

COLLABORAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA "STRATEGIA REGIONALE PER IL CONTRASTO ALLE SPECIE ESOTICHE INVASIVE (IAS) NELL'AMBITO DI RETE NATURA 2000 VENETO SECONDO QUANTO PREVISTO DALLA D.G.R.V. N. 1059/2023" – Seconda relazione intermedia - Settembre 2025



Consorzio per il coordinamento delle ricerche
inerenti al sistema lagunare di Venezia
Palazzo X Savi San Polo 19 30125 Venezia
Tel. +39.041.2402511
e-mail: direzione@corila.it
pec: corila@pec.it
Sito web: www.corila.it

Progetto	COLLABORAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA "STRATEGIA REGIONALE PER IL CONTRASTO ALLE SPECIE ESOTICHE INVASIVE (IAS) NELL'AMBITO DI RETE NATURA 2000 VENETO SECONDO QUANTO PREVISTO DALLA D.G.R.V. N. 1059/2023" CONVENZIONE ATTUATIVA DELL'ACCORDO QUADRO TRA VENETO AGRICOLTURA E CORILA Prot. n. 37/24/AQ33
Documento	ATTIVITÀ DI RILIEVO E MONITORAGGIO DELL'EFFICACIA DEGLI INTERVENTI PER IL CONTRASTO DI <i>BACCHARIS HALIMIFOLIA</i> L. NELLE CASSE DI COLMATA, IN LAGUNA DI VENEZIA Biologia, ecologia, impatti e misure di controllo della specie
Rapporto	Seconda relazione intermedia
Emissione	30 settembre 2025
Redazione	Responsabile del progetto Prof.ssa Gabriella Buffa Università Ca' Foscari Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica (DAIS) Gruppo di lavoro Prof.ssa Gabriella Buffa Coordinamento, verifica e analisi dei dati, elaborazione dei testi. Dr. Edy Fantinato – DAIS Rilevamento della vegetazione, organizzazione, gestione, verifica e analisi dei dati, elaborazione dei testi. Dr. Alberto Cercato – DAIS Rilevamento della vegetazione, verifica e analisi dei dati, elaborazione dei testi. Dr. Alberto Fiorese Rilevamento della vegetazione, verifica e analisi dei dati, elaborazione dei testi. Dr. Andrea Della Bella Rilevamento della vegetazione Dr. Simone Marino Preo – DAIS Rilevamento della vegetazione. Alice Veneziano Rilevamento della vegetazione.
Supervisione e Coordinamento scientifico Progetto	Francesca Coccon, CORILA



Università
Ca' Foscari
Venezia

Sommario

Introduzione e finalità di progetto	3
1. MATERIALI E METODI	4
1.1 Calendario uscite in campo	4
1.2 Studio della vegetazione	4
Disegno sperimentale	4
Raccolta dei dati	6
Analisi dei dati	11
2. RISULTATI	14
<i>Cluster analysis</i> e descrizione delle comunità vegetali rilevate	14
Ecologia di <i>Baccharis halimifolia</i>	17
Efficacia degli interventi di contenimento	18
3. DISCUSSIONE	21
3.1 Sintesi dei risultati	22
4. BIBLIOGRAFIA	23

Introduzione e finalità di progetto

Il presente studio si inserisce nell'ambito della Collaborazione in attività di ricerca avente come oggetto l'attuazione della "Strategia regionale per il contrasto alle specie esotiche invasive (IAS) per il quinquennio 2022-2026", nell'ambito dei siti Rete Natura 2000, secondo quanto previsto dalla d.g.r.v. n. 1059/2023.

Nello specifico, lo studio ha come obiettivo l'acquisizione di dati ecologici e lo sviluppo di strategie di contenimento per la specie aliena invasiva *Baccharis halimifolia* L. nelle Casse di colmata della laguna di Venezia.

B. halimifolia, una specie appartenente alla famiglia delle Asteraceae, ha evidenziato una rapida espansione in habitat umidi e salmastri, con conseguenti impatti rilevanti sulla biodiversità locale, nonché sulla struttura e sulle funzionalità degli ecosistemi invasi.

Il progetto in oggetto è finalizzato a fornire una valutazione approfondita dell'ecologia della specie e a monitorare gli effetti degli interventi di contenimento attuati da Veneto Agricoltura. Obiettivo ultimo è la definizione di linee guida contenenti indicazioni gestionali efficaci per limitare la diffusione della specie e favorire il ripristino di fitocenosi coerenti con le caratteristiche ecologiche del sito delle Casse di colmata.

Il progetto prevede una collaborazione di ricerca tra CORILA, per il coordinamento delle ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia, e DAIS, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica dell'Università Ca' Foscari di Venezia, nella raccolta e analisi di dati ecologici e nella valutazione dell'efficacia delle misure di contenimento realizzate nel sito di indagine.

La presente relazione è riferita al periodo **febbraio – settembre 2025**, e illustra lo stato di avanzamento delle attività progettuali, con particolare riguardo agli esiti del monitoraggio vegetazionale e pedologico condotto nelle Casse di colmata della laguna di Venezia.



Figura 1. *Baccharis halimifolia* presso le Casse di colmata

1. MATERIALI E METODI

In questo capitolo vengono descritti gli aspetti metodologici relativi alle diverse analisi condotte durante il presente lavoro, al fine di esplicitare tutte le scelte effettuate e rendere massima la riproducibilità delle analisi stesse in futuro.

1.1 Calendario uscite in campo

In relazione agli obiettivi, le attività di campo sono state svolte durante la primavera-estate 2025 nelle giornate riportate in Tabella 1. Complessivamente, nel corso della stagione di rilevamento hanno partecipato alle attività di campo sei persone: Alberto Cercato (AC), Andrea Della Bella (ADB), Alberto Fiorese (AF), Edy Fantinato (EF), Simone Marino Preo (SMP) e Alice Veneziano (AV). Alle giornate di rilevamento della vegetazione e di campionamento del suolo ha sempre fatto seguito almeno un'altra giornata di attività in laboratorio, utile a identificare individui di specie critiche raccolti durante i rilievi o alla valutazione dei parametri pedologici.

Tabella 1. Giornate di lavoro in campo svolte durante la primavera-estate 2025

Giornata	Attività svolta
13 febbraio 2025	Sopralluogo in campo con la committenza (AC, AF, EF)
26 maggio 2025	Accertamento dell'accessibilità alle unità di campionamento, analisi preliminare dello stato dei luoghi, censimento floristico preliminare (AC, AF)
28 maggio 2025	Accertamento dell'accessibilità alle unità di campionamento, analisi preliminare dello stato dei luoghi, censimento floristico preliminare (AC, AF)
3 giugno 2025	Rilevamento della vegetazione (AC, ADB, AF, EF, AV)
10 giugno 2025	Rilevamento della vegetazione (AC, AF)
11 giugno 2025	Rilevamento della vegetazione (AC, AF)
18 giugno 2025	Rilevamento della vegetazione (AC, ADB, AF, SMP)
20 giugno 2025	Campionamento del suolo, rilevamento della vegetazione (AC, AF)

1.2 Studio della vegetazione

L'attività ha previsto diversi step operativi e ha compreso il rilevamento della vegetazione in campo e la successiva elaborazione dei dati (Buffa et al., 2005).

È stata dapprima condotta un'analisi preliminare volta a meglio comprendere la diversità delle comunità vegetali presenti e la loro articolazione spaziale presso le Casse di colmata. Successivamente, la vegetazione è stata rilevata sulla base del metodo floristico-statistico (Braun-Blanquet, 1964; Dengler et al., 2008), il quale riconosce come unità di riferimento la comunità vegetale intesa come un'aggregazione di individui di specie diverse che vivono in un dato momento e in un dato spazio formando un'unità relativamente omogenea, distinguibile dalle unità adiacenti.

Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale ha previsto l'individuazione di due tipologie di siti di rilevamento (Figura 2):

1. La prima tipologia comprende punti di rilievo localizzati in aree non trattate con l'obiettivo di comprendere l'ecologia di *B. halimifolia*;
2. La seconda tipologia comprende punti di rilievo localizzati in aree sottoposte a interventi di eradicazione di *B. halimifolia*, al fine di valutare la sua capacità di ricolonizzazione e l'efficacia degli interventi.

L'individuazione iniziale delle aree di rilevamento è stata effettuata secondo un piano di campionamento random stratificato (CRS), preselezionando in ambiente GIS gruppi omogenei (strati) e posizionando i punti di rilievo in modo casuale all'interno di ogni strato. Gli strati sono stati individuati distinguendo le superfici sottoposte a interventi di eradicazione di *B. halimifolia* da quelle non interessate da tali attività.

I punti di rilevamento sono stati generati preliminarmente alla fase di rilievo in campo mediante gli strumenti propri del software QGIS 3.10 (funzione "Create random points") in grado di individuare punti casuali all'interno dell'area di studio.

A seguito di sopralluoghi esplorativi condotti nel maggio 2025, integrati da fotointerpretazione di immagini satellitari, è emerso che l'avanzato stadio di invasione di *B. halimifolia* ha determinato una marcata riduzione dell'eterogeneità degli habitat presenti nel sito, contrariamente a quanto atteso sulla base dell'articolazione geomorfologica tipica delle paludi salmastre mediterranee (Tozzi et al., 2022; Rogel et al., 2000). Inoltre, alcune aree sono risultate inaccessibili a causa dell'elevata densità e impenetrabilità dei popolamenti più vecchi di *B. halimifolia*. Di conseguenza, è stato necessario accoppiare al campionamento random un campionamento preferenziale (Thompson, 1996), applicato in tutti i casi in cui i punti generati casualmente ricadessero in aree non accessibili. In tutti questi casi i punti sono stati spostati nella porzione rilevabile omogenea più vicina, registrandone le nuove coordinate geografiche.

In totale, sono stati individuati 100 punti di rilevamento localizzati in aree non trattate, caratterizzate da presenza di *B. halimifolia* con diversi valori di abbondanza, e 50 punti di rilievo localizzati in aree sottoposte a interventi di eradicazione di *B. halimifolia* (Figura 2).

