

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali – TESAF

Dipartimento Agronomia, Animali, Alimenti,
Risorse Naturali e Ambiente - DAFNAE

Corso di Laurea in
Riassetto del Territorio e Tutela del Paesaggio
Curriculum Paesaggio Parchi e Giardini

**SUBSTRATI A RIDOTTO CONTENUTO DI TORBA
NELLA VIVAISTICA FORESTALE**

Relatore

Prof. Giampaolo Zanin

Correlatore

Dott. Marco Rossetto

Laureando
Marco Lorenzato

Anno accademico 2022 - 2023

INDICE

Riassunto	3
Abstract.....	4
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	5
1.1 Mercato dei substrati di coltivazione	6
1.2 L'uomo e le torbiere	9
1.2.1 Gli usi della torba.....	9
1.2.2 Le torbiere e l'utilizzazione non estrattiva.....	10
1.3 Lo stato della ricerca e i motivi per limitare l'uso di torbe.....	12
1.4 Descrizione dei principali componenti presenti nei substrati utilizzati	17
1.4.1 Torba bionda	17
1.4.2 Torba bruna	17
1.4.3 Fibra di legno stabilizzata	18
1.4.4 Ammendante compostato verde (compost).....	20
1.4.5 Fibra e midollo di cocco.....	21
1.4.6 Materie prime di origine minerale-naturale	23
1.4.6.1 Pomice.....	23
1.4.6.2 Argille	24
1.4.6.3 Perlite	24
1.5 Obietti della prova	25
CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI	27
2.3 Caratterizzazione dei substrati	29
2.4 Prova di coltivazione	29
2.4.1 I rilievi eseguiti	31
2.4.1.1 La germinazione.....	31
2.4.1.2 Rilievo in itinere.....	31
2.4.1.3 Rilievo finale.....	31
2.4.1.4 Analisi statistica	32
CAPITOLO 3: RISULTATI.....	33
3.1 Risultati dell'analisi di caratterizzazione dei substrati	33
3.2 Risultati della prova di coltivazione	34
3.2.1 Germinazione	34

3.2.2 Rilievo in itinere	41
3.2.3 Rilievo finale.....	48
CAPITOLO 4: DISCUSSIONE	73
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI.....	79
BIBLIOGRAFIA	

Riassunto

La crescente sensibilità ambientale sta spingendo molti Paesi a ridurre drasticamente l'impiego di torbe nella vivaistica. Questi stanno imponendo divieti al commercio di substrati contenenti torba e di piante coltivate con torba come matrice principale. Ciò avviene nonostante lo sfruttamento delle torbiere per la produzione di substrati rappresenti una limitata percentuale della superficie totale interessata dalle estrazioni. La corsa verso il *peat free* è guidata dalla necessità di tutelare habitat sensibili quali le torbiere e mantenere inalterati questi luoghi, dando loro possibilità di rigenerarsi. Anche in Italia si avvertono da un po' di anni dei segnali di cambiamento forse legati a motivazioni più o meno di carattere economico piuttosto che ecologico. In quest'ottica può rientrare l'interesse di approfondire lo sviluppo di substrati ecologicamente ed economicamente sostenibili. Questo studio è stato svolto in collaborazione con il Centro di Biodiversità Vegetale e Fuori Foresta di Montecchio Precalcino (VI). Sono stati presi in esame tre tipi di substrati a diverso contenuto di torba: uno con 70% di torba (aziendale, AZ), uno con torba ridotta del 40% rispetto al primo (-40) e uno privo di torba (-100). I principali sostituti della frazione torbosa sono la fibra di legno di varia origine e pezzatura e il compost vegetale. I substrati sono stati caratterizzati dal punto di vista chimico-fisico e impiegati per la semina e la coltivazione in vivaio di sei specie legnose forestali tipiche della flora del Veneto. I risultati ottenuti mostrano come le specie considerate abbiano avuto nel complesso una diversa risposta ai tre substrati di coltivazione. Benché siano state osservate delle eccezioni, si è potuto constatare come una certa quantità di torba risulti pressoché irrinunciabile per garantire un prodotto standard e confrontabile con la produzione ottenibile dal substrato a base torbosa, già lungamente testato in vivaio. Infatti, in generale, il substrato -40 ha ottenuto delle performance paragonabili al substrato AZ mentre il substrato -100 ha ottenuto buoni risultati solo per poche specie. Alla luce dei risultati ottenuti, il substrato -40 sembra rappresentare un ottimo candidato per la sostituzione del substrato aziendale. Un approfondimento del presente lavoro potrebbe essere rivolto all'affinamento della composizione di tale substrato per ridurre ulteriormente il tenore di torba.

Abstract

Growing media with reduced amount of peat in forest nursery production

The growing environmental sensibility is encouraging Countries to drastically reduce the use of peat in the horticultural nursery production. In fact, many Countries are imposing bans onto substrates containing peat and plants cultivated with peat as main constituent. This happens even if peat extraction to produce substrates is just a small percentage of the total peatlands exploitation. The race to peat-free substrate is led by the necessity of protecting these fragile habitats allowing their regeneration. Also in Italy, since some years are coming to light signs of change even if mostly related to economical and fewer ecological reasons. In those perspectives rise the purpose to search new eco-friendly and affordable growing media. This experimental trial was carried out co-operating with the Centre for Biodiversity and Outside-Forest Activities of Montecchio Precalcino (VI, Italy). Three substrates with different amount of peat were examined: the in-house substrate with 70% of peat (AZ), a mixture containing 40% less peat compared to the AZ (-40) and the last totally peat free (-100). Principal peat substitutes were wood fiber of different origin and size and green compost. Substrates were chemically and physically characterized and used as sowing and growing substrate for six forest species which are part of the local Venetian flora. Results showed how the three substrates had affected in different ways the growth of plants. With some exceptions, it was found that a certain amount of peat is essential to provide standard products and results of growth comparable to those obtained with the AZ substrate. The -40 substrate performances, in fact, were comparable to those of AZ, but the -100 substrate was effective only for few species. On the bases of these outcomes, the -40 substrate appears to be a good candidate to substitute AZ substrate in the production of forest plant at the Center. Future researches should be aimed at further reduce the peat content.

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

Per definizione un substrato di coltivazione è un materiale diverso dal terreno, costituito da uno o più componenti organici e/o inorganici ed eventualmente addizionato di correttivi, concimi ed altri additivi, destinato tal quale a sostenere lo sviluppo vegetale (Orfeo & Notari, 2013).

Il substrato colturale assume pertanto un'importanza fondamentale nella coltivazione fuori suolo in contenitore poiché l'apparato radicale delle piante in esso coltivate ha a disposizione un volume limitato da esplorare e presenta maggiori esigenze nei confronti di aria, acqua ed elementi nutritivi rispetto al suolo agrario. Per tali motivi, anche grazie al progredire delle conoscenze e delle tecnologie produttive, l'industria dei substrati ha immesso sul mercato miscele in cui, in relazione alla specie e al sistema di coltivazione (es. forma e dimensione del contenitore, sistema irriguo), vengono addizionate in diverse proporzioni materie prime differenti (organiche, inorganiche e additivi).

Solitamente le miscele per la semina in contenitori alveolari utilizzano elevate percentuali di miscugli di torba bruna e bionda di diversa pezzatura in rapporto al volume delle celle dei contenitori, unitamente a materiali inorganici come pomice, perlite, sabbia e argilla e a un limitato quantitativo di concime a pronto effetto con microelementi. Le miscele che ne risultano hanno caratteristiche intermedie rispetto alle componenti iniziali. La scelta della miscela è legata a specifiche esigenze e ha l'obiettivo di esaltare le caratteristiche chimiche e fisiche ottimali per il tipo di coltura in atto e minimizzare gli aspetti negativi.

Per una corretta scelta del substrato si devono considerare le esigenze specifiche della specie più il sistema colturale adottato. Un buon substrato non è legato solamente alle caratteristiche intrinseche delle matrici scelte, esso non è solo un serbatoio per l'assorbimento idrico e nutrienti, ma deve rispondere a numerosi requisiti di tipo fisico-chimico, meccanico e biologico sostanzialmente riassumibili nei seguenti punti (Pozzi, 2021):

- garantire un buon ancoraggio all'apparato radicale e la stabilità del complesso contenitore-pianta;
- presentare una buona capacità di ritenzione idrica e una buona disponibilità di aria anche in corrispondenza della capacità idrica massima;
- essere privo di patogeni, parassiti e sostanze fitotossiche;

- mantenere il più a lungo possibile inalterate le caratteristiche fisiche e quindi resistere al compattamento e alla riduzione di volume, mantenendo buone capacità drenanti;
- essere omogeneo e uniforme;
- avere un costo competitivo;
- essere di facile reperibilità;
- essere riproducibile con qualità costante.

1.1 Mercato dei substrati di coltivazione

A partire dai primi anni '70 e con circa 20 anni di ritardo rispetto altri Paesi europei come Germania, Regno Unito, Francia e Paesi Bassi, l'Italia ha sviluppato un vero e proprio mercato dei substrati di coltivazione. Con la formulazione delle prime miscele di materiali definite “terricci” venivano offerti ai vivaisti dei prodotti garantiti e dalle caratteristiche costanti che potessero dare maggiori sicurezze rispetto a quelli ottenuti artigianalmente in azienda. Il substrato di coltivazione è uno degli elementi chiavi per il successo della coltivazione in contenitore infatti è legato all’assorbimento degli elementi nutritivi, alla disponibilità di acqua e aria e determina lo sviluppo di un più o meno equilibrato apparato radicale.

Ad oggi il mercato è cresciuto raggiungendo dimensioni importanti nel comparto agricolo ed è costantemente guidato dal settore che genera maggior domanda che risulta rappresentato nello specifico dal comparto hobbistico e dal florovivaismo professionale (Franceschi, 2017). Negli ultimi anni la domanda di substrati sembra essere in costante crescita e questo è spiegabile sia perché si sta registrando un aumento della richiesta di piante in vaso e sia perché un generale aumento del benessere porta ad incrementi anche nell'acquisto di prodotti per la cura del verde (Franceschi, 2017). A sostenere la domanda in Italia sono diverse aziende insieme a importanti distributori esteri situati perlopiù in Germania, Olanda, Finlandia, Irlanda e da qualche anno anche in Estonia, Lettonia e Lituania.

Nei Paesi del nord Europa la produzione di substrati vanta una lunga tradizione e si avvale di un elevato livello di tecnologia, si consideri infatti che il primo stabilimento della Floragard di Berlino per la lavorazione della torba risale al 1919. Ne deriva che questi Paesi

sono in grado di fornire prodotti frutto di notevoli investimenti nella ricerca e nello studio delle proprietà delle materie prime impiegate e delle miscele costituite. Ciò diventa indice di affidabilità e sicurezza di prodotti aventi un certo grado di standardizzazione, garantendo caratteristiche tecniche controllate e spesso questi prodotti vengono commercializzati con marchi di qualità (Franceschi, 2017). Da qualche anno le aziende italiane leader nella produzione di substrati ad uso hobbistico sono diventate validi riferimenti anche per il comparto professionale e ciò è reso possibile da una gestione più controllata della produzione unitamente a una aumentata capacità di approvvigionamento delle materie prime, all'uso di materiali compostati certificati e allo sfruttamento di materiali di provenienza nazionale come pomici e lapilli.

Fino al 2006 (D. Lgs. n. 217 del 29.04.2006 aggiornato con Decreto del 22.01.2009) i substrati non sono stati compresi in alcuna categoria merceologica distinta rendendo perciò complicato recuperare dati statistici sull'entità del loro mercato e per questo si è dovuto ricorrere a valutazioni di tipo indiretto. Per calcolare il consumo dei substrati in Italia si è ricorso a rilevazioni ISTAT relative all'importazione di torbe, a dati sull'uso agricolo di fertilizzanti, al calcolo della superficie agricola finalizzata alla produzione di piante e a studi effettuati dall'EPAGMA (European Peat and Growing Media Association) (Zaccheo & Cattivello, 2009). I risultati della suddetta indagine, acquisiti attraverso la compilazione di questionari e pubblicati da Schmilewski (2009), si riferiscono al 2005 e hanno interessato tredici paesi dell'Unione Europea; i dati sono stati forniti da una o più compagnie di produzione di substrati, talora implementati con dati statistici ufficiali. Dal punto di vista normativo la produzione e commercializzazione di substrati è disciplinata dalla normativa per i fertilizzanti, decreto legislativo 29 aprile 2010, n.75 (Gazzetta Ufficiale n. 121 del 26 maggio 2010) e successive modifiche ed integrazioni. La norma, che definisce i substrati come "i materiali diversi dai suoli in situ dove sono coltivati i vegetali", prevede due tipi di prodotto: il substrato di coltivazione base e il misto, per i quali vengono esplicitate le materie prime utilizzabili, i requisiti chimico-fisici definiti in termini di pH, conducibilità elettrica, carbonio organico e densità apparente.

In Italia il fabbisogno di torba è soddisfatto quasi interamente dalle importazioni. Si consideri infatti che la torba è la più importante matrice utilizzata nella preparazione dei substrati e in Italia non esistono fonti di approvvigionamento interne tali da coprire la richiesta del mercato (Franceschi, 2017).

Considerando che in Italia gli impieghi della torba diversi dalla produzione di substrati sono quasi del tutto trascurabili si può assumere che i dati statistici relativi alla quantità di torba

importata siano relativi esclusivamente alla costituzione di supporti di coltura. Nel contesto italiano nel 2007 è stata fondata AIPSA, l'Associazione Italiana di Produttori di Substrati di Coltivazione e Ammendanti, costituita da Geotec srl, Spram srl, Terflor snc, Turco Silvestro snc e Vigorplant Italia srl con lo scopo di promuovere l'impiego di substrati di coltivazione e ammendanti di qualità controllata. Una recente indagine condotta da questa associazione mostra che in Italia la torba rappresenta circa il 74% dei materiali impiegati per i substrati (tal quale o in miscela) generando un mercato di circa 4.3 milioni di m³ di cui circa il 60% per uso professionale. Questi dati fanno dell'Italia uno dei mercati europei più importanti in termini di volume di substrati prodotti essendo seconda solo ai Paesi Bassi e seguita da Spagna e Belgio. Nell'UE i volumi di substrati prodotti e commercializzati ammontano a circa 34.6 milioni di m³ di cui la torba è circa il 75.1% del totale (Cacini & Massa, 2022). Nel periodo 1998-2007 sono stati osservati cospicui incrementi per tutta la categoria degli ammendanti (Franceschi, 2017).

In Italia la torba risulta essere il costituente base dei substrati sia ad uso hobbistico che professionale, mentre i compost sono valorizzati soprattutto nel settore hobbistico e i costituenti minerali come argilla, sabbia e pomice vengono largamente utilizzati per migliorare le caratteristiche chimico-fisiche, la porosità e densità apparente *in primis*. In particolare per la pomice risulta che l'Italia è il Paese europeo che ne utilizza la maggior quantità e ciò è dovuto alla disponibilità in loco di cave di questo materiale concentrate soprattutto nell'area della Toscana.

Le torbe maggiormente impiegate per la costituzione di substrati atti alla coltivazione in vaso sono la torba bionda baltica e la torba bruna irlandese. Le torbe bionde sono ricercate soprattutto per la disponibilità idrica, per la stabilità della struttura e per la ricchezza di aria quando sono lavorate grossolanamente.

La spinta all'utilizzo del compost nei substrati è legata al fatto che questo è una risorsa rinnovabile al contrario della torba che invece non è rinnovabile ed esauribile (Franceschi, 2017). Il compost presenta un bilancio in termini di emissioni di gas serra inferiore a quello delle torbe ed è una matrice facilmente reperibile ad un costo spesso inferiore a quello delle torbe permettendo di conseguenza un contenimento dei costi di produzione (Pozzi, 2021). Le operazioni di vagliatura permettono inoltre di ottenere una granulometria predefinita (1-10 mm). Risulta quindi un materiale dalle interessanti proprietà agronomiche come elevato potere tampone, è microbiologicamente attivo e possiede una certa dotazione di elementi nutritivi che deve essere considerata in fase di elaborazione del piano di concimazione della coltura per evitare accumulo di sali.

Altri materiali studiati come possibili sostituti parziali o totali delle torbe nella coltivazione in contenitore sono fibra e mallo di cocco, corteccia di pino e fibra di legno. In questi ultimi anni fra le matrici organiche non torbose si nota un rinnovato interesse nei confronti della fibra di legno anche se i volumi impiegati sono al momento limitati. Le ragioni di questo interesse risiedono nella minore aleatorietà delle fonti di approvvigionamento, l'impiego di materia prima proveniente da programmi di gestione sostenibile delle foreste (PEFC) e l'aumento dei costi di altre matrici organiche. A favore del cocco ci sono in particolare motivi di ordine fitosanitario in quanto è un materiale privo di nematodi che è un requisito fondamentale per commercializzare piante ornamentali nei mercati extra UE.

Nelle più importanti nazioni produttrici di substrati la torba arriva a coprire il 77.4% dei fabbisogni, il compost verde (utilizzato principalmente per il settore hobbistico) rappresenta il 9.1% dei volumi, i materiali minerali entrano nella formulazione per l'8.4% e altri materiali organici come cocco e fibra di legno coprono il restante 5.1%. In questi Paesi i substrati *peat free* sono solamente il 3.7% del totale (Schmilewski, 2009).

1.2 L'uomo e le torbiere

1.2.1 Gli usi della torba

Lo sfruttamento della torba ha avuto inizio in epoche remote tanto che Plinio il Vecchio nella sua *Naturalis Historia* riporta una descrizione di come circa 2000 anni fa gli abitanti delle coste settentrionali tedesche estraevano a mano la torba, la facevano essiccare al vento e una volta asciutta la bruciavano per riscaldarsi e cuocere i cibi. Al giorno d'oggi questa risorsa naturale trova impiego in moltissimi ambiti spesso anche ben lontani da quello agricolo. Questo materiale ha trovato nel tempo moltissimi usi, legati in particolar modo all'economia delle popolazioni che vivono a ridosso delle torbiere.

“Parlando a un dotto Consesso, io debbo supporre che ad ognuno sia noto (...) che vastissime province d'Europa scarseggianti di legna se ne servono per tutti gli usi domestici, e delle arti da tempi immemorabili; che la scoperta d'una Torbiera, in luogo opportuno lo sfruttamento economico, (...) è giustamente considerato presso le accorte Nazioni, sin dal momento in cui venga posto in lavoro, come d'un valore effettivo e fondiario otto o dieci e (...) anche quindici volte maggiore che quello di qualunque terreno rustico da semina d'egual misura (...). L'Olanda, dove pur l'industria e l'economia trovansi portate a così alto

grado di perfezione, non conosce quasi altra sostanza combustibile negli usi familiari, e delle speculazioni; che l'Inghilterra e l'Irlanda ne traggono partito immenso; e che la vasta Capitale della Francia ne fa un annuo esorbitante consumo particolarmente nei domestici fuochi" (Fortis, 1795).

Il principale uso della torba è ancora oggi quello energetico e questo è particolarmente rilevante in certe aree geografiche spesso situate ai margini delle zone di estrazione. In alcuni Paesi europei l'impiego energetico di questa risorsa non è trascurabile. Finlandia, Estonia e Irlanda producono dalla torba una quota tra il 2 e il 7% dell'energia utilizzata (Cattivello, 2009). In Paesi importanti nel mercato mondiale della torba quali Bielorussia, Finlandia, Ucraina, Irlanda, Russia e Svezia, l'estrazione a fini energetici rappresenta una quota variabile fra il 70 e 95% del totale annualmente consumato (Cattivello, 2009).

Analizzando la situazione che riguarda invece l'estrazione della torba a fini agricoli emerge come in larga parte riguardi la produzione di substrati di coltivazione. In alcuni Paesi grandi produttori quali Estonia, Canada, USA e anche se ormai in quantità trascurabile la Germania e il Regno Unito, la torba si estrae prevalentemente per la produzione di substrati, con una quota oscillante fra il 75 e 100% del totale (Cattivello, 2009). Il Canada ad esempio estrae per questi usi circa il 40% del volume complessivo mentre tra i Paesi europei le percentuali sono decisamente inferiori e Paesi come l'Olanda, pur essendo il terzo Paese in Europa per volume di substrati commercializzati, non estrae dal proprio territorio nemmeno un metro cubo di torba (Cattivello, 2009).

La torba trova poi diverse applicazioni anche nell'ambito industriale come fabbricazione di filtri, carboni attivi, fibre tessili, isolanti e esaltatori di aroma nell'industria alimentare. Inoltre in medicina viene usata nelle terapie riabilitative, nella cura delle malattie reumatiche, dell'apparato motorio e urogenitale.

1.2.2 Le torbiere e l'utilizzazione non estrattiva

La torba è una risorsa rinnovabile solo nel lungo periodo e solo con ritmi di estrazione limitati. Questa materia prima viene estratta dalle torbiere che rappresentano aree con o senza vegetazione che presentano uno strato più o meno superficiale di torba accumulatasi nel tempo (Cattivello, 2009). Si tratta di zone umide soggette a periodiche inondazioni, sature d'acqua con una frequenza o durata tale da favorire una vegetazione in grado di svilupparsi in condizioni di saturazione idrica (Cattivello, 2009).

“(la torba) è un aggregato di vegetali ora più ora meno decomposti; che si trova ne’ luoghi, dove o stagnano tuttora, o anticamente stagnarono acque palustri per lunga serie di secoli; che ve n’hanno parecchie varietà distinte pe’ diversi caratteri di compattezza, di colore, di forza” (Fortis, 1795).

In senso geologico o pedologico la torbiera è definita come un ambiente ove l’accumulo di torba raggiunge uno spessore di almeno 30 cm, che seccandosi perde circa il 75% di acqua e, escluse le sostanze minerali, contiene il 30-35% di carbonio puro. Queste aree non possono essere viste esclusivamente come luoghi di estrazione di torba ma devono essere primariamente considerate per il valore ecologico che possiedono. Le torbiere sono infatti veri e propri ecosistemi dove è presente una vegetazione particolare che è sempre più rara a causa di varie minacce a cui è sottoposta (Franceschi, 2017). Questi ambienti sono caratterizzati da condizioni fortemente limitanti e selettive per le specie vegetali e tali limiti sono dovuti all’abbondanza di acqua e alla scarsa disponibilità di nutrienti. Ne deriva che qualunque modificazione che implichi una variazione alla quantità e alla qualità dell’acqua nonché al tenore di elementi nutritivi può mettere in pericolo l’esistenza di questi ambienti. Per molto tempo i territori occupati dalle torbiere o più in generale da vegetazione naturale sono stati considerati improduttivi e per varie esigenze sono stati trasformati in modo irreversibile in nuove superfici agricole e forestali. Alla base di queste trasformazioni ci sono sempre opere di drenaggio realizzate allo scopo di ridurre la disponibilità idrica. Altri interventi sono il colmamento delle depressioni e il riempimento delle torbiere con detriti o terreni di riporto al fine di ottenere nuove superfici edificabili in prossimità di centri abitati o nuclei urbanizzati isolati di ridotte dimensioni (casolari, malghe, ecc.). In altri casi le torbiere sono state irreversibilmente rovinate dall’escavazione al fine della costituzione o dell’ampliamento di bacini idrici per svariati scopi tra cui pesca sportiva, turismo, riserva d’acqua per irrigazione o lotta antincendio o innevamento artificiale invernale. Questi interventi non sempre comportano la scomparsa della vegetazione ma di frequente facilitano l’insediamento di specie diverse da quelle originarie. In alcuni casi si può assistere alla formazione di prati di un certo valore floristico come a seguito di drenaggio ma spesso vi è la comparsa di vegetazione sinantropica a causa della presenza di aree coltivate o urbanizzate nelle vicinanze (Franceschi, 2017). Quanto visto porta alla distruzione delle torbiere e quindi alla sparizione di molte specie vegetali riflettendosi negativamente sul valore della biodiversità mentre al contempo sono favorite specie banali, spesso alloctone che accompagnano coltivazioni, insediamenti antropici e attività umane. A volte l’osservatore non esperto non percepisce la scomparsa della zona umida della torbiera ma

solo una sua sostituzione con aree ritenute erroneamente più naturali a causa della successiva comparsa di specie cosmopolite che conferiscono un aspetto apparentemente più gradevole. La perdita di biodiversità in termini di specie vegetali rare o tipi di vegetazione è elevata e irreversibile e dal valore difficilmente calcolabile. Altre minacce che riguardano le torbiere sono date dalla dispersione di nutrienti azotati e fosfatici rilasciati da diverse possibili attività umane come allevamento intensivo, pratiche agricole convenzionali oppure scarichi provenienti da insediamenti abitativi anche se di ridotte dimensioni e non opportunamente trattati. Queste sostanze una volta giunte per deflusso a contatto con la torbiera ne aumentano il grado di eutrofizzazione, ovvero aumentano la quantità di nutrienti delle acque circolanti causando gravi danni a molte specie sviluppatesi in condizioni di limitata disponibilità di nutrienti (Franceschi, 2017). Nel contesto montano ad esempio l'allevamento del bestiame e la selvicoltura hanno modificato la vegetazione delle torbiere, condizionandone la composizione floristica direttamente o indirettamente attraverso le pratiche gestionali del paesaggio montano. Pratiche che tendevano a modificarle in modo sostanziale senza però pregiudicarne la sopravvivenza. Il pascolamento degli animali può costituire un problema qualora il carico del bestiame sia elevato soprattutto considerando che le aree torbose sono di solito site in zone pianeggianti e non interdette al pascolo. In questo caso il danno è legato al calpestio di animali pesanti che compattano e distruggono la coltre di briofite e le poche piante vascolari presenti (Franceschi, 2017).

