



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF
DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

Relazione scientifica e delle attività svolte dal GESAAF

nell'ambito del progetto:

VIAA - Vivaistica innovativa per prodotti di alta adattabilità

Responsabile scientifico GESAAF Università di Firenze:

Prof. Andrea Tani, Professore Associato AGR05

Fonte del finanziamento: Progetto di ricerca "PSR 2014-2020 – PIF – misura 16.2 - VIAA

"Vivaistica innovativa per prodotti di alta adattabilità" CUP ARTEA 726259

Personale coinvolto nelle attività nell'ambito del progetto VIAA

Prof. Andrea Tani

Prof.ssa Sabrina Raddi

Dott. Alberto Maltoni

Dott.ssa Barbara Mariotti

Dott.ssa Sofia Martini

Sig. Stefano Teri

Sig. Fabio Bandini



Indice

Introduzione e obiettivi	4
Studio della letteratura nazionale internazionale relativa alle tematiche affrontate	7
Predisposizione del piano sperimentale	11
Produzione del materiale vivaistico (stagione vegetativa 2017)	13
a. Materiali e metodi.....	13
b. Principali risultati.....	25
Caratteri morfologici.....	25
- Levata delle plantule.....	25
- Altezza del postime e flussi di crescita.....	27
- Analisi della biomassa.....	30
- Analisi dei contenuti chimici.....	33
- Analisi del substrato.....	34
Caratteri fisiologici.....	35
- Correlazione tra indici.....	35
- Effetto dei trattamenti.....	36
- Confronto tra specie.....	37
- Confronto tra substrati.....	39
- Confronto tra regimi di fertilizzazione.....	41
- Andamento stagionale.....	41
- indici di fluorescenza (fluorimetro handy PEA).....	42
Prova di stress idrico in ambiente controllato (stagione vegetativa 2018)	44
a. Materiali e metodi.....	45
b. Principali risultati.....	48
Caratteri morfologici.....	48
Caratteri fisiologici.....	51



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

- Potenziali idrici, Ψ	52
- Fluorescenza e riflettanza.....	53
- Scambi gassosi e isotopi del C.....	56
- Mortalità a fine prova.....	57
Prova di field performance	58
a. Materiali e metodi.....	59
b. Risultati preliminari.....	60
Considerazioni preliminari.....	62
Primo anno di allevamento in serra.....	62
Prova di stress idrico in ambiente controllato.....	63
Attività complementari al progetto	64
Bibliografia citata	65
Attività di Divulgazione	68



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

Il progetto VAA- Vivaistica innovativa per prodotti di alta adattabilità - si è svolto nell'ambito del Progetto Integrato di Filiera PIF *Verdi Connessioni* (capofila l'azienda vivaistica "Vannucci Piante") finanziato dalla Regione Toscana, nel quale è stata inserita, e ammessa a finanziamento, una misura 16.2, svolta da due partner di progetto: Vannucci Piante e GESAAF dell'Università di Firenze. In questa relazione si riportano le attività svolte dal GESAAF e i principali risultati scientifici.

Introduzione e obiettivi

Negli ultimi anni si è attribuita importanza via via sempre maggiore alla qualità del prodotto vivaistico (Oliet e Jacobs 2012) sia che questo venisse destinato a piantagioni produttive sia che fosse impiegato in opere di ripristino ambientale in aree degradate. Il concetto di qualità, ovvero "idoneità allo scopo", viene definito come la capacità e l'attitudine che dimostrano le piantine, una volta collocate a dimora, nel superare velocemente lo stress da trapianto e manifestare prima possibile le caratteristiche desiderate in funzione dell'obiettivo dell'intervento e dei contesti ambientali di impianto (Mattsson 1997). Questo concetto di qualità relativa e non assoluta è uno dei principali aspetti su cui si basa il Target Plant Concept (Landis 2011; Pinto et al. 2011).

Secondo questa concezione, la qualità del materiale vivaistico, dal seme alla plantula, viene definita secondo diversi parametri tra cui: obiettivo dell'impianto, tipo di postime, caratteristiche genetiche, condizioni ambientali e fattori limitanti del sito di impianto nonché tecniche, strumenti e periodo di piantagione (Landis 2011). La qualità del materiale prodotto deve essere stimata basandosi soprattutto sulla risposta del postime in campo (*field performance*). Tali valutazioni prendono in esame sia i caratteri morfologici sia quelli fisiologici.

Per gli ambienti siccitosi la definizione delle caratteristiche morfo-funzionali che identifichino le piantine più adatte, e quindi di qualità migliore, è ancora in discussione a causa della sua complessità. L'eterogeneità ambientale sia spaziale sia temporale che si riscontra nelle zone



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

siccitose impedisce una definizione univoca delle caratteristiche qualitative. Ma la complessità maggiore risiede soprattutto negli effetti antagonisti che le diverse fonti di stress, presenti in ambienti aridi, hanno su un determinato tratto morfo-fisiologico. Per esempio in situazioni di carenza di fosforo, le piantine geneticamente predisposte ad avere un apparato radicale più superficiale risultano avvantaggiate ma, se si considerano le difficoltà di rifornimento idrico, una maggiore profondità di esplorazione delle radici rappresenta un vantaggio (Zhu et al. 2011). Viceversa in altri casi le risposte della pianta a stress multipli possono convergere in un'unica direzione, come succede quando, in condizioni di scarsità di acqua e nutrienti, la risposta fisiologica delle piante consiste in un aumento di allocazione di biomassa nella parte ipogea rispetto a quella epigea (Poorter e Nagel 2000). La siccità dunque non è un singolo, semplice stress e la ricerca di una definizione di qualità deve tenere conto di come si interrelazionano i molteplici fattori in gioco: non solo la mancanza di acqua, ma anche altre sollecitazioni negative come calore, malattie, resistenza del terreno, maggiore salinità, scarsità di nutrienti e ipossia (García-Cano et al. 2000; Lal 2008; Whitmore e Whalley 2009).

A livello internazionale molte sono le esperienze finalizzate ad individuare le piante più adatte per diversi contesti e/o scopi (Jacobs et al. 2005). Data la complessità di cui si è detto, i numerosi studi che, in particolare, valutano l'effetto della fertilizzazione in vivaio sulla successiva *field performance* del postime, non sempre portano a risultati concordanti ed evidenziano un'influenza specie-specifica delle concimazioni; pertanto gli effetti derivanti da apporti minerali sono di difficile generalizzazione e risulta complicato definire degli standard di concimazione per lo sviluppo di postime più resistente agli stress idrici (Martini 2017).

In Italia, nel settore ricerca, molto si è fatto per quanto riguarda gli aspetti di qualità genetica, con la definizione delle regioni di provenienza, e della qualità colturale, con lo studio dell'effetto di diversi contenitori sulla funzionalità degli apparati radicali. Tuttavia il trasferimento dei risultati di tali attività può ritenersi ad oggi insufficiente e, nella pratica, mancano del tutto produzioni vivaistiche specializzate per le quali siano testati gli effetti derivanti dall'inasprimento delle condizioni climatiche (stress idrico) una volta che le piantine



vengano messe a dimora.

L'obiettivo generale del progetto, della durata di due anni, è la messa a punto di processi di produzione vivaistica che portino allo sviluppo di piante di specie arboree autoctone più idonee, ovvero qualitativamente migliori, a condizioni di scarsa disponibilità idrica. Un prodotto vivaistico con queste caratteristiche risulterà particolarmente indicato per il recupero o la realizzazione ex novo di aree verdi per le quali necessiti un pronto attecchimento del materiale con elevati tassi di sopravvivenza pur in condizioni di probabile prolungato stress idrico. Per il perseguimento dell'obiettivo preposto ci si è concentrati principalmente sullo sviluppo di un sistema radicale efficiente in grado di assicurare alle piante un sufficiente rifornimento idrico una volta messe a dimora in condizioni difficili.

Come già menzionato in fase progettuale, gli obiettivi generali del lavoro (in 2 anni) sono i seguenti:

- 1) Messa a punto di un substrato idoneo alla maggiore adattabilità a condizioni di stress idrico nell'anno dell'attecchimento attraverso il condizionamento dell'apparato radicale tramite l'adozione di substrati differenti per composizione e elementi nutritivi nell'anno di produzione in vivaio.
- 2) Implementare la qualità della produzione vivaistica nell'ottica di una produzione ecologicamente più sostenibile, facendo ricorso all'uso di una risorsa rinnovabile (fibra di cocco) al posto di una non rinnovabile (torba).
- 3) Ottenere informazioni relative all'adattabilità di produzioni vivaistiche esistenti di specie arboree autoctone toscane in relazione allo stress idrico. In particolare l'obiettivo è quello di definire valori range di apporto idrico per condizioni di attecchimento ottimali (target seedling), intermedie e soglia per la sopravvivenza dopo la messa a dimora.
- 4) Messa a punto di un sistema di qualificazione/valutazione della produzione vivaistica per l'adattabilità dei lotti di prodotto in relazione ai fabbisogni idrici.