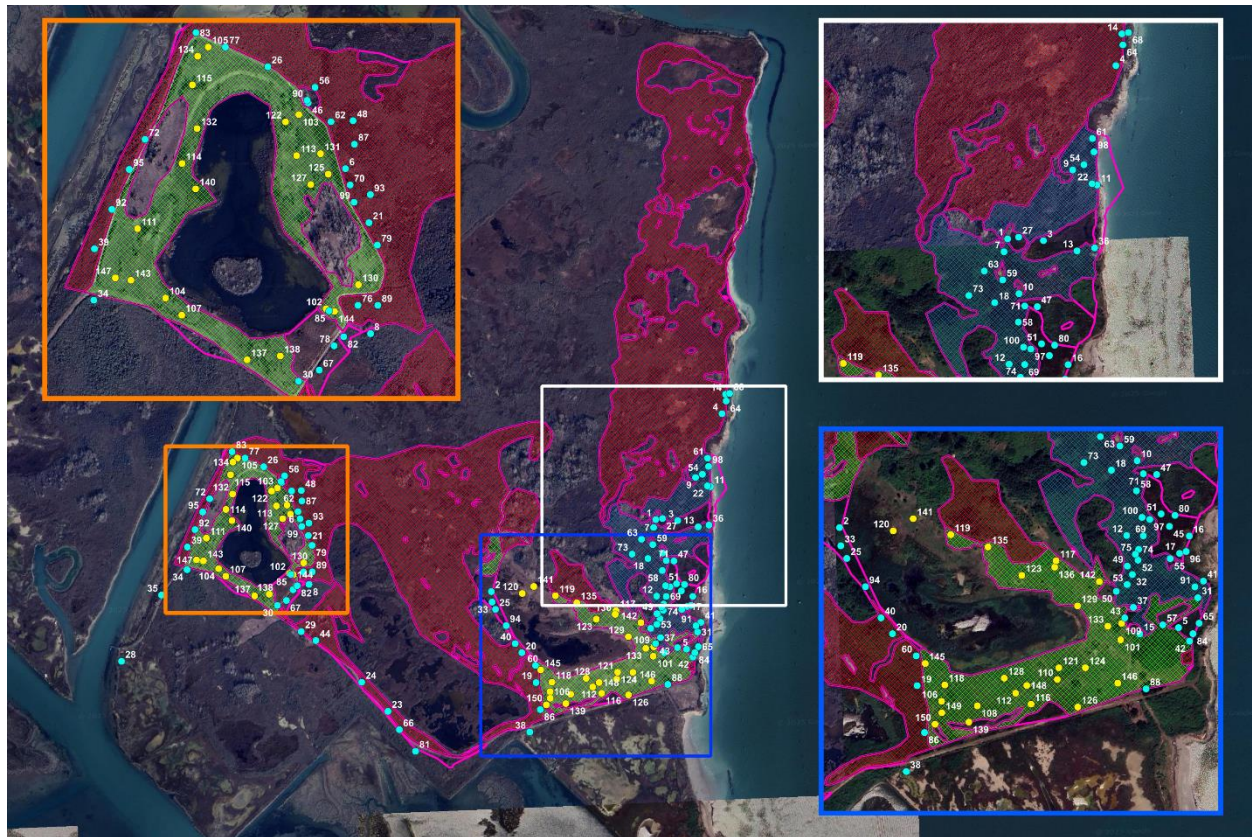


Figura 2. Suddivisione dell'area di studio sulla base dello stadio di invasione di *B. halimifolia* (tratteggio rosso: arbusteto fitto; tratteggio blu: arbusteto rado; tratteggio verde: arbusteto oggetto di intervento di contenimento). Distribuzione dei punti di rilevamento (azzurri: gruppo 1 - no intervento; gialli: gruppo 2 - intervento).

Raccolta dei dati

La selezione delle variabili ambientali ed ecologiche oggetto di indagine è stata effettuata sulla base delle indicazioni fornite dalla letteratura scientifica e delle evidenze rilevate durante i sopralluoghi esplorativi.

In conformità a tali criteri, l'analisi della comunità vegetale è stata condotta in tutti i punti di rilevamento, mentre le indagini pedologiche sono state circoscritte ai soli punti esterni all'area interessata dagli interventi di contenimento.

Vegetazione

Lo studio della vegetazione è avvenuto sulla base del metodo floristico-statistico (Braun-Blanquet, 1964; Dengler et al., 2008), il quale prevede l'individuazione di superfici di rilievo denominate plot. Con il termine "plot" si intendono aree, generalmente di forma quadrata, e di superficie nota, utilizzate come "aree di campionamento", le cui dimensioni dipendono dalle caratteristiche fisionomico-strutturali della vegetazione da rilevare (Angelini et al., 2016). Nel caso in cui un plot, una volta individuato, rappresenti un'unità di campionamento fissa e utilizzabile anche in future campagne di monitoraggio, questo è detto "permanente".

In base agli standard di rilevamento adottati a livello europeo (Chytrý & Otýpková, 2003), la superficie del plot è stata fissata a 4 m², utilizzando un quadrato di 2 × 2 m (Figura 3).

Una volta individuato e delimitato il plot, si è proceduto all'annotazione dei dati stazionali e metodologici e alla descrizione della struttura della vegetazione.

Per ciascun plot sono stati raccolti i seguenti dati:

- a. numero del rilievo (ID plot);
- b. superficie e forma del plot.
- c. coordinate geografiche;
- d. nominativi dei rilevatori;
- e. data di esecuzione;
- f. dati stazionali (inclinazione ed esposizione);
- g. descrizione della struttura complessiva della vegetazione, stimando la copertura totale della vegetazione come percentuale di suolo coperto dalla proiezione verticale della chioma delle piante;
- h. descrizione della struttura della vegetazione distinguendo lo strato arboreo (A), arbustivo (B) ed erbaceo (C) stimando per ciascuno la copertura % e l'altezza media¹; ai tre classici strati relativi alle piante vascolari è stata aggiunta la valutazione della copertura dello strato muscinale²;
- i. eventuali annotazioni utili durante la fase di analisi per la comprensione della situazione ecologica (ad es., presenza e tipologia della lettiera, presenza di ristagno idrico permanente o discontinuo);

Successivamente, il campionamento ha previsto la stesura della lista delle specie vegetali radicate al suo interno e l'assegnazione dei rispettivi valori di copertura, considerando la proiezione verticale all'interno del plot delle chiome dell'insieme degli individui di ciascuna specie (Angelini et al., 2016). Contrariamente a quanto previsto dal metodo fitosociologico, in cui l'abbondanza delle specie viene attribuita utilizzando una scala alfanumerica con 6 classi di copertura, in questo caso sono stati utilizzati valori percentuali continui (da 0,01 a 100%), più precisi nel descrivere i rapporti di abbondanza/dominanza fra le singole specie.

Inoltre, dato l'obiettivo di valutare l'efficacia degli interventi di eradicazione, in ogni plot è stato contato il numero di individui di *B. halimifolia*. In questo caso, si è operata una semplificazione metodologica

¹ La distinzione degli strati è avvenuta prendendo in considerazione la forma biologica e l'altezza. Nello strato A (arboreo) sono state incluse le specie arbustive/arboree con altezza > 5 m; nello strato B (arbustivo) sono state incluse le specie arbustive/arboree con altezza > 1 m e ≤ 5 m; nello strato C (erbaceo), sono state incluse le specie erbacee e arbustive/arboree con altezza ≤ 1 m.

² Lo strato muscinale si riferisce ai muschi e qualifica lo strato vegetale più basso di una fitocenosi, soprattutto forestale, dominata dai muschi

considerando come "individuo" l'insieme dei ramet presenti all'interno del plot, nella consapevolezza che tali ramet potessero appartenere a policormoni³.



Figura 3. Plot di rilievo della vegetazione di 2 x 2 metri delimitato da canne di bambù.

Per minimizzare la possibilità di errori di campionamento, ogni rilievo è stato effettuato sempre in presenza di almeno due persone. Durante la stesura della lista di specie, inoltre, è stata prestata particolare attenzione alla corretta individuazione del taxon di riferimento. Ogni qualvolta ci si è trovati di fronte a specie per le quali gli individui mancavano dei caratteri necessari ad una corretta e sicura determinazione sul campo, questi sono stati raccolti al termine della fase di attribuzione delle abbondanze e successivamente determinati in laboratorio, facendo uso dei volumi Flora d'Italia (Pignatti, 1982; 2017). Le medesime operazioni sono state svolte nel caso di gruppi che ponevano particolari difficoltà nell'identificazione in campo.

Per l'effettuazione dei rilievi è stata utilizzata la scheda di campo riportata di seguito (Figura 4). I dati raccolti sono stati successivamente riuniti in una matrice (su foglio elettronico Excel) con riportate le specie in riga e i rilievi in colonna, e all'intersezione tra righe e colonne, i valori di copertura delle specie.

³ Il termine policormone è utilizzato in botanica per descrivere un individuo vegetale complesso e integrato che deriva da un unico individuo genetico (o genet), ma si manifesta come più unità distinte e separate (ramet), come ad esempio diversi rami o getti epigei che sono ancora collegati da un unico sistema radicale sotterraneo.

COLLABORAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA "STRATEGIA REGIONALE PER IL CONTRASTO ALLE SPECIE ESOTICHE INVASIVE (IAS) NELL'AMBITO DI RETE NATURA 2000 VENETO SECONDO QUANTO PREVISTO DALLA D.G.R.V. N. 1059/2023" – Seconda relazione intermedia - Settembre 2025

ID		1	2	3	4	5	6	7	8
Latitudine		45.367713	45.365909	45.367659	45.370561	45.364101	45.36833	45.367498	45.36631
Longitudine		12.250937	12.244379	12.251794	12.253698	12.251937	12.236927	12.250838	12.237246
Intervento		no	no	no	no	no	no	no	no
Copertura tot %		100	90	100	100	50	95	100	100
Copertura muscinale %		0	0	0	0	0	0	0	2
Copertura C %		30	90	70	20	50	95	15	40
Altezza C cm		80	200	130	80	175	70	60	60
Copertura B %		40	0	30	100	3	0	70	30
Altezza B cm		280	0	120	260	0	0	180	100
Copertura A		100	0	0	0	0	0	0	100
Altezza A cm		1200	0	0	0	0	0	0	1400
N. ind. Baccharis		2	0	9	8	1	1	9	9
	strato								
Anisantha madritensis	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Arenaria serpyllifolia ssp. serpyllifolia	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Aristolochia clematitis	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Symphyotrichum novi-belgii	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Atriplex prostrata	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Halimione portulacoides	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Baccharis halimifolia	B	0	0	30	100	0	0	30	0
Baccharis halimifolia	C	1	0	0	1	3	0.1	1.5	7
Blackstonia perfoliata	C	0	0	0	0	0	0	0	0
Bolboschoenus maritimus	C	0	0	60	0	0	0	0	0
Bryonia dioica	C	0	0	0	0	0	0	0	3

Figura 4. Esempio di scheda di rilevamento utilizzata durante le uscite.