1.3 Lo stato della ricerca e i motivi per limitare l'uso di torbe

Ognuno dei segmenti del vivaismo (ornamentale, floricolo, frutticolo, orticolo e forestale) attua specifici processi produttivi prevalentemente in contenitore e quindi con un impiego significativo e crescente nel corso degli anni di substrati di coltivazione. Fino alla fine del secolo scorso la materia prima principe per la costituzione dei substrati era la torba che è tuttora prevalente ma nel corso degli ultimi anni si sono sempre più impiegati altri materiali ed è cresciuto l'impiego di materiali riciclati. La sostenibilità della coltivazione in contenitore è legata allo sviluppo della possibilità di utilizzare substrati ottenuti da materie prime reperibili nelle vicinanze degli stabilimenti produttivi con lo scopo di ridurre l'impatto negativo dei trasporti, di utilizzare materiali di scarto dello stesso settore vivaistico o di altri settori previa trasformazione in compost. Per la determinazione della sostenibilità ambientale un importante indicatore è l'emissione di CO₂ che è connessa ai processi

produttivi o estrattivi della risorsa, ai trasporti delle materie prime e alla produzione del substrato. La sostenibilità di un substrato può essere vista su diverse scale: globale, locale e aziendale. Nell'ambito della sostenibilità globale un substrato è tanto più impattante quanto più pesa sugli stock di materie prime e sulle emissioni di CO₂ legate alla loro utilizzazione. Si può poi parlare di sostenibilità locale in riferimento alla riduzione della movimentazione dei materiali, all'utilizzo di risorse locali e riproducibili, al riciclaggio di sottoprodotti e scarti di certe lavorazioni. In questo sono avvantaggiate le aziende produttrici collocate all'interno di un distretto produttivo con filiera ben organizzata. Infine la sostenibilità aziendale è determinata dalla riduzione dei costi diretti e indiretti e al miglioramento qualitativo della produzione.

Studi in materia ammettono che il consumo annuale di torba per impieghi agricoli rispetto al totale delle estrazioni incide in maniera limitata. In alcuni grandi Paesi produttori quali Russia, Canada, Finlandia, Bielorussia, Svezia e Lettonia la quantità annuale di torba estratta risulta inferiore alla capacità di accumulo di una torbiera indisturbata nello stesso periodo di tempo (Cattivello, 2009). Da questo punto di vista sembra che in questi Paesi e con i ritmi attuali di estrazione il processo possa essere sostenibile nel lungo periodo. In altri Paesi come la Germania e in misura minore l'Irlanda e il Regno Unito la ridotta presenza di torbiere intatte non compensa le estrazioni.

Attualmente la legislazione sta imponendo numerosi vincoli all'apertura di nuove torbiere e pone rigidi protocolli di rinaturalizzazione, re-insediamento di varie specie di sfagno e riavvio del processo di accumulo in quelle per le quali l'attività estrattiva è cessata.

La direttiva Habitat (CEE 92/43) ha inserito le torbiere al pari delle zone umide tra le aree da tutelare. Le torbiere sono un habitat con uno speciale valore ecologico, considerate tra gli ecosistemi più importanti nell'ambito della biosfera terrestre, in grado di fornire diversi servizi ambientali, come la preservazione della biodiversità, la regolazione locale della qualità dell'acqua e delle condizioni idrologiche (compresa la protezione dalle inondazioni), nonché il mantenimento di importanti serbatoi di carbonio a lungo termine. Infatti pur rappresentando solo circa il 3% della superficie globale le torbiere immagazzinano una quota significativa del carbonio organico terrestre (compreso tra 21 e 33%). Tuttavia, quando tali ecosistemi vengono distrutti non agiscono più come serbatoi di carbonio. Le torbiere degradate contribuiscono in modo sproporzionato alle emissioni globali di gas a effetto serra (Pozzi, 2021). Nelle torbiere viene intrappolato il 25% di tutto il carbonio presente nelle matrici organiche e annualmente con la torba estratta vengono liberate 15

milioni di tonnellate di carbonio ma allo stesso tempo nelle torbiere di tutto il mondo vengono fissate dalle 40 alle 70 milioni di tonnellate di carbonio (Joosten & Clarke, 2002). Uno studio promosso da EPAGMA (European Peat and Growing Media Association) e redatto dalla società svizzera Quantis dal titolo “Comparative Life Cycle Assessment of Horticultural Growing Media Based on Peat and Other Growing Media Constituents 2012” indica chiaramente che la torba ha il maggiore impatto sul cambiamento climatico e sulle risorse tra tutti i materiali comunemente usati nella produzione dei substrati di coltivazione. La torba è il substrato più usato per la produzione di piante in vaso nei vivai e rappresenta una parte significativa del materiale utilizzato ma la produzione orto-florovivaistica sostenibile non può contare su queste costose risorse naturali poco rinnovabili e in questa ottica la ricerca si deve intensificare per quanto riguarda i substrati di coltivazione alternativi alla torba, favorendo lo studio di quelli ottenuti dal riciclo o trasformazione (compostaggio) di residui organici di varia origine. Esperimenti condotti fanno poi intravedere la possibilità in un prossimo futuro di poter coltivare gli sfagni necessari alla produzione di substrati, ottenendo pertanto risvolti positivi sulla sostenibilità della produzione e sul miglioramento delle caratteristiche tecniche dei supporti di coltura. I risultati di uno studio sull’impatto ambientale di diverse materie prime per la costituzione dei substrati mostra i seguenti risultati relativi ai fattori di emissione di CO₂ e all’impronta idrica di prodotto (Tab. 1)(Pozzi, 2021).

Tabella 1 - Fattore di emissione di CO₂ e impatto idrico di alcune materie prime per la costituzione di substrati di coltivazione (Pozzi, 2021).

Materia prima	Fattore di Emissione [kg CO ₂ eq t ⁻¹]	Impatto Idrico [m ³ t ⁻¹]
Torba	1208	9000
Fibra di cocco	361	2449
Ammendante compostato verde	113	<100
Fibra di legno	188	0.13

Lo studio evidenzia ampia variabilità delle performance di sostenibilità dei differenti materiali analizzati con alcune materie prime come torba e fibra di cocco che sono risultate sensibilmente più impattanti.

Uno studio che ha interessato l’intero ciclo di vita (LCA) di diversi substrati, dalla raccolta, al trasporto, alla produzione, alla distribuzione, all’uso e al fine vita (Peano et al., 2012) ha

evidenziato come siano le fasi finali del ciclo di vita (distribuzione, uso e fine vita) di un substrato ad essere maggiormente impattanti sull'ambiente. Questo concorda con i risultati di un altro studio condotto nel 2005 da Cleary e collaboratori. Anche in questo caso risulta che i substrati a base torbosa hanno i maggiori impatti, rilevanti soprattutto a seguito della raccolta della torba e della rinaturalizzazione delle torbiere esaurite. I substrati a base di compost verde si affermano con un'impronta positiva maggiore sulla salute umana mentre quelli a base di cocco con la qualità dell'ecosistema dei paesi di produzione. Un altro studio condotto dal DEFRA (Department of Environment, Food and Rural Affairs) mostra come le considerazioni in merito alle emissioni di gas serra dovute all'uso dei vari substrati siano pesantemente influenzate dal sistema di misura adottato. Il metodo gravimetrico, il più utilizzato, penalizza maggiormente i materiali a bassa densità apparente quali le torbe a differenza del metodo volumetrico.

L'aumentato interesse ecologista dovrebbe rappresentare il motore guida della sfida di ridurre le estrazioni dalle torbiere, pur ammettendo che il settore orto-florovivaistico impatta solo per una certa parte sul totale delle estrazioni. La legislazione di alcuni Paesi, in particolare del nord Europa, sta spingendo duramente il mercato verso l'adozione di componenti sostitutivi alla torba, favorendo in particolare materiali derivanti da scarti di altre filiere poco valorizzati o materiali fino ad ora considerati più un rifiuto che una risorsa. La campagna contro l'utilizzazione delle torbiere per il valore naturalistico di tale habitat e per la natura non rinnovabile del materiale è particolarmente attiva nel Regno Unito dove molte catene della GDO richiedono terricci *peat free*. Già nel 2011 il Dipartimento inglese dell'Ambiente DEFRA sviluppò un progetto per eliminare la torba dai lavori pubblici entro il 2015, dai substrati hobbistici entro il 2020 e dal mercato professionale entro il 2030. Grazie a una serie di consultazioni con tutti gli operatori interessati, compresi i centri di bricolage e garden center sono state evidenziate le necessità di aumentare la consapevolezza dei consumatori sugli impatti ambientali legati al consumo di torba. Oltre due terzi della torba utilizzata nel Regno Unito era infatti destinata agli hobbisti e secondo un'indagine HTA (*Horticultural Trades Association*) solo il 12% dei consumatori era consapevole dei problemi connessi all'uso di torba.

Diverse organizzazioni internazionali tra cui EPAGMA e IPS (*International Peat Society*) promuovono un codice di comportamento che garantisca un responsabile e trasparente uso della torba lungo tutta la filiera commerciale della torba e del prodotto finito. Le aziende aderenti, dimostrato il rispetto delle regole stabilite, possono commercializzare i loro prodotti con il marchio RPP (*Responsibly Peat Production*). Anche il Canada sta

promuovendo un analogo logo grazie a CSPMA (Canadian Peat Moss Association) con l'obiettivo di migliorare l'immagine dei substrati a base torbosa.

In Italia non è al momento in vigore alcun tipo di regolamentazione a riguardo. Nonostante sia molto forte l'interesse a preservare le zone umide presenti nel nostro Paese non esistono normative che regolano l'importazione, la commercializzazione e l'uso di substrati a base torbosa né nel settore hobbistico né in quello professionale. Allo stato attuale in Italia materiali ammessi come substrato ad uso singolo o in miscela sono normati dalla legge e devono rispettare caratteristiche qualitative definite (certificazione di prodotto cogente) mentre l'adesione a sistemi di certificazione di sistema quali ISO 9000:2000 o a marchi quali Ecolabel è volontaria. Ecolabel è un marchio comunitario di qualità ecologica che può essere applicato anche ai substrati di coltivazione. Esso promuove l'utilizzo di materiali rinnovabili e il riciclaggio di sostanza organica derivata dalla raccolta e dal trattamento dei rifiuti.

A livello di amministrazioni comunali italiane nei "Criteri ambientali minimi per il servizio di gestione del verde pubblico e la fornitura di prodotti per la cura del verde è espressamente riportato che "si attribuisce un punteggio tecnico premiante proporzionale al minore impiego di torba rispetto ad altre tipologie di substrato utilizzato per la coltivazione delle specie offerte" (MATTM, 2020).

Da una semplice ricerca su Google Scholar e Scopus, eseguita il 29 agosto 2023, si è cercato di dedurre quanto, nell'ultimo decennio, sia forte l'interesse verso i substrati che utilizzino, nella composizione, materiali alternativi alla torba. Si sono inserite alcune parole chiave in relazione ai substrati di coltivazione per uso orto-florovivaistico e i risultati sono riportati nella Tabella 2. I numeri ottenuti mostrano come sia in crescita l'interesse per lo sviluppo in questo settore visto che circa la metà dei risultati ottenuti fino al 29 agosto 2023 sono relativi all'ultimo decennio.

Tabella 2 - Numero di articoli scientifici relativi a diversi substrati di coltivazione

Parole chiave	Google Scholar		Scopus	
	fino al 2023	2013-2023	fino al 2023	2013-2023
<i>Peat free</i>	724	357	1380	624
<i>Wood fiber</i>	2860	1530	180	114
<i>Coconut fiber</i>	768	413	133	78
<i>Compost</i>	1340	777	939	559

1.4 Descrizione dei principali componenti presenti nei substrati utilizzati

1.4.1 Torba bionda

Si origina in aree con climi molto freddi e umidi (Canada, Russia, Polonia, Finlandia, Irlanda) ed ambienti pedologici a reazione acida, molto poveri in elementi minerali solubili. E' un materiale di origine vegetale composto da residui di diverse specie vegetali appartenenti soprattutto al genere *Sphagnum*, *Polystricum*, *Euriophorum* (Leoni, 2003). I tessuti di queste piante sono andati incontro ad una parziale decomposizione in ambiente non costantemente privo di ossigeno. La materia organica ha subito l'alternarsi di periodi di totale sommersione con periodi di parziale ritiro delle acque durante i quali la lenta decomposizione dei tessuti è avvenuta in ambiente aerobico. Essendo costituita da materiali con un'origine più recente presenta un livello di decomposizione poco accentuato ($H = 3 - 5$) ed è possibile distinguere la tipologia degli organi vegetali dai quali ha avuto origine (foglie, fusti, radici). Ha razione fortemente acida, densità apparente secca inferiore a 100 kg m^{-3} e ritenzione idrica in peso superiore a $7.5 \text{ g H}_2\text{O g s.s.}$ (Zaccheo & Cattivello, 2009). La torba bionda è inoltre poverissima di elementi nutritivi. Grazie alle sue ottime caratteristiche e all'estrema versatilità si presta ad essere ampiamente utilizzata nella preparazione dei substrati adatti ad ospitare gran parte delle specie coltivate. Rappresenta infatti il materiale organico naturale più utilizzato nella preparazione dei substrati. Negli ultimi anni il costo di questa materia prima sta diventando particolarmente limitante. Tra le cause dell'impennata dei prezzi vi è la forte opposizione all'apertura di nuove torbiere esercitata in molti Paesi dai movimenti ambientalisti. Come già sottolineato le attività estrattive esercitano infatti un notevole impatto ambientale sia a livello del sistema floristico e pedologico che paesaggistico.

1.4.2 Torba bruna

È un materiale di origine vegetale composto da residui di diverse specie vegetali (Zaccheo & Cattivello, 2009). In questa categoria sono comprese tutte le torbe di colore scuro ottenute dall'accumulo e dalla decomposizione in ambiente anaerobico di specie vegetali diverse appartenenti soprattutto al genere *Carex*, *Alnus*, *Salix*, *Thipha*. La decomposizione dei

vegetali in questo caso avviene in un ambiente costantemente sommerso. Si originano in aree di fondovalle soggette a costante ristagno idrico o in località palustri di pianura. Poiché hanno origine in aree di compluvio il substrato pedologico su cui si depositano e con il quale sono a contatto è in genere tendenzialmente alcalino oltre che abbastanza ricco in elementi minerali. A differenza della torba bionda è difficile riconoscere gli organi e i tessuti dai quali ha avuto origine perché i materiali vegetali sono notevolmente decomposti. Presenta media decomposizione ($H = 5 - 7$), densità apparente secca inferiore a 120 kg m^{-3} ed una ritenzione idrica in peso superiore a $6 \text{ g H}_2\text{O g s.s.}$ (Zaccheo & Cattivello, 2009). Essendo molto decomposte presentano caratteristiche meno pregevoli delle torbe bionde poiché, anche se ben dotate di elementi nutritivi, hanno pH neutro o tendenzialmente alcalino, presentano bassa porosità libera e in alcuni casi eccessiva capacità di ritenzione idrica (Leoni, 2003). Sono inoltre prodotti chimicamente attivi e molto instabili perché l'attività microbica prosegue durante il loro utilizzo.

1.4.3 Fibra di legno stabilizzata

È considerata tra i materiali alternativi alla torba perché presenta aspetti interessanti in termini di sostenibilità in quanto è ottenuta da risorse rinnovabili ricavate da sottoprodotti dell'industria del legno o direttamente dalle essenze legnose (Cattivello, 2009). La materia prima può derivare da diverse specie tra cui pino marittimo (impiegato prevalentemente in Francia), abete bianco, abete rosso, pino silvestre, frassino maggiore, pioppo e abete di Douglas. La produzione della fibra di legno stabilizzata avviene tramite un processo meccanico di sfibratura a temperature comprese $110 \text{ }^\circ\text{C}$ e $160 \text{ }^\circ\text{C}$. Una volta sfibrato il materiale viene impregnato con pigmenti coloranti per renderlo di aspetto simile alla torba e con composti azotati che devono assicurare per un lungo periodo di tempo le fonti nutrizionali necessarie allo sviluppo dei microrganismi responsabili della biodegradazione delle fibre. In questo modo si dovrebbe assicurare una disponibilità di azoto per le piante sempre costante per evitare fenomeni di fissazione dell'azoto. Il prodotto è pronto all'impiego dopo un periodo di maturazione nel corso del quale il materiale si stabilizza e si omogeneizza. Le fibre di legno si caratterizzano per avere un pH tra 3.8 e 5.4 e una conducibilità elettrica tra 0 e 0.5 dS m^{-1} . La capacità di scambio cationico (CSC) è bassa così come il potere tampone. Risulta basso anche il contenuto in elementi nutritivi. In virtù del tipo di materiale il rapporto C/N è elevato. La densità apparente risulta

paragonabile a quella di una torba di media decomposizione. La porosità è molto elevata ed è occupata in larga parte da aria e questo è uno degli aspetti più positivi di questo materiale. Il contenuto in acqua facilmente disponibile risulta in genere sufficiente per la pianta ma essendo limitata la ritenzione idrica si è in genere costretti a un numero di interventi irrigui superiore ad un comune substrato a base di torba. Il restringimento è molto contenuto. Le fibre di legno hanno il vantaggio di avere scarsi problemi di reidratazione anche a seguito di perdite di acqua marcate. In virtù del processo di produzione la fibra di legno non contiene alcun organismo patogeno quindi un'ipotetica contaminazione potrebbe avvenire solo nel corso della conservazione. Per l'utilizzo di questi materiali si deve fare i conti con possibili fenomeni di immobilizzazione dell'azoto da parte dei microrganismi che possono comparire in certi miscugli con il passare del tempo. Va considerata inoltre la presenza di Mn soprattutto in presenza di residui di corteccia e deve essere tenuto sotto controllo il suo livello in quanto è considerato elemento tossico se in elevate concentrazioni. In substrati per giovani piante il Mn non deve eccedere i 3 mg L^{-1} (Styer & Koranski, 1997; Cattivello, 2009; Franceschi, 2017). Si può affermare che le fibre di legno mostrano soddisfacente stabilità nel medio periodo (6-8 mesi). Le fibre di legno non vengono di solito utilizzate da sole ma entrano nella costituzione di miscele con matrici organiche (come la torba) e/o inorganiche (come l'argilla) in grado di aumentare la ritenzione idrica in peso e/o volume (Cattivello, 2009). Viene generalmente utilizzata nella composizione dei substrati con una percentuale variabile dal 20% al 60%. La fibra di legno si rivela assai virtuosa in termini di performance ambientale grazie alla disponibilità e localizzazione diffusa della materia prima di partenza essendo materiale di derivazione della filiera foresta-legno o del riciclaggio con bassissima incidenza dei trasporti. È caratterizzata da una sostanziale semplicità ed economicità di produzione che si converte in un moderato assorbimento elettrico durante il processo di estrusione del materiale e dall'assenza di rifiuti di processo. La fibra di legno presenta infine una variabilità dell'impronta ecologica in relazione alla tipologia di legno in ingresso, assai limitata in caso di utilizzo di materiale di riciclo, maggiore ma comunque sempre sostenibile in caso di ricorso a legno vergine di diretta derivazione della filiera di bosco (Pozzi, 2021).

1.4.4 Ammendante compostato verde (compost)

È il prodotto della decomposizione e della trasformazione della sostanza organica operato da microrganismi aerobi come lieviti, attinobatteri, attinomiceti, batteri mesofili e termofili aerobici. Può avere origine da biomasse di diversa natura e questo condiziona profondamente le caratteristiche del prodotto. Il compost verde utilizzato, propriamente definito ammendante compostato verde (ACV) secondo D. Lgs. n. 217/06, è il prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione dei residui organici che possono essere costituiti da scarti organici selezionati di natura vegetale, cioè scarti di aree verdi pubbliche e private (come sfalci, potature, foglie), rifiuti mercantili (come cassette in legno, scarti di frutta e verdura da mercati ortofrutticoli), cortecce derivate dalla lavorazione del legno e delle cartiere e scarti vegetali di vario genere compresa la frazione organica di alghe e piante marine. Le caratteristiche chimiche principali sono pH 7.5 – 8.0 e conducibilità elettrica 0.8 – 1.2 dS m⁻¹. Rispetto alle torbe di sfagno può presentare pH alto, salinità superiore, quantità di acqua disponibile inferiore, maggiore densità apparente e CSC più elevata. Si evidenzia che compost da sole matrici ligno-cellulosiche rispettano generalmente e ampiamente tali limiti mentre i prodotti compostati a base di matrici organiche più ricche dal punto di vista nutritivo fanno registrare maggiori livelli di conducibilità. Il compost è un materiale molto studiato e se di provenienza e filiera certificata può costituire una valida opportunità come sostituto di materie prima d'importazione. I maggiori studi sono focalizzati sulla determinazione delle quantità limite impiegabili nei miscugli al fine di operare una sostituzione parziale o un'integrazione allo scopo di modulare le proprietà fisiche e idrologiche del mezzo di coltivazione. I substrati a base di solo compost non possono infatti essere considerati idonei per l'utilizzo nel vivaismo e questo è dovuto a diversi motivi. Il compost ha la caratteristica di avere una variabilità intrinseca superiore a quella della torba. Si consideri anzitutto che in alcuni casi il contenuto salino elevato ne limita le possibilità d'impiego in percentuali economicamente interessanti. In secondo luogo la quota di acqua facilmente disponibile del compost risulta essere bassa e tale da generare potenzialmente stress idrici. Il substrato a base di compost richiede pertanto l'adozione di tecniche irrigue appropriate. Il pH può risultare eccessivo e richiedere azioni correttive o un impiego circoscritto alle specie tolleranti pH neutro o sub alcalino. Si evidenzia poi che se il materiale proviene da scarti verdi e soprattutto se prodotti da materiali ad elevata componente legnosa presenta valori in elementi nutritivi quali N e ancora di più P e K, molto contenuti. Caratteristica fondamentale di un compost utilizzabile

come mezzo di coltura deve essere la stabilità biologica e quindi il rallentamento dei processi demolitivi della sostanza organica (scarsa fermentescibilità, assenza di odori e di attrattività per insetti e animali) e il raggiungimento della maturità che viene tradotta in assenza di fitotossicità. Questi rappresentano i parametri che maggiormente possono incidere sulla qualità del substrato. Si consideri poi che un compost per coltivazioni in contenitore necessita di un processo di maturazione di durata superiore a quella prevista per un compost destinato all'impiego come ammendante in pieno campo (Centemero, 2009, Franceschi, 2017). Va considerato che la quantità di ammendante compostato nei substrati dipende anche dalla specie coltivata (arborea, erbacea o arbustiva), dalla fase fenologica interessata (semina, ripicchettamento, rinvaso), dalla durata del ciclo culturale, dalle dimensioni del contenitore, dalle caratteristiche fisico-chimiche del compost, dalle caratteristiche fisico-chimiche dei materiali impiegati nella miscela (torbe e materiali inorganici come pomice, perlite), dalla tecnica culturale adottata. Per concludere si può affermare che il compost è un materiale organico complesso, legato fisicamente, chimicamente e biologicamente alla biomassa di origine. Rappresenta un elemento fondamentale per la qualità e la produttività dei suoli nonché per la vita vegetale e attraverso un suo studiato e attento utilizzo è possibile valorizzare scarti e residui organici facilmente reperibili e inseribili in una specifica filiera produttiva. In generale, il compost verde, anche per localizzazione della risorsa e conseguente bassa incidenza dei trasporti, si mostra materia prima a impatto carbonico assai contenuto (Pozzi, 2021).

1.4.5 Fibra e midollo di cocco

La palma da cocco (*Cocos nucifera* L.) è una coltura diffusa ampiamente nelle regioni tropicali e i maggiori produttori sono Sri Lanka, Filippine, India, Indonesia, Messico, Costa Rica, Costa d'Avorio e Guinea. Tra questi il leader mondiale risulta essere lo Sri Lanka, il quale può vantare una produzione annua di 2.5 miliardi di noci di cocco e 70000 tonnellate di fibra secca della quale circa il 75% è impiegata nell'industria tessile. Il frutto di questa palma è una drupa ed è costituito da una parte esterna (esocarpo) liscia, sottile e di colore brunastro, da una parte mediana (mesocarpo) di consistenza fibrosa, strettamente unita alla parte più interna (endocarpo) che è dura, di natura legnosa e aderente al tegumento del seme. Il seme (copra) è ricco in grassi dai quali si ottiene il burro di cocco molto usato nell'industria alimentare e cosmetica, contiene una cavità interna riempita dal cosiddetto

latte di cocco. Dalle fibre più lunghe del mesocarpo si ricavano diversi manufatti come stuoie, tappeti, cordami mentre dalla frazione più fine composta in varia misura da fibre più corte, midollo e particelle fini di aspetto simile alla torba si ottiene il materiale base per la preparazione dei substrati. La lavorazione si compone di varie fasi: raccolta e preparazione del materiale, frantumazione del mesocarpo, compostaggio, lavaggio, setacciatura, asciugatura, compressione e infine trattamento chimico. Generalmente le fibre vengono spedite in sacchi o più frequentemente in mattonelle compresse. Alcuni elementi potenzialmente tossici assorbiti dalla pianta come Na, Cl e K a causa della crescita della palma in prossimità del mare vengono confinati nei tessuti del mesocarpo del frutto e questo materiale se non trattato può presentare in alcuni casi eccessivi valori di tali elementi. La conduttività elettrica misurata per la fibra di cocco fresca varia in genere da 0.3 a 2.9 dS m⁻¹ mentre per il materiale destinato alla costituzione di substrati è consigliata una conducibilità inferiore a 0.5 dS m⁻¹. Il contenuto di sali solubili risulta essere il principale fattore di qualità e di controllo. Alcune prove hanno poi evidenziato una migliore radicazione nei substrati contenenti fibra o midollo di cocco dovuta non solo alle buone caratteristiche fisiche tra cui maggior riscaldamento rispetto ad analogo substrato a base di torba ma anche per la presenza in questo mezzo di sostanze ad azione rizogena che potrebbero almeno in parte spiegare il miglior sviluppo radicale (Cattivello, 2009). La fibra di cocco presenta un pH in acqua compreso tra 5 e 7 che è superiore in media a quello della torba ed è ottimale per la maggior parte delle colture neutrofile e pertanto non richiede azioni correttive. Il rapporto C/N è elevato e possiede minore stabilità microbiologica rispetto al midollo e alla torba in generale. La capacità di scambio cationico ha valori compresi tra 30 e 100 meq 100 g⁻¹ risultando inferiore al midollo di cocco ma riconducibili a una torba bruna e garantisce al materiale un elevato potere tampone. La densità apparente è molto bassa e paragonabile a quella di una torba poco decomposta. La porosità è pertanto molto elevata e occupata quasi interamente da aria e questo fa sì che l'acqua trattenuta risulta essere esigua e poco disponibile per la pianta. Il restringimento è contenuto. La fibra di cocco possiede infine un'elevata capacità di risalita capillare e una velocità di imbibizione ben superiore al midollo di cocco e alla torba rendendo perciò necessaria una sua miscelazione con altri materiali al fine della costituzione di substrati. Al fine di garantire una certa qualità della fibra di cocco è indispensabile che vengano rispettati i periodi di maturazione della stessa e vista la stagionalità dei luoghi di produzione che vede periodi monsonici alternati a periodi di secco, in alcuni casi potrebbero essere necessari dei trattamenti per uniformare l'umidità del prodotto. Si può infine affermare che questo materiale è rinnovabile e se paragonato alla

torba si rivela più sostenibile in virtù di un'emissione carbonica significativamente più bassa (Pozzi, 2021) e in quanto scarto di un processo produttivo risulta facilmente ottenibile. Il suo maggior impatto ecologico ed economico è rappresentato dalla lontananza dei luoghi d'origine cioè dal trasporto navale dalle zone di lavorazione a quelle di destinazione.