Tali obiettivi sono stati perseguiti attraverso le seguenti attività

1. Studio della letteratura nazionale internazionale relativa alle tematiche affrontate
2. Predisposizione del piano sperimentale
3. Produzione del materiale vivaistico
4. Prova di stress idrico in ambiente controllato
5. Prova di campo (*field performance*)

Studio della letteratura nazionale internazionale relativa alle tematiche affrontate

La studio della bibliografia è stato mirato a:

- Verificare l'effetto della disponibilità di macroelementi sulle specie oggetto di valutazione: si sono cercate informazioni sugli effetti, positivi e negativi, sullo sviluppo, sulla crescita, sulla fenologia e sullo stato fisiologico delle piante con particolare riferimento alle specie oggetto di studio; sono stati presi in considerazione sia sperimentazioni effettuate in ambiente naturale sia controllato.
- Acquisire conoscenze sulle specifiche funzionalità di ogni specie in relazione alle esigenze idriche: le informazioni possono essere utili alla definizione dei parametri ambientali da ricreare in ambiente controllato per condizionare lo stato di stress idrico e riguardano sia studi in ambiente controllato sia studi effettuati in ambienti naturali

Relativamente alla prima parte di analisi bibliografica sono stati individuati numerosi studi che evidenziano come una fase iniziale di fertilizzazione NPK in vivaio possa avere effetti benefici sulla sopravvivenza post-trapianto delle piantine in ambienti mediterranei, caratterizzati dall'alternanza di stagioni secche e stagioni umide, aiutando a mantenere un bilancio idrico positivo durante i periodi seguente il trapianto in campo (fase di attecchimento). È stato proposto da Villar-Salvador *et al.* (2013) un modello ecofisiologico,



sviluppato sulla base di sperimentazioni su conifere e latifoglie sempreverdi mediterranee. Secondo tale concezione, la sopravvivenza delle piantine dopo in trapianto dipende dalla capacità di sviluppo durante la stagione umida: dimensioni di partenza maggiori e un'iniziale maggiore disponibilità di nutrienti, soprattutto azoto, contribuiscono allo sviluppo di un più esteso e profondo sistema radicale che si traduce in una maggiore capacità di sopravvivenza a periodi di prolungata siccità (Rose et al. 1997; Chirino et al. 2008). Il modello prevede che un aumento della dimensione delle piantine e della concentrazione di N possano determinare una maggiore traspirazione con conseguente aumento della vulnerabilità alla siccità nel breve periodo; questo però sarebbe compensato dal fatto che le piantine che presentano bassa traspirazione hanno una scarsa capacità di crescita radicale che determina un costo maggiore in termini di sopravvivenza a lungo termine.

In accordo con questa ipotesi, sempre su specie mediterranee, un altro studio ha evidenziato come un migliore stato nutrizionale porti all'aumento dei tassi fotosintetici con effetti positivi sull'efficienza di utilizzo dell'acqua su specie sempreverdi e semi-decidue (Medrano et al. 2009).

Un altro stress a cui le piante devono adattarsi quando vegetano in ambienti siccitosi è la comune, bassa disponibilità di nutrienti nel suolo. Ciò è dovuto alla somma di fattori naturali (scarsa produttività, bassa capacità di concentrazione dei nutrienti nello strato superficiale del suolo e dominanza di suoli alcalini con alta capacità di chelazione del fosforo) uniti alla pressione umana, in particolare coltivazioni, fuoco e erosione (García Cano et al. 2000; Lal 2009). In quest'ottica, la *field performance* delle piantine può essere migliorata con livelli di riserva di nutrienti e capacità di assimilazione più alti (Cortina et al. 2013).

È stato tuttavia evidenziato come gli effetti positivi derivanti dalla fertilizzazione NPK, riscontrabili dopo la messa a dimora, siano strettamente dipendenti dall'intensità della siccità durante la fase post impianto (Cortina et al. 2013).

Specificatamente per le concimazioni azotate, numerosi studi su specie arboree e arbustive mediterranee (*Quercus faginea* L., *Quercus coccifera* L., *Quercus ilex* L., *Pinus halepensis* Mill.) evidenziano un effetto positivo delle fertilizzazioni azotate per ambienti di crescita



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

svantaggiati: un maggiore apporto di azoto, unito alle maggiori dimensioni di partenza del postime, ha incrementato lo sviluppo del sistema radicale dopo il trapianto migliorando la resistenza all'aridità delle piantine, mantenendo un bilanciamento idrico positivo durante la fase iniziale di attecchimento (Oliet et al. 1997; Oliet et al. 2009; Cuesta et al. 2010; Villar-Salvador et al. 2013).

Esiste però una discreta bibliografia in disaccordo con quanto esposto finora: non sempre le maggiori dimensioni del postime e la migliore disponibilità di nutrienti hanno dato risultati positivi sulla *field performance*, che migliorerebbe invece per le piantine cresciute in ristrettezza di nutrienti. Secondo tali studi i maggiori tassi di azoto forniti in fase iniziale inibirebbero lo sviluppo del sistema radicale e aumenterebbero lo sviluppo della parte aerea e quindi la traspirazione. Ciò determinerebbe uno squilibrio tra un ridotto assorbimento di acqua e una forte perdita della stessa per traspirazione (Trubat et al. 2008; Trubat et al. 2012; Dzedek et al. 2016; Ovalle et al. 2016).

Se lo studio delle concimazioni azotate è ben presente in bibliografia, altrettanto non si può dire per le fertilizzazioni a base di fosforo e potassio. Esistono studi dell'influenza di questi elementi su specie arboree forestali ma nel complesso la maggior parte della bibliografia presente è relativa agli effetti che fosforo e potassio hanno sulle produzioni erbacee, oppure si riferiscono a sperimentazioni in campo e non in ambiente controllato. In ogni caso tutti gli studi concordano che tali concimazioni abbiano effetti positivi, al limite nulli, sulla resistenza all'aridità: l'apporto di questi elementi sembra essere in grado di migliorare la capacità di crescita e la sopravvivenza post trapianto. Questi risultati potrebbero essere imputati alla condizione, piuttosto comune, di scarsità di P e K negli ambienti siccitosi, dove piantine con una buona riserva di nutrienti potrebbero avere maggiori possibilità di superare lo stress post trapianto.

Ad esempio molti autori hanno suggerito una relazione positiva tra sviluppo radicale e concimazioni fosfatiche in vivaio su conifere – *Pinus pinea* L., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)



Franco, *Picea glauca* × *Picea engelmannii*, *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. – con particolare riferimento all'aumento di capacità di crescita radicale (RGC) post trapianto (Bigg e Schalaus, 1990; Folk e Grossnickle, 2000; Sun et al., 2010). In zone mediterranee questo sviluppo del sistema radicale associato a maggiori apporti di fosforo nella fase di vivaio potrebbe migliorare la sopravvivenza del postime di vivaio collocato a dimora in zone sfavorevoli: su piante di ambienti siccitosi (*Ceratonia siliqua* L., *Bauhinia faberi* Oliv., *Acacia salicina* Lindl.) le concimazioni hanno avuto come risultato una maggiore sopravvivenza e capacità di crescita in siti di trapianto con scarsa fertilità e deficit idrico, anche meglio dei campioni concimati con azoto (Oliet et al. 2004; Oliet et al. 2005; Song 2010).

Riguardo le concimazioni potassiche, una meta-analisi, che ha raccolto i risultati di numerose sperimentazioni su apporti di potassio in sistemi forestali e l'effetto sullo sviluppo di varie specie (*Picea spp.*, *Pinus spp.*, *Acer spp.*, *Fagus sylvatica*, etc.), ha dimostrato come l'aumentata disponibilità di questo macro-nutriente aumenti i tassi di crescita e la concentrazione del potassio stesso nei tessuti (Tripler et al. 2006). Per quanto riguarda le sperimentazioni in vivaio, Egilla *et al.* (2001; 2005) riferiscono come la concimazione a base di potassio su piante di *Hibiscus rosa-sinensis* Linn. abbia portato ad una migliorata longevità radicale, maggior contenuto di acqua nelle foglie (LWC) ed a un generale aumento della resistenza alla siccità; gli autori ritengono che tali risultati possano essere considerati validi anche per altre specie legnose.

Alla luce di quanto emerso dall'analisi dello stato dell'arte sulle fertilizzazioni minerali, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Le concimazioni azotate sembrano avere quasi sempre effetti positivi sullo sviluppo e la sopravvivenza post trapianto delle conifere. Per quanto riguarda le latifoglie sempreverdi la bibliografia è discordante: molti autori hanno verificato come l'apporto di azoto migliori la qualità del postime ma si trova anche un discreto numero di ricerche che asseriscono il contrario;
- In relazione allo sviluppo di caratteri di resistenza allo stress idrico, sono preferibili



concimazioni a dosaggi intermedi di azoto piuttosto che particolarmente elevati, in modo da ottenere una migliore ripartizione della biomassa;

- Per la maggior parte degli autori i parametri iniziali del postime (dimensione e disponibilità di nutrienti) sono correlati positivamente con la *field performance*.

Nella seconda fase di analisi bibliografica sono state studiate le specifiche attitudini delle specie quercine nei confronti della disponibilità di acqua e la resistenza di ogni specie alla sua mancanza. Il genere *Quercus* comprende infatti numerose specie che vegetano in una grande varietà di ambienti ed ogni specie ha sviluppato tratti morfologici e fisiologici che consentono loro di crescere in situazioni in cui le risorse idriche scarseggiano o eccedono. Le querce mediterranee in particolar modo sono considerate meno sensibili all'aridità a causa dell'apparato radicale fittonante, delle foglie xeromorfe e dell'efficace controllo stomatico che consentono loro di mantenere elevati potenziali idrici durante i periodi di aridità (Thomas e Gausling 2000; Arend et al 2010; Perkins et al 2018). Data la variabilità fisiologica tipica del genere *Quercus* si è deciso di individuare, tramite studio della letteratura esistente, delle soglie di umidità del substrato specifiche per *Q. robur*, *Q. pubescens* e *Q. ilex* (Oliet et al. Submitted; Früchtenicht et al. 2018). Tali valori riflettono uno stato di stress idrico per le varie specie e sono stati successivamente utilizzati per ricreare in ambiente controllato una condizione di stress continuato.