La nomenclatura delle specie fa riferimento a Bartolucci et al. (2018) per le specie native e Galasso et al. (2018) per le specie esotiche.

Suolo

L'obiettivo dell'analisi pedologica è stato quello di valutare l'influenza delle caratteristiche fisiche del suolo sulla capacità di colonizzazione di *B. halimifolia*, con particolare riferimento al trade-off (letteralmente, compromesso) tra disponibilità idrica e disponibilità di ossigeno (O_2) negli orizzonti superficiali. A tal fine, è stata considerata come variabile di riferimento l'umidità gravimetrica (θ_g), definita come il rapporto tra la massa dell'acqua e la massa del suolo secco (Rogel et al., 2000). Tuttavia, i sopralluoghi preliminari hanno evidenziato una marcata variabilità granulometrica e, conseguentemente, della densità apparente, che avrebbe potuto ridurre la rappresentatività di una misura basata unicamente sulla massa. Per ovviare a tale limitazione, alla determinazione di θ_g è stata affiancata la misura dell'umidità volumetrica (θ_v), definita come il rapporto tra il volume di acqua e il volume totale di suolo (Smith & Dowdell, 1974). L'impossibilità di prelevare volumi noti di suolo, dovuta alla frequente presenza di biomassa ipogea, in particolare rizomi appartenenti al genere *Juncus*, ha tuttavia reso necessario un adattamento della procedura rispetto agli standard comunemente riportati in letteratura.

Poiché le paludi salmastre sono ambienti caratterizzati da un bilancio idrico complesso, influenzato da precipitazioni, evapotraspirazione e oscillazioni mareali, il contenuto idrico del suolo risulta soggetto a variazioni sia inter- che intra-giornaliere (Peters et al., 2025). Per ridurre al minimo la variabilità temporale e garantire la confrontabilità dei dati, il campionamento è stato pianificato in modo da prelevare i campioni in tutti i punti di analisi nell'arco di poche ore.

I campioni sono stati raccolti mediante piantatrici per bulbi e trasferiti in sacchetti di plastica sigillati, prestando attenzione a limitare l'ingresso di aria e ridurre così l'errore legato a processi di evaporazione e condensazione (Reynolds, 1970). Una volta trasportati in laboratorio, i sacchetti sono stati conservati in frigorifero a 4 °C fino al momento del trattamento.

A distanza di alcuni giorni dal prelievo, i campioni sono stati trasferiti in vaschette di alluminio, depurati da eventuali residui organici vegetali e animali, pesati e successivamente essiccati in forno a 105 °C al fine di rimuovere l'acqua interstiziale. Dopo un periodo iniziale di 24 ore, la pesata è stata ripetuta a intervalli regolari di un'ora fino al raggiungimento di un peso costante, condizione necessaria per la determinazione dell'umidità gravimetrica (θ_g) mediante la formula:

$$\theta_g = \frac{P_s * 100}{P_u} \quad (2.1)$$

Dove:

- θ_g = umidità gravimetrica (%)
- P_s = peso secco (g)
- P_u = peso umido (g)

Dopo la determinazione del peso a secco, i campioni sono stati frantumati e da ciascuno è stata prelevata un'aliquota di 100 ml, successivamente pesata (Figura 5). Durante questa fase si è posta particolare attenzione a non compattare il materiale, al fine di garantire la ripetibilità e la confrontabilità delle misure. Sulla base di tali dati è stato quindi possibile calcolare l'umidità volumetrica (θ_v) mediante la seguente formula:

$$\theta_v = \frac{\theta_g * P_f}{1,012964 * 100 \text{ ml}} \quad (2.2)$$

Dove:

- θ_v = umidità volumetrica (%)
- θ_g = umidità gravimetrica (%)
- P_f = peso del frantumato (g)
- 1,012964 = peso specifico dell'acqua alla temperatura di pesatura ad umido (24°C) ad una salinità ipotetica di 15 PSU
- 100 ml = volume di campione frantumato prelevato

Il principale limite del metodo, rispetto alle procedure comunemente riportate in letteratura, consiste nell'impossibilità di riprodurre i diversi gradi di compattamento del suolo in condizioni naturali. Tale informazione, persa nelle fasi di essiccazione e frantumazione, introduce un potenziale errore nella determinazione a volume noto. L'elevata variabilità del contenuto idrico tipica degli ambienti palustri (Rogel et al., 2000) contribuisce tuttavia a ridurre l'impatto di tale errore, assicurando una maggiore affidabilità dei dati ottenuti rispetto alla procedura tradizionale.

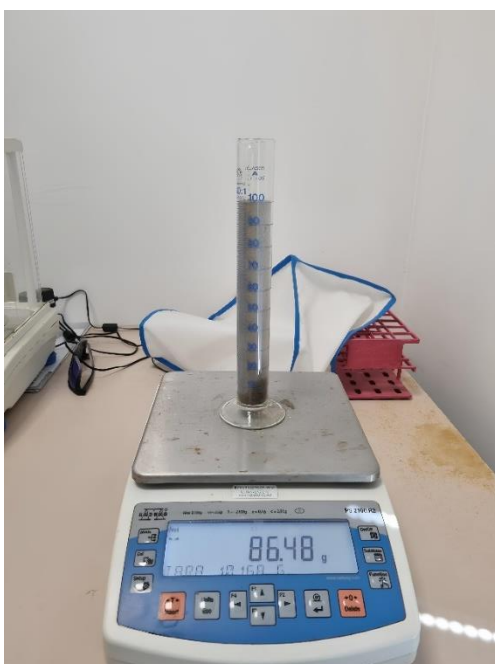


Figura 5. Pesatura del frantumato in cilindro graduato.

Dati stazionali e ambientali

Ai dati relativi alla vegetazione e al suolo sono stati integrati dati relativi agli aspetti topografici. Utilizzando il modello digitale del terreno con risoluzione di 5 m, fornito dal geoportale della regione Veneto (<https://idt2.regione.veneto.it/>), sono state calcolate le elevazioni di ciascun punto di analisi in ambiente GIS. Inoltre, la fotointerpretazione della linea di costa mediante immagini satellitari ha consentito il calcolo delle distanze di ciascun punto dalla stessa.

Attributi strutturali della vegetazione: Forma biologica e forma di crescita (Raunkiaer 1934)

Le forme biologiche sono tipi morfologico/funzionali che possono essere riconosciuti, con variazioni più o meno ampie ma sempre limitate, in diversi gruppi vegetali, indipendentemente dalla loro appartenenza tassonomica (Pignatti 1995) e identificabili nella posizione delle gemme (organi destinati alla produzione di nuovi tessuti) che consentono di differenziare le specie in funzione della diversa strategia di superamento della stagione avversa adottata e, in definitiva, delle diverse esigenze ecologiche. In base alla classificazione operata da Raunkiaer (1934), le specie vegetali possono essere suddivise nelle categorie riportate in Tabella 2. Inoltre, per ciascuna forma biologica è possibile individuare la forma di crescita, cui è associata la strategia di occupazione dello spazio in risposta a fattori di tipo climatico e legati al disturbo (Cornelissen et al. 2003).

COLLABORAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA "STRATEGIA REGIONALE PER IL CONTRASTO ALLE SPECIE ESOTICHE INVASIVE (IAS) NELL'AMBITO DI RETE NATURA 2000 VENETO SECONDO QUANTO PREVISTO DALLA D.G.R.V. N. 1059/2023" – Seconda relazione intermedia - Settembre 2025

Tabella 2. Classificazione delle forme biologiche e delle forme di crescita secondo Raunkiær (1934).

PIANTE PERENNI		
P	Fanerofite: piante legnose con gemme svernanti poste ad un'altezza dal suolo > 25 cm, hanno gemme protette da perule ⁴ .	
P SCAP	Fanerofite scapose	Piante arboree con gemme perennanti poste a + di 2 m dal suolo.
P CAESP	Fanerofite cespugliose	Piante con portamento cespuglioso.
P LIAN	Fanerofite lianose	Piante con portamento rampicante incapaci di autosorreggersi.
P REPT	Fanerofite reptanti	Piante con portamento strisciante, aderente al suolo.
P SUCC	Fanerofite succulente	Piante con organi (fusti e foglie) atti a conservare l'acqua.
P EP	Fanerofite epifite	Piante che si sviluppano su altre usandole come supporto.
NP	Nanofanerofite: piante con gemme perennanti poste tra 25 cm e 2 m dal suolo.	
CH	Camefite: piante legnose alla base con gemme svernanti poste ad un'altezza dal suolo tra 2 e 25 cm.	
CH FRUT	Camefite fruticose	Piante con aspetto di arbusti di modeste dimensioni.
CH PULV	Camefite pulvinata	Piante con aspetto rigonfio e globoso simile a un cuscino.
CH REPT	Camefite reptanti	Piante con portamento strisciante.
CH SCAP	Camefite scapose	Piante con asse fiorale ben definito (scapo) almeno parzialmente legnoso.
CH SUCC	Camefite succulente	Piante di ambienti aridi, con foglie o fusti, o entrambi, adattati a funzionare da riserve d'acqua.
CH SUFFR	Camefite suffruticose	Piante perenni con fusti legnosi, ma di modeste dimensioni (suffrutici), con le parti erbacee che seccano e non sopravvivono alla stagione avversa.
H	Emicriptofite: piante erbacee perenni o bienni con gemme svernanti poste al livello del terreno.	
H BIENN	Emicriptofite bienni	Piante che completano il proprio ciclo in due anni, vegetando nel primo e fiorendo e disseminando nel secondo.
H CAESP	Emicriptofite cespitose	Piante che iniziano a ramificarsi dal basso così da formare un fitto cespo di foglie o un cespuglio.
H REPT	Emicriptofite reptanti	Piante con fusti dal portamento strisciante.
H ROS	Emicriptofite rosulate	Piante che formano rosette di foglie a livello del terreno.
H SCAND	Emicriptofite scandenti	Piante con portamento rampicante.
H SCAP	Emicriptofite scapose	Piante con portamento eretto, con un fusto principale ben definito (scapo).
G	Geofite (criptofite): piante erbacee perenni con organi sotterranei di riserva quali bulbi o rizomi, che consentono loro di superare il periodo sfavorevole.	
G BULB	Geofite bulbose	Piante che formano bulbi sotterranei dai quali ogni anno nascono foglie e fiori.
G RAD	Geofite radici gemmate	Piante con organi sotterranei che portano le gemme da cui, ogni anno, si riforma la parte aerea.
G RHIZ	Geofite rizomatose	Piante con rizomi, fusti sotterranei metamorfosati orizzontali.
G PAR	Geofite parassite	Piante con gemme sotterranee che riescono con organi speciali a prelevare da altre piante la linfa necessaria alla loro sopravvivenza.
HE	Elofite: piante erbacee perenni con apparati ipogei rizomatosi, più o meno costantemente sommerse in acqua, e con fusto e foglie aeree che rinnovano ogni anno.	
I	Idrofite: piante erbacee perenni che vivono quasi completamente sommerse in acqua, radicando sul fondo o galleggiando nell'acqua; possono essere totalmente sommerse o emergere parzialmente dall'acqua con foglie e fiori.	
I RAD	Idrofite radicanti	Piante con l'apparato radicale ancorato sul fondo e foglie galleggianti.
I NAT	Idrofite natanti	Piante prive di vere radici, che galleggiano e fluttuano nell'acqua senza ancorarsi al fondo.
PIANTE ANNUALI		
T	Terofite: piante erbacee che superano la stagione sfavorevole allo stato di seme.	
T CAESP	Terofite cespitose	Piante che iniziano a ramificarsi dal basso così da formare un fitto cespo o un cespuglio.
T REPT	Terofite reptanti	Piante con portamento strisciante, aderente al suolo.
T SCAP	Terofite scapose	Piante con portamento eretto con un fusto principale ben definito spesso privo di foglie (scapo).
T ROS	Terofite rosulate	Piante che formano rosette di foglie a livello del terreno.
T PAR	Terofite parassite	Piante che con particolari organi riescono a nutrirsi a spese di altre piante.