1.4.6 Materie prime di origine minerale-naturale

Sono materiali inorganici utilizzati tal quali o sottoposti a semplici interventi meccanici volti a modificarne soltanto la granulometria. Vengono impiegati in miscuglio con prodotti di origine organica. Le caratteristiche tipiche di questi prodotti sono la notevole stabilità nel tempo dovuta all'assenza di attività microbiche, l'inerzia chimica e la sterilità (Leoni, 2003).

1.4.6.1 Pomice

È un silicato di alluminio di origine vulcanica contenente tracce di elementi nutritivi, con densità apparente relativamente bassa e una buona porosità. Si origina dalla liberazione di vapore e gas nel corso del repentino processo di raffreddamento del materiale eruttato (Cattivello, 2009). Si differenzia dal lapillo per il colore molto più chiaro e per la presenza di notevoli quantità di ferro (Leoni, 2003). La pomice in commercio è ottenuta dalla macinatura e successiva vagliatura del prodotto estratto. Si ottengono così diverse granulometrie tra le quali le più diffuse sono quelle comprese fra 3 e 12 mm (Cattivello, 2009). Le caratteristiche del prodotto sono piuttosto variabili in funzione del giacimento di provenienza e delle dimensioni medie delle particelle (Leoni, 2003). La pomice presenta un pH compreso tra 4,7 a 7,6 e una EC tra 0.1 e 0.5 dS m⁻¹ (Cattivello, 2009). La CSC è scarsa. La porosità totale è buona ed è dovuta ad un'elevata presenza di macropori e micropori (Leoni, 2003) ma una frazione variabile fra 5 e 11% di tale porosità è costituita da cavità isolate e chiuse e pertanto l'aria in esse contenuta non può essere utilizzata dalle piante (Cattivello, 2009). La capacità di ritenzione idrica legata ai micropori è molto scarsa perché non risultano in grado di accumulare e trattenere acqua dal momento che la loro superficie interna è ricoperta da un leggero strato di silicati vetrificati che li rende impermeabili all'acqua (Leoni, 2003). Gli spazi porosi aperti sono equamente occupati da aria e acqua. Questo materiale è utile per alleggerire il substrato grazie alle equilibrate caratteristiche idrogeologiche.

1.4.6.2 Argille

Quelle più comunemente impiegate nella fabbricazione dei substrati sono la bentonite e la montmorillonite. Sono disponibili in forma polverulenta o più frequentemente granulare. La bentonite e la montmorillonite sono caratterizzate da elevata CSC. Fissano in maniera reversibile K, ammonio e P che vengono successivamente scambiati con Ca e/o Mg. È un'importante aspetto per i riflessi positivi sulla nutrizione e sulla capacità tampone e non va sopravvalutato a causa del fatto che le argille entrano in quantitativi ridotti nella formulazione dei substrati e sono frequentemente utilizzate in forma granulare. L'elevata densità apparente e la buona capacità di reidratazione sono le proprietà che maggiormente caratterizzano questi materiali. La presenza di argilla nella miscela riduce i tempi di riuniformazione e aumenta i volumi d'acqua assorbita (Cattivello, 2009). La presenza di argille polverulente nelle miscele determina un aumento della densità apparente, della ritenzione idrica in volume ed in peso, un calo della porosità totale e del volume d'aria. Molto interessante risulta l'azione stabilizzatrice delle argille granulari sul volume dei substrati. Infatti grazie alla resistenza meccanica offerta dai granuli, i valori di restringimento risultano più contenuti del medesimo substrato senza argilla o con argilla polverulenta (Cattivello, 2009).

1.4.6.3 Perlite

È un silicato di alluminio di origine vulcanica ottenuto riscaldando rapidamente il prodotto grezzo a 1000 °C provocando l'immediata trasformazione in volume delle molecole di acqua racchiuse nei granuli. La pressione di vapore che si sviluppa in questa fase determina profondi mutamenti sia nell'aspetto dei granuli che nella loro struttura, assumendo un aspetto perlaceo e spugnoso e diventando ricchi in macro e micropori. Il processo di lavorazione provoca un'espansione delle particelle che assumono l'aspetto tipico del prodotto commerciale cioè granuli leggeri, bianchi, resistenti alla compressione e sufficientemente stabili nel tempo. In commercio si trova in diverse vagliature anche se le classi di granulometria più diffuse sono 2–5 mm e 1–2 mm (Cattivello, 2009). La perlite può liberare piccole quantità di Al, Fe, Mn, Zn e F soprattutto in ambiente acido. Risulta naturalmente priva di patogeni e di infestanti. Viene solitamente aggiunta ad un substrato per arieggiare e alleggerire il mezzo.

1.5 Obietti della prova

La torba rappresenta ancora oggi il costituente principale della maggior parte dei substrati di coltivazione e la sua riduzione è una sfida molto sentita nel settore orto-florovivaistico. Come è stato detto la torba è un materiale fossile cioè una risorsa limitata e la sua estrazione, considerata l'elevata richiesta, provoca impatti assai negativi sull'ambiente e per questo motivo in tutta Europa si cerca di salvaguardare l'ambiente delle torbiere. Nell'ambito della produzione di substrati di coltura diversi studi e prove sperimentali stanno tentando di individuare risorse utilizzabili diverse dalla torba. Si sta puntando principalmente sulla possibilità di dare nuova vita a scarti di produzione che escono da diverse filiere produttive oppure a materiali derivanti dalla gestione del verde o dalla linea di trattamento e smaltimento di rifiuti organici.

Il Centro di Biodiversità Vegetale e Fuori Foresta di Montecchio Precalcino (VI) opera in prima linea nella conservazione di piante forestali e erbe con un interesse particolare nei confronti della sostenibilità ambientale delle sue produzioni. Questo Centro di Veneto Agricoltura è, a tutti gli effetti, un vivaio che si occupa della produzione vivaistica di piantine di specie autoctone più o meno diffuse in Veneto partendo da materiali di propagazione di provenienza locale e sicura. Il PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) 2020-2023 con la sua Missione 2 e in particolare con gli investimenti 3.1 e 3.3 chiama in campo il Centro per la produzione e fornitura di un elevato numero di piante da destinare ad alcune aree designate del territorio italiano. Ciò non rappresenta solo uno stimolo economico ma è anche la possibilità di mettere in gioco le competenze raggiunte nel campo della sostenibilità produttiva. A questo scopo si vuole porre particolare attenzione a tutti gli aspetti della gestione delle nuove produzioni e tra questi anche per ciò che concerne i materiali base che entrano nella composizione dei supporti di coltura adottati. In questa tesi si sono voluti testare, per la produzione di alcune specie forestali legnose, substrati di coltivazione che presentano un diverso contenuto di torba allo scopo verificare la possibilità di sostituire o integrare i substrati attuali usati con altri ecologicamente più sostenibili. Nei substrati oggetto della prova la frazione torbosa è stata in parte o totalmente sostituita da altre matrici scelte tra quelle attualmente emergenti nel settore e per le quali recenti studi stanno indicando una sostenibilità ambientale superiore a quella delle torbe. L'obiettivo ultimo della prova è quindi quello di individuare substrati di coltura alternativi a ridotto impatto ambientale, che siano in grado di fornire le stesse prestazioni di quello normalmente utilizzato in azienda, se non addirittura migliori.

CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI

La prova ha previsto il confronto di tre substrati diversi, denominati AZ (aziendale), -40 e -100. Si tratta di tre substrati appositamente formulati per la prova dalla ditta Manna Italia Srl, distributore dell'azienda tedesca Gramoflor GmbH & Co. KG, che in fase preliminare ha definito le composizioni con un coinvolgimento partecipato con il Centro. Il substrato AZ rappresenta il punto di riferimento di questo test, ed è un substrato dalla composizione abbastanza classica per il settore, con un tenore di torba che si attesta sul 70 % (Tab. 3). Questa miscela è stata testata per più anni ed è stata in grado di mantenere nel tempo lo standard qualitativo richiesto dal Centro. Gli altri due substrati sono stati ottenuti aggiungendo materiali alternativi diversi tra cui fibre di legno e di cocco, e compost vegetale certificato. Uno di questi presenta un contenuto di torba ridotto del 40% rispetto a quello aziendale (-40) e l'altro è completamente privo di torba (-100). Le composizioni dei substrati in prova sono riportate in Tabella 4 e Tabella 5.

Tabella 3 - Substrato standard utilizzato in azienda con contenuto di torba pari al 70 %

Composizione substrato AZ		
70%	Torba	
	50%	torba bionda grossolana baltica o tedesca 20-40 mm
	20%	torba bruna fine baltica o tedesca 10-20 mm
10%	pomice 3-6 mm	
10%	fibra di cocco lavata/stabilizzata 30-40 mm. Garantita esente da residui di sodio	
7%	perlite	
3%	argilla montmorillonitica	
150 g Micromax		
100 g NPK 14 16 18 + microelementi		
Tensioattivo per la reidratazione della torba		

Tabella 4 - Substrato con un contenuto di torba diminuito del 40 % rispetto al substrato AZ

Composizione substrato -40		
30%	Torba bionda	
40%	Fibra di legno	
	10%	fibra di legno grossolana colorata LIGNOFIBRE®c
	30%	fibra di legno media LIGNOFIBRE®
20%	Compost certificato	
10%	Fibra di torba mista	
20 kg/m ³ Argilla 100 g/L gramo MICRO-DEPOT 0.1 kg/m ³ gramo NPK Standard 5 kg/m ³ gramo Xchange 500 mL agente bagnante		

Tabella 5 - Substrato privo di torba

Composizione substrato -100		
25%	Torba di cocco Typ 30	
35%	Fibra di legno	
	15%	Fibra di legno grossolana colorata LIGNOFIBRE®c
	20%	Fibra di legno extrafine LIGNOFIBRE®c Xtrafine+
15%	Compost vegetale certificato	
15%	Bio Humus di corteccia	
10%	Perlite 0-6 mm	
500 g/m ³ gramo NP (23/14/0/2) 150 g/m ³ microelementi a lenta cessione 500 g/m ³ concime a lenta cessione (24/7/14/3 + microelementi) 500 mL/m ³ Agente bagnante		

2.3 Caratterizzazione dei substrati

Prima di procedere con la prova di coltivazione si è scelto di fare un'analisi di caratterizzazione dei substrati, che è stata svolta presso l'azienda agraria e il laboratorio del dipartimento DAFNAE, dell'Università di Padova.

Per la determinazione delle proprietà fisico-idrologiche dei substrati è stata usata la metodologia del porometro (NCUS), proposta dall' *Horticultural Substrates Laboratory Department of Horticultural Science North Carolina State University* (Fonteno and Bilderback, 1993). Con questa metodologia è stato possibile stimare la porosità totale (PT), la capacità di ritenzione idrica (CRI), e la capacità per l'aria (CA).

Per la determinazione del peso volumico apparente (PVA) è stata impiegata la metodologia EN 13040 (1999). La sostanza organica (SO) e l'azoto totale (N) sono stati determinati per analisi elementare. Il pH e la conducibilità elettrica (EC) sono state seguite le metodiche EN 13037 (CEN, 1999) e EN 13038 (CEN, 1999), rispettivamente. Infine, il contenuto di macro e meso elementi è stato valutato con in metodo EN 13652 (CEN, 2001) usando la cromatografia ionica.

2.4 Prova di coltivazione

Per la valutazione delle performance dei substrati sono state scelte 6 specie forestali tra quelle arboree e arbustive: carpino bianco (*Carpinus betulus* L.), spincervino (*Rhamnus cathartica* L.), sambuco (*Sambucus nigra* L.), frassino ossifillo (*Fraxinus angustifolia* Vahl), frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.) e ciliegio canino (*Prunus mahaleb* L.)

Originariamente i substrati dovevano essere testati con tutte e sei le specie, ma per problemi intervenuti questo non è stato possibile. In Tabella 6 si riporta in modo schematico quali substrati sono stati testati con le diverse specie.

Tabella 6 - Substrati testati con le diverse specie

Specie	AZ	-40	-100
Carpino	X	X	X
Spincervino	X	X	X
Sambuco	X		X
Frassino ossifillo	X		X
Ciliegio canino	X	X	
Frassino maggiore	X	X	

Le prove di coltivazione sono state svolte presso le strutture del Centro di Biodiversità Vegetale e Fuori Foresta di Montecchio Precalcino (VI), nel periodo febbraio-settembre 2023. I semi utilizzati provengono da specie appartenenti al patrimonio forestale e floristico del Veneto. Sono stati raccolti in particolari aree designate in cui si possa escludere la contaminazione genetica da piante importate e non autoctone. Sono stati seminati secondo il calendario delle semine del vivaio (Tab. 7).

Tabella 7 - Date di semina

Specie	Data di semina
<i>Carpinus betulus</i>	14/02/2023
<i>Rhamnus catartica</i>	14/02/2023
<i>Sambucus nigra</i>	21/02/2023
<i>Fraxinus angustifolia</i>	23/02/2023
<i>Prunus mahaleb</i>	24/01/2023
<i>Fraxinus excelsior</i>	24/01/2023

I contenitori utilizzati sono di tipo *multi-pot* da 32 fori (MP2), adatti all'*airpruning*, con un volume alveolare di 0.33 L particolarmente sviluppato in altezza, tipico nella vivaistica forestale che deve garantire un apparato radicale che si sviluppi in profondità.

Per ciascuna specie e substrato sono stati seminati quattro contenitori.

La semina è stata fatta in modo manuale. Per ogni cella sono stati depositi diversi semi, senza tenere conto del numero esatto. Per cercare di ridurre la variabilità derivante dalla differente manualità degli operatori, tutti i contenitori di una specie sono state seminate da un singolo operatore. Il substrato di coltivazione è stato ricoperto da un leggero strato di vermiculite. Dopo la semina e per tutta la successiva fase di coltivazione, i contenitori sono

stati portati nelle strutture di coltivazione, costituite da bancaline rialzate sotto ombrai e fino a germinazione completata sono stati tenuti coperti da TNT. Per i primi tre mesi di coltivazione si è tenuto un ombreggio pari al 30%.

Al termine della fase di germinazione, a circa 10 settimane dalla germinazione dei primi semi, si è effettuata una selezione delle piantine mantenendo una pianta per alveolo.

L'irrigazione è stata gestita in maniera automatica fino a due interventi giornalieri a seconda del regime pluviometrico del periodo. Tutti i contenitori di una stessa specie sono state trattate con le stesse condizioni di ombreggiamento, rifornimento idrico e concimazione.

2.4.1 I rilievi eseguiti

Le performance dei substrati di coltivazione sono stati valutate a partire dalla fase di germinazione fino al momento che precede l'epoca di vendita.

2.4.1.1 La germinazione

La valutazione della germinazione è stata eseguita in più osservazioni al fine di rilevare le differenze di velocità con la quale avviene questo processo. Quindi, il 05/04, il 27/04 e il 01/06/2023 è stata eseguita la conta del numero di celle occupate da almeno una plantula.

2.4.1.2 Rilievo in itinere

Il 18/07/2023 è stato eseguito il rilievo non distruttivo. Per ciascuno dei quattro contenitori per substrato, sono state considerate 10 piantine, e su queste sono stati valutati i seguenti parametri: altezza delle piantine misurata dal colletto all'apice, il numero di foglie e l'indice di colore verde del fogliame. Per questo ultimo parametro è stato utilizzato lo SPAD-meter (SPAD-502, Minolta, Japan) che consente di effettuare misure non invasive del contenuto di clorofilla.

2.4.1.3 Rilievo finale

Il 30/08/2023 è stato fatto il rilievo finale. Come per il rilievo in itinere, sono state prelevate dieci piante per ciascuno dei quattro contenitori per substrato. I parametri valutati sono stati i seguenti: altezza delle piantine, numero di foglie, diametro del fusto a due cm dal colletto, e indice SPAD.

Su cinque piante per contenitore, inoltre, si è condotto il rilievo distruttivo, al fine di valutare la biomassa prodotta. A questo scopo la pianta è stata suddivisa in foglie, fusti e radici. Gli apparati radicali sono stati isolati liberandoli gentilmente dal substrato con l'ausilio di acqua. Le tre parti di pianta sono quindi state essiccate in stufa ventilata a 105 °C per 48 ore. Con i valori ottenuti è stato calcolato il peso secco dell'intera pianta e il rapporto chioma/radici (C/R) secondo l'equazione:

$$C/R = (FGL + FST)/RAD$$

Dove FGL è il peso secco delle foglie, FST quello del fusto e RAD quello delle radici.

Il 20 settembre, in fine, è stato condotto il rilievo di cedibilità. La vendibilità della produzione viene valutata in base a parametri quali l'altezza minima e massima delle piante, il diametro al colletto e la capacità del pane di terra di rimanere compatto e non sfaldarsi. Il Centro cede infatti le piantine senza contenitore e risulta indispensabile che l'integrità del pane di terra venga mantenuta a partire dall'estrazione dal contenitore, per tutto il trasporto e fino all'impianto.

2.4.1.4 Analisi statistica

Tutti i dati raccolti dalla prova di coltivazione sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) e le medie separate tramite il test di Tukey. I dati percentuali sono stati trasformati nei rispettivi valori angolari prima dell'analisi della varianza.

CAPITOLO 3: RISULTATI

3.1 Risultati dell'analisi di caratterizzazione dei substrati

Le analisi condotte sui substrati hanno sono riportate in Tabella 8. Tutti e tre i substrati hanno presentato valori di peso volumico apparente, pH e conducibilità elettrica entro i range consigliati. Per quanto riguarda le caratteristiche idrologiche, invece, tutti e tre i substrati si sono mostrati in qualche modo fuori dai valori raccomandati. In ogni caso, rispetto al substrato aziendale, sia il -40 che il -100 hanno presentato maggiore capacità di ritenzione idrica e, il -40, valori maggiori sia di porosità totale che porosità per l'acqua. Per quanto riguarda il contenuto di nutrienti, tutti i substrati sono apparsi poveri delle forme azota e ricchi di potassio e, per quelli alternativo, anche di magnesio. Infine, nessuno dei substrati è risultato preoccupante per i contenuti di sodio e cloro. Va ricordato, in questa sede, che le caratteristiche fisiche/idrologiche sono da considerarsi più importanti di quelle chimiche perché non modificabili durante la coltivazione, mentre quelle nutrizionali vengono in genere corrette/integrate con le normali fertirrigazioni.

Tabella 8 - Caratterizzazione dei substrati

	AZ	-40%	-100%	Range consigliato
Peso volumico apparente (g/cm³)	180	177	148	400-500 [^]
Porosità totale (%)	80.61	91.03	84.98	85 [^]
Porosità per l'aria (%)	15.36	20.99	12.49	20-30 [^]
Capacità di ritenzione idrica (%)	65.25	70.04	72.49	55-65 [^]
pH	6.38	6.02	6.46	5.3-6.5 [°]
Conducibilità elettrica (μS/cm)	375	305	431	200-500*
S.O. (%)	15.3	42.7	46.2	
N totale (%)	0.35	1.02	0.93	
N-NO₃ (mg/L)	6.76	4.00	2.07	11-23*
N-NH₄ (mg/L)	4.30	0.91	9.84	8-12*
P₂O₅ (mg/L)	3.78	16.10	13.40	14-19*

K (mg/L)	40.75	55.78	68.00	4-14*
Ca (mg/L)	28.43	20.98	16.02	10-19*
Mg (mg/L)	4.71	20.98	16.02	6-10*
Na	7.77	6.77	12.22	11-16*
SO₄	67.96	31.78	51.17	35-45*
Cl	16.07	21.68	31.53	18-30*

^ (De Bo. di e Verdonk, 1972); ° (Abad et al., 2001); * (Pozzi e Valagussa, 2009).

3.2 Risultati della prova di coltivazione

3.2.1 Germinazione

Per quanto riguarda il carpino, l'analisi della varianza non ha mostrato differenze significative per il primo (5 aprile) e il secondo (27 aprile) rilievo di germinazione che, in media, è stata del 28.8 e 36.5% rispettivamente. La germinazione è risultata invece significativamente influenzata dal substrato nel terzo rilievo (1 giugno; Fig. 1), dove è risultato che il substrato AZ non si è differenziato dai substrati alternativi a confronto, mentre il substrato -40 è risultato favorire la germinazione rispetto al -100 (58.3 vs 31.3%) (Fig. 2).

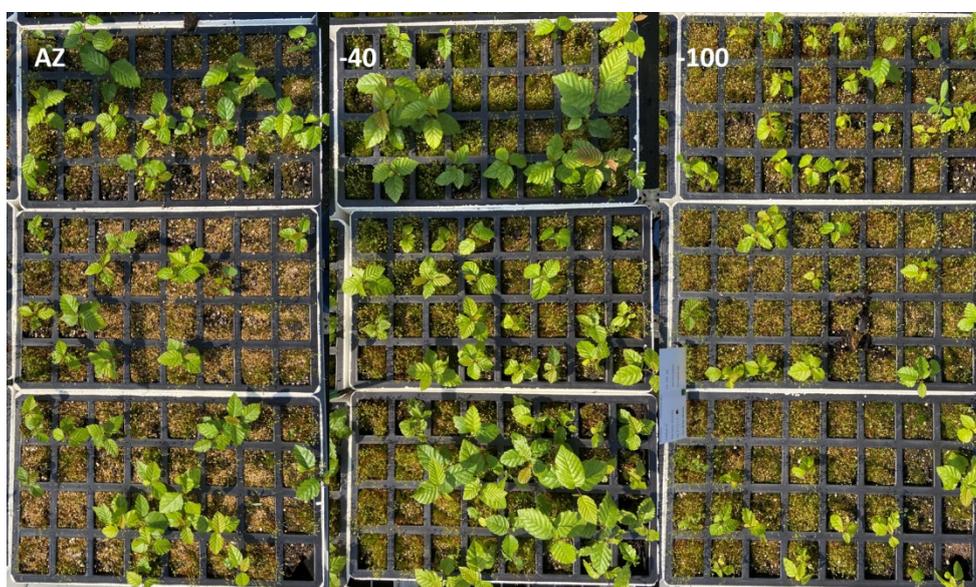


Figura 1 – Carpino: Stato della germinazione al 1 giugno 2023.

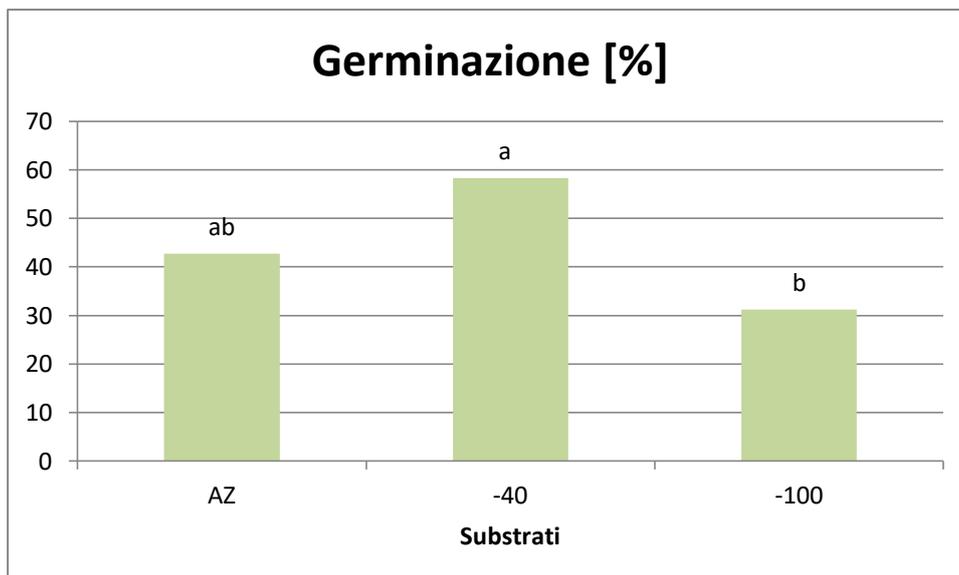


Figura 2 – Carpino: Percentuale di celle con almeno una plantula nei tre substrati in prova, al terzo rilievo (01/06/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Nel caso dello spincervino, la germinazione è risultata influenzata dal substrato a tutti e tre i rilievi. Come si può vedere dalle figure 3, 4 e 5, i substrati AZ e -40 hanno dato risultati simili (in media 66.7% nel primo rilievo e 90.6% sia nel secondo che nel terzo rilievo; Fig. 6) e con valori superiori rispetto a quelli riscontrati con il substrato -100 (31.25 % in tutti e tre rilievi).