Predisposizione del piano sperimentale

Sulla base delle informazioni ottenute dalla bibliografia e delle competenze del personale GESAAF e di quello dell'azienda capofila del progetto è stato predisposto il piano delle attività. Il primo passo è stato la definizione dei substrati e delle formule di concimazione, in accordo con la proposta progettuale.

Sulla base dei risultati scientifici trovati in letteratura nonché dell'esperienza e *know-how* del personale GESAAF e dell'azienda "Vannucci piante" sono state messe a punto le combinazioni



da porre a confronto tra due tipi di substrato (torba vs fibra di cocco, seguendo quanto pianificato in fase di progettazione del VIAA) e le tre differenti formule di concimazione.

La formula di concimazione utilizzata come riferimento (controllo) nel disegno sperimentale è la concimazione standard (St) utilizzata dall'azienda "Vannucci Piante" per l'allevamento delle specie quercine; le altre due consistono in un arricchimento della precedente in fosforo (P) e in Potassio (K).

Le tre formule adottate sono le seguenti:

1. Osmocote Custom Blend 12/14 Mesi Standard 15-9-11 Kg 3 per mc (unità nutrizionali mg/l di terriccio N 450; P₂O₅ 270; K₂O 330; rapporto concimazione 1:0.6:0.7);
2. Osmocote High K 12/14 Mesi Standard 11-11-18 Kg 4 per mc (unità nutrizionali mg/l di terriccio N 440; P₂O₅ 440; K₂O 720; rapporto concimazione 1:1:1.6)
3. Osmocote Custom Blend 12/14 Mesi Standard 15-9-11 Kg 3 per mc + Perfosfato minerale Kg 2 per mc (21% P₂O₅) - (unità nutrizionali mg/l di terriccio N 450; P₂O₅ 690; K₂O 330; rapporto concimazione 1:1.5:0.7).

Per quanto riguarda i substrati, la torba (substrato di controllo nel disegno sperimentale) è costituita da 70% torba acida 0-40 mm + 30% pomice 5-8 mm (pH 4,9; conducibilità elettrica 0,03 sS/m; densità apparente 220 Kg/m³; porosità 90%). La fibra di cocco utilizzata è costituita da 70% midollo + 30% fibra (pH 4,3; conducibilità elettrica 0,12 sS/m; densità apparente 74 Kg/m³; porosità 95%).

Il materiale vivaistico è stato quindi allevato in 6 combinazioni differenti date da tipo di substrato x formula di concimazione.

Come da progetto, le specie allevate sono tre specie comunemente presenti nelle formazioni forestali e nelle aree verdi della Toscana appartenenti al genere *Quercus*: *Quercus robur* (farnia), *Quercus pubescens* (roverella) e *Quercus ilex* (leccio). Oltre all'appartenenza alla flora delle specie arboree boschive della Toscana, altri criteri di scelta sono stati l'appartenenza allo stesso genere e la differente attitudine a condizioni di clima Mediterraneo arido (progressivamente decrescente passando dal leccio, alla roverella, alla farnia).

In accordo con quanto pianificato in fase progettuale, le successive attività sono consistite in



una prima stagione di allevamento di vivaio (2017) e, l'anno successivo (2018), in una valutazione del materiale sottoposto a prova di stress idrico controllato. In fase di attuazione, nel corso dell'inverno 2017-2018, si è anche deciso di aggiungere una prova di campo, che, in accordo con il capofila, ha una durata maggiore di quella della chiusura del progetto (2 intere stagioni vegetative, 2018 e 2019).

I tempi burocratici di approvazione del progetto, che sono stati posposti rispetto alle scadenze previste dal bando regionale, hanno fatto sì che le attività in campo non abbiamo potuto prendere avvio nella stagione vegetativa 2016, bensì nel 2017, un anno dopo rispetto a quanto previsto, e che quindi la scadenza naturale del progetto cadesse in settembre 2018. Ciò non ha permesso di far rientrare nel progetto, che si deve necessariamente adattare alle stagioni di vegetazione delle piante, 2 intere stagioni vegetative rendendo incompleti i dati relativi al 2018 presentati in questa relazione scientifica.

Produzione del materiale vivaistico (stagione vegetativa 2017)

a. Materiali e metodi

Per valutare le caratteristiche del materiale prodotto in vivaio, è stato predisposto un disegno sperimentale a 3 blocchi randomizzati. Sono state sottoposte a sorteggio le posizioni delle specie nel blocco, i 2 substrati e successivamente i tre tipi di fertilizzazione. La singola parcella elementare si compone di 48 contenitori, per un totale di 2592 vasi (Fig. 4).

Nel mese di ottobre 2016 è stato contattato il Centro Nazionale Carabinieri di Peri, ex- Corpo Forestale dello Stato Ufficio Territoriale per la Biodiversità - Stabilimento Sementi – che è specializzato nella raccolta e conservazione i semi di specie forestali. Sono stati ordinati in totale 41,5 kg di ghiande per le 3 specie. In marzo le ghiande sono state spostate in una cella frigorifera (5 °C) presso uno dei vivai “Vannucci Piante”. Successivamente sono state stratificate in sabbia umida per favorire la pre-germinazione. Sono state seminate solo



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

ghiande pre-germinate e, quindi, vitali, per ridurre al massimo le fallanze post semina. È comunque stata prevista la semina di un numero ulteriore di vasi per sopperire a eventuali fallanze.

Si riportano le caratteristiche del seme utilizzato (fonte CNBF Peri di Dolcè):

- *Quercus ilex* purezza 100%, peso 1000 semi 3200 gr, vitalità TTZ 25%, provenienza Torri del Benaco – Garda (VR);
- *Quercus pubescens* purezza 100%, peso 1000 semi 2441 gr, germinabilità 68%, provenienza Ponte di Veja - S. Anna d'Alfaedo (VR);
- *Quercus robur* purezza 100%, peso 1000 semi 6016 gr, germinabilità 80%, provenienza Bosco Fontana - (MN).

Le ghiande sono state seminate a marzo 2017 in contenitori alveolari per uso forestale prodotti dall'azienda tedesca HerkuPlast, linea QuickPot (cod. 12T/18). Ogni singolo contenitore è costituito da 12 plot (4x3), ognuno dei quali presenta delle costolature laterali ed un grande foro centrale sul fondo che agevola il drenaggio e l'estrazione del pane di terra.

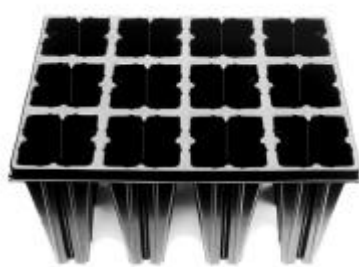


Figura 1: multicontenitore a 12 celle

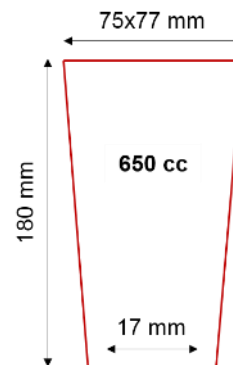


Figura 2: dimensione e volume delle singole celle



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI



Figura 3: disposizione dei multicontenitori dopo la semina secondo il disegno sperimentale

Ogni contenitore e, successivamente, ogni piantina è stata contrassegnata da un cartellino con un numero esclusivo ed un colore corrispondente alla combinazione substrato x fertilizzazione come descritto di seguito:

- Torba Standard, sigla Pe-St, colore giallo
- Torba Fosforo, sigla Pe-P, colore viola
- Torba Potassio, sigla Pe-K, colore bianco
- Cocco Standard, Sigla Co-St, colore azzurro
- Cocco Fosforo, sigla Co-P, colore arancione
- Cocco Potassio, sigla Co-K, colore rosa