Analisi dei dati

L'analisi dei dati è stata condotta con due approcci complementari, ciascuno con obiettivi specifici. Il primo approccio ha utilizzato una *cluster analysis* per identificare le comunità vegetali presenti nell'area di studio; il

⁴ Le perule sono foglie trasformate in maniera tale da fornire protezione alle gemme delle piante durante l'inverno. Le perule sono spesso coriacee e ricoperte da sostanze vischiose o da peli. Al termine della stagione di quiescenza (che nei climi temperati coincide con l'arrivo della primavera) le perule si aprono e cadono, permettendo lo sviluppo della gemma stessa, che può dunque dare origine a un germoglio.

secondo ha applicato modelli generalizzati per approfondire l'ecologia di *B. halimifolia* e valutare l'efficacia degli interventi di contenimento.

Cluster analysis

La *cluster analysis* è stata condotta sui dati ottenuti dai rilievi di vegetazione. Tale metodo, appartenente alla statistica multivariata, consente di valutare il grado di similarità tra diverse osservazioni sulla base dei valori assunti da più variabili. Considerando i plot come unità di osservazione e le specie come variabili, la *cluster analysis* permette di confrontare la struttura delle comunità vegetali nei diversi plot e, sulla base delle affinità riscontrate, di raggrupparli in cluster, corrispondenti a differenti associazioni vegetali presenti nell'area di studio.

Poiché la dissimilarità rappresenta l'inverso della similarità, per la sua stima è stato adottato il coefficiente di Bray–Curtis, ampiamente utilizzato nelle analisi ecologiche su dataset caratterizzati da un'elevata frequenza di zeri ("sparse data") (Legendre et al., 2012).

Per due plot *i* e *j*, una distanza di Bray–Curtis pari a 0 indica identità tra i due plot, mentre un valore pari a 1 corrisponde alla massima dissimilarità. La distanza si calcola mediante la seguente formula:

$$D_{BC}(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^S |x_{ik} - x_{jk}|}{\sum_{k=1}^S (x_{ik} + x_{jk})} \quad (2.3)$$

Dove:

- $D_{BC}(i, j)$ = distanza di Bray-Curtis fra *i* e *j*
- *S* = numero di specie complessivo ottenuto dal rilievo
- x_{ik} = copertura della specie *k*-esima nel plot *i*
- x_{jk} = copertura della specie *k*-esima nel plot *j*

Il metodo di aggregazione dei cluster adottato è stato Ward D2, un algoritmo che raggruppa progressivamente i plot in base al grado di similarità. L'approccio prevede inizialmente l'unione dei plot più simili e, in iterazioni successive, la fusione di cluster via via più dissimili. In particolare, a ciascun passo Ward D2 combina la coppia di cluster la cui unione determina la minima somma totale dei quadrati delle distanze dei punti dal centroide del cluster risultante.

Per ogni comunità individuata attraverso la cluster analysis, sono stati inoltre calcolati alcuni descrittori volti a comprenderne più nel dettaglio le caratteristiche strutturali. I descrittori selezionati includono: ricchezza specifica, diversità, grado di equiripartizione delle specie, e spettro biologico e delle forme di crescita.

Ricchezza specifica, diversità e grado di equiripartizione delle specie

Per ogni plot, sono stati calcolati ricchezza specifica, diversità e grado di equiripartizione delle specie secondo il seguente approccio:

- a) la ricchezza di specie (*S*) è stata quantificata come numero di specie di piante vascolari presenti nel plot;
- b) la diversità di specie è stata calcolata mediante l'applicazione dell'Indice di Shannon H'

$$H' = -\sum p_i \times \ln(p_i)$$

dove p_i rappresenta l'abbondanza relativa di ogni specie, calcolata rapportando la copertura di ogni specie all'interno di un dato plot con la copertura totale delle specie presenti all'interno dello stesso. L'indice di Shannon varia in un range che va da 0 a 3.5. Più il valore è elevato maggiore è la diversità;

- c) l'equiripartizione (o equità o "evenness") è stata calcolata attraverso l'indice di Pielou (*J*) (Pielou, 1966):

$$J = H' / H_{\max}$$

dove H' è l'indice di Shannon e $H_{max} = \ln(S)$. L'indice di Pielou varia in un range che va da 0 a 1. Più il valore tende al suo massimo (1), maggiore è l'uniformità distributiva delle specie all'interno del plot. Viceversa, valori vicini allo 0 indicano la presenza di dominanza da parte di una specie.

I risultati così ottenuti sono stati mediati tra i plot appartenenti allo stesso gruppo individuato dalla cluster analysis.

Spettro biologico e delle forme di crescita

Per ogni plot, lo spettro biologico e lo spettro delle forme di crescita sono stati calcolati mediante il rapporto percentuale tra la copertura delle specie associate ad ogni singola forma biologica/forma di crescita e la copertura totale di ogni plot. I valori così ottenuti sono stati mediati tra i plot afferenti a ciascun gruppo individuato dalla *cluster analysis*.

Modelli generalizzati

L'analisi statistica è stata articolata in due approcci principali: descrizione dell'ecologia di *B. halimifolia* e valutazione dell'efficacia degli interventi di contenimento.

Ecologia di B. halimifolia

Nei plot non sottoposti a interventi, la distribuzione del numero di individui ha mostrato un'elevata frequenza di zeri (aree in cui la specie era assente). Per tenere conto di questa caratteristica, abbiamo utilizzato un modello di Poisson con inflazione di zeri (Zero-Inflated Poisson), che permette di distinguere tra:

- la probabilità che un'area sia priva di individui;
- il numero di individui attesi laddove la specie è presente.

Le variabili indipendenti incluse nel modello erano rappresentate da: elevazione, distanza dalla laguna e umidità volumetrica del suolo. L'obiettivo è stato quello di identificare i fattori ecologici che influenzano la presenza e l'abbondanza (intesa come numero di individui) di *B. halimifolia*.

2. Efficacia degli interventi di contenimento

Per valutare l'efficacia degli interventi e i fattori che ne hanno modulato l'efficacia, sono stati utilizzati diversi modelli, scelti in base al tipo di dato e al sottoinsieme di plot considerato, come riportato in Tabella 3.

Tabella 3. Prospetto riassuntivo dei modelli utilizzati, con indicate le variabili dipendenti e indipendenti e il set di plot utilizzato.

Tipo di modello	Variabile dipendente	Variabili indipendenti	Note
GLM binomiale negativo	Numero di individui	Elevazione, distanza dalla laguna, intervento	Tutti i plot
GLM Gamma	Copertura	Elevazione, distanza dalla laguna, intervento	Tutti i plot
GLM binomiale negativo	Numero di individui	Elevazione, distanza dalla laguna, intervento	Solo plot in cui <i>Baccharis</i> è presente
GLM Gamma	Copertura	Elevazione, distanza dalla laguna, intervento	Solo plot in cui <i>Baccharis</i> è presente
GLM Gamma	Copertura	Elevazione, distanza dalla laguna, copertura totale esclusa <i>Baccharis</i> , copertura delle specie suddivise per forme di crescita	Solo plot di intervento

Tutti i modelli sono stati implementati in R (pacchetto pscl per il modello zero-inflated, pacchetto MASS per i GLM binomiali negativi) e semplificati eliminando le covariate non significative.

2. RISULTATI

Al 20 giugno 2025 tutti i plot sono stati eseguiti, come da programma (n = 150 rilievi di vegetazione). La Tabella A (in Appendice) riporta la matrice dei dati, indicando, per ciascun plot, le coordinate geografiche, i dati stazionali e ambientali, i valori di umidità e i valori dei descrittori *ricchezza*, *diversità* ed *equitabilità*. Per ogni plot vengono inoltre riportati i descrittori strutturali (copertura e altezza degli strati) e il numero di individui di *Baccharis* rilevati.

Cluster analysis e descrizione delle comunità vegetali rilevate

La *cluster analysis* ha evidenziato la presenza di 5 gruppi (Figura 6).