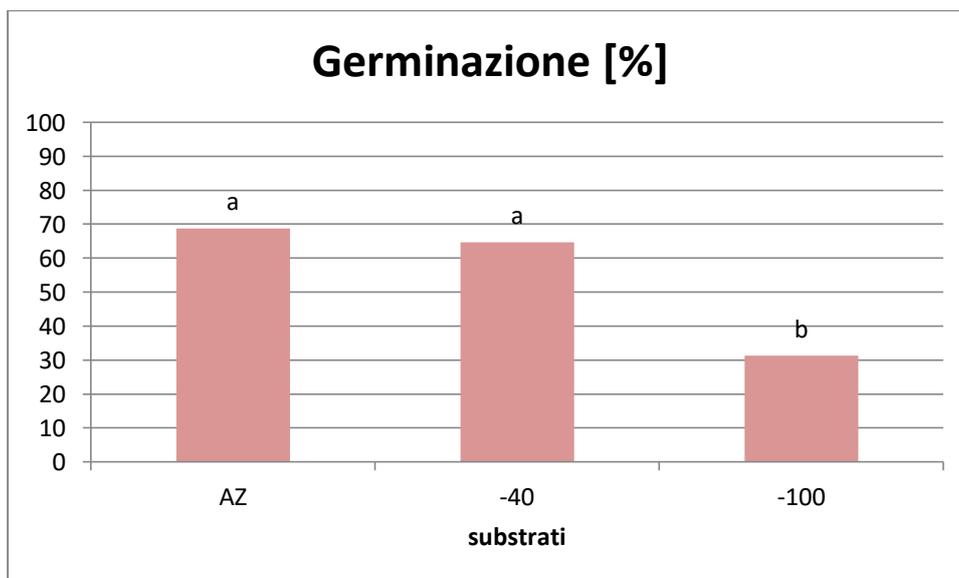


Figura 3 - Spincervino: Stato della germinazione al 5 aprile 2023

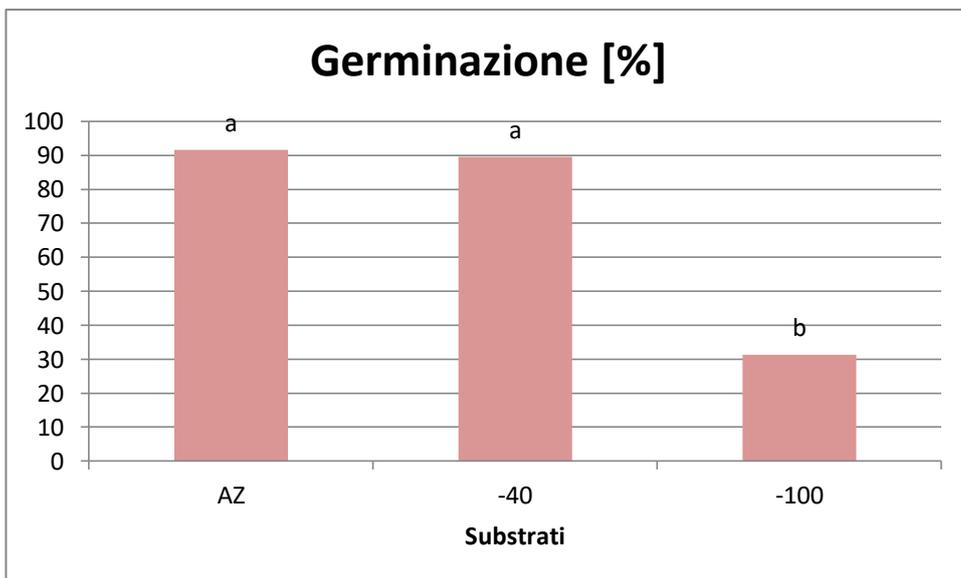


Figura 4 - Spincervino: Stato della germinazione al 27 aprile 2023

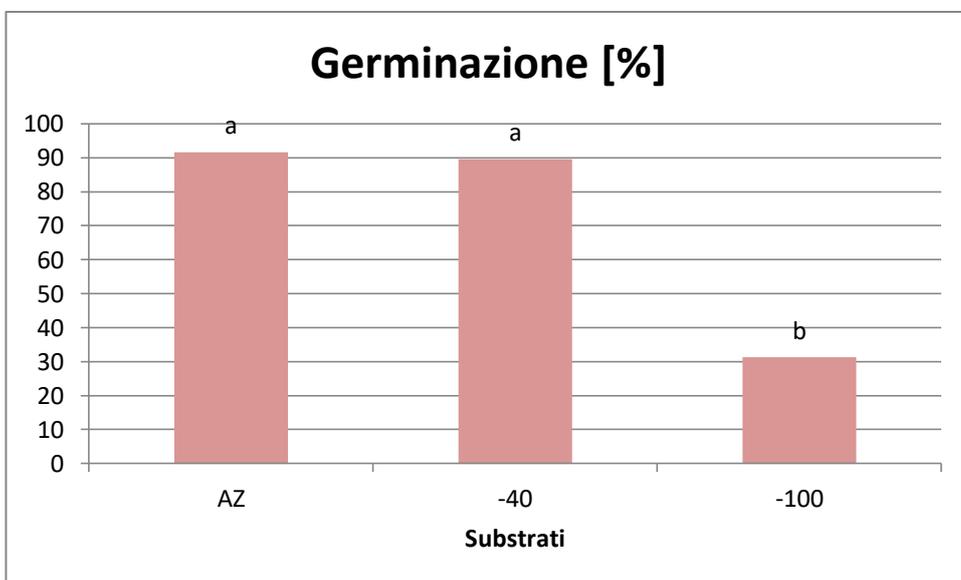


Figura 5 - Spincervino: Stato della germinazione al 1 giugno 2023

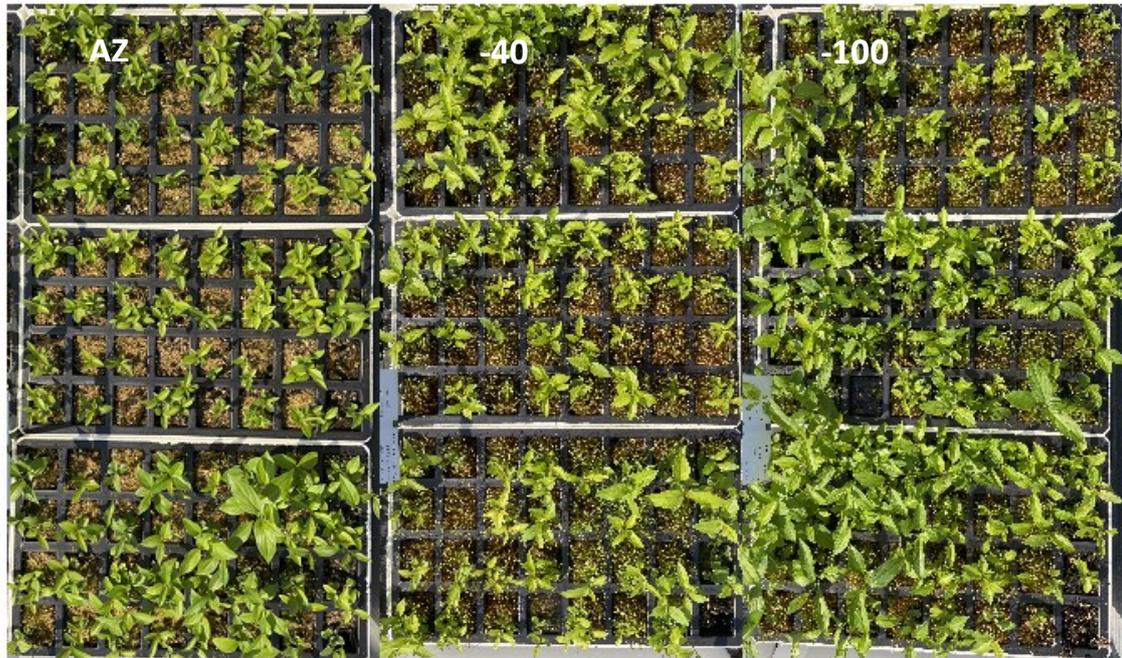


Figura 6 - Spincervino: Stato della germinazione al 1 giugno 2023

Per il sambuco l'analisi della varianza applicata ai dati di germinazione non ha mostrato differenze significative tra le percentuali dei due substrati in prova (AZ e -100) in nessuno dei tre rilievi fatti (Fig. 7). Ovviamente, nei tre rilievi le percentuali sono via via cresciute e, mediamente, sono state pari al 19.3%, 56.8% e 90.1%.

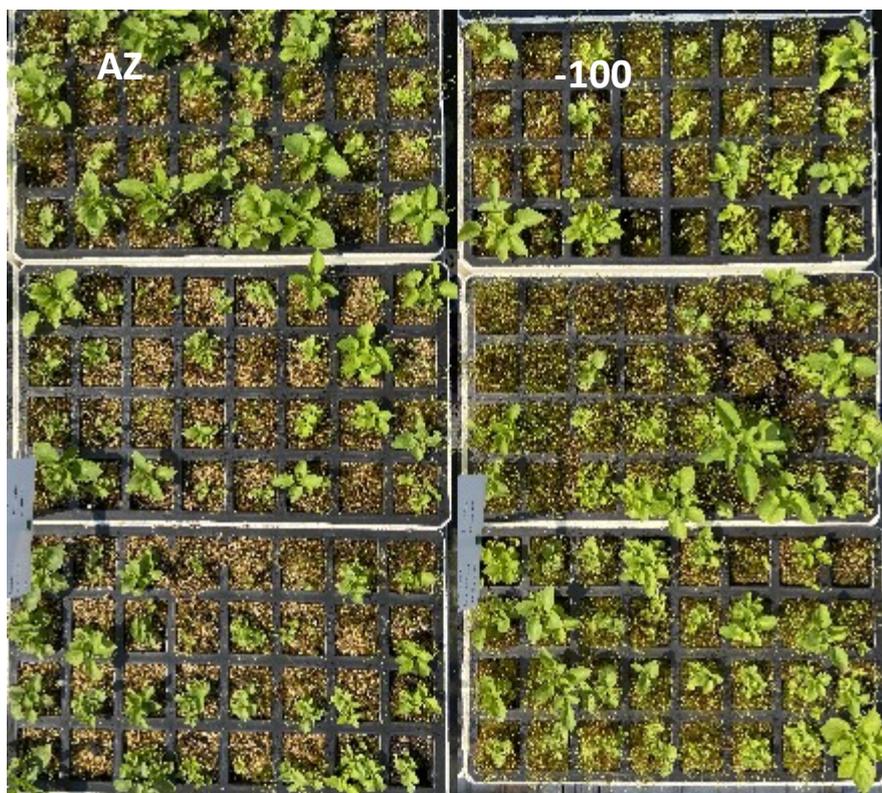


Figura 7 - Sambuco: Stato della germinazione al 1 giugno 2023

La germinazione del frassino ossifillo è risultata significativamente influenzata dal substrato nel primo e nel secondo rilievo (Figg. 8 e 9). In entrambi i casi, il substrato che ha dato prova di favorire la germinazione è stato il -100 (Figg. 8e 9). Al primo rilievo la germinazione è stata del 25.0% per il substrato AZ e del 41.7% per quello -100 (Fig. 8). Al secondo rilievo, le percentuali sono cresciute al 43.8% per l'AZ e al 61.5% per il -100 (Fig. 9). All'ultimo rilievo di germinazione, comunque, non è risultata influenzata dal testimone e il suo valore medio è stato pari al 77.1% (Fig. 10).

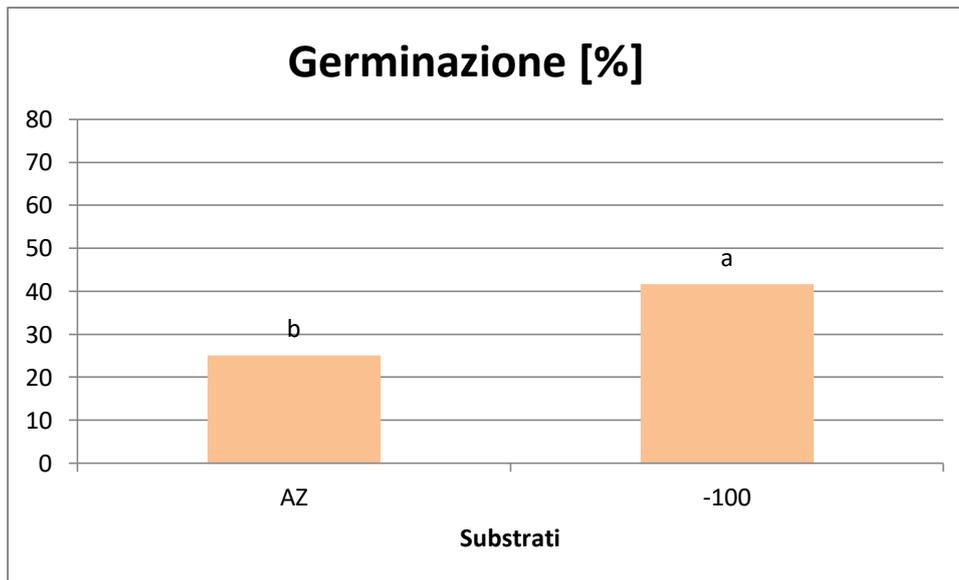


Figura 8 - Frassino ossifillo: Percentuale di celle con almeno una plantula nei due substrati in prova, al terzo rilievo (05/04/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

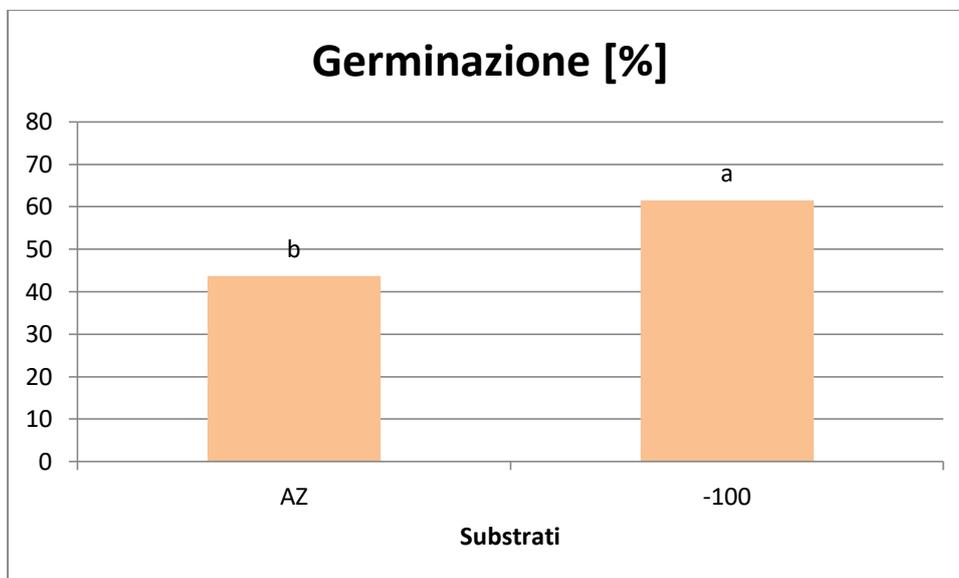


Figura 9 - Frassino ossifillo: Percentuale di celle con almeno una plantula nei due substrati in prova, al terzo rilievo (27/04/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).



Figura 10 - Frassino ossifillo: Stato della germinazione al 1 giugno 2023

L'analisi della varianza relativa alla germinazione del ciliegio canino non ha mostrato differenze significative tra le percentuali dei due substrati in prova per questa specie (AZ e -40), in nessuno dei tre rilievi fatti. I valori medi ottenuti nelle tre osservazioni sono stati pari a 57.3%, 90.6% e 90.6%. Dal secondo rilievo il tasso di germinazione è rimasto in media invariato (Fig. 11).

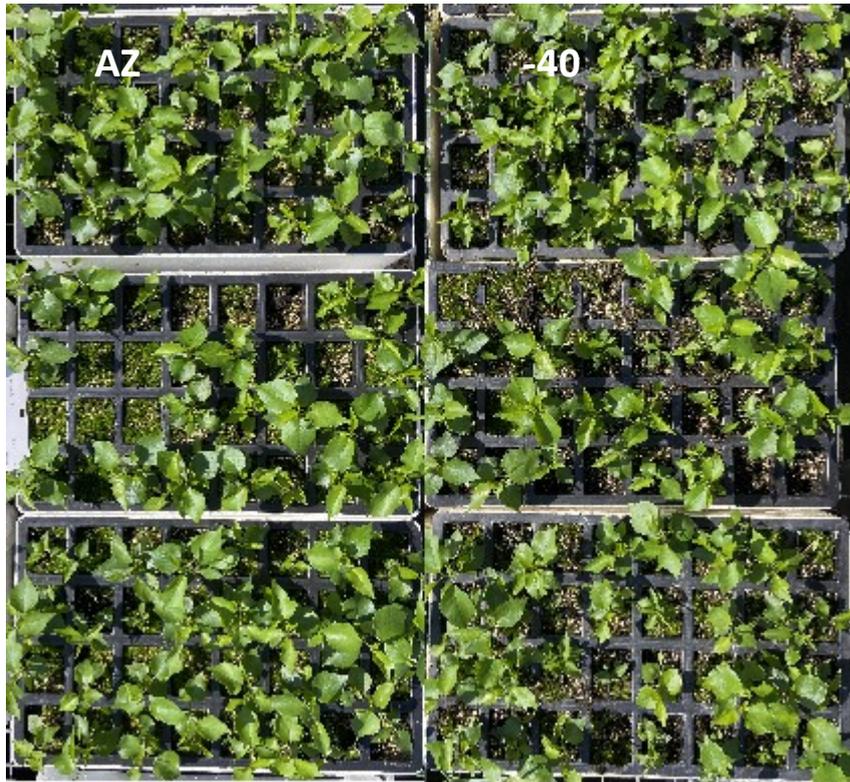


Figura 11 - Ciliegio canino: Stato della germinazione al 27 aprile 2023

Per il frassino maggiore i dati di germinazione sono stati raccolti solo in occasione del terzo rilievo. L'analisi della varianza non ha mostrato differenze significative tra le percentuali dei due substrati in prova (AZ e -40), e le percentuali sono state pari al 90% per entrambi i substrati.

3.2.2 Rilievo in itinere

Al rilievo in itinere, le piante di carpino allevate sul substrato -40 hanno mostrato un maggior sviluppo in altezza rispetto a quelle degli altri substrati (23.9 cm, contro una media di 21.2 cm di AZ e 19.4 cm di -100) (Fig. 12), e anche una maggiore percentuale di piante con germogli laterali (82.5% vs 50.5%)(Fig. 13).

I substrati non hanno invece avuto alcuna influenza sul numero di foglie e il valore SPAD (in media, 13.0 e 30.8, rispettivamente).

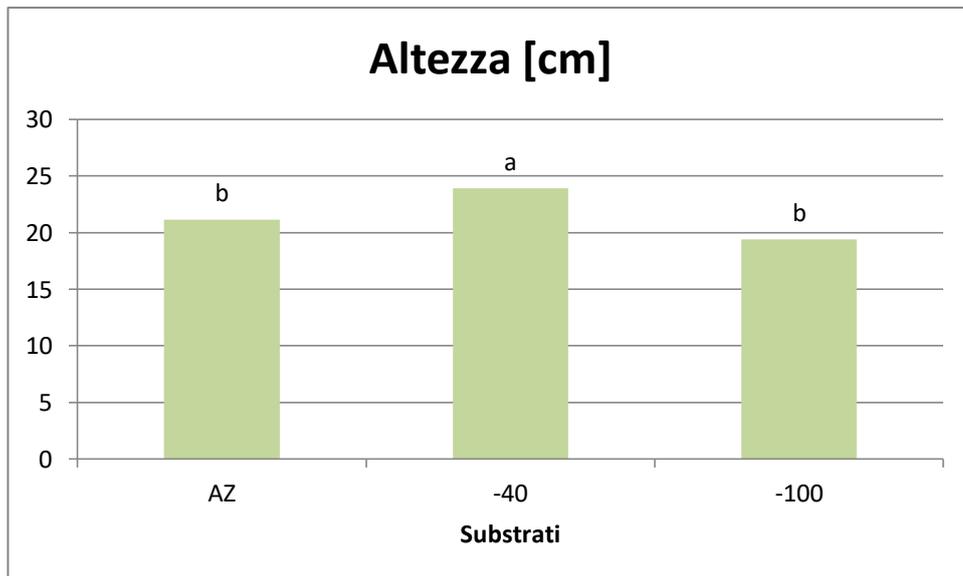


Figura 12 - Carpino: Altezza delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

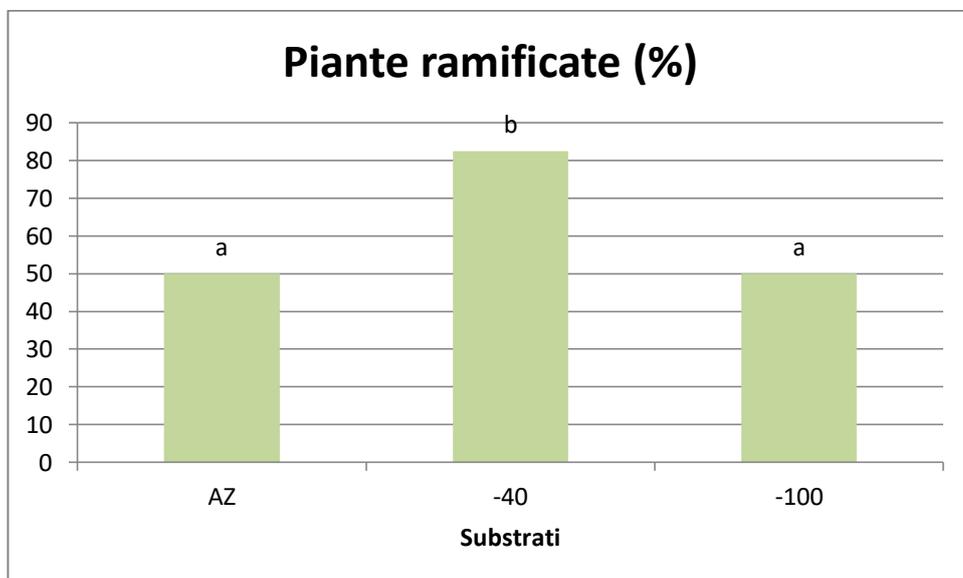


Figura 13 - Carpino: Percentuale di piante con germogli laterali nei tre substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Per lo spincervino, l'analisi della varianza ha evidenziato che l'altezza delle piante è stata influenzata significativamente dai substrati. I substrati -40 e -100 hanno dato risultati confrontabili (rispettivamente 24.7 e 24.6 cm), e superiori a quelli ottenuti dal substrato AZ (20.4 cm) (Fig. 14).

Per questa specie, i substrati non hanno influenzato il numero di foglie (in media 19.9) e il valore di SPAD (in media 32.5).

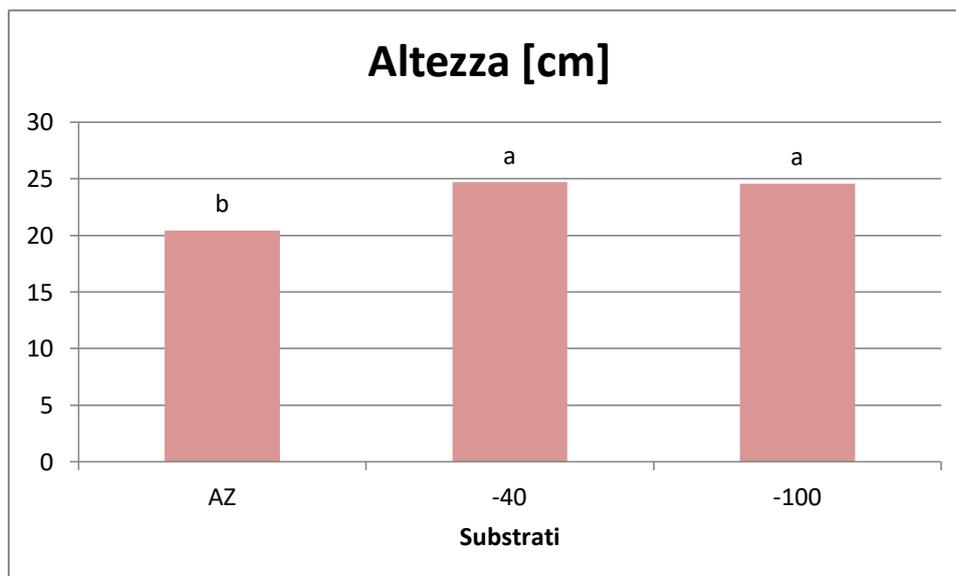


Figura 14 - Spincervino: Altezza delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Al rilievo intermedio, le piante di sambuco allevate con substrato -100 hanno mostrato uno sviluppo in altezza significativamente maggiore rispetto a quelle del substrato AZ (27.4 cm del -100 contro 14.7 cm dell'AZ) (Fig. 15). I substrati hanno influenzato anche il numero di foglie (Fig. 16) e anche in questo caso il substrato -100 ha fornito risultati maggiori (4.60 contro 4.10 dell'aziendale). Per i valori di SPAD l'analisi della varianza non ha restituito differenze significative e il valore medio è risultato pari a 37.8.