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

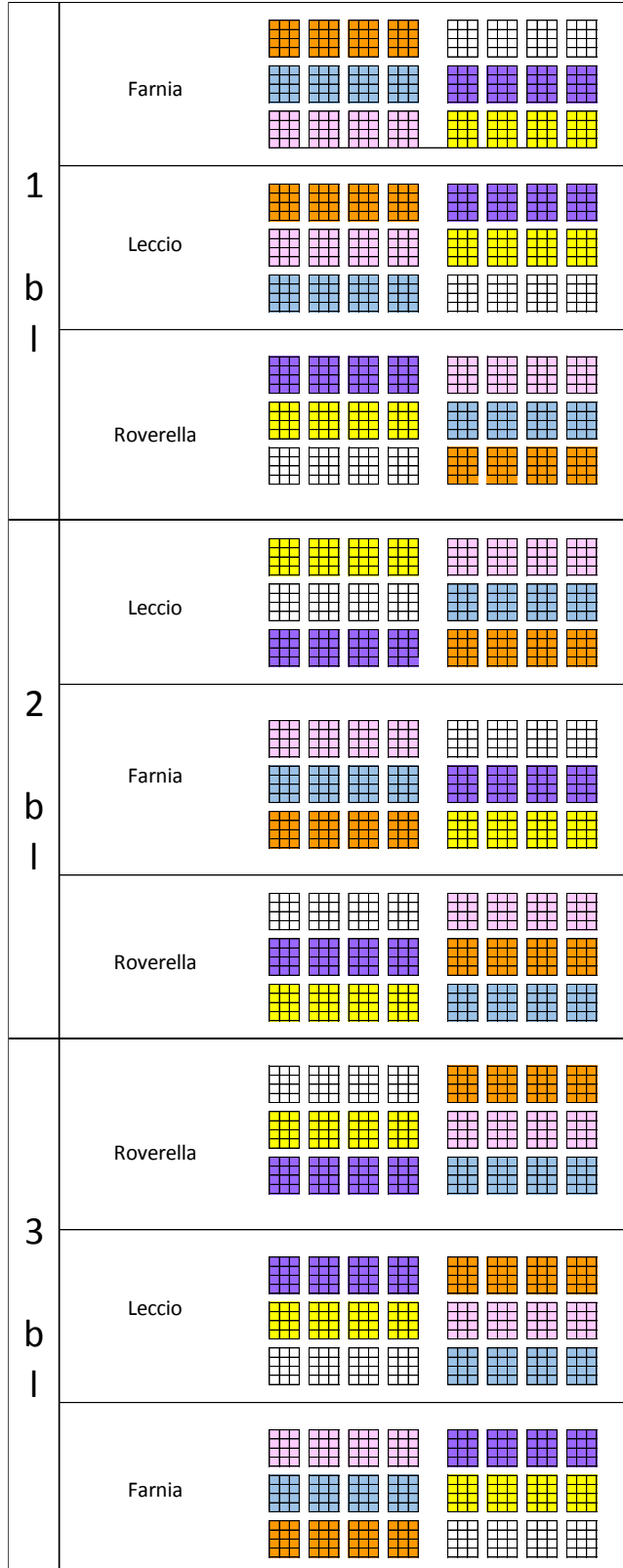


Figura 4: schema del disegno sperimentale per il primo anno di allevamento



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

Le piantine sono state allevate nel vivaio Vannucci Piante situato in località Pontelungo a circa due km ad ovest di Pistoia. Nella zona si registra un andamento climatico tipico delle zone mediterranee: la maggior parte delle precipitazioni si presentano nei mesi invernali mentre i picchi di temperatura si hanno soprattutto in luglio ed agosto.

Ad esclusione della scelta substrato e della concimazione, l'allevamento in vivaio ha seguito le correnti pratiche adottate dal vivaio in cui si svolge il progetto per quanto riguarda il materiale allevato in contenitore: semina, irrigazione, rimanenti concimazioni, controllo delle infestanti, ombreggiatura, antiparassitari.

Per ogni singolo contenitore è stata annotata:

- data di semina
- data di levata della plantula.

Settimanalmente, prima su tutti i 2592 vasi e, a partire da luglio 2017, sulla metà di essi, sono stati misurati i seguenti parametri morfologici:

- manifestazione di un nuovo flusso di crescita
- lunghezza del flusso di crescita
- altezza totale.



Figura 5: rilevamento settimanale dell'altezza



Figura 6: piantine di leccio di 2 mesi



Inoltre, mensilmente, a partire dal mese di giugno 2017, sono stato rilevati i seguenti parametri fisiologici:

- fluorescenza della clorofilla con fluorimetro HANDY PEA (Hansatech, UK)
- contenuto di clorofilla con SPAD-502 Plus (Konica-Minolta, Giappone).

Le osservazioni sono state eseguite su un campione di 3 foglie per pianta, su un totale di 3 piante, misurate per ogni combinazione specie/substrato/concimazione (9 misure per trattamento). Le misurazioni sono state eseguite a metà giornata (tra le 11:30 e le 13:30) e, nel caso del fluorimetro, su foglie adattate al buio per 30 minuti.

Ulteriori misure di fisiologia fogliare sono state effettuate a metà del mese di giugno su tutte le tesi (3 Specie x 3 Fertilizzazioni x 2 Substrati). Queste misure sono state integrate con misure di fluorescenza in estate (a inizio e fine luglio) e in autunno (metà ottobre) su un sottocampione volto a determinare la differenza dei due tipi di substrato (torba e cocco) nelle 3 specie di quercia utilizzando la sola formula standard di concimazione.

Le misurazioni sono state effettuate all'alba (tra le 2:00 e le 5:00) e a metà giornata (tra le 11:00 e le 14:00) in condizioni di tempo sereno e piena illuminazione ($PAR > 750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con spettrometro USB2000 (Ocean Optics, USA) e fluorimetro PAM-2000 (Walz, Effeltrich, Germania) su un campione di 5 foglie mature (leggermente coriacee al tatto, in posizione apicale) di altrettante piante per ogni trattamento dei 3 blocchi.

Ripetendo le misure di fluorescenza della clorofilla *a* del fotosistema II (PSII) al buio e a luce saturante sulla stessa foglia è stato possibile determinarne i valori minimi (F_0 e F_0') e massimi (F_m e F_m') di fluorescenza, il valore allo stato stazionario nelle condizioni ambiente (F_s) e i valori di radiazione in cui è stata condotta la misura (PAR). Da queste variabili di base sono stati poi calcolati altri indici di fluorescenza:

- Efficienza quantica massima del PSII in foglie adattate al buio: $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$
- Dissipazione non-fotochimica sotto forma di calore: $NPQ = (F_m/F_m') - 1$
- Ripartizione dell'efficienza quantica nelle sue tre componenti: $\phi_{II} + \phi_{NO} + \phi_{NPQ} = 1$



Sono stati effettuati anche dei profili di fluorescenza e riflettanza lungo la chioma dei semenzali a partire dall'apice, per verificarne la variazione dei valori di F_v/F_m e degli indici di riflettanza lungo la chioma e guidare il campionamento delle foglie all'interno dei semenzali. Queste analisi hanno mostrato che mediamente il valore di efficienza quantica massima è minimo per la prima foglia apicale ($F_v/F_m = 0.78 + 0.007 \text{ SD}$), crescente nelle prime 2-9 foglie (media + SD, 5 + 3 foglie), per stabilizzarsi su valori di 0.81 dalla 9a foglia. Nel primo anno sono state effettuate anche curve di rilassamento dei fotosistemi al buio, misurando i valori di efficienza quantica alla luce saturante e dopo 1', 5', 10', 20', 45', 120' e 16 ore di buio, ne è risultato che nei semenzali già dopo 5-20 minuti di buio il valore di efficienza quantica era pari a 91% e 95% del valore massimo misurato il mattino successivo, dopo 16 ore di buio (F_v/F_m).

Le misure di riflettanza sono state ottenute normalizzando il segnale di riflettanza rispetto a una superficie lambertiana bianca di riferimento e dopo aver tolto dai singoli spettri di riflettanza il rumore elettrico (noto come misura di nero o dark). Dagli spettri sono stati poi calcolati i seguenti indici, scelti per la loro ampia applicazione e capacità di monitorare la dissipazione non-fotochimica e assimilazione fotosintetica:

- PRI (*Photochemical Reflectance Index*): a metà giornata ($\text{PRI} = (R_{531 \text{ nm}} - R_{570 \text{ nm}}) / (R_{531 \text{ nm}} + R_{570 \text{ nm}})$), prima dell'alba (PRI_{pd}) e la loro differenza (ΔPRI)
- NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*): contenuto fogliare di clorofilla $(R_{750 \text{ nm}} - R_{705 \text{ nm}}) / (R_{750 \text{ nm}} + R_{705 \text{ nm}})$
- REIP: punto di flesso tra 680 nm e 750 nm nel red-edge
- WI (*Water Index*): contenuto fogliare di acqua $R_{900 \text{ nm}} / R_{970 \text{ nm}}$

In concomitanza con queste campagne di misura sono stati determinati anche gli scambi gassosi con Li-6400 XTF (LI-COR, USA) sul medesimo sottocampione formato dalle sole tesi Co-St e Pe-St. Tali misure hanno permesso di quantificare i flussi di anidride carbonica e acqua in entrata (Reference) e nella camera (Sample), in condizioni ambientali controllate per intensità luminosa (PAR, radiazione fotosinteticamente attiva, 400 – 700 μmol fotoni $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).



1), temperatura (in °C), concentrazione di anidride carbonica (C_a in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aria}^{-1}$ o ppm) ed umidità relativa dell'aria (RH, %). L'illuminazione nella cuvette è ottenuta con LED rossi e blu, con possibilità di impulsi saturanti a LED bianchi per la misura dei parametri di fluorescenza modulata. Sono state stimate:

- l'assimilazione netta di CO_2 (A in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- la traspirazione (E in $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- l'apertura stomatica in termini di conduttanza stomatica all'acqua (g_s in $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- la concentrazione intercellulare di CO_2 (C_i in $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aria}^{-1}$ o ppm)
- la differenza di pressione di valore tra la foglia e l'aria (v_{pd} in kPa)
- rapporto C_i/C_a , dove C_a è la concentrazione ambiente di CO_2 in ppm.

Sono state eseguite misure di risposta alla CO_2 (curve $A - C_i$) a 30°C con un flusso di variazione della concentrazione di anidride carbonica ambiente, C_a , da 50 ppm a 2000 ppm e curve di luce a CO_2 ambiente ($C_a = 400$ ppm), variando la PAR da 0 a 1500 $\mu\text{mol fotoni m}^{-2}\text{-s}^{-1}$, in 9 livelli di PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$: 0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1100, 1500), acclimatando ad ogni livello per 6 minuti.