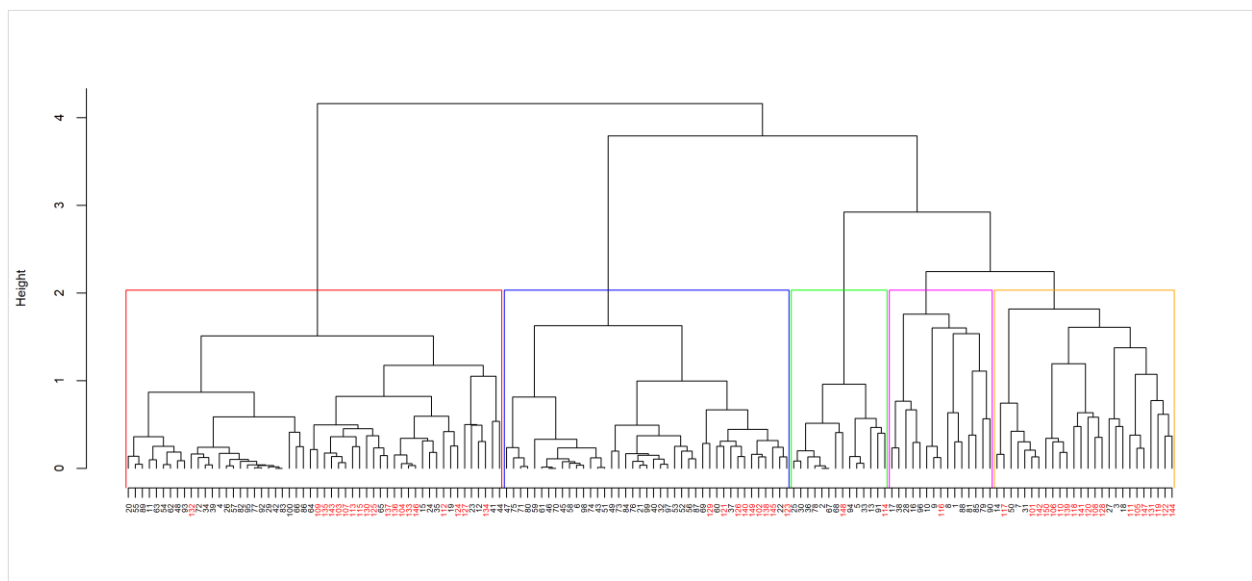


Figura 6. Dendrogramma generato dalla cluster analysis con evidenziati i 5 cluster: cluster A (rosso), cluster B (blu), cluster C (verde), cluster D (magenta), cluster E (arancione). In nero sono indicati i numeri dei plot effettuati nelle aree che non sono state oggetto di intervento

Come si può osservare in Figura 5 - in cui i plot effettuati nelle aree oggetto di intervento sono evidenziati in rosso - non si evidenzia una chiara separazione tra le due situazioni rilevate (trattato vs. non trattato). Di seguito sono riportati i risultati dei descrittori utilizzati per differenziare le comunità individuate dalla cluster analysis (Tabella 4 e Tabella 5).

Tabella 4. Prospetto riassuntivo dei descrittori relativi a ricchezza specifica, diversità di Shannon (H') ed equiripartizione (J). I valori riportati rappresentano la media $\pm$ dev. st. calcolata per i gruppi evidenziati dalla cluster analysis (vedi Figura 6).

Cluster	Ricchezza specifica media	Diversità di Shannon (H')	Indice di Pielou (J)
A	5.41 $\pm$ 2.53	0.71 $\pm$ 0.40	0.44 $\pm$ 0.21
B	4.98 $\pm$ 2.89	0.79 $\pm$ 0.46	0.54 $\pm$ 0.27
C	3.14 $\pm$ 2.48	0.50 $\pm$ 0.53	0.38 $\pm$ 0.35
D	5.60 $\pm$ 3.74	0.68 $\pm$ 0.39	0.43 $\pm$ 0.23
E	8.5 $\pm$ 4.13	1.26 $\pm$ 0.39	0.64 $\pm$ 0.16

COLLABORAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA "STRATEGIA REGIONALE PER IL CONTRASTO ALLE SPECIE ESOTICHE INVASIVE (IAS) NELL'AMBITO DI RETE NATURA 2000 VENETO SECONDO QUANTO PREVISTO DALLA D.G.R.V. N. 1059/2023" – Seconda relazione intermedia - Settembre 2025

Tabella 5. Spettri biologici e di crescita. I valori riportati rappresentano la media $\pm$ dev. st. calcolata per i gruppi evidenziati dalla cluster analysis (vedi Figura 6).

	A	B	C	D	E
Ch frut	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	6.21 $\pm$ 14.47	0.00 $\pm$ 0.00
Ch succ	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	18.77 $\pm$ 30.98	0.00 $\pm$ 0.02
Ch suffr	0.01 $\pm$ 0.07	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	8.90 $\pm$ 16.63	0.35 $\pm$ 1.25
G rad	0.21 $\pm$ 1.37	0.00 $\pm$ 0.00	0.86 $\pm$ 3.21	0.00 $\pm$ 0.00	0.31 $\pm$ 1.57
G rhiz	11.50 $\pm$ 17.63	73.82 $\pm$ 20.62	68.51 $\pm$ 23.79	4.77 $\pm$ 6.33	18.32 $\pm$ 17.50
H bienn	1.87 $\pm$ 6.25	0.03 $\pm$ 0.11	0.03 $\pm$ 0.11	0.18 $\pm$ 0.53	7.76 $\pm$ 17.89
H caesp	6.08 $\pm$ 13.35	2.83 $\pm$ 6.02	1.54 $\pm$ 3.75	17.20 $\pm$ 33.89	19.94 $\pm$ 27.3
H scap	1.21 $\pm$ 4.01	2.42 $\pm$ 5.40	0.46 $\pm$ 1.37	0.37 $\pm$ 1.42	3.22 $\pm$ 7.26
NP	71.64 $\pm$ 24.60	23.69 $\pm$ 20.59	4.75 $\pm$ 11.03	1.33 $\pm$ 2.61	15.70 $\pm$ 12.62
P caesp	7.40 $\pm$ 13.12	9.53 $\pm$ 20.44	0.61 $\pm$ 1.86	18.07 $\pm$ 44.08	19.34 $\pm$ 26.35
T rept	0.12 $\pm$ 0.47	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.11 $\pm$ 0.28	0.09 $\pm$ 0.23
T scap	0.38 $\pm$ 1.00	0.02 $\pm$ 0.08	0.86 $\pm$ 3.21	0.78 $\pm$ 1.45	1.26 $\pm$ 3.16

Cluster A – Arbusteto a *Baccharis halimifolia*

Il cluster A comprende 54 plot, caratterizzati dalle più elevate coperture medie di *B. halimifolia*, anche se con una certa variabilità, come evidenziato dai valori elevati di deviazione standard. Nello strato arbustivo, le coperture si attestano mediamente intorno al 50% (49.66 ± 40.66), mentre nello strato erbaceo sono più ridotte (21.95 ± 24.88). La ricchezza specifica è sempre molto contenuta (5.41 ± 2.53); la presenza di altre specie è fortemente ridotta e variabile tra i diversi plot: tra le più rappresentative si riscontrano *Juncus maritimus*, *Rubus ulmifolius*, *Calamagrostis epigejos* e *Phragmites australis*. Il valore dell'indice di Pielou (0.44 ± 0.21) indica una scarsa ripartizione delle abbondanze tra le specie, e una certa dominanza di *B. halimifolia*, come evidenziato dallo spettro biologico che vede le nanofanerofite come forma dominante. Il numero di individui di *B. halimifolia*, seppur variabile, risulta comunque il più elevato (20.93 ± 20.17).

Questa situazione descrive gli stadi più avanzati di invasione, dove la forte capacità competitiva di *B. halimifolia* in termini di luce e spazio limita la diversità specifica e riduce la complessità strutturale. I plot inclusi in questo cluster sono accomunati dai più bassi valori di umidità (Umidità gravimetrica (%) 19.67 ± 15.64 ; Umidità volumetrica (%) 19.71 ± 15.37) (vedi Tabella A, in Appendice).

Cluster B – Comunità a *Juncus maritimus*

Il secondo cluster include 41 plot, caratterizzati dalla dominanza di *Juncus maritimus*, con una copertura media del 77,7%; valori che si riducono al 40% nei plot effettuati nelle aree trattate. La specie guida è accompagnata da *Bolboschoenus maritimus*, *Calamagrostis epigejos* ssp. *epigejos*, *Phragmites australis* e *Sonchus maritimus*. In questo cluster, le coperture medie di *B. halimifolia* si abbassano al $15.07\% \pm 21.24$ nello strato arbustivo, e al 8.61 ± 13.70 in quello erbaceo. Tuttavia, è interessante notare come nei plot non trattati, le coperture si mantengono elevate (superiori al 70% nello strato arbustivo), mentre nei plot trattati è presente nello strato arbustivo soltanto in due plot.

Diversa la situazione per lo strato erbaceo, che testimonia la strategia della specie: se nei plot non trattati la copertura media della specie è intorno al 6%, nelle aree trattate sale al 50%. Questo dato viene rispecchiato dal numero di individui di *B. halimifolia* che sale da una media di 18 ramet nei plot non trattati, ad una media di 26 nei plot trattati (con valori estremi di 52 ramet). Nonostante la ricchezza in specie sia mediamente inferiore rispetto al cluster precedente, la diversità è maggiore (0.79 ± 0.46), grazie ad una migliore equiripartizione delle abbondanze delle specie (0.54 ± 0.27). Questa comunità conserva ancora tratti tipici degli habitat a giuncheti, ma la presenza di *B. halimifolia* suggerisce un processo dinamico verso formazioni più compromesse (Figura 7). La variabilità interna del cluster, con sub-unità più o meno invase, indica fasi diverse del processo di invasione. La vulnerabilità all'invasione delle comunità a *Juncus maritimus* è confermata anche per altri sistemi lagunari europei (Caño et al., 2013).

Cluster C – Comunità a *Phragmites australis*

Il cluster C comprende 14 plot, in maggioranza rilevati in aree non trattate. La comunità è dominata da *Phragmites australis*, con una copertura media del 62.64 ± 24.52 . Le altre specie risultano pressoché marginali, situazione caratteristica in questo tipo di comunità, e rappresentate principalmente da *Bolboschoenus maritimus* e *Juncus maritimus*. *B. halimifolia* ha coperture basse, anche se variabili (2.85 ± 10.69 nello strato B; 1.89 ± 3.57 nello strato C). Anche in questo caso, si registra un più alto numero di individui nei plot trattati. Come atteso, i plot di questo cluster presentano i valori più elevati di umidità (Umidità gravimetrica (%) 52.63 ± 17.54 ; Umidità volumetrica (%) 42.74 ± 13.99) (vedi Tabella A, in Appendice).