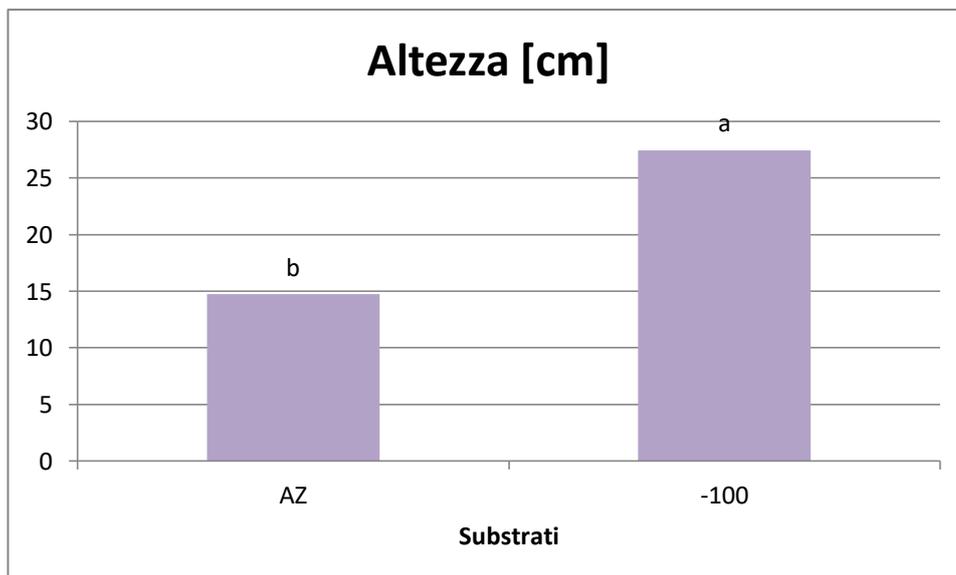


Figura 15 - Sambuco: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

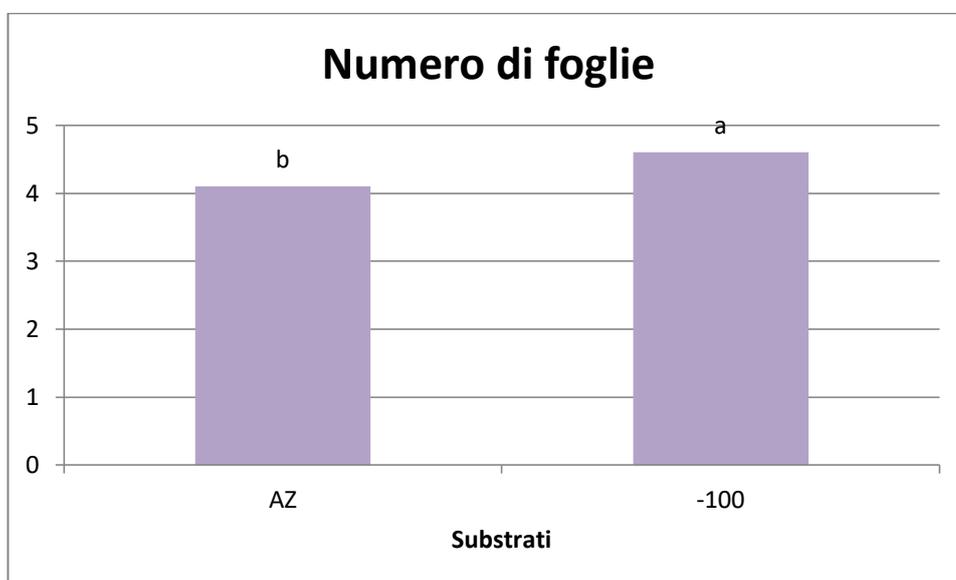


Figura 16 - Sambuco: Numero di foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Nel caso del frassino ossifillo l'altezza delle piante e il numero di foglie sono risultate influenzate dal substrato (Figg. 17 e 18). Il substrato AZ ha ottenuto le migliori prestazioni per entrambi i parametri con una differenza percentuale rispetto a quello -100 del 15.5% e del 17.7%, rispettivamente (Figg. 17 e 18). I valori di SPAD, invece, sono risultati in media pari a 32.4, senza differenze tra i substrati.

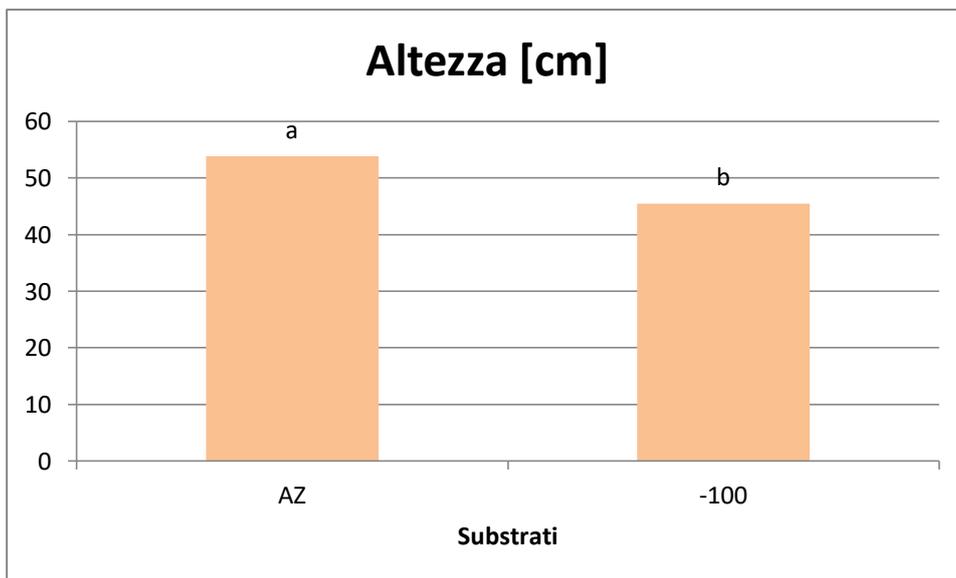


Figura 17 - Frassino ossifillo: Altezza delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

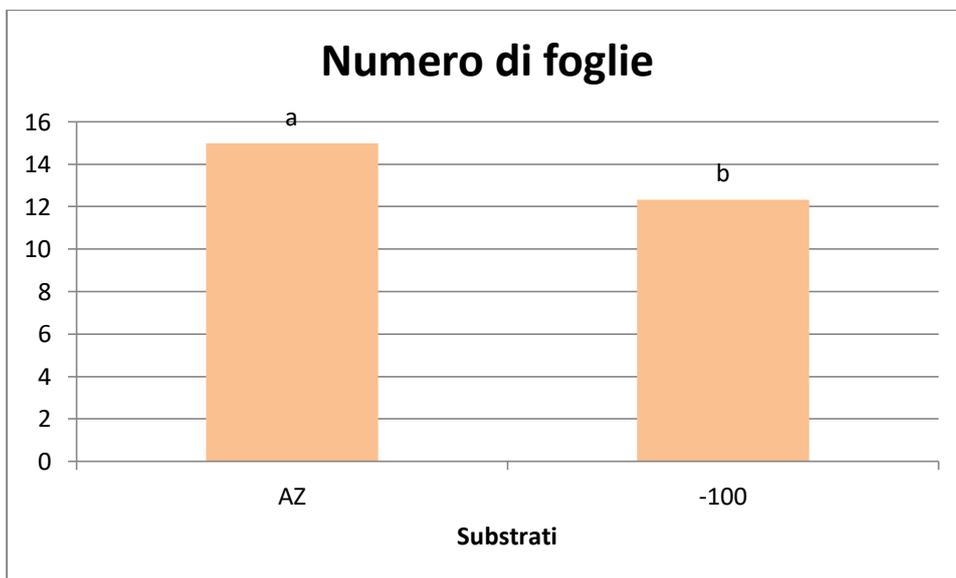


Figura 18 - Frassino ossifillo: Numero di foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Per il ciliegio canino l'analisi della varianza fatta sull'altezza delle piante e sul numero di foglie non ha mostrato differenze significative tra le piante coltivate con i substrati AZ e -40. In media l'altezza delle piante è risultata di 9.55 cm mentre il numero di foglie di 27.0. I valori di SPAD ottenuti sono invece risultati influenzati dai substrati utilizzati. Il substrato -40 ha fornito le prestazioni migliori con un valore di 37.9, superiore del 5.54% rispetto a quella del substrato AZ (Fig. 19).

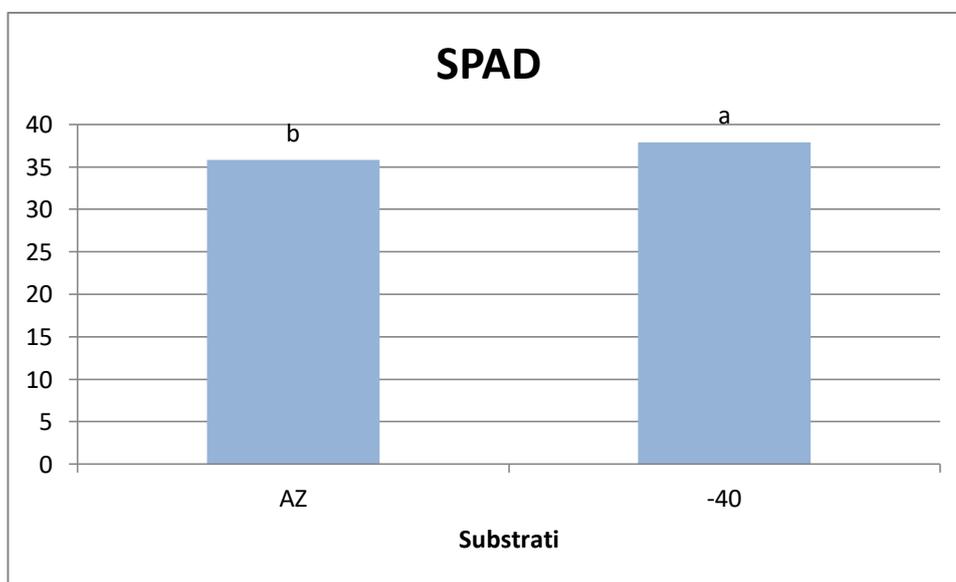


Figura 19 - Ciliegio canino: Valore SPAD delle foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Nel caso del frassino maggiore l'analisi della varianza è risultata significativa per l'altezza e il numero di foglie. Per questa specie il substrato -40 ha permesso di ottenere piante più alte rispetto a quelle ottenute con substrato aziendale. In media, le piante cresciute sul substrato aziendale hanno raggiunto una altezza di poco oltre 35 cm, ma quelli allevati con substrato -40 sono più alti del 19.9% (Fig. 20). Anche le foglie sono risultate numericamente maggiori per le piante coltivate nel -40, per le quali si è contata in media circa una foglia in più per pianta (Fig. 21). I valori SPAD sono risultati 36.8 per le piante allevate con substrato AZ ed 35.6 per quelle allevate con substrato -40, differenze non significative dal punto di vista statistico.

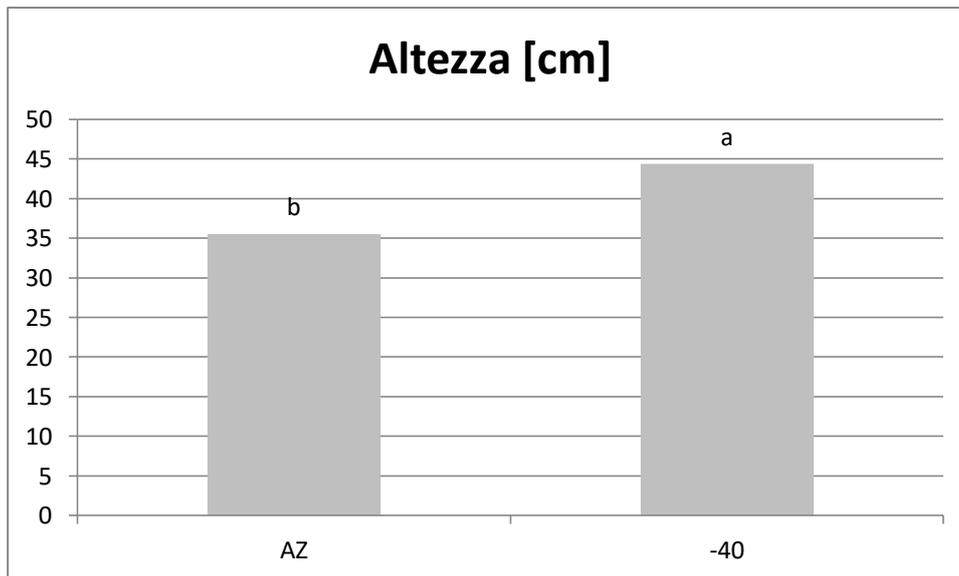


Figura 20 – Frassino maggiore: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

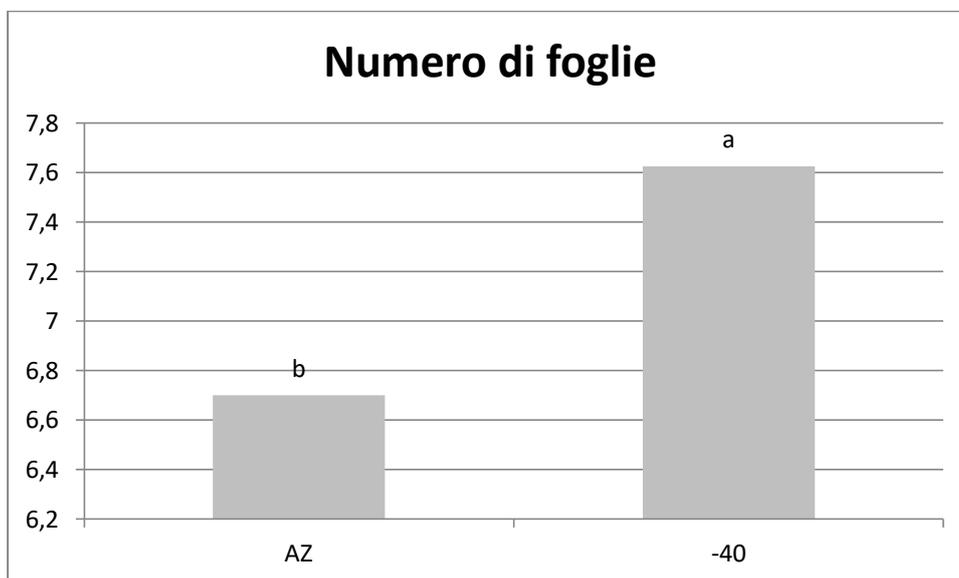


Figura 21 – Frassino maggiore: Numero di foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo intermedio (18/07/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

3.2.3 Rilievo finale

Alla fine della prova, con il substrato aziendale sono state ottenute le piante di carpino più alte (33.7 cm) rispetto a quelle del -40 (29.6 cm) e, soprattutto rispetto a quelle del -100 che, con soli 23.1 cm, sono risultate le piante più basse (Figg. 22 e 23). Le piante allevate sul substrato -40, però, hanno presentato un diametro al colletto simile a quello delle piante del substrato AZ (in media 4.15 mm), e superiore a quello delle piante del substrato -100 (3.30 mm)(Fig. 24). Inoltre, con il substrato -40 è anche stato ottenuto il valore SPAD più alto in assoluto (28.5), e statisticamente maggiore di quello delle piante di controllo (26.0; Fig. 25). Nessuna differenza, infine, è stata riscontrata per il numero di foglie che, nella media dei tre substrati, è stato di 32.9 foglie e per la percentuale di piante ramificate che in media è risultata di 73.3 %.

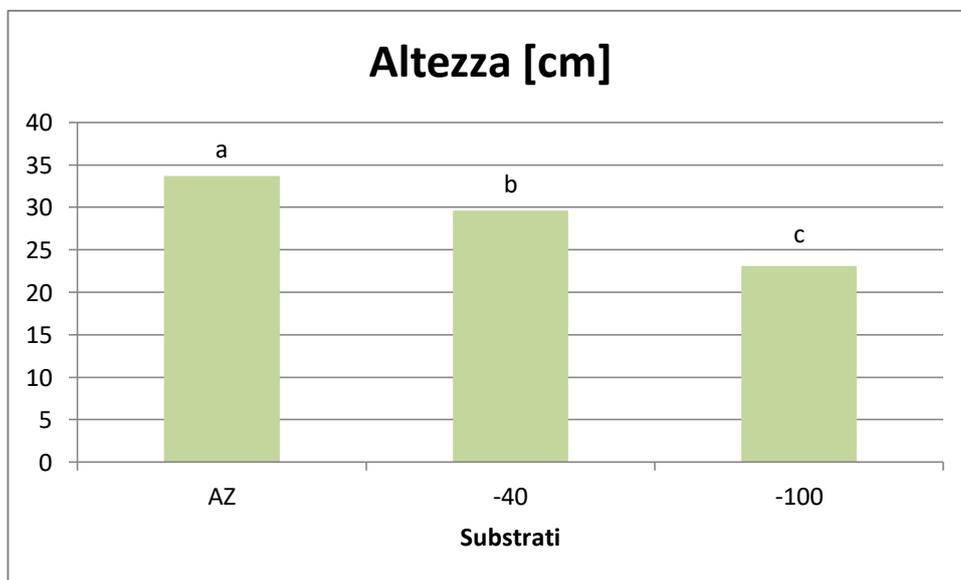


Figura 22 - Carpino: Altezza delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).



Figura 23 – *Carpinus betulus*: Le piante allevate nei tre substrati, alla fine della prova.

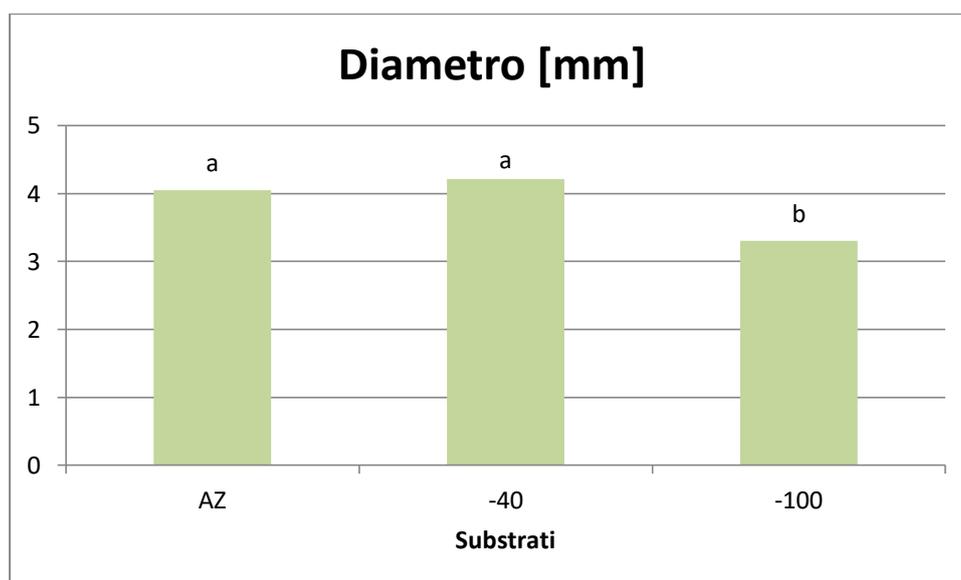


Figura 24 - Carpino: Diametro delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

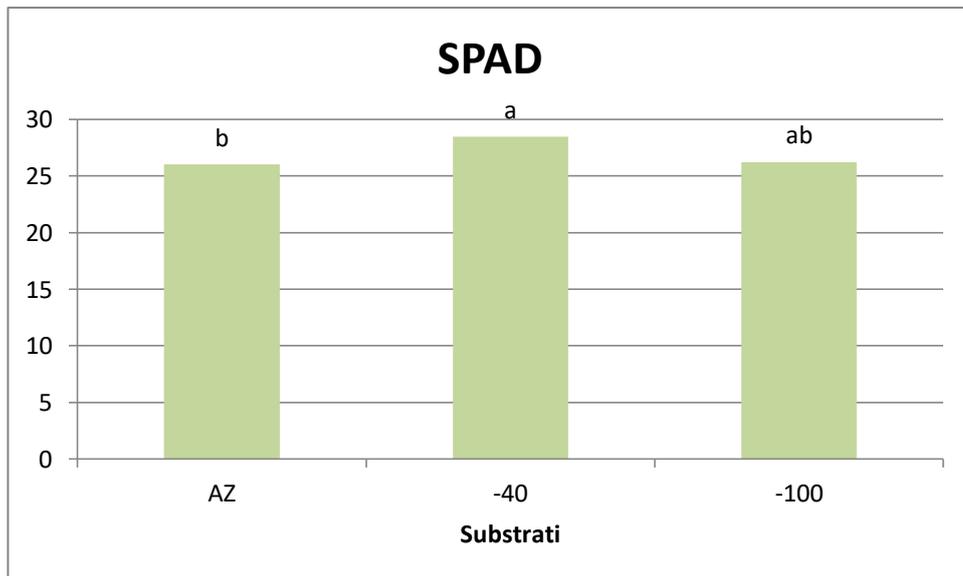


Figura 25 - Carpino: Valore SPAD delle foglie delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

L'analisi della varianza ha evidenziato che i pesi secchi di tutte e tre le parti della pianta (foglie, fusti e radici) e, quindi, anche quello dell'intera pianta, sono state influenzate significativamente dai substrati di allevamento. Come si può vedere nelle figure da 26 a 29, il substrato aziendale (AZ) ha sempre fornito le prestazioni migliori rispetto agli altri due substrati che, per altro, non si sono differenziati tra loro. Con il substrato aziendale, sono stati ottenuti pesi secchi di foglie, fusti, radici e pianta intera pari a 2.02, 1.44, 1.61 e 5.08 g, mediamente superiori a quelli degli altri substrati del 40.7, 38.4, 28.4 e 36.1%, rispettivamente (Figg. da 26 a 29).

Il rapporto chioma/radici, invece, non è stato influenzato dai trattamenti.

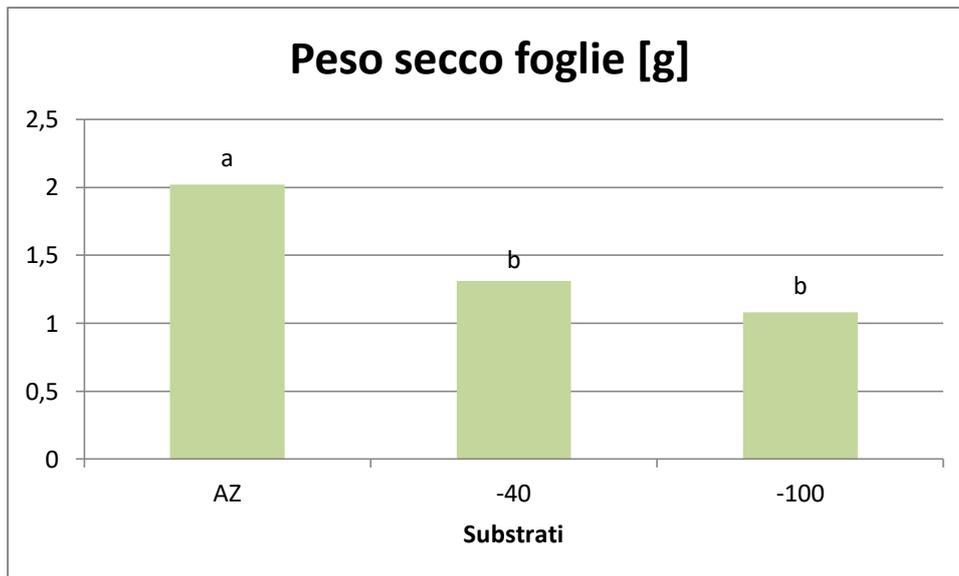


Figura 26 - Carpino: Peso secco delle foglie delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

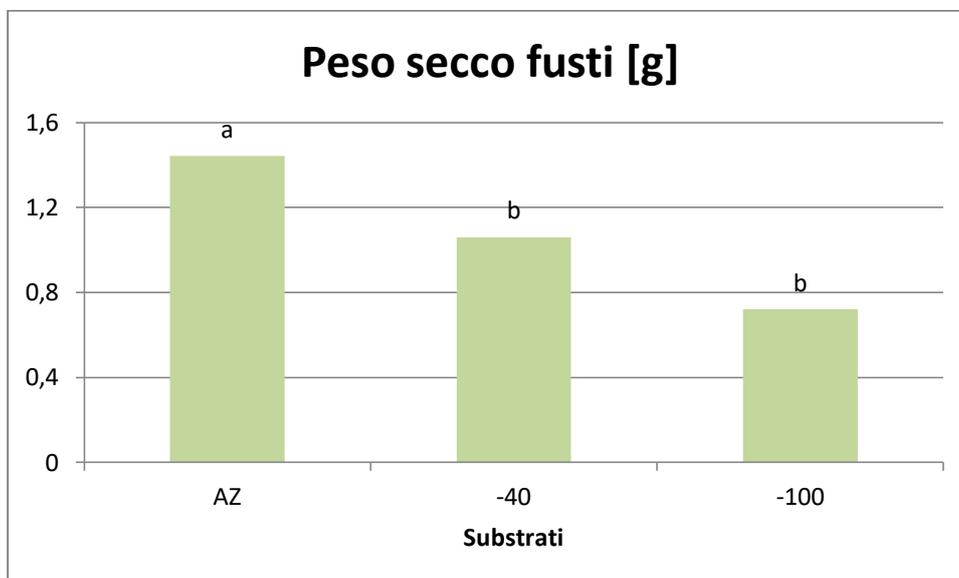


Figura 27 - Carpino: Valore SPAD delle foglie delle piante nei tre substrati in prova al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

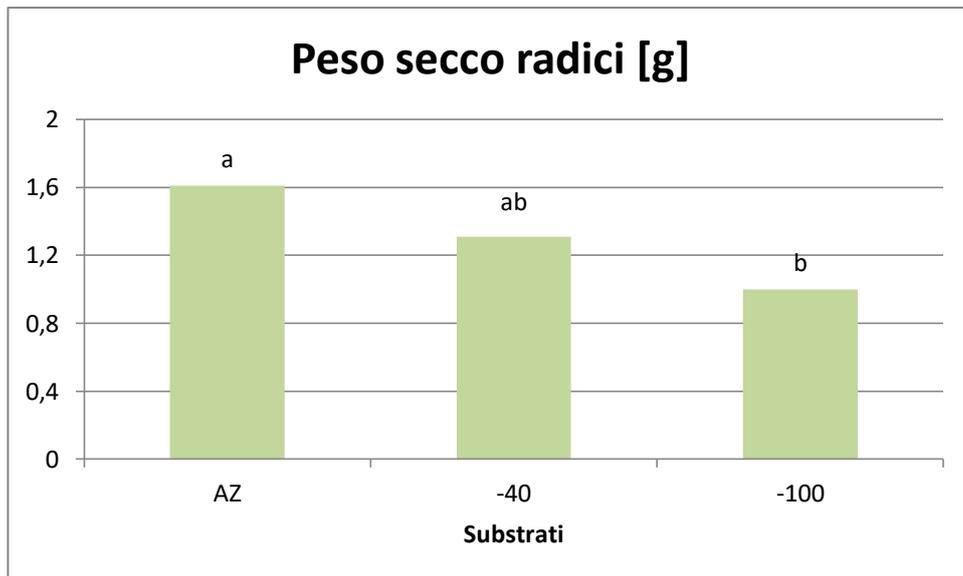


Figura 28 - Carpino: Valore SPAD delle foglie delle piante nei tre substrati in prova al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

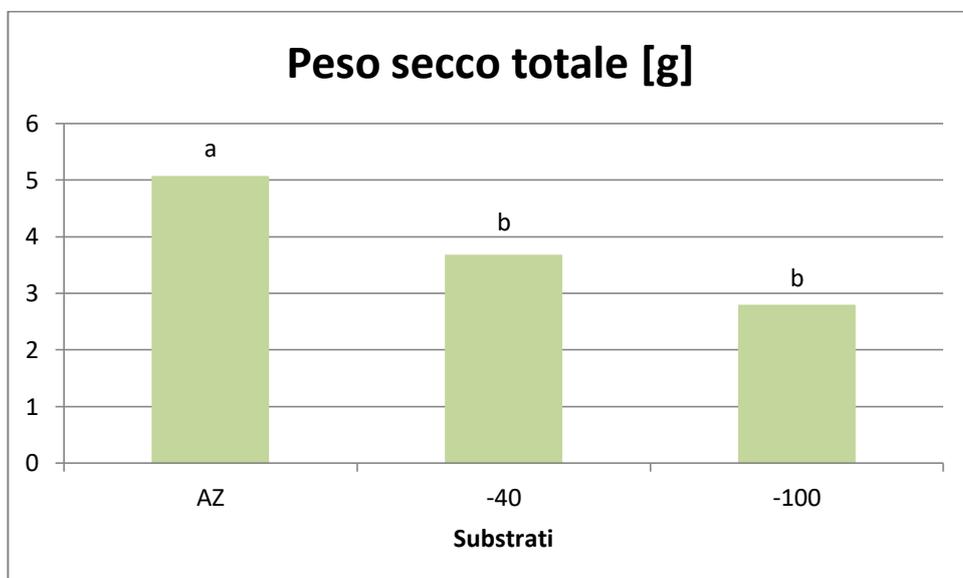


Figura 29 - Carpino: Valore SPAD delle foglie delle piante nei tre substrati in prova al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Alla fine della prova l'analisi della varianza, per le piante di spincervino, ha mostrato differenze significative nell'altezza delle piante. I substrati AZ e -40 hanno permesso di ottenere le piante più alte (in media 35.9 cm) mentre le piante allevate con substrato -100 sono risultate più basse (30.4 cm) (Figg. 30 e 31).