A partire dal mese di novembre 2017 è iniziata la selezione del materiale destinato alle prove previste nel 2018. Una parte dei lotti di postime prodotto, per ogni specie e per combinazione di substrato e fertilizzazione, è stata sottoposta ad analisi distruttive in laboratorio al fine di caratterizzare in maniera più dettagliata le caratteristiche morfologiche delle piantine, considerando sia l'apparato epigeo sia quello ipogeo. Sono state misurate 20 piante per specie per combinazione, in totale di 360 semenzali. Le misurazioni si sono svolte presso i laboratori del GESAAF.

Per analizzare le radici, le e piantine sono state estratte dai contenitori e il substrato è stato delicatamente rimosso con l'ausilio di acqua.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF
DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI



Figura 7: piante di leccio in
combinazione Co-St



Figura 8: piante di roverella in
combinazione Co-K

Le variabili misurate e calcolate sono state le seguenti.

- Altezza totale (H)
- Lunghezza e numero dei flussi
- Numero internodi per flusso
- Rapporto H/N flussi
- Rapporto lunghezza flusso/N internodi
- Numero di foglie
- Area fogliare
- Specific Leaf Area (SLA)
- Biomassa fogliare



- Biomassa del fusto
- Biomassa della porzione epigea
- Diametro al colletto (d)
- Rapporto H/d
- Lunghezza della radice principale
- Volume radicale
- Numero di radici di primo ordine (FOLR) suddivise per diametro della radice all'inserzione sul fittone. Sono state considerate le seguenti categorie
 - FOLR <1mm
 - FOLR 1-5 mm
 - FOLR >5 mm
- Biomassa della radice principale
- Biomassa delle radici di primo ordine (FOLR) <1mm
- Biomassa delle radici di primo ordine (FOLR) 1-5 mm
- Biomassa delle radici di primo ordine (FOLR) >5 mm
- Biomassa dell'apparato radicale
- Biomassa totale
- Rapporto tra biomassa aerea e radicale

I dati morfologici sono stati elaborati con il software Statistica (Statsoft ver 10, USA). Tutte le analisi statistiche relative alla parte di fisiologia sono state condotte in ambiente R (<https://www.rstudio.com/>) calcolando per ogni variabile le statistiche di base e saggiando la normalità della distribuzione delle osservazioni con il test di Shapiro. Nel caso in cui la distribuzione è risultata normale, sono state effettuati i confronti tra i trattamenti con l'analisi della varianza o il test di Student, altrimenti sono stati applicati i test non parametrici come Kruskal-Wallis e il test di Dunn per il confronto post-hoc dei diversi livelli (nel caso fossero più di due come nel caso delle specie e fertilizzazioni). Se non altrimenti indicato, nel testo

vengono riportati i valori medi seguiti dalla deviazione standard (SD).



Figura 9: apparati radicali di due campioni di farnia allevati in diverse combinazioni substrato/concimazione



Figura 10: campioni per l'analisi della biomassa per pianta (da sinistra: radice principale, FOLR tra 1 e 5 mm, FOLR <1mm, fusto)



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF
DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI



Figura 11: preparazione campioni fogliari per misura SLA



Figura 12: misura biomassa per calcolo SLA



Figura 13: misura biomassa fogliare



Figura 14: misura volume radicale



b. Principali risultati

Caratteri morfologici

- Levata delle plantule

In base al tempo trascorso tra semina e levata ogni pianta è stata assegnata ad una delle 8 classi di germinazione, con ampiezza di 10 giorni, identificate come segue: 1-10 gg, 11,20 gg, 21-30 gg, 31-40 gg, 41-50 gg, 51-60 gg, > 61 gg. Per ogni specie e per ognuno dei 6 trattamenti (substrato/concimazione) sono state analizzate le frequenze di levata con il test del χ^2 .

Nella farnia (Fig. 15) si osserva un rapido picco di frequenze di nascite nelle prime settimane, seguite da una diminuzione quasi altrettanto veloce: il 78,4% delle levate si colloca infatti tra i 20 e i 30 giorni successivi alla semina ed il restante 15,7% si distribuisce nelle restanti quattro classi di levata. Il leccio (Fig. 17) dimostra un andamento di levata molto più omogeneo nel tempo, con il 72,6% di frequenze nel periodo compreso tra i 20 e i 50 giorni post semina. Infine, riguardo alla roverella (Fig. 16), si osserva un inizio di germinazione consistente già dopo 10 giorni dalla semina, che continua fino alla classe 41-50 gg; in totale il 63% delle frequenze risultano distribuite tra i 10 e i 50 giorni dalla semina.

È stato inoltre osservato che ogni volta in cui l'analisi statistica fornisce risultati significativi, emergono gruppi omogenei separati in relazione al substrato: tendenzialmente nei trattamenti con torba le piantine hanno mostrato frequenze di levata più tardive e più distribuite nel tempo, le piantine allevate in cocco invece tendono ad avere levate anticipate e concentrate in 2 classi. Ciò nonostante, le percentuali di germinazione totale delle piantine coltivate in cocco e torba risultano simili, con differenze minori del 2% tra i substrati; fa eccezione la farnia, dove le frequenze di levata delle piantine allevate in torba superano quelle coltivate in cocco del 3,9%.

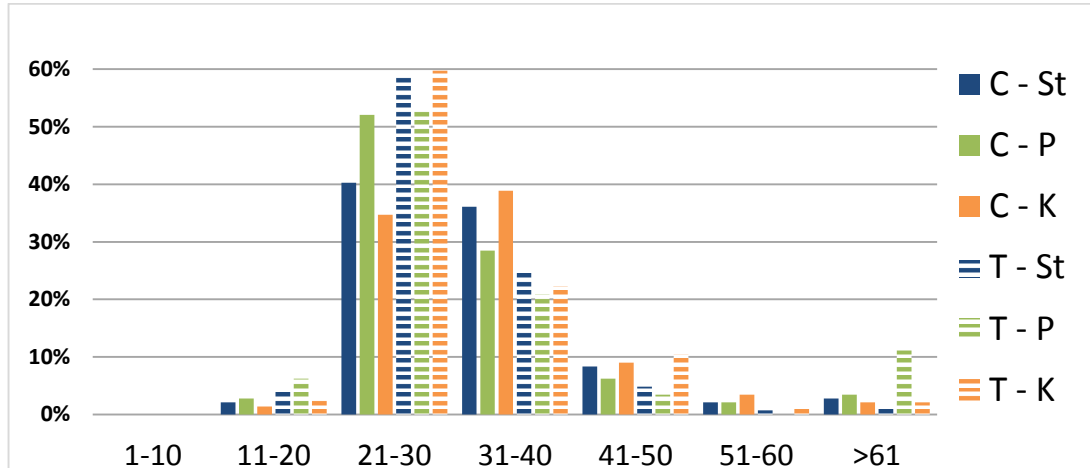


Figura 15: Farnia - frequenze di levata in percentuale nelle varie classi di germinazione

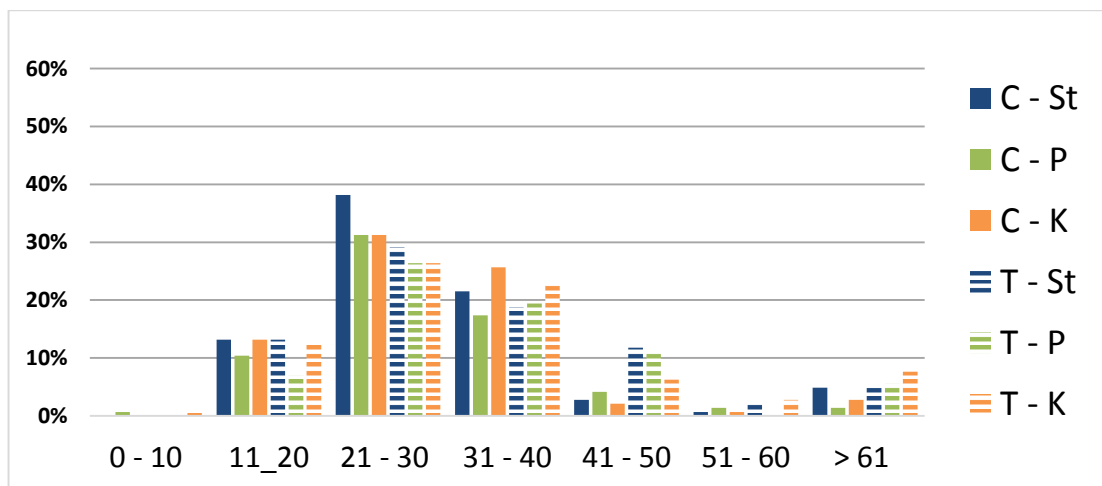


Figura 16: Roverella - frequenze di levata in percentuale nelle varie classi di germinazione