I canneti a *Phragmites* si configurano come comunità resistenti all'invasione di *B. halimifolia*, probabilmente grazie all'umidità del suolo e alla capacità competitiva di *P. australis*, capace di occupare rapidamente lo spazio in termini di biomassa ipogea e colonizzazione vegetativa.

Cluster D – Comunità con ristagno idrico periodico

Questo cluster racchiude 15 plot che descrivono situazioni diverse, proprie delle comunità barenicole. Tra le specie di volta in volta dominanti è possibile citare *Halimione portulacoides*, *Salicornia fruticosa*, *Limonium narborensis* e *L. virgatum*. In questo cluster vengono inclusi anche due plot rilevati in ambiti arborei (vedi plot n. 1 e 8; Tabella A, in Appendice). *B. halimifolia* è pressoché assente, e nei pochi casi in cui è presente, esclusivamente nello strato erbaceo, non supera il 7% di copertura. Nonostante in letteratura la specie sia descritta come alofita facoltativa (Caño et al., 2016), nel caso delle Casse di colmata, la scarsa penetrazione di *B. halimifolia* in questi ambienti suggerisce che i suoli periodicamente inondati da acqua salmastra rappresentino un contesto meno favorevole al suo insediamento, probabilmente a causa di stress idrico-salino e anossia radicale.

Cluster E – Comunità di ambienti disturbati e suoli drenanti

Il cluster raggruppa 26 plot dominati da specie tipiche di contesti disturbati e con suoli ben drenati, generalmente poco tolleranti al ristagno idrico. Le specie che esprimono le coperture medie maggiori sono *Rubus ulmifolius*, *Calamagrostis epigejos*, *Juncus maritimus*, *Cirsium vulgare* e *Holcus lanatus*. Si tratta di situazioni dinamiche e instabili, rilevate prevalentemente nelle aree sottoposte ad intervento. La forte dinamicità è comprovata anche dai valori più elevati dei descrittori di ricchezza, diversità ed equitabilità (Tabella 4). Nei plot situati nelle aree non trattate, *B. halimifolia* è presente nello strato arbustivo, con coperture limitate. Viceversa, nelle aree trattate, tutti i plot presentano rinnovazione, talvolta significativa, con coperture elevate (fino al 35%) e numeri elevati di individui di *Baccharis* (fino a 46, con una media di 14).



Figura 7. Avanzamento dell'arbusteto di *B. halimifolia* nel *Juncetum maritimi*.

Ecologia di *Baccharis halimifolia*

Il modello *zero-inflated*, applicato esclusivamente ai plot non sottoposti a interventi di contenimento, ha evidenziato relazioni significative tra la presenza/assenza e l'abbondanza di *B. halimifolia* in funzione dei gradienti ambientali (Figura 8). La probabilità di assenza della specie aumenta significativamente con l'umidità volumetrica del suolo ($\beta = 0,951$; $p = 0,001$). In altre parole, nei plot più umidi non solo si osserva una riduzione nel numero di individui, ma risulta anche più probabile non rilevare alcun esemplare di *Baccharis*. Ciò conferma che l'umidità del suolo rappresenta un fattore limitante primario per l'espansione della specie, che predilige ambienti drenati e disturbati piuttosto che superfici soggette a ristagno periodico o persistente.

Per quanto riguarda la densità, il numero di individui cresce in modo significativo con l'elevazione ($\beta = 0,168$; $p < 0,001$) e con la distanza dalla laguna ($\beta = 0,485$; $p < 0,001$), mentre decresce al crescere dell'umidità volumetrica ($\beta = -0,308$; $p < 0,001$). Questi risultati indicano che *B. halimifolia* tende a insediarsi con maggiore abbondanza in aree leggermente sopraelevate e lontane dall'influenza diretta della laguna, evitando i microhabitat caratterizzati da saturazione idrica prolungata. Tale preferenza ecologica è coerente con la fisiologia della specie, che tollera condizioni di salinità moderate, ma mostra una ridotta capacità competitiva in contesti soggetti ad anossia radicale (Lázaro-Lobo et al., 2021).

Nel complesso, l'analisi evidenzia come la distribuzione di *B. halimifolia* sia governata da un equilibrio tra fattori topografici e idrologici: l'elevazione e la distanza dal corpo lagunare favoriscono l'invasione, mentre l'umidità del suolo funge da barriera ecologica. Queste dinamiche hanno implicazioni gestionali rilevanti, poiché suggeriscono che le aree marginali e ben drenate rappresentano i principali nuclei di diffusione, mentre gli habitat a ristagno idrico periodico possono agire come zone rifugio per la vegetazione autoctona meno soggetta a sostituzione.

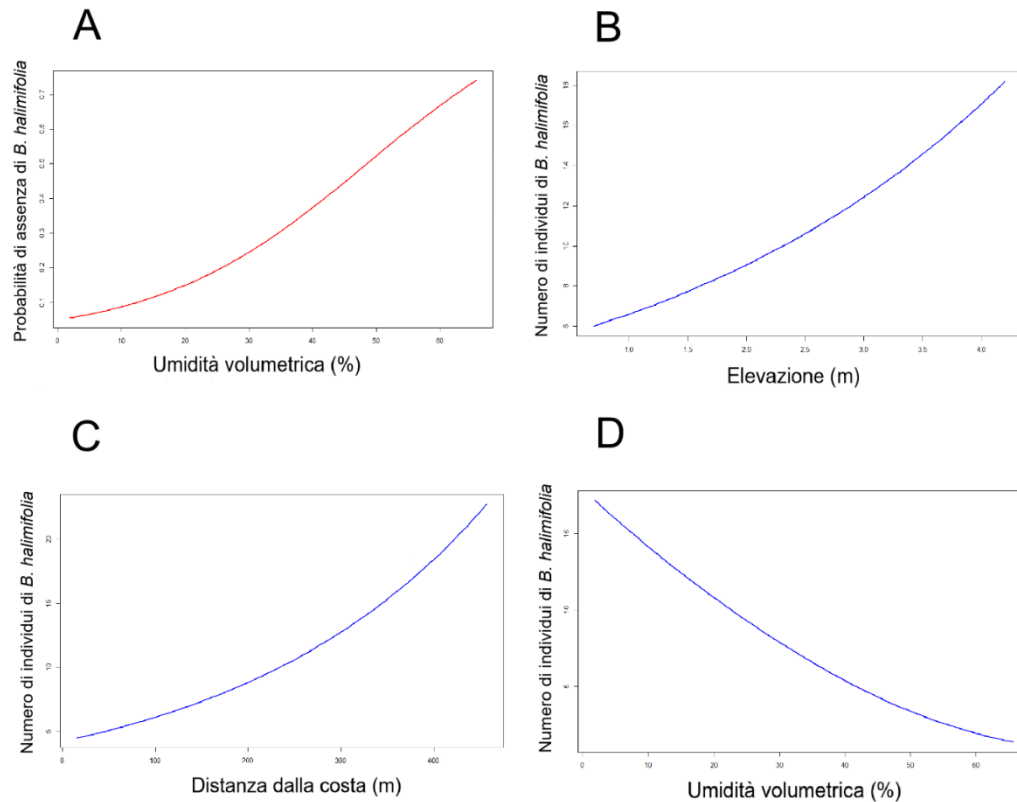


Figura 8. Risultati dei modelli Zero-Inflated Poisson. A) probabilità di assenza di *B. halimifolia* vs umidità volumetrica; B) valore atteso del numero di individui di *B. halimifolia* vs elevazione; C) valore atteso del numero di individui di *B. halimifolia* vs distanza dalla costa; D) valore atteso del numero di individui di *B. halimifolia* vs umidità volumetrica.

Efficacia degli interventi di contenimento

L'analisi dell'efficacia degli interventi di contenimento, condotta tramite modelli generalizzati a distribuzione binomiale negativa e Gamma, ha mostrato che la risposta di *B. halimifolia* è modulata sia da fattori ambientali (elevazione e distanza dalla laguna) sia dalla presenza di interventi di contenimento.

Considerando l'intero dataset (tutti i plot) (Figura 9), il modello binomiale negativo ha evidenziato che il numero di individui di *B. halimifolia* aumenta significativamente con l'elevazione ($\beta = 0,546$; $p < 0,001$) e con la distanza dalla laguna ($\beta = 0,002$; $p = 0,001$), coerentemente con quanto osservato nell'analisi dell'ecologia della specie. La variabile categoriale "intervento" mostra un effetto negativo significativo sul numero di individui ($\beta = -0,679$; $p = 0,002$), indicando che nei plot sottoposti a intervento si osserva un aumento del numero di individui rispetto ai plot non trattati. Questo fenomeno suggerisce una risposta rigenerativa di *B. halimifolia*, con produzione di nuovi ramet in seguito al disturbo del suolo o alla rimozione parziale della biomassa, così come riportato in Fried et al. (2016). Per quanto riguarda la copertura, il modello GLM mostra una sola relazione significativa, ovvero un effetto positivo dell'elevazione sulla copertura di *B. halimifolia* ($\beta = 0,496$; $p < 0,001$).