Nessuna differenza è stata invece riscontrata per il diametro al colletto, il numero di foglie e il valore SPAD (3.4 mm, 2.5 e 25.3, rispettivamente).

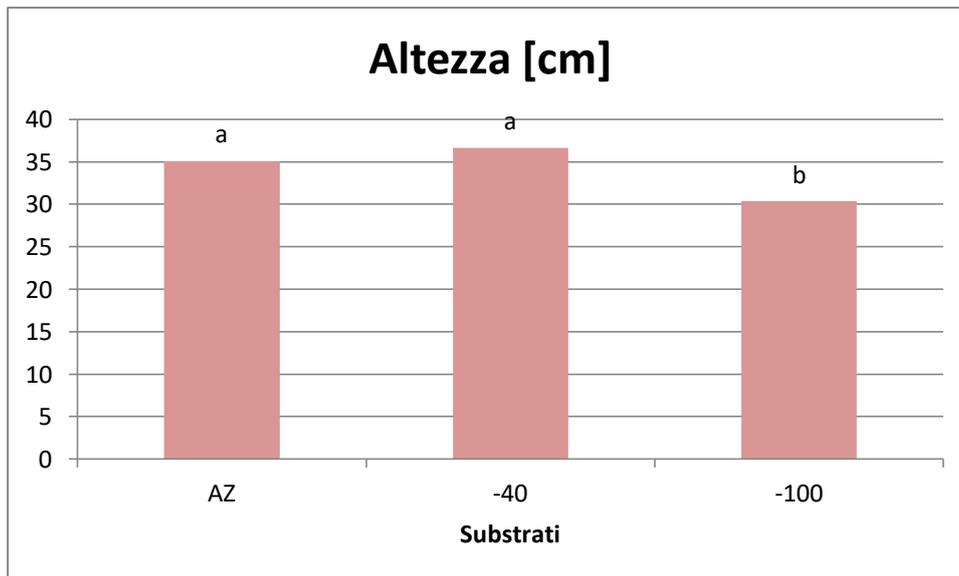


Figura 30 – Spincervino: Altezza delle piante nei tre substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).



Figura 31 - Spincervino: Le piante allevate nei tre substrati, alla fine della prova

Solo il peso secco delle radici è risultato influenzato dai substrati in prova, mentre il peso secco di foglie, fusti e quello dell'intera pianta non sono parsi influenzati dai trattamenti (in media, 2.45 g, 1.08 g e 4.72 g, rispettivamente) . Come si può vedere in figura 32, infatti, il

substrato AZ ha fornito i valori maggiori di peso secco delle radici (1.34 g) mentre il substrato -40 ha dato i risultati peggiori (0.89 g).

Significativo è stato anche l'effetto dei substrati sul rapporto chioma/radici (Fig. 33). I valori ottenuti con il controllo non si sono differenziati da quelle degli altri due substrati, con substrato -40 (5.41), però, sono stati ottenuti valori significativamente maggiori di quelli del substrato -100 (1.31).

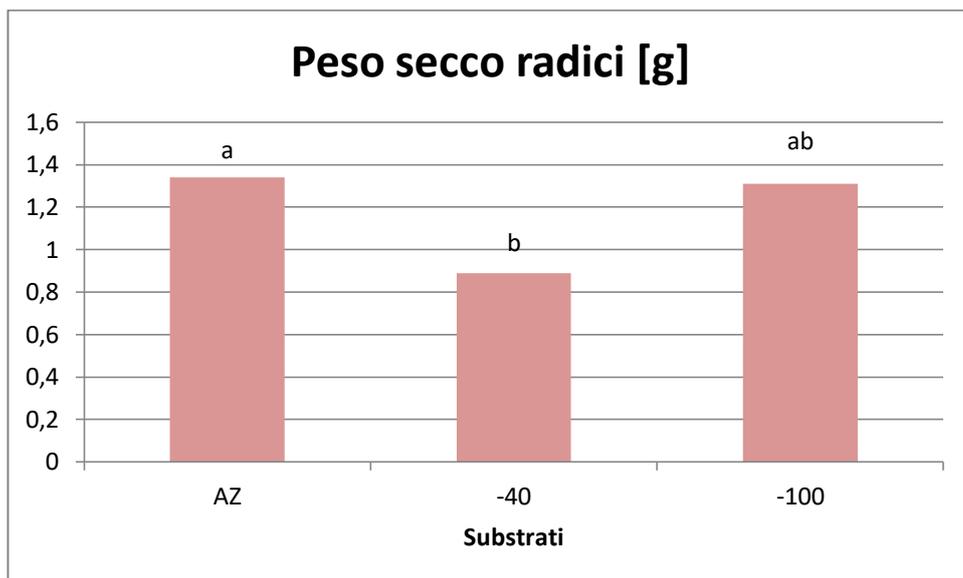


Figura 32 - Spincervino: Peso secco delle radici delle piante nei tre substrati in prova al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

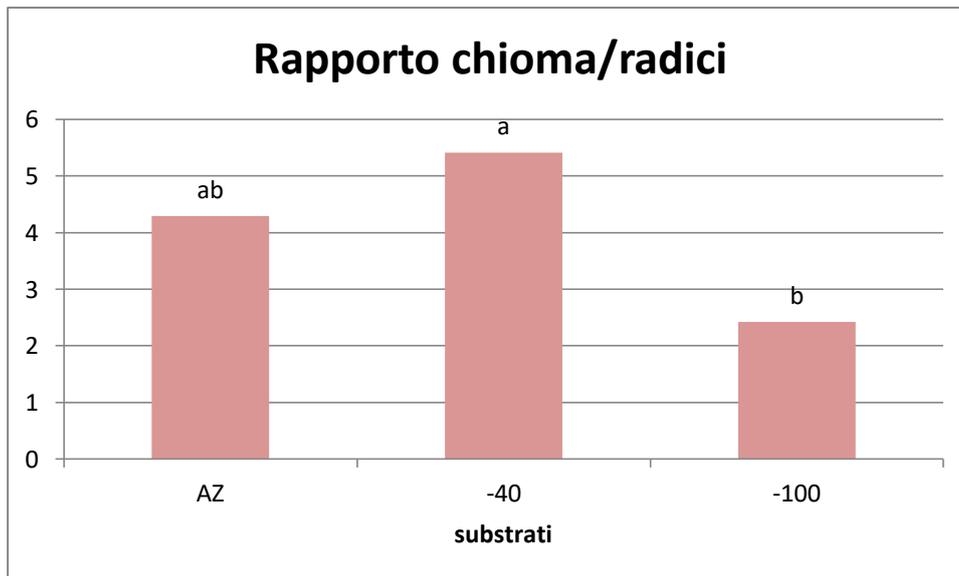


Figura 33 - Spincervino: Rapporto chioma/radici sul peso secco delle piante nei tre substrati in prova al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

L'analisi della varianza applicata ai dati di altezza, diametro e numero di foglie ha mostrato differenze significative tra i substrati in prova. Per tutti e tre i parametri il substrato -100 ha fatto registrare i valori più alti (Figg. 34-37). L'altezza delle piante ottenute con il -100 è risultata superiore del 69.5% rispetto a quelle dell'aziendale (AZ). Il numero di foglie e il diametro relativi al -100 sono risultati maggiori del 42.8% e 35.5% rispettivamente, rispetto all'AZ. I valori di SPAD non sono invece risultati legati al tipo di substrato utilizzato nella prova e hanno mostrato un valore medio di 27.1.

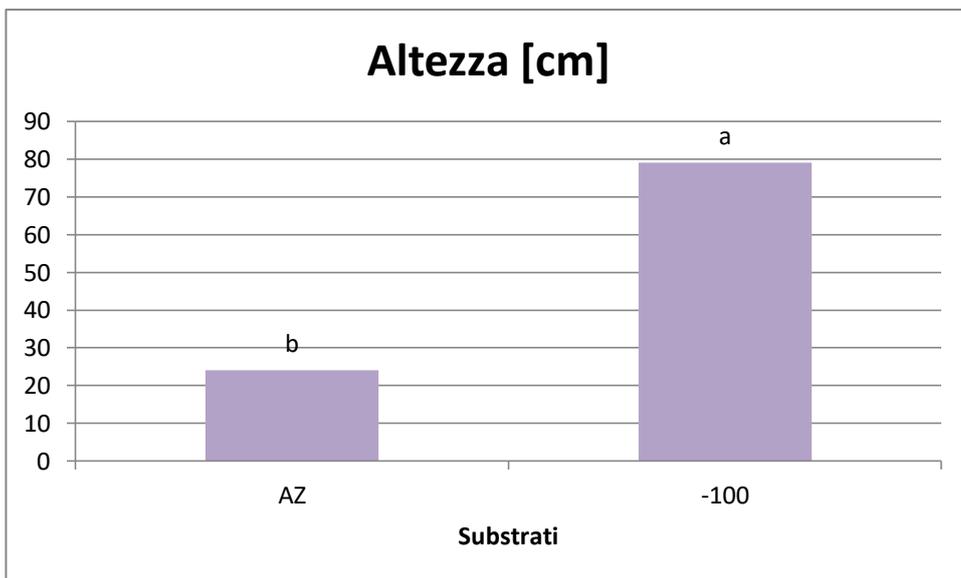


Figura 34 - Sambuco: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).



Figura 35 - Sambuco: Le piante allevate nei due substrati, alla fine della prova.

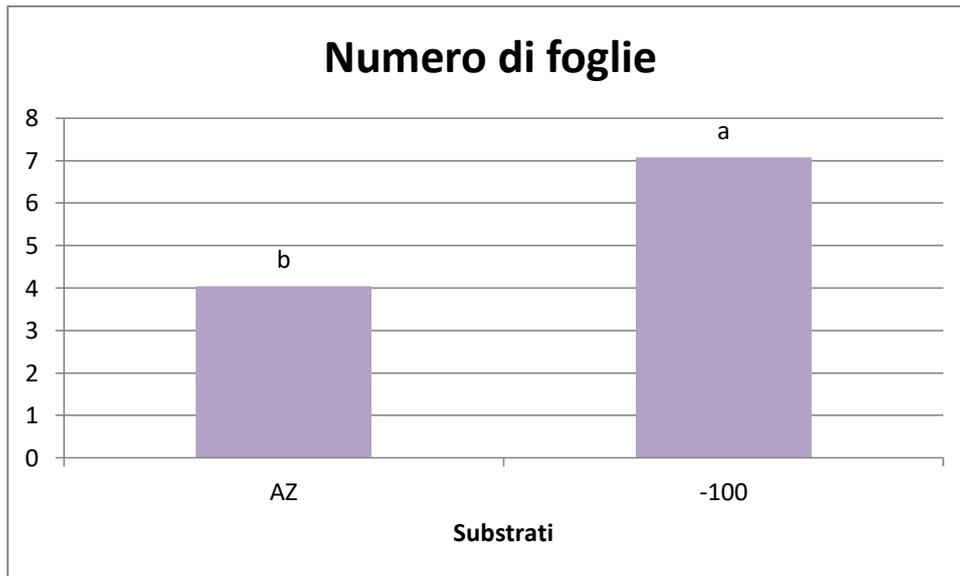


Figura 36 - Sambuco: Numero di foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

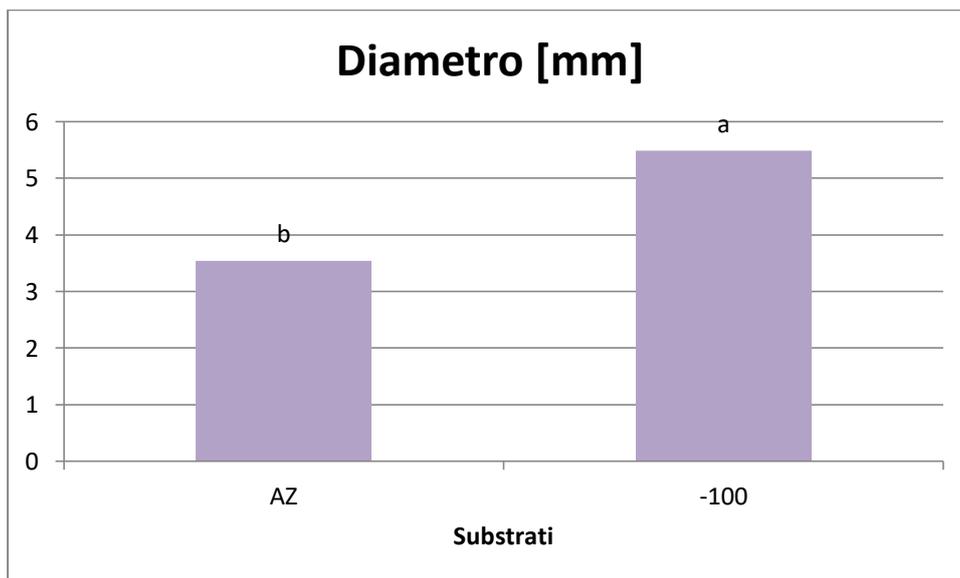


Figura 37 – Sambuco: diametro delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

I pesi secchi di tutte e tre le parti della pianta di sambuco e, quindi, anche quello dell'intera pianta, sono state influenzati significativamente dai substrati di allevamento. Come si può vedere nelle figure da 38 a 41, il substrato -100 ha sempre fornito le prestazioni migliori

rispetto a quello aziendale (AZ). Infatti, con il substrato -100 sono stati ottenuti pesi secchi di foglie, fusti, radici e pianta intera pari a 2.25, 3.26, 2.55 e 8.05 g, superiori a quelli dell'altro substrato del 71.1, 87.1, 42.7 e 68.4%, rispettivamente (Figg 38-41). Anche il rapporto chioma/radici è risultato influenzato dai substrati (Fig. 40): con il substrato -100 il rapporto è risultato pari a 2.37, e superiore del 62.5% rispetto a quello ottenuto con il substrato AZ.

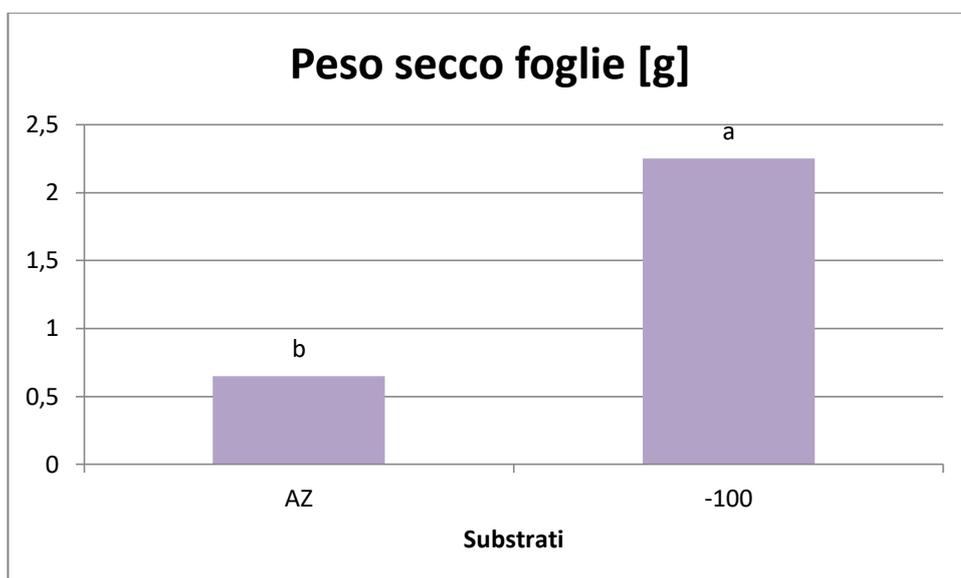


Figura 38 - Sambuco: Peso secco delle foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

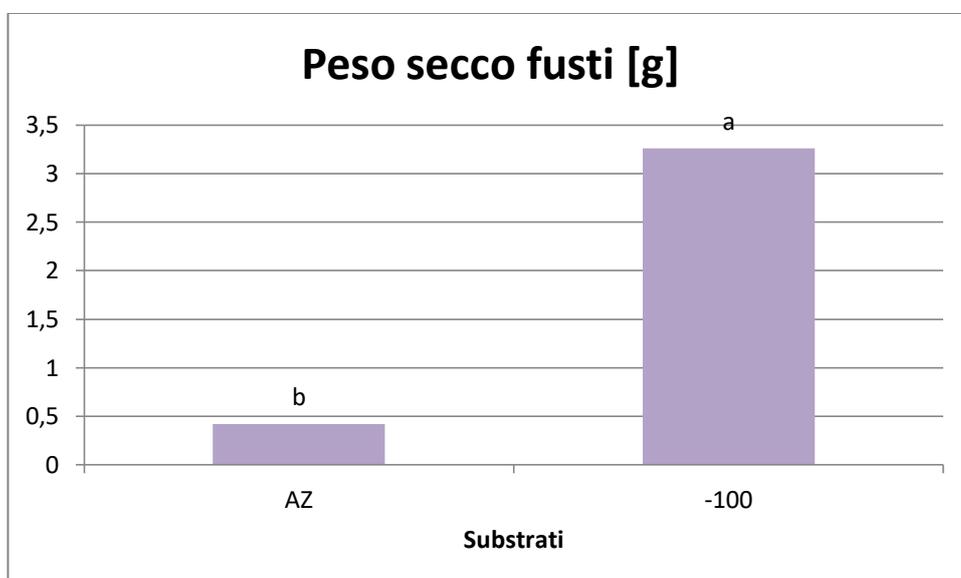


Figura 39 - Sambuco: Peso secco dei fusti delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

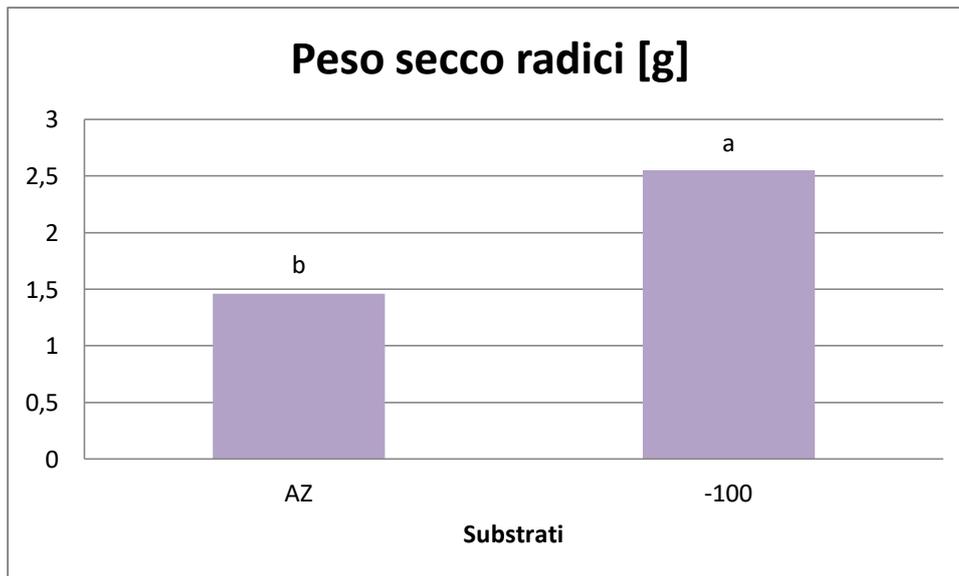


Figura 40 - Sambuco: Peso secco delle radici delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

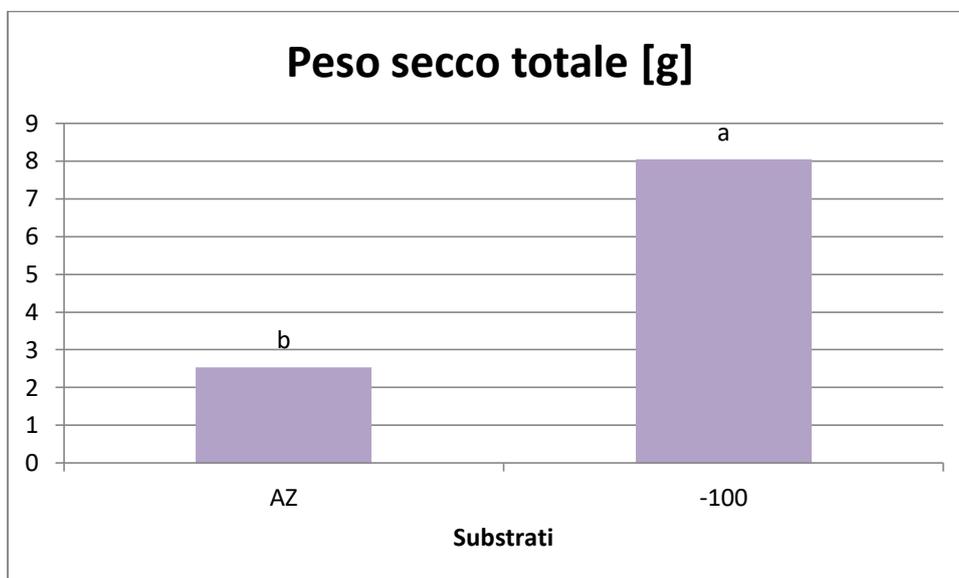


Figura 41 - Sambuco: Peso secco totale delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

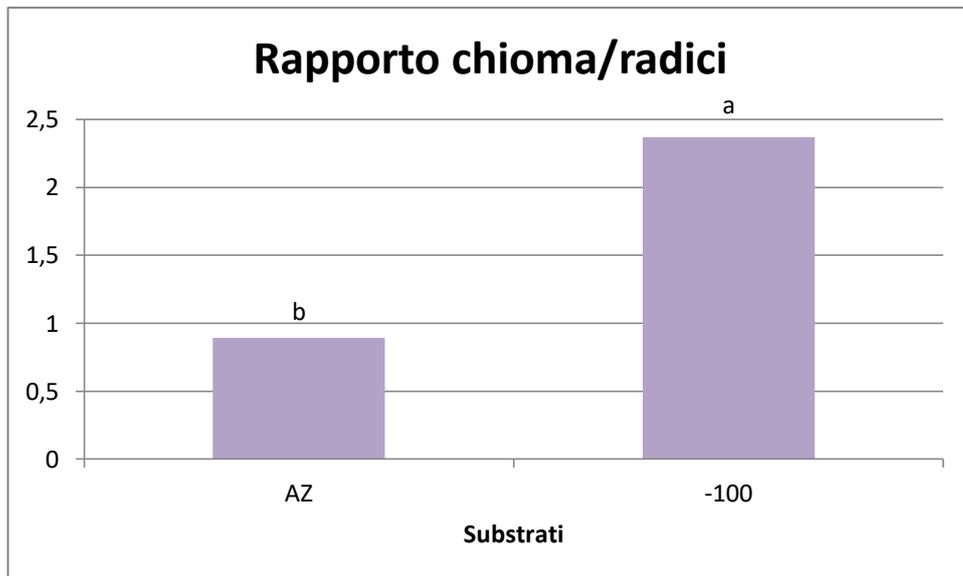


Figura 42 - Sambuco: Rapporto chioma/radici delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Alla fine della prova, le piante di frassino ossifillo allevate sul substrato AZ sono risultate significativamente più alte rispetto a quelle sul substrato -100 (69.8 cm vs 61.5 cm) (Figg. 43 e 44). Il test della varianza applicato invece ai valori di diametro al colletto e numero di foglie delle piante non ha mostrato dipendenze statistiche. Il valore medio del diametro delle piante è risultato di 6.83 mm mentre quello delle foglie di 23.6. Infine, i valori di SPAD sono risultati influenzati dal substrato (Fig. 45): con un valore di 34.2 il substrato -100 ha dato risultati migliori di SPAD rispetto all'AZ (25.7).