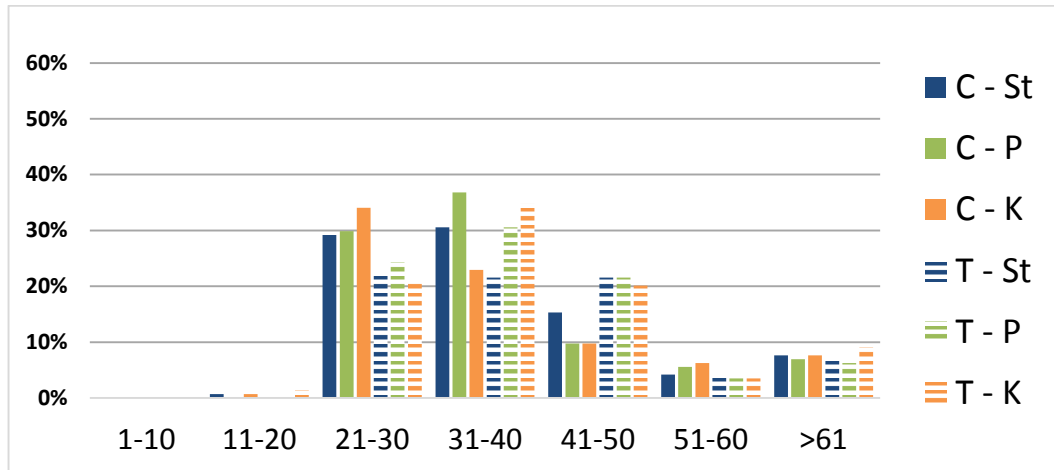


Figura 17: Leccio - frequenze di levata in percentuale nelle varie classi di germinazione

- Altezza del postime e flussi di crescita

I dati sulle altezze sono stati elaborati costruendo delle curve di crescita (Fig. 18, 19, 20) che mostrano lo sviluppo delle piantine allevate nei vari trattamenti, dalla semina fino alla fine della stagione vegetativa. È stato poi calcolato il tasso di crescita relativo (RGR) dei vari trattamenti per analizzare i picchi di crescita. Le valutazioni sono state fatte considerando sia l'abbinamento substrato/concimazione sia il solo substrato.

La torba si rivela essere il substrato in cui crescono semenzali con altezze maggiori per tutte e tre le specie, sempre con differenze significative rispetto al cocco.

In generale le differenze tra substrati si delineano dopo 2 mesi dalla semina. L'RGR mostra come per tutte le specie vi siano stati 3 picchi di crescita: nel primo picco i semenzali in torba hanno incrementi maggiori mentre nell'ultimo sono le piantine in cocco quelle che crescono maggiormente. Il picco intermedio ha andamento diverso tra le varie specie. È possibile anche fare una sovrapposizione tra i picchi di RGR e il manifestarsi di flussi di crescita.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

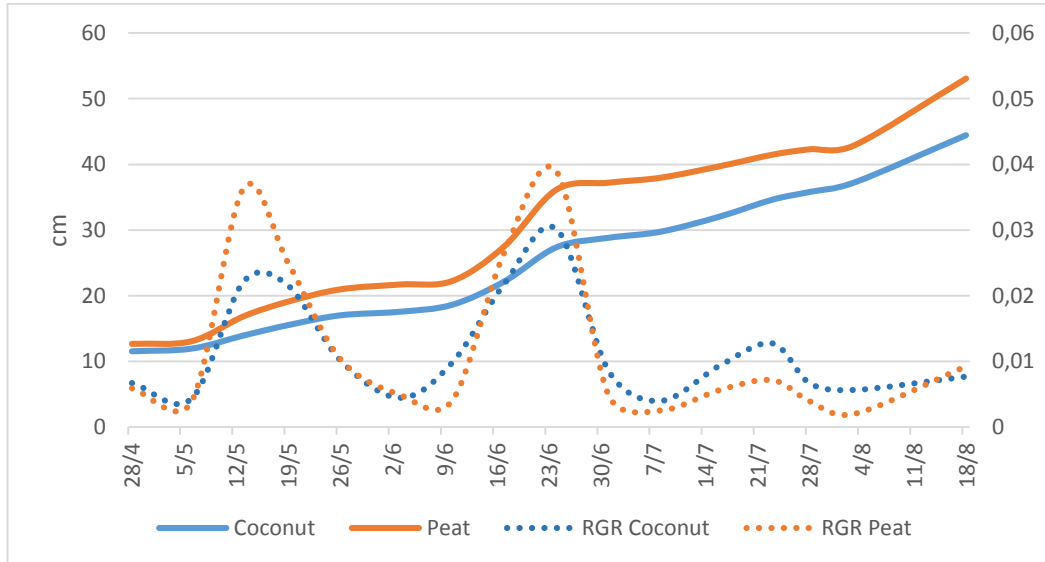


Figura 18: Farnia - curve di crescita e RGR per trattamenti riuniti in cocco e torba

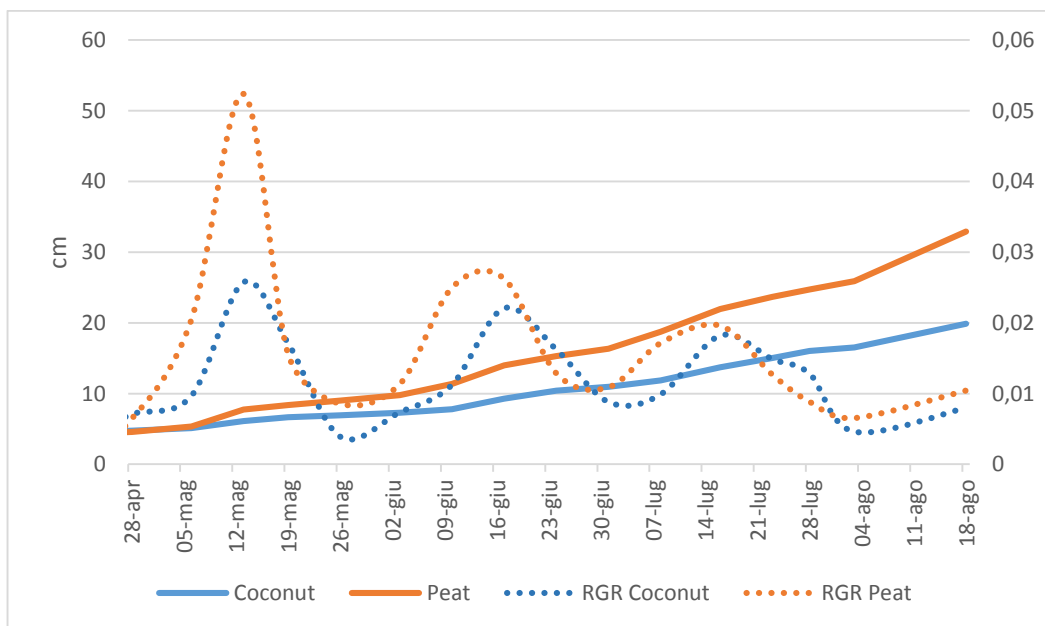


Figura 19: Roverella - curve di crescita e RGR per trattamenti riuniti in cocco e torba

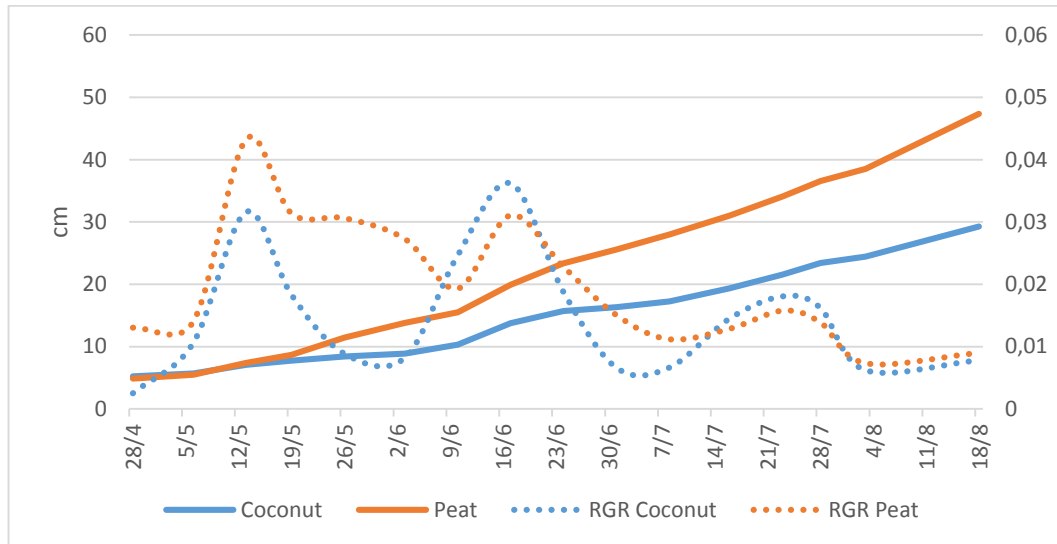


Figura 20: Leccio - curve di crescita e RGR per trattamenti riuniti in cocco e torba

A fine stagione le piante di farnia, leccio e roverella hanno raggiunto una altezza media rispettivamente pari a: 50,7, 43,3 e 29,1 cm.

Per tutte e 3 le specie le piantine allevate in cocco, indipendentemente dal tipo di concimazione, hanno raggiunto altezze significativamente minori dal punto di vista statistico rispetto a quelle cresciute in torba, con differenze più o meno marcate a seconda della specie: per il leccio si ha la differenza maggiore pari a 17,3 cm mentre per la farnia si registra la differenza minore pari a 12,2 cm. A livello di concimazioni è il potassio l'elemento associato a un maggiore sviluppo, sia in cocco che in torba e per tutte le specie.