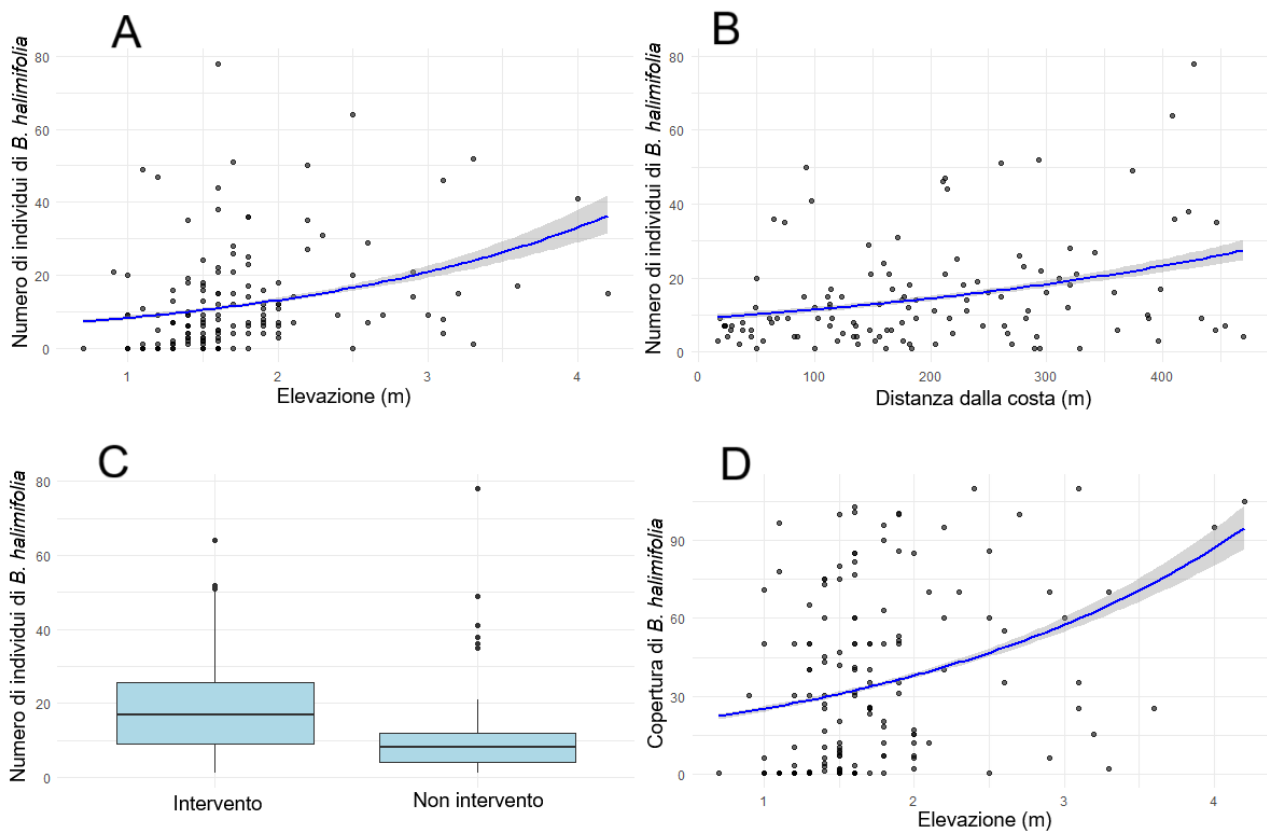


Figura 9. Risultati dei modelli ottenuti considerando tutti i plot. A) relazione tra elevazione e numero di individui di *B. halimifolia*; B) relazione tra distanza dalla costa e numero di individui di *B. halimifolia*; C) distribuzione del numero di individui di *B. halimifolia* per categorie di intervento; D) relazione tra elevazione e copertura di *B. halimifolia*.

Quando considerati solo i plot in cui *B. halimifolia* è presente, abbiamo ottenuto le medesime relazioni emerse considerando l'intero dataset; ovvero una relazione positiva tra il numero di individui e l'elevazione ($\beta = 0,035$; $p = 0,001$) e la distanza dalla costa ($\beta = 0,002$; $p = 0,001$) e una relazione negativa con gli interventi (ovvero un numero inferiore di individui nei plot non trattati ($\beta = -0,386$; $p = 0,015$)).

Per quanto riguarda la copertura, i modelli GLM a distribuzione Gamma mostrano un effetto opposto: nei plot non trattati, la copertura totale di *B. halimifolia* è più alta rispetto ai plot trattati ($\beta = 0,541$; $p < 0,001$), nonostante in questi ultimi si verifichi un aumento del numero di individui. Ciò indica che gli interventi favoriscono la frammentazione della chioma e la proliferazione di giovani polloni a scapito della continuità della copertura. La copertura complessiva di *B. halimifolia*, tuttavia, continua a crescere con l'elevazione ($\beta = 0,319$; $p = 0,003$), coerentemente con la preferenza della specie per porzioni leggermente sopraelevate e meglio drenate (Figura 10).

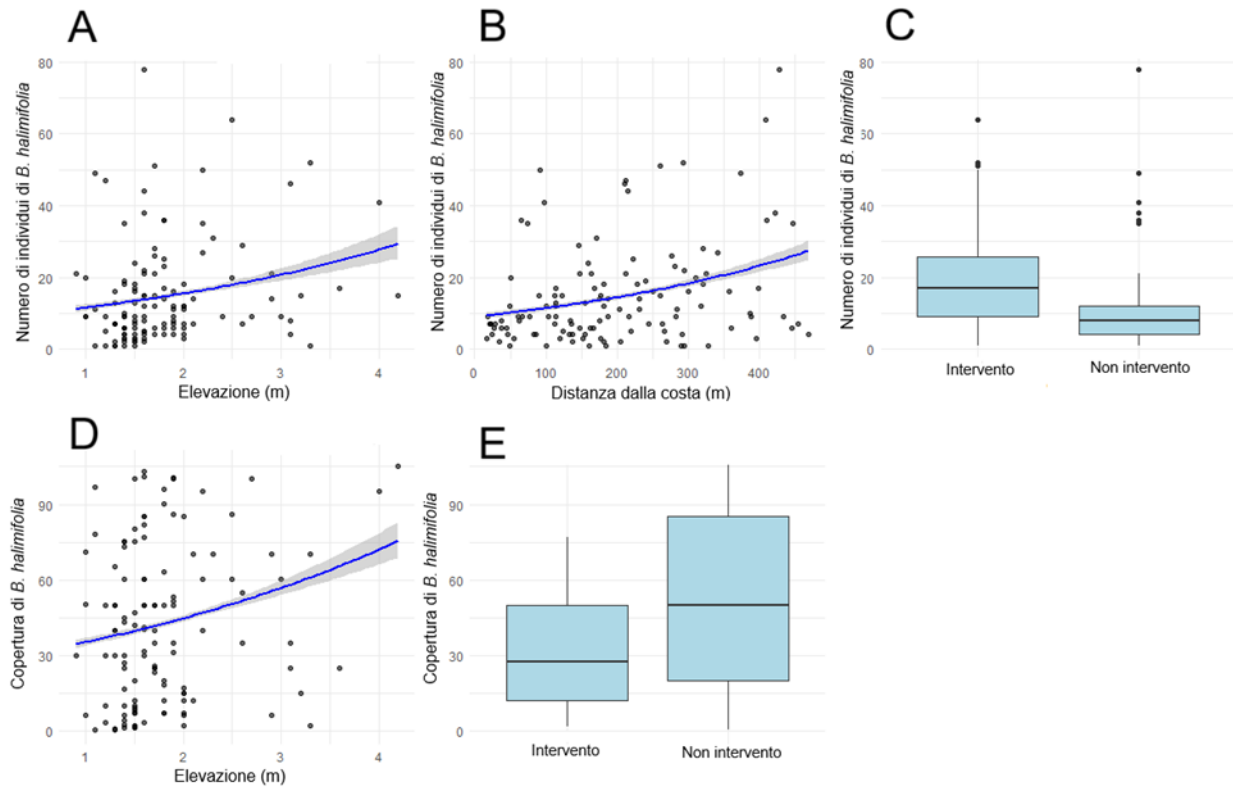


Figura 10. Risultati dei modelli ottenuti considerando solo i plot in cui *B. halimifolia* è presente. A) relazione tra elevazione e numero di individui di *B. halimifolia*; B) relazione tra distanza dalla costa e numero di individui di *B. halimifolia*; C) distribuzione del numero di individui di *B. halimifolia* per categorie di intervento; D) relazione tra elevazione e copertura di *B. halimifolia*; E) distribuzione della copertura di *B. halimifolia* per categorie di intervento.

L'analisi sui soli plot trattati (Figura 11) ha evidenziato come la copertura di *B. halimifolia* sia negativamente correlata con la copertura totale delle altre specie ($\beta = -0,018$; $p < 0,001$), confermando che la copertura delle altre specie limita lo spazio disponibile per *B. halimifolia*. Questo risultato evidenzia l'importanza del ripristino della dominanza di altre specie come fattore di controllo naturale, aumentando la resistenza delle comunità e riducendo la ricolonizzazione da parte di *B. halimifolia*.

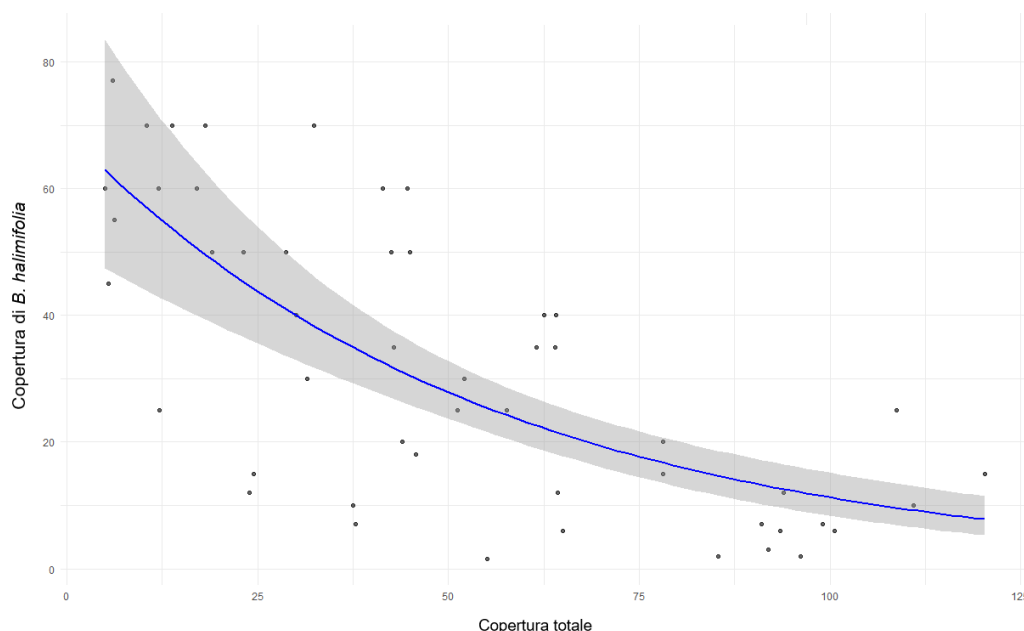


Figura 11. Relazione tra copertura totale della comunità e copertura di *B. halimifolia*.