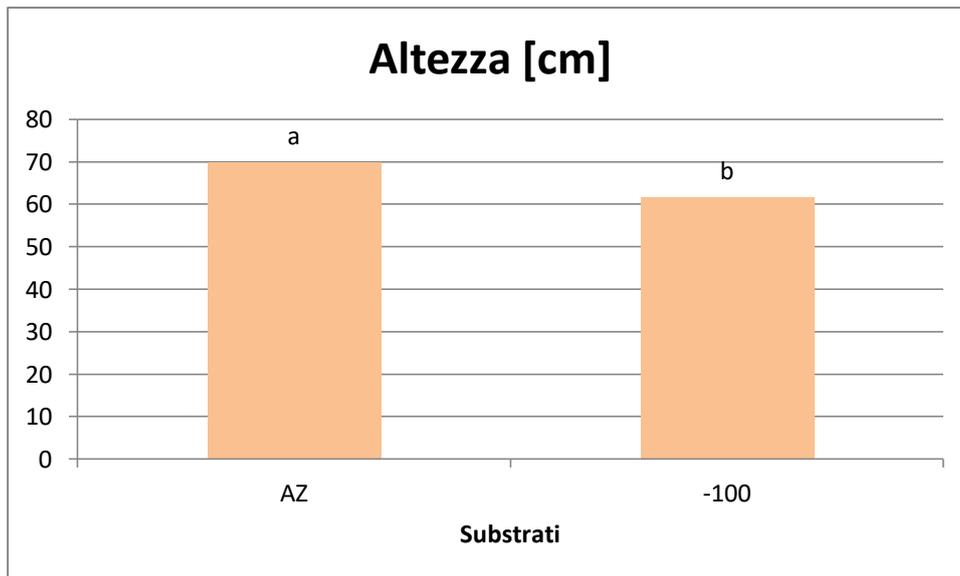


Figura 43 - Frassino ossifillo: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).



Figura 44 - Frassino ossifillo: le piante allevate nei tre substrati, alla fine della prova

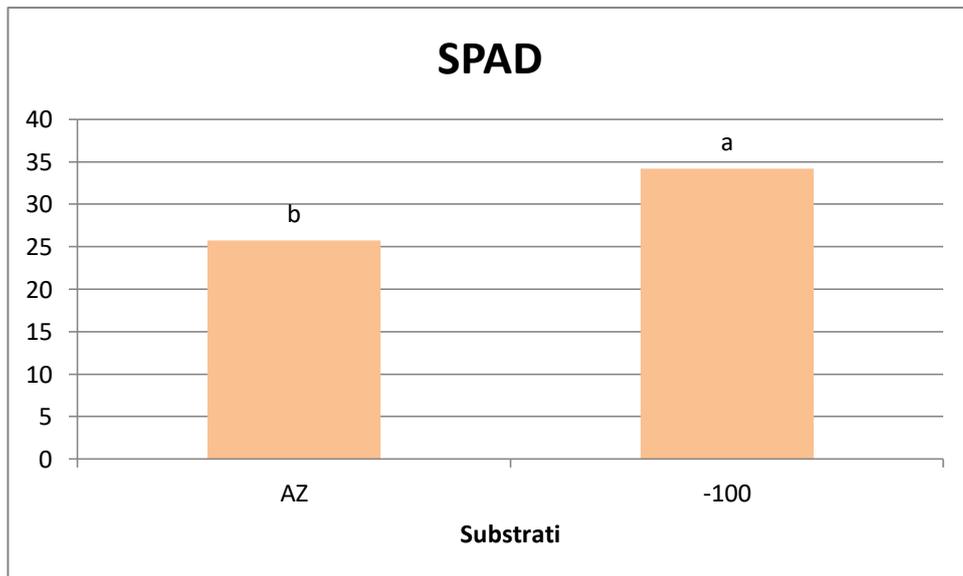


Figura 45 - Frassino ossifillo: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Per il frassino, il peso secco delle foglie, così come quello dei fusti e quello totale, è risultato significativamente influenzato dal substrato di allevamento e le prestazioni migliori in tutti e tre i casi sono state fornite dal substrato AZ ottenendo valori rispettivamente pari a 3.81 g, 5.57 g e 12.8 g (Figg. 46-48). Questi valori sono superiori rispetto a quelli del substrato -100 rispettivamente del 44.3%, 37.5% e 29.9%. Il peso secco delle radici è risultato in media pari a 3.17 g. Il rapporto chioma/radici non è risultato influenzato dal tipo di trattamento.

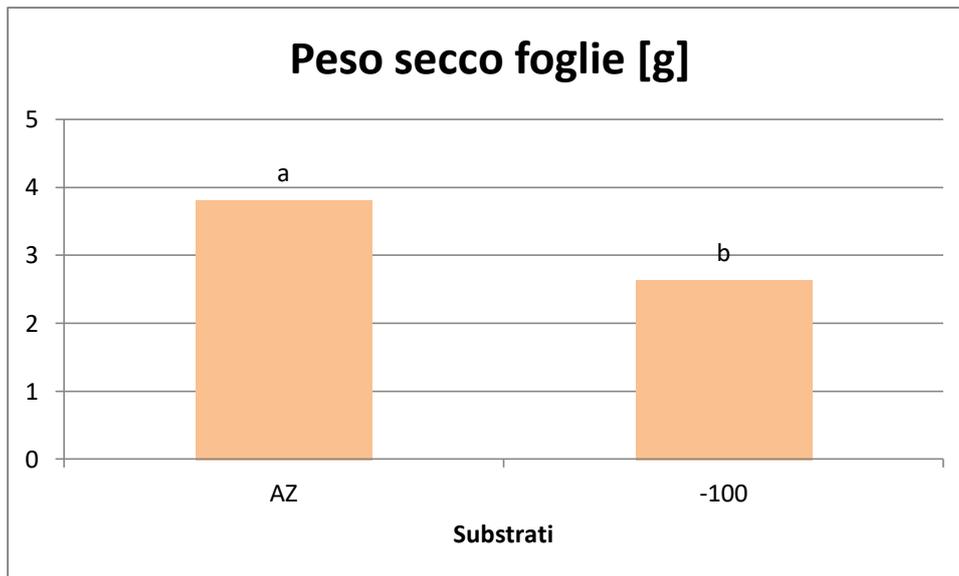


Figura 46 - Frassino ossifillo: Peso secco delle foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

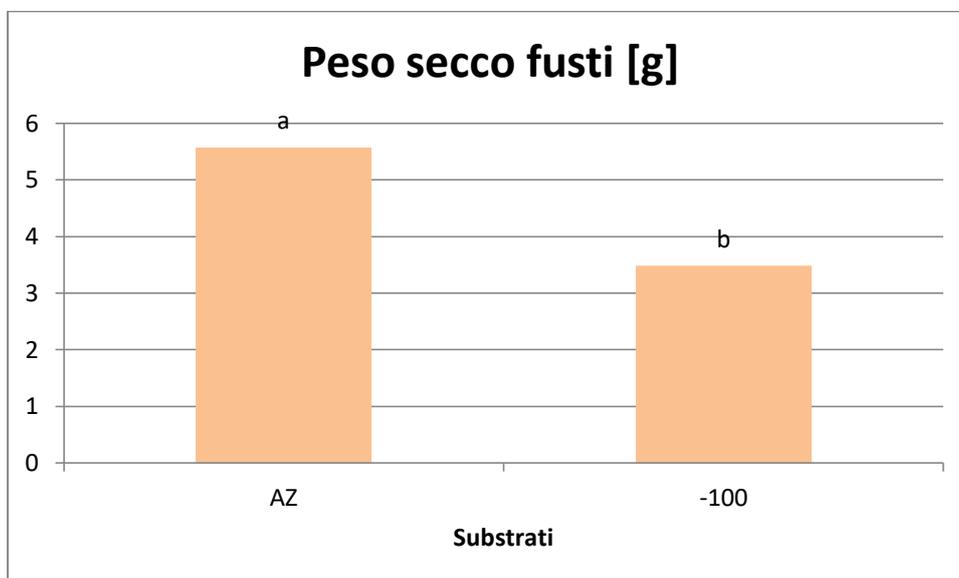


Figura 47 - Frassino ossifillo: Peso secco dei fusti delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

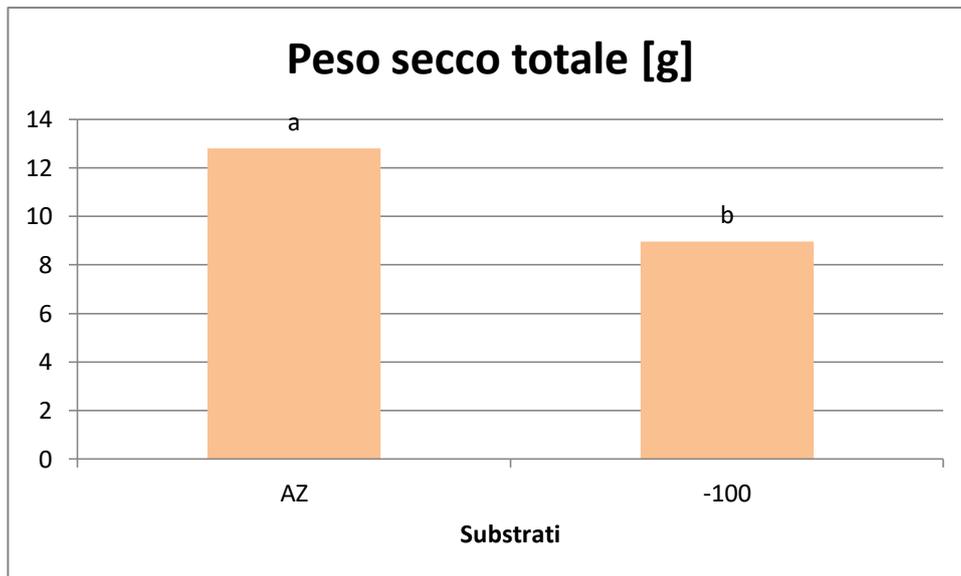


Figura 48 - Frassino ossifillo: Peso secco totale delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Relativamente al ciliegio canino, al rilievo finale, il test della varianza non ha rivelato una influenza significativa dei substrati sull'altezza delle piante. Al 30 agosto, infatti, l'altezza delle piante è risultata in media pari a 112 cm (Fig.49). L'analisi della varianza ha invece evidenziato un effetto sul diametro al colletto e sul numero di foglie (Figg. 50 e 51). Rispetto al substrato AZ, il -40 ha permesso di ottenere piante con un diametro superiore (6.40 mm vs 5.29 mm dell'AZ) e un maggior numero di foglie (51.1 vs 33.6). L'analisi non ha mostrato dipendenze per i valori di SPAD che, mediamente, sono risultati pari a 32.8.



Figura 49 - Ciliegio canino: le piante allevate nei due substrati, alla fine della prova.

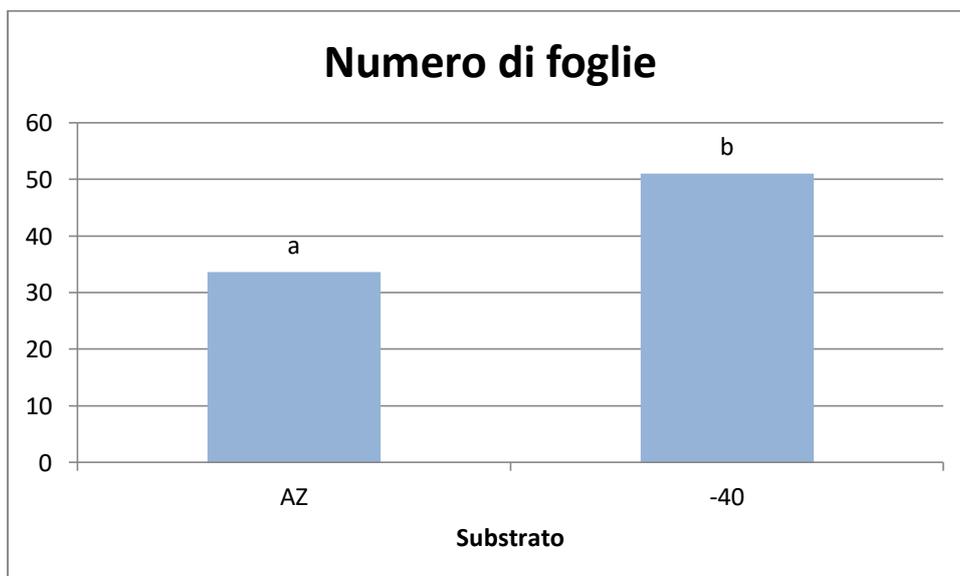


Figura 50 - Ciliegio canino: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

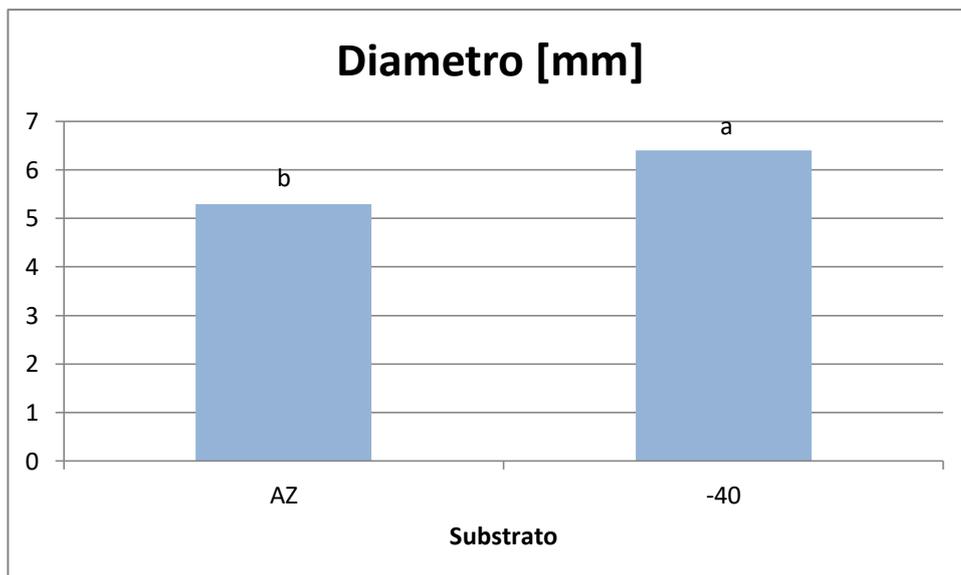


Figura 51 - Ciliegio canino: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

I pesi secchi di tutte le parti della pianta e del suo insieme sono stati influenzati significativamente dai substrati di coltivazione. In tutti i casi il substrato -40 ha fornito le prestazioni migliori rispetto a quello aziendale (Figg. 52-55). Con il substrato -40 sono stati rilevati pesi secchi di foglie, fusti, radici e pianta intera pari a 4.33 g, 11.2 g, 4.67 g e 20.2 g, mediamente superiori a quelli del substrato AZ del 37.0, 44.9, 50.7 e 44.5% (Figg. 52-55). Il rapporto chioma/radici non è invece stato influenzato.

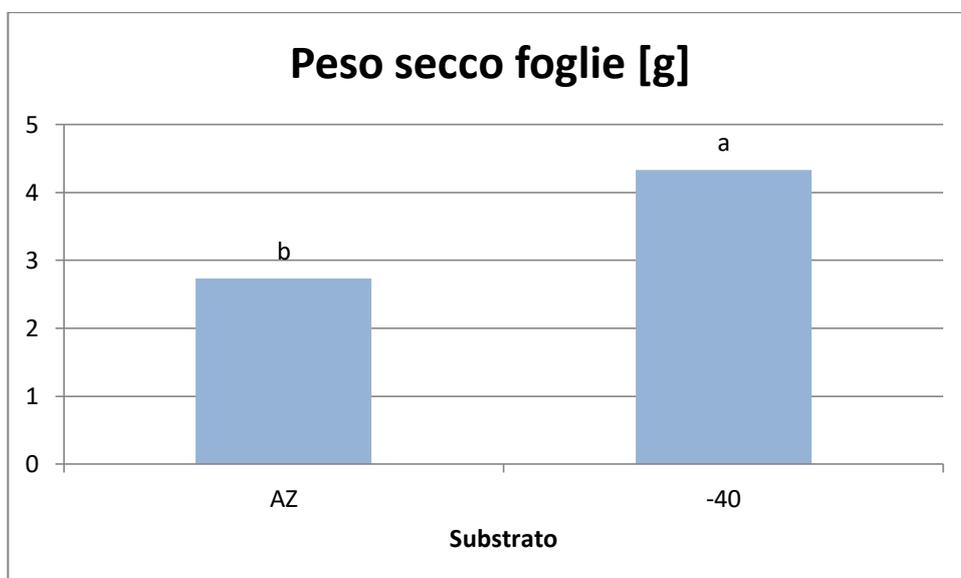


Figura 52 - Ciliegio canino: Peso secco delle foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

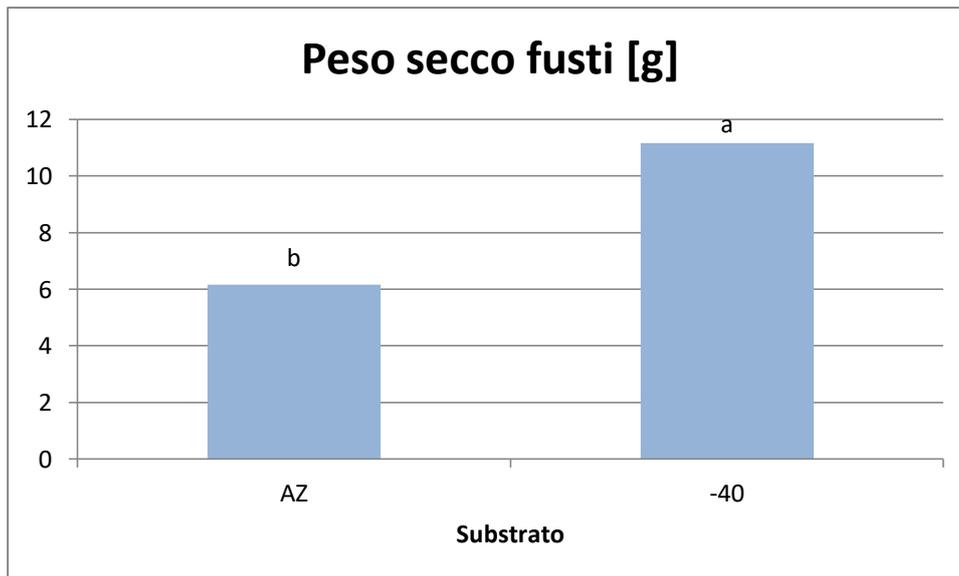


Figura 53 - Ciliegio canino: Peso secco dei fusti delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

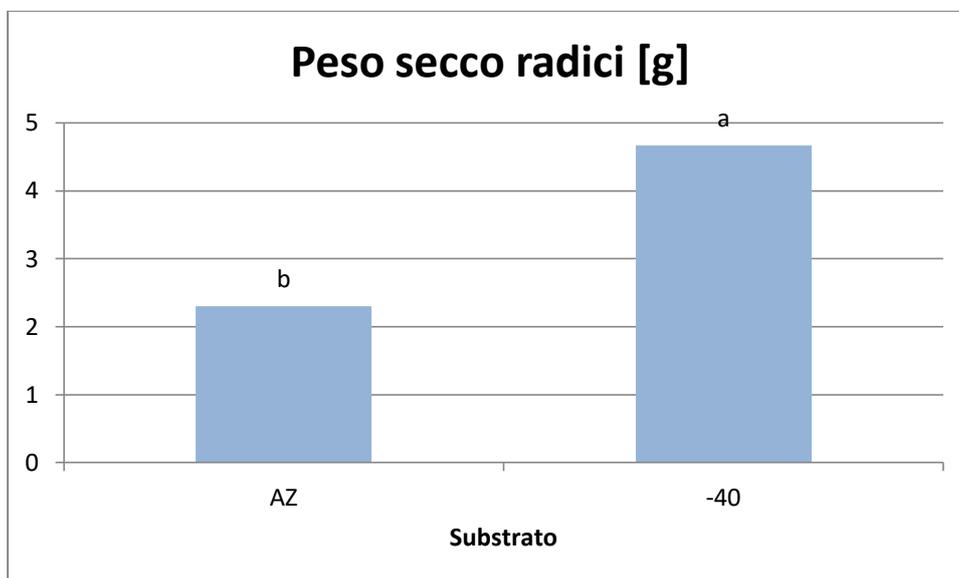


Figura 54 - Ciliegio canino: Peso secco delle radici delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

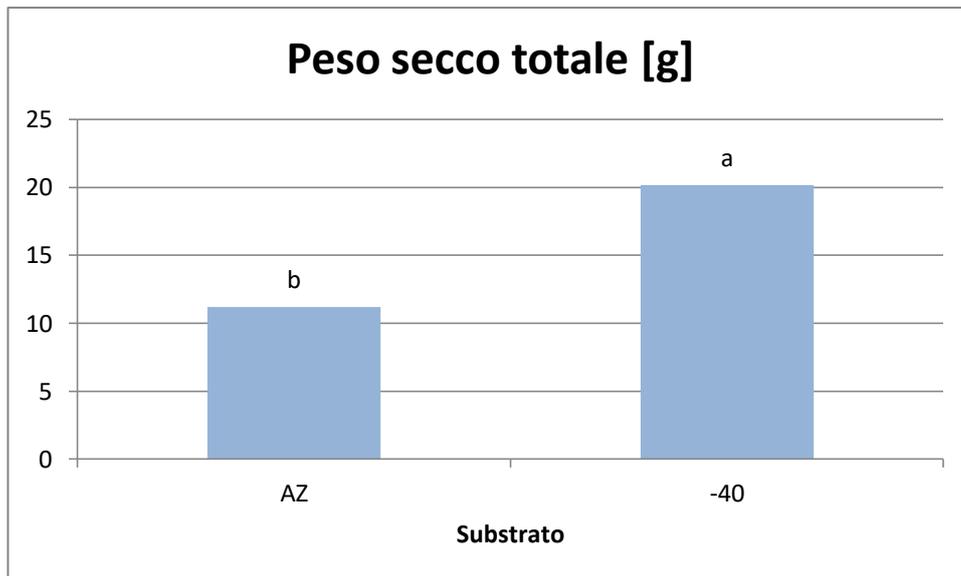


Figura 55 - Ciliegio canino: Peso secco totale delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Per il frassino maggiore, al rilievo finale, i valori raggiunti di altezza e numero di foglie e SPAD sono risultati significativamente influenzati dal substrato di coltivazione. Le piante allevate con substrato -40 hanno raggiunto dimensioni maggiori di quelle ottenute dalla coltivazione con substrato aziendale (39.2 cm contro 28.7 cm) e risultano circa il 27% più alte (Figg. 56 e 57). Le piante hanno presentato, in media, 9.69 foglie ma a differenza di quanto osservato nel rilievo intermedio, le piante allevate con substrato -40 hanno avuto meno foglie rispetto a quelle allevate con il testimone (8.78 vs 10.6) (Fig. 58). Il diametro, non significativamente influenzato dal substrato, è risultato pari a 6.50 mm per il -40 e 6.13 mm per l'aziendale. Lo SPAD ha restituito valori di 42.2 e 37.8 per le piante coltivate rispettivamente con il substrato aziendale e -40 (Fig. 59).

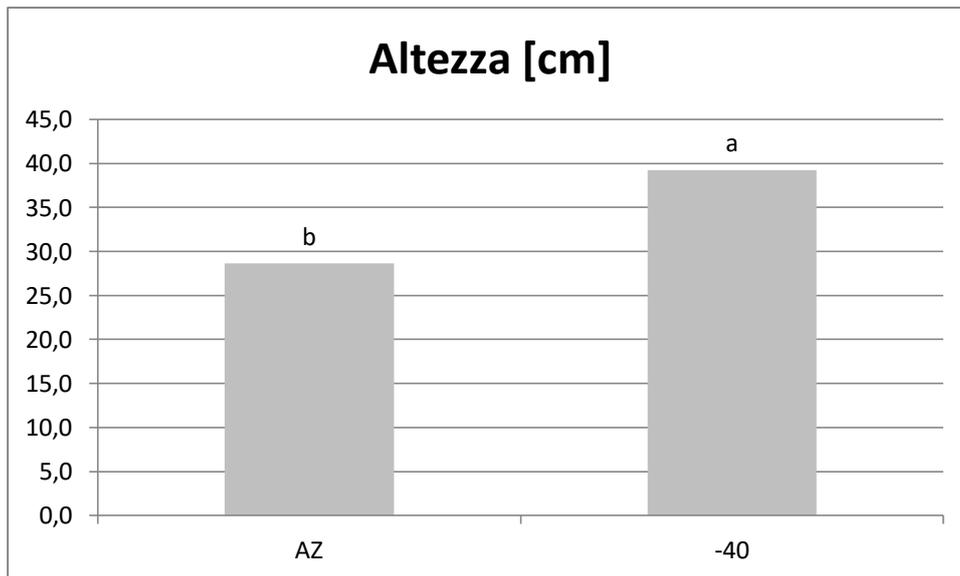


Figura 56 – Frassino maggiore: Altezza delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (27/09/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).



Figura 57 – Frassino maggiore: le piante allevate nei due substrati, alla fine della prova.