Se si analizza il numero medio di flussi di crescita in relazione alle altezze medie raggiunte, si notano delle differenze sostanziali tra le specie. Per la farnia l'analisi della varianza non ha rivelato differenze tra i trattamenti per quanto riguarda il numero di flussi, quindi la maggiore altezza delle piantine in torba è determinata da getti di crescita più lunghi. Per roverella e leccio si hanno invece due andamenti opposti: nella roverella i trattamenti con cocco hanno meno flussi di crescita e ciò si riflette nella superiorità delle piantine allevate in torba per le maggiori altezze raggiunte. Nel leccio, al contrario, sono i semenzali cresciuti in cocco quelli



che sviluppano un flusso in più, perciò le altezze maggiori delle piante allevate in torba sono da attribuire a un maggior allungamento dei getti di crescita delle stesse.

- Analisi della biomassa

Considerando la biomassa epigea è stato notato come, per tutte le specie, i trattamenti con fibra di cocco (e in particolare Co-St e Co-P) presentino semenzali sempre inferiori in termini di peso rispetto a quelli con torba. Le biomasse maggiori si riscontrano nelle piantine allevate nella combinazione Pe-K (seguite dai semenzali allevati in Pe-P e Pe-St) che raggiungono un peso anche doppio rispetto alla migliore delle tesi in cocco, come ad esempio nella roverella, per Pe-K contro Co-K. La tesi Co-K risulta la migliore tra quelle con fibra di cocco e nella farnia riesce ad essere superiore al trattamento Pe-St.

Per quanto riguarda la radice principale, che in tutti i casi ha raggiunto il fondo del contenitore (massimo sviluppo possibile), non si riesce ad individuare un comportamento comune per le tre specie. Nel leccio si ha di nuovo una netta separazione tra le tesi cocco e torba, con quest'ultima leggermente superiore (4,6 g in media contro 3 g in cocco, massimo sviluppo in Pe-K con 5,8 g). Nella farnia e roverella non si evidenziano differenze a livello statistico e nemmeno una stessa graduatoria; nel caso della farnia è la tesi Co-K quella che raggiunge il peso maggiore, mentre per la roverella lo stesso trattamento è tra quelli con biomassa minore. Le differenze maggiori tra i vari trattamenti si osservano per la biomassa delle radici di primo ordine intermedie (FOLR comprese tra 1-5 mm). Al contrario di quanto descritto per la radice principale, il leccio è la specie che dimostra le differenze minori, ma sempre con Pe-K come tesi superiore (2,7 g) seguita dalle altre combinazioni con torba. Anche per farnia e roverella i pesi maggiori sono raggiunti in torba (per la farnia 2,4 g in cocco e 3,6 g in torba; per la roverella 0,4 g e 1,3 g), ma a livello statistico si evidenzia una maggiore diversificazione tra le tesi con peso inferiore (Co-St e Co-P), le intermedie (Co-K, Pe-St e Pe-P) e quella con peso superiore (Pe-K). Passando ad analizzare le biomasse delle altre categorie di radici di primo ordine considerate (< 1 mm e > 5 mm), si osserva che per tutte e 3 le specie non vi è



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

differenza statisticamente significativa tra i trattamenti anche se, relativamente alle radici più fini, si riscontra una leggera disuguaglianza numerica, nell'ordine della decina di unità, tra le varie tesi: in farnia e roverella tale varietà viene evidenziata anche a livello statistico, ma non si rileva né un andamento unico per tutte le specie né una separazione tra substrati.

In generale, le piantine che si sono sviluppate maggiormente sono quelle allevate nella combinazione Pe-K, mentre per Co-St si riscontrano le biomasse minori, con valori di variazione percentuale che vanno dal 44% per la farnia al 61% per il leccio. Nell'insieme, le concimazioni su substrato in torba hanno prodotto più biomassa e superano la migliore con cocco del 27%; fa eccezione la farnia, in cui il trattamento Co-K supera, se pur di poco, quello Pe-St (8% di differenza). È interessante evidenziare la differenza di ripartizione della biomassa tra organi ipogei ed epigei che emerge tra le varie tesi. Infatti, le piantine allevate in cocco risultano avere le maggiori percentuali di biomassa allocata nell'apparato radicale. Nel leccio, in media, il 44% della biomassa prodotta dalle piantine allevate in cocco è allocata nelle radici, contro il 40% per le piantine in torba. Per la farnia e la roverella le percentuali aumentano, così come la differenza tra i due substrati: nelle piantine di farnia agli organi ipogei è stato destinato il 55% e il 49% di biomassa per cocco e torba rispettivamente. Le percentuali maggiori sono state evidenziate per la roverella, che raggiunge il 61% di biomassa allocata agli organi radicali nelle tesi con cocco, contro il 55% nei trattamenti con torba.

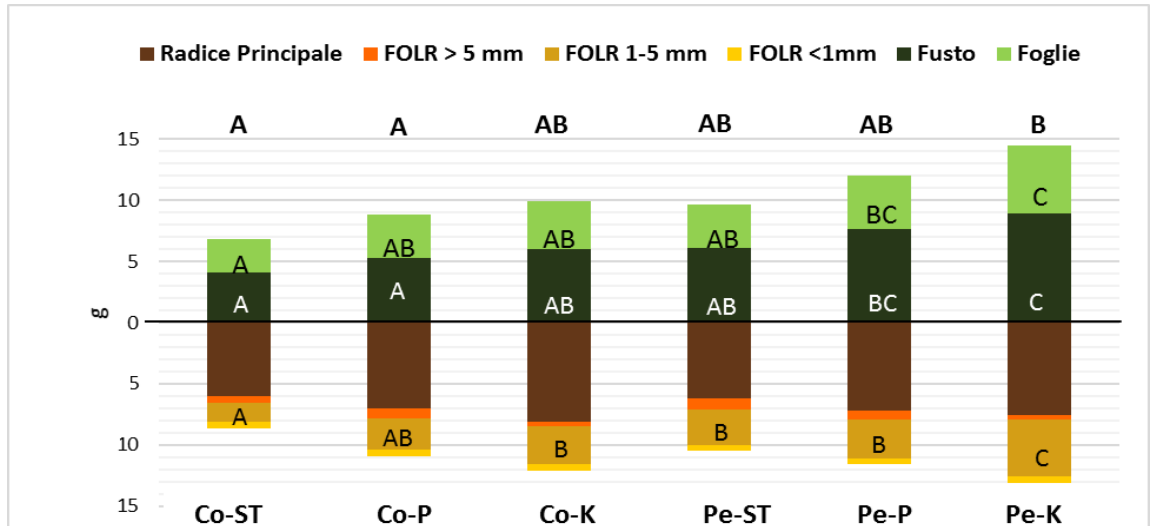


Figura 21: Farnia - distribuzione della biomassa in grammi nelle singole parti della pianta, risultati dell'ANOVA e post-hoc test: lettere diverse indicano diversità statistica (le lettere in alto si riferiscono all'analisi per biomassa totale).

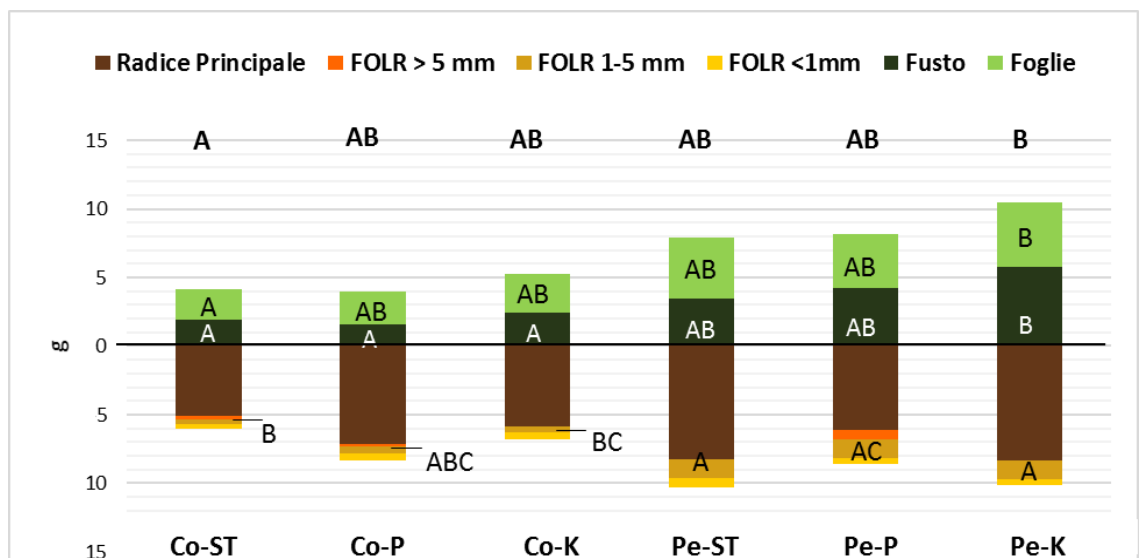


Figura 22: Roverella - distribuzione della biomassa in grammi nelle singole parti della pianta, risultati dell'ANOVA e post-hoc test: lettere diverse indicano diversità statistica (le lettere in alto si riferiscono all'analisi per biomassa totale).