Nel complesso, i modelli mostrano che gli interventi di contenimento hanno effetti differenziati: favoriscono la produzione di nuovi individui (polloni) ma riducono la copertura totale della specie. L'efficacia degli interventi appare inoltre modulata dai gradienti ambientali: le aree più elevate e distanti dalla laguna sono più suscettibili all'invasione e richiedono interventi più intensivi, mentre in ambienti meno favorevoli a *B. halimifolia* (zone umide o prossime alla laguna) anche interventi puntuali possono produrre effetti significativi. È interessante notare come la copertura di specie caratterizzate da diverse forme di crescita non abbia mostrato alcun effetto significativo sulla copertura di *B. halimifolia*, suggerendo che la dinamica di espansione di *B. halimifolia* è principalmente modulata da interventi e gradienti ambientali, piuttosto che dalla struttura funzionale della comunità vegetale.

3. DISCUSSIONE

L'analisi delle comunità vegetali e dell'ecologia di *B. halimifolia* evidenzia come la specie eserciti un impatto differenziato sui vari habitat. I cinque cluster identificati rappresentano una graduale sequenza di invasione: dall'arbusteto quasi monospecifico a *B. halimifolia* (Cluster A), passando per giuncheti parzialmente invasi (Cluster B), canneti più resistenti (Cluster C), fino ad ambienti a ristagno idrico periodico poco invasi (Cluster D). Questo schema evidenzia sia i fattori che limitano la colonizzazione della specie, come l'umidità del suolo e la pressione competitiva delle specie autoctone, sia i contesti vulnerabili, caratterizzati da microhabitat drenati e disturbati, che ne favoriscono l'espansione.

I modelli di densità e copertura confermano che *B. halimifolia* predilige aree leggermente sopraelevate e lontane dall'influenza diretta della laguna, dove la minor saturazione idrica ne favorisce l'insediamento e l'espansione.

Gli interventi di contenimento mostrano effetti complessi: favoriscono la produzione di nuovi individui (ramet), ma riducono la copertura complessiva, suggerendo che la rimozione parziale della biomassa frammenta la chioma e limita l'estensione dei rami principali.

La copertura delle altre specie emerge come un fattore chiave di resistenza, poiché limita lo spazio disponibile per *B. halimifolia* e ne rallenta la ricolonizzazione. Inoltre, come riportato da Panetta (1979), nonostante la specie sia in grado di germinare anche al buio, basse intensità luminose riducono la vitalità dei semi. Per contro, quindi, qualsiasi disturbo del suolo che alteri la copertura vegetale naturale e crei superfici di suolo nudo favorisce *B. halimifolia*, poiché l'esposizione alla luce promuove la germinazione dei semi. Un dato ulteriore

riguardante i semi è che i semi interrati a profondità superiori a 5 cm risultano probabilmente in dormienza, in quanto privi degli stimoli luminosi e termici necessari alla germinazione (Fried et al., 2016).

Questi risultati hanno rilevanza gestionale: le aree più elevate e distanti dalla laguna richiedono interventi più intensivi e ripetuti, mentre in ambienti meno favorevoli alla specie anche interventi puntuali possono avere effetti significativi. La campagna di monitoraggio prevista per il 2026 consentirà di approfondire l'efficacia degli interventi, valutando numero e copertura di *B. halimifolia* in aree con differenti "età" di trattamento e di comprendere l'impatto del pascolamento dei cavalli come possibile fattore modulante della dinamica di invasione.

In sintesi, il controllo efficace di *B. halimifolia* richiede un approccio integrato che tenga conto della variabilità ambientale, della struttura della comunità vegetale e delle modalità di intervento, evidenziando l'importanza della copertura della vegetazione come efficace strumento di contenimento.

3.1 Sintesi dei risultati

1. Habitat e vulnerabilità

- **Aree più suscettibili:** superfici leggermente sopraelevate e distanti dalla laguna, caratterizzate da minore saturazione idrica.
- **Aree meno suscettibili:** canneti e ambienti a ristagno idrico periodico, che mostrano maggiore resistenza all'invasione.
- **Fattori limitanti naturali:** elevata umidità del suolo, densa copertura di specie autoctone, ridotta disponibilità di luce al suolo.
- **Fattori che favoriscono l'invasione:** microhabitat drenati, disturbi del suolo, creazione di superfici di suolo nudo esposte alla luce.

2. Semi e propagazione

- I semi germinano più facilmente in presenza di luce; bassi livelli luminosi riducono la vitalità.
- I semi sepolti a profondità superiori a 5 cm tendono a rimanere in dormienza.
- La rimozione parziale della biomassa riduce la copertura complessiva ma può stimolare la produzione di nuovi rametti e la produzione di nuovi individui da seme.

3. Linee operative di intervento

- **Aree elevate e distanti dalla laguna:** necessitano **interventi più intensivi e ripetuti**.
- **Aree meno favorevoli alla specie:** possono essere efficacemente gestite con **interventi puntuali**.
- **Mantenimento della copertura vegetale:** strategia prioritaria per limitare spazi disponibili alla colonizzazione e rallentare la ricolonizzazione dopo gli interventi.
- **Gestione del suolo:** evitare lavorazioni o disturbi che favoriscano la formazione di suolo nudo; il disturbo del terreno, inoltre, può riportare in superficie i semi presenti nella banca dei semi del suolo favorendone la germinazione.

4. Monitoraggio e adattamento gestionale

- Prevedere campagne di monitoraggio per valutare:
 - densità e copertura di *B. halimifolia* in aree con differente "età" di trattamento;
 - effetti del pascolamento equino come possibile fattore di regolazione della dinamica invasiva.
- Integrare i dati di monitoraggio per adattare l'intensità e la frequenza degli interventi in funzione della risposta della specie e delle caratteristiche ambientali.

4. BIBLIOGRAFIA

- Abdi H., & Williams L.J. 2010. Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) Test. In Encyclopedia of Research Design (1a ed., Vol. 3, pp. 1–5). SAGE. <https://personal.utdallas.edu/~Herve/abdi-HSD2010-pretty.pdf>
- Angelini P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (ed.), 2016. *Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat*. ISPRA, Serie Manuali e Linee Guida, 142/2016. 280 pp.
- Bartolucci F., Peruzzi L., Galasso G. et al., 2018. An updated checklist of the vascular flora native to Italy. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 152:2, 179-303.
- Braun-Blanquet J., 1964. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- Buffa G., Ferrarini A., Malagoli C. et al., 2005. *Strumenti e Indicatori per la salvaguardia della biodiversità*. Regione del Veneto – Segreteria Regionale all'Ambiente e al Territorio. 48 pp.
- Caño L., Campos J. A., García-Magro D., Herrera M. 2013. Replacement of Estuarine Communities by an Exotic Shrub: Distribution and Invasion History of *Baccharis halimifolia* in Europe. *Biological Invasions* 15 (6): 1183–1188.
- Caño L., Campos J.A., García-Magro D., Herrera M. 2014. Invasiveness and impact of the non-native shrub *Baccharis halimifolia* in sea rush marshes: Fine-scale stress heterogeneity matters. *Biological Invasions*, 16(10), 2063–2077.
- Caño L., Fuertes-Mendizabal T., García-Baquero G., Herrera M., González-Moro M.G. 2016. Plasticity to salinity and transgenerational effects in the nonnative shrub *Baccharis halimifolia*: insights into an estuarine invasion. *Am. J. Bot.*, 103: 808-820.
- Chytrý M., Otýpková Z., 2003. Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. *J. Veg. Sci.* 14: 563–570.
- Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., Ter Steege H., Morgan H.D., Van Der Heijden M.G.A., Pausas J.G., Pooter H., 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian J. Botany* 51, 335–380.
- Dengler J., Chytrý M., Ewald J., 2008. *Phytosociology*. In Sven Jørgensen E. and Fath B.D. (Ed.), *General Ecology*. Vol. [4] of Encyclopedia of Ecology, pp. 2767-2779. Oxford: Elsevier.
- Fried G., Caño L., Brunel S., Beteta E., Charpentier A., Herrera M., Starfinger U., Panetta F.D. 2016. *Monographs on Invasive Plants in Europe: Baccharis halimifolia*. Botany Letters, <http://dx.doi.org/10.1080/23818107.2016.1168315>
- Galasso G., Conti F., Peruzzi L. et al. 2018. An updated checklist of the vascular flora alien to Italy. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 152 (3), 556-592.
- Koop-Jakobsen K., Meier R. J., Mueller P. 2021. Plant-Mediated Rhizosphere Oxygenation in the Native Invasive Salt Marsh Grass *Elymus athericus*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 669751.
- Lázaro-Lobo A., Moles A. T., Fried G., Verloove F., Antonio Campos J., Herrera M., Goñi E., Bioret F., Buffa G., Fantinato E., Sentinella A., Zalucki M.P., Mayfield M., Smith T., Catling A., Zalucki J.M., Lucardi R. D., Shoemaker C.M., Mason D.S., Ervin G.N. 2021. Phenotypic differentiation among native, expansive and introduced populations influences invasion success. *Journal of Biogeography*, 48(11), 2907–2918.
- Legendre P., Legendre, L. 2012. *Numerical ecology* (3rd English ed (Online-Ausg.). Elsevier.
- Panetta F.D. 1979. Germination and Seed Survival in the Woody Weed, Groundsel Bush (*Baccharis halimifolia* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 30 (6): 1067-1077.
- Peters, R., Reis, Â. C. A., Mehlig, U., Wimmeler, M.-C., Vollhüter, J., Pimple, U., Tietjen, B., & Berger, U. (2025). Modelling the dynamics of soil moisture and soil water salinity in tropical saltmarshes. *Ecological Modelling*, 504, 111089.
- Pielou E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of theoretical biology*, 13, 131-144.

- Pignatti S., 1982. *Flora d'Italia*. I Ed.. Edagricole.
- Pignatti S., 2005. Valori di bioindicazione delle piante vascolari della Flora d'Italia. *Braun-Blanquetia* 39: 3-97. <https://www.scienzadellavegetazione.it/wp-content/uploads/2023/07/NUMERO-39.pdf>
- Pignatti S., 2017. *Flora d'Italia*. II Ed.. Edagricole.
- Raunkiær C., 1934. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Clarendon Press, Oxford.
- Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination. Part I. A study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11(3), 258–273.
- Rogel, J. A., Ariza, F. A., & Silla, R. O. (2000). Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. *Wetlands*, 20(2), 357–372.
- Thompson, S. K. (1996). Adaptive Sampling. *NSF Award*, 96, 26102.
- Tozzi, F. P., Varricchione, M., De Francesco, M. C., Carranza, M. L., & Stanisci, A. (2022). Vegetation Dynamics on a Restored salt Marsh Mosaic: A Re-Visitation Study in a Coastal Wetland in Central Italy. *Wetlands*, 42(8), 101.