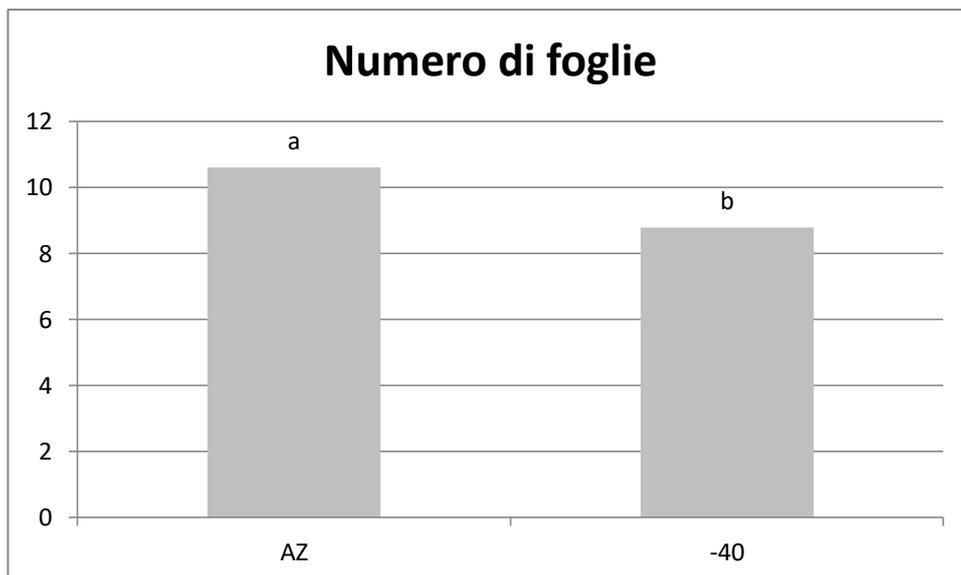


Figura 58 – Frassino maggiore: Numero di foglie delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (27/09/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

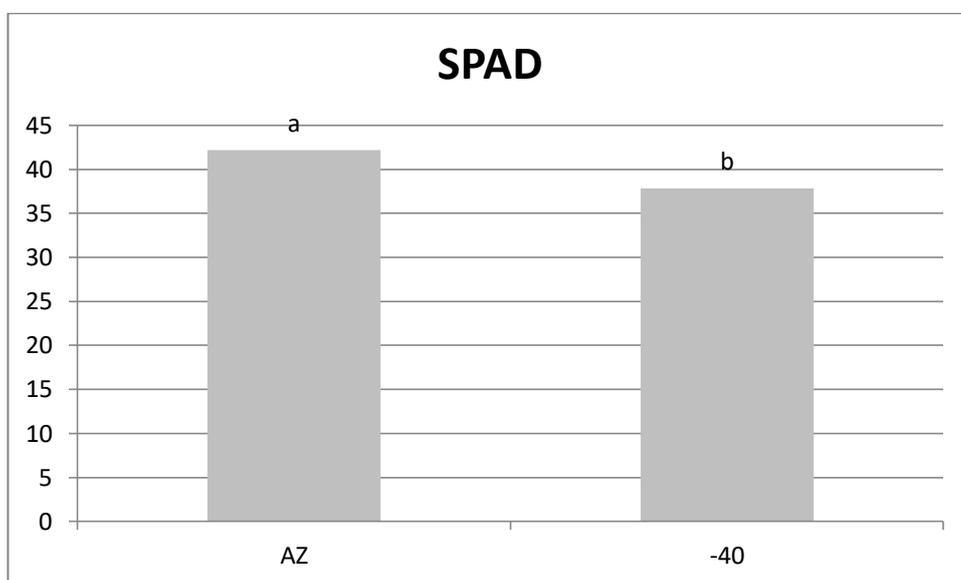


Figura 59 – Frassino maggiore: Valori di SPAD delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (27/09/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

Il peso secco dei fusti è risultato significativamente influenzato dalle prove (Fig. 60). Il substrato -40 ha permesso di ottenere piante con fusti 33.8% più pesanti rispetto al testimone (5.30 g contro 3.51 g). I pesi secchi delle foglie, delle radici e quello totale sono risultati in media rispettivamente pari a 3.36 g, 6.37 g e 14.2 g e non si sono dimostrati significativamente correlati al tipo di substrato impiegato così come il rapporto tra i pesi di chioma e radici che in media è risultato pari a 1.35.

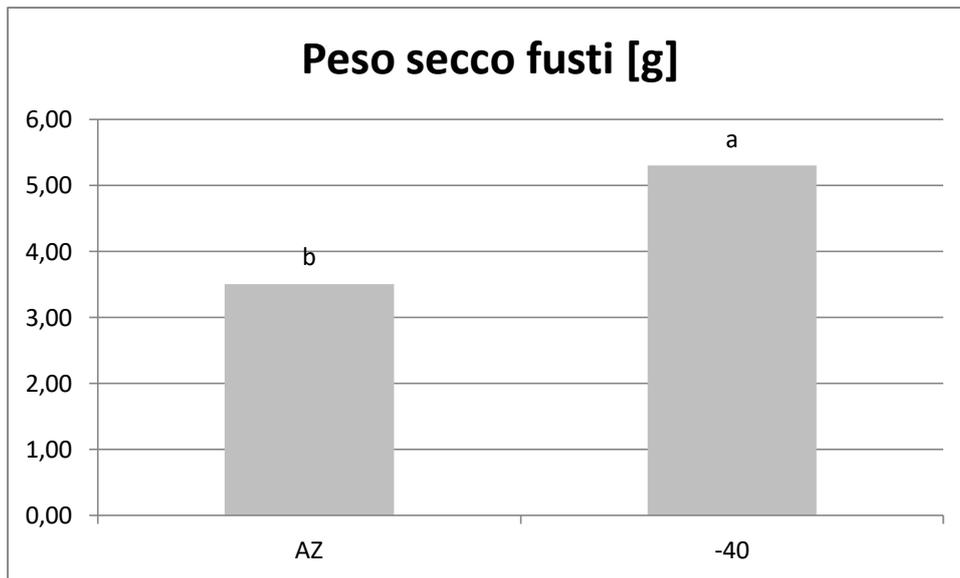


Figura 60 – Frassino maggiore: Peso secco dei fusti delle piante nei due substrati in prova, al rilievo finale (30/08/23). Valori di istogramma con lettere diverse sono differenti dal punto di vista statistico per $p \leq 0.05$ (test di Tukey).

CAPITOLO 4: DISCUSSIONE

I risultati ottenuti nella prova di coltivazione sono stati riassunti nelle tabelle 9 e 10 dove una cella bianca indica che il substrato considerato non ha dato risultati diversi dal controllo aziendale, una cella verde indica che il substrato ha fornito risultati migliori di quelli di controllo, una cella rossa indica che il substrato ha fornito risultati peggiori di quelli di controllo e, infine, una cella grigia indica che quel parametro non è stato rilevato.

Dai risultati ottenuti per le specie coltivate con tutti e tre i substrati in prova (Tab. 9) si evince una risposta diversa delle due specie. Per il carpino bianco, infatti, la percentuale di germinazione ottenuta nei due substrati alternativi è risultata simile a quella del substrato di controllo. Per lo spincervino, invece, con il substrato -100 si è riscontrata una percentuale di germinazione inferiore che, successivamente, si è tradotta in un minor numero di piante a fine prova.

Tabella 9 - Riepilogo risultati di carpino bianco e spincervino

	Carpino bianco		Spincervino	
	-40	-100	-40	-100
Germinazione				
I ril				
II ril				
III ril				
Rilievo in itinere				
altezza				
n. foglie				
presenza ramificazioni				
SPAD				
Rilievo finale				
altezza				
n. foglie				
diametro al colletto				
SPAD				
peso secco foglie				
peso secco fusti				
peso secco radici				
peso secco totale				
rapporto chioma/radici				

	no effetto
	effetto positivo
	effetto negativo
	assenza dato

Tabella 10 - Riepilogo risultati di sambuco, frassino ossifillo, ciliegio canino e frassino maggiore

	Sambuco	F. ossif.	C. canino	F. magg.
	-100	-100	-40	-40
Germinazione				
I ril				
II ril				
III ril				
Rilievo in itinere				
altezza				
n. foglie				
presenza ramificazioni				
SPAD				
Rilievo finale				
altezza				
n. foglie				
diametro al colletto				
SPAD				
peso secco foglie				
peso secco fusti				
peso secco radici				
peso secco totale				
rapporto chioma/radici				

	no effetto
	effetto positivo
	effetto negativo
	assenza dato

Al rilievo intermedio, per entrambe le specie, le piante coltivate con i substrati alternativi sono risultate simili o anche migliori di quelle del testimone (ad esempio per il numero di foglie). Al rilievo finale, però, i risultati promettenti del rilievo intermedio non si sono del tutto confermati, in particolare per il carpino, per il quale i risultati di entrambi i substrati

alternativi sono risultati spesso peggiori di quelli del testimone. Diversamente, per lo spincervino il substrato -40 è risultato interessante in quanto le piante in esso coltivate hanno mostrato risultati molto spesso uguali a quelli del substrato di controllo. Va precisato che anche le piante del substrato -100 hanno presentato, a fine prova, valori simili a quelli del controllo, ma si ricorda che con questo substrato si è ottenuto un significativo minor numero di piante.

Alla fine della stagione di coltura tutte le piante che non sono state sottoposte ad analisi distruttiva sono state valutate dal personale tecnico dell'azienda per individuare quante fossero potenzialmente commercializzabili. I dati ottenuti non sono stati sottoposti ad analisi statistica ma evidenziano comunque risultati positivi del substrato -40 per entrambe le specie.

Anche i risultati relativi alle specie allevate con i soli substrati di controllo e -100 (Tab. 10) hanno mostrato come la risposta alla prova sia fortemente legata alla specie. Per il sambuco, infatti, la percentuale di germinazione nel substrato -100 è risultata analoga a quella ottenuta dal substrato di controllo mentre per il frassino ossifillo è risultata superiore nei primi due rilievi di germinazione, ma simile nel terzo.

Anche al rilievo intermedio le due specie hanno dato risultati molto diversi. Infatti, il substrato -100 ha favorito la crescita del sambuco mentre ha penalizzato quella del frassino ossifillo rispetto alle piante del substrato di controllo. Tali differenze si sono confermate nel rilievo finale. Molto spesso il substrato -100 ha avuto effetti positivi nel caso del sambuco mentre di frequente ha influenzato negativamente l'altra specie. Al termine della stagione di coltivazione, il sambuco allevato con il substrato -100 ha ottenuto una percentuale di cedibilità di molto superiore rispetto a quello coltivato con il substrato di controllo mentre nel caso del frassino ossifillo il numero di piante vendibili, nonostante il minore accrescimento osservato con il -100, è risultato simile per entrambi i substrati.

Tra le specie allevate con i substrati di controllo e -40 (Tab. 10), il ciliegio canino e il frassino maggiore hanno raggiunto percentuali di germinazione simili, permettendo quindi di ottenere lo stesso numero di piante nei due substrati.

Al rilievo intermedio, sia le piante di ciliegio canino che quelle di frassino maggiore allevate nel substrato -40 hanno mostrato valori simili o anche migliori di quelle del substrato di controllo. Alla fine della prova il substrato -40 si è dimostrato migliore di quello di controllo per il ciliegio canino, mentre ha dato risultati simili nel caso del frassino maggiore. In quest'ultimo caso, infatti, se da una parte il substrato -40 ha ridotto il numero di foglie, dall'altra ha permesso di ottenere piante più sviluppate in altezza e con maggiore peso secco

delle foglie di quelle del testimone. Per entrambe le specie, al termine del periodo di coltura, la percentuale di piante cedibili rilevata non è risultata condizionata dal trattamento.

Considerando che la velocità di sviluppo di una specie è condizionata da molteplici fattori ricercabili sia a livello genetico (ogni specie ha una particolare curva di germinazione e sviluppo più o meno inclinata o ritardata) che ambientale (parametri di coltivazione più o meno ottimali per la specie), si può evidenziare come un substrato di coltivazione possa condizionare la risposta delle piante nelle sue diverse fasi di crescita.

Uno studio analogo al nostro ha condotto prove di coltivazione con farnia (*Quercus robur*), leccio (*Quercus ilex*) e roverella (*Quercus pubescens*) su due tipi di substrato: uno a base torbosa e l'altro a base di fibra di cocco. I risultati mostrano che ogni volta che l'analisi statistica ha evidenziato risultati significativi si sono evidenziati risposte simili delle due specie in relazione al substrato. Tendenzialmente è stato rilevato che nei trattamenti con base torbosa le piante hanno mostrato levate più tardive e una maggiore scalarità, mentre le piante allevate in substrati di cocco hanno mostrato levate anticipate e concentrate. Nonostante ciò da tale lavoro emerge che le percentuali di germinazione totale delle piante coltivate in cocco e torba risultano simili (DAGRI UniFI, 2021). Da tale lavoro emerge infine che le altezze a fine stagione hanno riportato una netta differenza tra i due substrati di crescita e in particolare i semenzali allevati in torba hanno sempre fatto ottenere altezze maggiori rispetto a quelli allevati in cocco (DAGRI UniFI, 2021).

Un altro studio mostra invece le performances di un substrato a base di compost vegetale nella coltivazione di specie forestali come la quercia da sughero (*Quercus suber*). Da tali risultati si evince che il tasso di germinazione non è stato diverso rispetto dal substrato di controllo, raggiungendo in entrambi i casi valori superiori al 90% (Mechergui et al., 2021). Lo studio mette in luce come tuttavia il substrato a base di compost vegetale abbia significativamente abbreviato il tempo di germinazione e aumentato l'uniformità di germinazione. Secondo lo studio questo substrato ha inoltre avuto un impatto positivo sull'altezza delle piante, sul diametro dei fusticini e sulla biomassa totale (Mechergui et al., 2021).

I sopra citati studi, seppur applicati a specie differenti da quelle coinvolte nella presente tesi, confermano in modo generale i risultati ottenuti.

Il substrato -40 ha dato buoni risultati per tutte le specie e, anche se in alcuni casi i valori non sono stati all'altezza di quelli del substrato testimone, questo non ne ha compromesso la commerciabilità, come dimostrato dalla percentuale di piante vendibili che è risultata simile a quella dell'AZ.

Il substrato -100 ha evidenziato, invece, in modo marcato, una risposta diversa in base alla specie. Ha dato i risultati peggiori nel caso del carpino e dello spincervino. Le piante di carpino allevate con il substrato -100 si sono sviluppate meno rispetto alle altre e questo è stato confermato dalla minore vendibilità. Lo spincervino nel substrato -100 ha mostrato invece una minore percentuale di germinazione rispetto alle altre tesi. Lo stesso substrato ha ottenuto i risultati migliori solo nel caso del sambuco mentre non sono state rilevate differenze significative nel frassino ossifillo.

La variabilità delle materie prime impiegate nelle miscele rende difficile determinare quale componente delle ricette abbia maggiormente influenzato i risultati ed è tuttavia complicato stabilire se a determinare talune differenze sia il rapporto quantitativo tra le componenti o qualche materiale in particolare.

La presenza del compost vegetale, in particolare in sostituzione della torba bruna nel substrato, potrebbe aver dato un input positivo per alcune specie. Questo è infatti un materiale biologicamente attivo e ciò lo rende diverso dalle altre materie prime impiegate ma questa peculiarità lo rende difficilmente impiegabile in quantità elevate nelle miscele. Come è emerso dalle analisi condotte, i substrati con compost hanno presentato una maggiore dotazione di nutrienti e questo materiale potrebbe anche aver donato alla miscela la maggior capacità di ritenzione idrica rispetto al substrato aziendale che, ricordo, ne è privo. Tale caratteristica si è dimostrata apprezzata in particolare da alcune specie e ne è un esempio il sambuco. Tuttavia i maggiori risultati positivi si sono ottenuti dove le caratteristiche del compost sono state combinate con un'elevata fibrosità della struttura (il substrato -40). Questo è confermato anche da uno studio su due arbusti forestali che ha preso in esame diversi substrati per la coltivazione di *Viburnum lantana* e il *Viburnum rhytidophyllum* con lo scopo di diminuire la quantità di torba utilizzata. Nelle 6 prove realizzate questa è stata sostituita in proporzione variabile da compost vegetale e fibre di legno stabilizzate. I risultati di altezza, diametro al colletto, biomassa, superficie fogliare e indice SPAD hanno mostrato valori del tutto comparabili o addirittura migliori del trattamento di controllo (Di Lonardo et al., 2021). In aggiunta a questo anche uno studio su specie orticole quali la fragola ha messo in evidenza i buoni risultati derivanti dall'utilizzo di una combinazione di 75% di fibra di legno e 25% di compost vegetale (Aurdal et al., 2022). Substrati di questo tipo hanno permesso di ottenere una produttività anche maggiore e caratteristiche organolettiche dei frutti comparabili con il testimone contenente torba (Aurdal et al., 2022).

Nel nostro caso della fibra di legno si è rivelata buona in particolare laddove sono subentrate in sostituzione parziale della torba bionda. La presenza di un'elevata percentuale di fibre, soprattutto fibre di legno di varia pezzatura, ha pertanto favorito nello specifico il substrato -40 in termini sia di porosità totale che di porosità per l'aria. Altre prove su specie quali *Juniperus communis* e *Ribes uva-crispa* avvalorano questi risultati (Beretta, 2021). In questo caso è stato indagato lo sviluppo radicale con diverse prove a contenuto variabile di fibra di legno e torba. I risultati ottenuti hanno mostrato che è possibile ottenere una produzione vivaistica più sostenibile grazie alla parziale sostituzione della torba con fibra di legno in ragione del 30 o del 50% (Beretta, 2021).

Si sottolinea ancora che la risposta delle piante ai diversi supporti di coltura è strettamente legata alla specie e i risultati della presente tesi lo confermano. Come si è visto per entrambi i substrati alternativi in prova, specie diverse hanno avuto prestazioni diverse e questo è dovuto alle diverse esigenze colturali delle piante. Individuare un substrato che possa soddisfare al meglio le esigenze di tutte le specie coltivate è una cosa difficile per qualunque vivaio che operi con più specie, soprattutto se, come nel caso del Centro di Montecchio Precalcino, si opera con più di 100 specie autoctone di un territorio regionale climaticamente e pedologicamente eterogeneo come il Veneto.

Per le esigenze del vivaio, è utile fare una scelta di compromesso, ovvero individuare un substrato che garantisca un livello qualitativo minimo della produzione per la maggior parte delle specie coltivate e, possibilmente, un substrato di coltivazione sostenibile dal punto di vista ambientale. Alla luce dei buoni risultati ottenuti, si può senz'altro ritenere il substrato -40 un ottimo candidato, mentre il substrato -100 appare meno consigliabile. Infatti, il -40 ha dato risultati simili o anche migliori dell'AZ e oltre a ciò è più sostenibile da un punto di vista ambientale. Tuttavia una certa quantità di torba è risultata indispensabile per l'ottenimento dello standard produttivo atteso. Rinunciando però alla frazione inerte e con una struttura totalmente in fibre vegetali (legno e torba) di varia pezzatura, il substrato -40 risulta più facilmente smaltibile a fine ciclo produttivo. Questa particolarità può risultare molto gradita se, come nel caso del Centro, i residui di coltivazione e gli scarti della produzione acquistano nuova vita con l'impiego come bonifica di vecchie aree di cava. In questi casi infatti i materiali inerti usati solitamente nella preparazione dei substrati possono risultare impattanti e antiestetici.

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

I risultati ottenuti hanno confermato la possibilità di coltivare in vivaio specie legnose forestali utilizzando substrati a ridotto contenuto di torba, senza compromettere la qualità o la commerciabilità delle produzioni. In particolare, il substrato -40 ha permesso in tutti i casi di ottenere percentuali germinazione simili a quelle del substrato aziendale ed accrescimenti simili delle piante (carpino bianco e spincervino) o anche superiori (ciliegio canino e frassino maggiore). La generale idoneità di questo substrato alla coltivazione di queste specie è anche stata confermata dal pari o superiore percentuale di piante vendibili.

La diversa risposta delle specie ai substrati in prova è stata più evidente nel caso del substrato -100. Questo substrato, infatti, ha ottenuto performances peggiori di quelle dell'aziendale in tre delle quattro specie su cui è stato testato (minore percentuale di germinazione di spincervino e minori accrescimenti in carpino e frassino ossifillo), ma decisamente migliori accrescimenti e migliori percentuali di vendibilità per il sambuco.

In definitiva, quindi, il substrato -40 appare essere un ottimo candidato per la sostituzione del substrato tradizionalmente impiegato nel Centro di Biodiversità Vegetale e Fuori Foresta di Montecchio Precalcino (VI) per la produzione di tutte le specie legnose. Questo, infatti, oltre a garantire buoni standard produttivi consente anche di migliorare la sostenibilità ambientale delle stesse. Per migliorare ulteriormente quest'ultimo aspetto, sarebbe interessante valutare altri substrati, magari con frazione di torba ridotta del 50 o anche del 60% rispetto al substrato aziendale.

BIBLIOGRAFIA

Abad, M., Noguera, P., & Bures, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource technology*, 77(2), 197-200.

Aurdal, S. M., Woznicki, T. L., Haraldsen, T. K., Kusnierek, K., Sønsteby, A. e Remberg, S. F., (2022). Wood Fiber-Based Growing Media for Strawberry Cultivation: Effects of Incorporation of Peat and Compost. *Horticulturae* [online]. 9(1), 36.

Bek, D., Lennartsson-Turner, M., Lanari, N., Conroy, J., Evans, A., (2020), Transitioning towards peat-free horticulture in the UK: an assessment of policy, progress, opportunities and barriers, Coventry University.

Beretta, D. e Ripamonti, M., (2021). Evaluation of wood fiber as component of substrates for container nursery crops. *Acta Horticulturae* [online]. (1305), 77–82.

Bracco, F. e Vinanzoni, R., *Le torbiere montane*, Quaderni Habitat, n°9, pp. 7-22.

Bracco, F., Stoch, F., Minelli, A., Vinanzoni, R., *Le torbiere montane*, Quaderni Habitat, n°9, pp. 115-134.

Castelnuovo, M., (2009), Numeri e potenzialità del mercato italiano, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 32-35.

Cattivello, C., (2009), Aspetti ambientali, tecnici e commerciali legati all'impiego della torba: presente e futuro del componente base dei substrati, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 6-15.

Cattivello, C. e Orfeo, D., (2018), Caratteristiche e dinamiche del mercato dei substrati: il caso della torba e del cocco, *Acta Italus Hortus* 18, pp. 14-17.

Cattivello, C., (2019), I substrati di coltivazione: molto di più che semplici supporti per le radici, *Notiziario ersa, Oltre la siepe... il mondo*, n°1, pp. 1-7.

Commissione delle Comunità Europee, (1995), *Uso razionale e conservazione delle zone umide*, Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo, pp. 1-28.

De Boodt, M. A. V. O., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26, 37-44

Di Lonardo, S., Massa, D., Orsenigo, S., Zubani, L., Rossi, G., Fascella, G. e Cacini, S., (2021). Substitution of peat in the cultivation of two shrub species used for ecological restoration and recovery of degraded green areas. *Acta Horticulturae* [online]. (1305), 97–102.

Drago, S., (2014), La resistenza a taglio delle torbe e dei terreni fibrorinforzati, Tesi di Laurea, Università di Padova.

Ferretti, R., (2018), I substrati di coltivazione del vivaismo ortoflorofrutticolo: esigenze agronomiche e sostenibilità ambientale ed economica, *Acta Italus Hortus* 18, pp. 9-13.

Fonteno, W. C., e Bilderback, T. E. (1993). Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(2), 217-222.

Fortis, A., (1795). DELLA TORBA che trovasi appiè de' Colli Euganei. Memoria fisico-economica dell'Abate. Venezia: Stamperia Palese.

Franceschi, M., (2017), I substrati di coltivazione alternativi alla torba: effetti dei substrati contenenti compost sulla nutrizione minerale e sulla produzione di biomassa in geranio (*pelargonium zonale*) coltivato in vaso, Tesi di Laurea, Università di Pisa.

Frangi, P., (2009), Quali componenti aggiungere ai substrati per migliorarne le caratteristiche?, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 16-21.

Giuffrida, F. e Michel, J. C., (2010), Substrati di coltivazione per una ortofloricoltura sostenibile, *Italus Hortus* 17, pp. 29-41.

Lanzi, A., (2005), I substrati alternativi alla torba: verifiche sperimentali sull'impiego di compost e fibra di cocco nell'ortoflorovivaismo, Tesi di Laurea, Università di Pisa.

Leoni, S., (2003), Colture senza suolo in ambiente mediterraneo, Edagricole.

L'Inghilterra elimina la torba [online], (2011). *Mondopratico.it*. [Consultato il 28 ottobre 2023]. Disponibile da: <https://www.mondopratico.it/news/3698/linghilterra-elimina-la-torba>

Mechergui, T., Pardos, M., Vanderschaaf, C. L., Boussaidi, N., Jhariya, M. K. e Banerjee, A., (2022). Feasibility of Using Orange Wattle (*Acacia cyanophylla* Lindl.) Compost as an Organic Growing Medium for the Production of Cork Oak (*Quercus suber* L.) Seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22, 3507–3517.

Ng, F., Basiron, Y e Sundram, K., (2016), A historical perspective of peat exploitation in Europe and its sustainability, *Journal of Oil Palm, Environment & Health*, n°7, pp. 1-18.

Page, S.E. e Baird, A.J., (2016), *Peatlands and Global Change: Response and Resilience*.

Pardossi, A., Incrocci, L., Marzialetti, P., Bibbiani, C., (2009), I substrati e la coltivazione delle piante in contenitore, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 22-31.

Pozzi, A. e Valagussa, M., (2009), Caratterizzazione agronomica dei substrati di coltivazione: metodologie ed esperienze a confronto, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 50-55.

Pozzi, A., (2021), Rapporto sulla sostenibilità della filiera di produzione della fibra di legno e del suo impiego come componente dei substrati di coltivazione in campo ortoflorovivaistico, *Enerion Renewables*, pp. 1-25.

Rea, E. e Sequi, P., (2009), Substrati di coltivazione: sviluppi qualitativi, tecnici, legislativi e commerciali, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 4-5.

Rea, E., De Lucia, B., Ventrelli, A., Pierandrei, F., Rinaldi, S., Salerno, A., Vecchietti, L. e Ventrelli, V., Substrati alternativi a base di compost per l'allevamento in contenitore di specie ornamentali mediterranee, *Fertilitas Agrorum*, v. 3, n°1, pp. 64-73.

Scariot, V., De Pascale, S., Ferrante A. e Romano D., (2022), *Florovivaismo. Principi e tecniche*, 1ª edizione, Edagricole.

Spohn, M. e Spohn, R., (2021), *Guida agli alberi d'Europa*, Ricca.

Tassinato, S., (2011), Prove di taleaggio di rosa (*Rosa x hybrida 'La Sevillana'*) e geranio (*Pelargonium peltatum 'Ville de Paris'*) su substrati contenenti lolla di riso e residui di digestato anaerobico, Tesi di Laurea, Università di Padova.

UniFI, (2021). Produzione di postime coltivato in diversi substrati e formule di concimazione [online]. www.dagri.unifi.it. [Consultato il 13 ottobre 2023]. Disponibile da: <https://www.dagri.unifi.it/vp-427-produzione-di-postime-coltivato-in-diversi-substrati-e-formule-di-concimazione.html>

Zaccheo, P. e Cattivello, C., (2010), I substrati di coltivazione. Aspetti teorici ed applicativi di un fattore chiave delle produzioni in contenitore.

