutte le direzioni. Oltre ad essere un'ottima specie stabilizzatrice, grazie alle sue foglie spinose, è dissuasiva per il pubblico che raramente calpesta le zone dove essa si trova, tuttavia, se disturbata ha un tasso di ripresa minore rispetto alle specie sopra elencate (Del Favero et al., 1989).



Figura 40: *Eringium maritimum*

Fonte: www.actaplantarum.org

Echinophora spinosa è una specie perenne, costituita da fusti robusti molto ramificati, possiede un rizoma che è necessario per la ricerca di tracce di umidità. Si sviluppa per lo più in modo orizzontale e può raggiungere la lunghezza di un metro. Le foglie terminano con un apice spinoso e sono rigide, come nel caso precedente anch'essa è molto dissuasiva per il pubblico, inoltre, risulta essere fondamentale per il consolidamento del substrato della prima vera fascia dunale fissa (Del Favero et al., 1989).



Figura 41: *Echinophora spinosa*

Fonte: www.actaplantarum.org

Oltre queste quattro specie, nel corso del progetto, si sono sviluppate altre specie di piante e quindi tenute in considerazione. Nello specifico sono stati analizzati anche i dati relativi ad *Ambrosia coronopifolia*, *Apocynum venetum*, *Cakile maritima*, *Calystegia soldanella*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus capitatus*, *Salsola kali*, *Xantium italicum*.