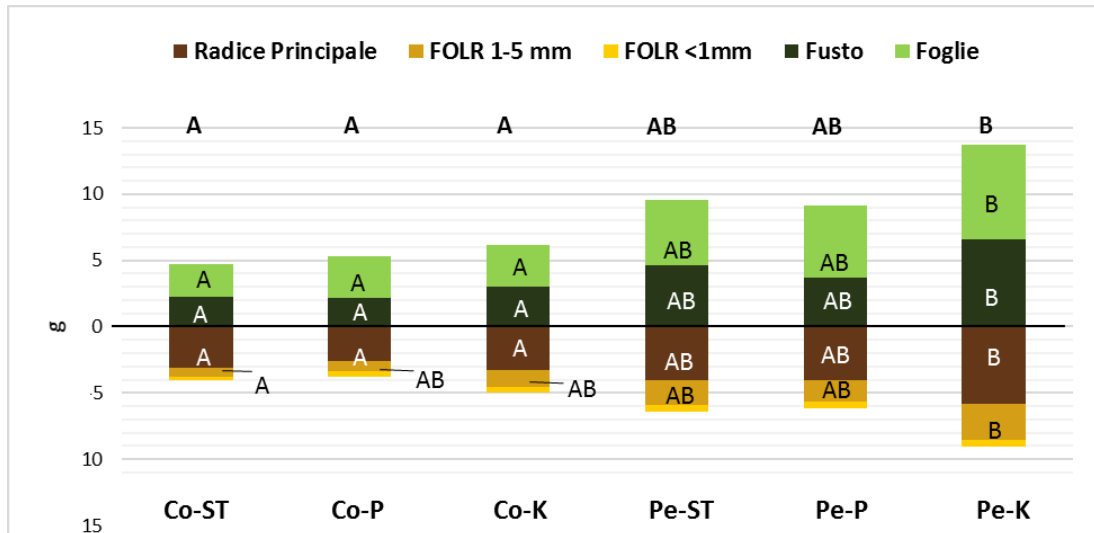


Figura 23: Leccio - distribuzione della biomassa in grammi nelle singole parti della pianta, risultati dell'ANOVA e post-hoc test: lettere diverse indicano diversità statistica (le lettere in alto si riferiscono all'analisi per biomassa totale).

- Analisi dei contenuti chimici

Una parte delle piantine utilizzate per le prove distruttive è stata ulteriormente destinata ad un'analisi del contenuto dei principali macro-elementi. L'analisi è stata fatta sia sull'intera biomassa sia sulle singole componenti foglie, fusto radici. È in corso l'analisi statistica dei risultati.

Tabella 1: analisi dei contenuti chimici (NPK) per specie e per trattamento. Valori in mg/g

farnia		N	P	K
Co	St	8,64	0,98	7,21
	P	8,17	1,25	6,35
	K	7,54	1,15	4,13
Pe	St	8,48	1,02	4,83
	P	8,92	1,68	3,85
	K	8,17	1,65	5,90



roverella		N	P	K
Co	St	7,64	0,99	6,14
	P	7,70	1,18	6,31
	K	7,81	1,32	6,75
Pe	St	7,39	1,09	6,86
	P	8,26	1,62	7,02
	K	7,65	1,53	6,37
leccio				
Co	St	8,62	0,81	7,80
	P	7,79	0,92	8,50
	K	7,15	0,89	8,21
Pe	St	6,17	0,76	7,72
	P	6,29	0,86	8,84
	K	5,46	0,83	7,52

- Analisi del substrato

A fine stagione vegetativa è stato raccolto un campione di substrato da ogni combinazione specie x trattamento x blocco per analizzare quanti macro-elementi forniti a inizio stagione tramite concimazione erano rimasti nel substrato di crescita.

Tabella 2: pH, conducibilità elettrica e elementi contenuti nel substrato a fine stagione per specie e trattamento

Specie/ trattamen to		pH	CE (mS/cm a 25°C)	N nitrico (meq/l)	N ammon.le (meq/l)	P (meq/l)	K (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)
farnia										
Co	St	7,27	0,40	0,90	0,99	0,25	0,63	1,33	0,32	0,13
	P	6,97	0,45	1,52	1,55	0,22	0,82	1,36	0,34	0,34
	K	7,03	0,32	0,17	0,49	0,18	0,93	1,02	0,27	0,12
Pe	St	7,03	0,46	1,31	0,84	0,22	0,69	1,63	0,48	0,26
	P	6,77	0,55	1,78	1,34	0,25	0,94	1,93	0,59	0,28
	K	6,87	0,49	0,87	0,89	0,30	1,04	1,67	0,56	0,24



Specie/ trattamen to		pH	CE (mS/cm a 25°C)	N nitrico (meq/l)	N ammon.le (meq/l)	P (meq/l)	K (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)
roverella										
Co	St	7,23	0,27	0,62	0,79	0,18	0,45	0,78	0,19	0,11
	P	7,07	0,49	1,29	1,27	0,23	1,30	1,23	0,32	0,10
	K	6,93	0,37	0,60	0,66	0,17	0,87	1,15	0,27	0,09
Pe	St	7,07	0,39	1,06	0,83	0,18	0,55	1,29	0,33	0,20
	P	6,87	0,56	1,99	1,52	0,26	0,84	2,07	0,53	0,25
	K	6,90	0,38	0,62	0,53	0,14	0,80	1,53	0,38	0,21
leccio										
Co	St	7,30	0,40	0,95	0,93	0,21	0,75	1,26	0,32	0,12
	P	6,90	0,38	1,05	1,21	0,26	0,75	1,16	0,30	0,12
	K	6,97	0,36	0,13	0,34	0,18	1,21	1,11	0,27	0,20
Pe	St	7,07	0,29	0,59	0,37	0,14	0,43	1,14	0,26	0,22
	P	6,73	0,34	0,99	0,66	0,17	0,55	1,33	0,33	0,17
	K	6,67	0,40	0,38	0,30	0,14	1,07	1,61	0,40	0,19

Caratteri fisiologici

- Correlazioni tra indici

Gli indici di riflettanza e fluorescenza sono risultati tra loro scarsamente correlati. Una moderata correlazione ($R^2 = 0,2$) è stata osservata tra i contenuti di clorofilla (NDVIm o REIP) e gli indici di dissipazione non fotochimica (NPQ, Φ_{NPQ} e Φ_{NO}), mentre in queste condizioni ottimali di allevamento e di condizioni ambientali, fenologiche e stagionali gli indici di riflettanza PRI (all'alba, metà giornata o ΔPRI) non risultano correlati all'efficienza quantica all'alba o in condizioni di luce saturante (F_v/F_m e Φ_{II} , rispettivamente), ma moderatamente agli indici di dissipazione non fotochimica espressi come NPQ, Φ_{NO} o Φ_{NPQ} (Tabella 3).

All'interno del gruppo di indici di riflettanza è stata osservata una stretta correlazione solo tra NDVIm e REIP ($R^2_{adj} = 0.86$, $N = 270$, $R^2_{adj} = 0.84$, $N = 54$; $P < 0.000$) e tra PRI e ΔPRI ($R^2_{adj} = 0.84$, $N = 270$, $R^2_{adj} = 0.91$, $N = 54$; $P < 0.000$).



Tabella 3: Matrice di correlazione ($R_{2,adj}$) tra indici di fluorescenza ed indici di riflettanza, $N = 54$ (3 blocchi x 3 specie x 2 substrati x 3 fertilizzazioni); * con $P < 0.05$

Indice	Fv/Fm	NPQ	Φ_{II}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}
NDVIm	-0.012	0.209*	0.084*	0.183*	0.178*
REIP	-0.016	0.248*	0.097*	0.215*	0.216*
WI	0.214*	-0.016	-0.017	-0.014	-0.013
PRI	-0.006	0.324*	0.035	0.193*	0.317*
PRI_{pd}	-0.018	0.059*	-0.012	0.030*	0.080
ΔPRI	-0.005	0.298*	0.036	0.177*	0.278*

All'interno del gruppo di indici di riflettanza è stata osservata una stretta correlazione solo tra NDVIm e REIP ($R_{2,adj} = 0.86$, $N = 270$, $R_{2,adj} = 0.84$, $N = 54$; $P < 0.000$) e tra PRI e Δ PRI ($R_{2,adj} = 0.84$, $N = 270$, $R_{2,adj} = 0.91$, $N = 54$; $P < 0.000$).

Nel gruppo di fluorescenza gli indici di dissipazione non fotochimica che sono risultati fortemente correlati sono NPQ con Φ_{NO} sia per singola osservazione ($N = 270$) o come media per blocchi ($R_{2,adj} = 0.88$, $N = 270$; $R_{2,adj} = 0.94$, $N = 54$; $P < 0.000$) e Φ_{NPQ} ($R_{2,adj} = 0.63$, $N = 270$; $R_{2,adj} = 0.70$, $N = 54$; $P < 0.000$). Inoltre, una buona correlazione è stata osservata sia tra Φ_{II} e Φ_{NPQ} ($R_{2,adj} = 0.83$, $N = 270$; $R_{2,adj} = 0.76$, $N = 54$; $P < 0.000$), che tra Φ_{NPQ} e Φ_{NO} ($R_{2,adj} = 0.49$, $N = 270$; $R_{2,adj} = 0.60$, $N = 54$; $P < 0.000$). Fv/Fm e WI non sono correlati a nessun altro indice.

- Effetto dei trattamenti

Solo alcune delle variabili di fluorescenza e riflettanza risultano distribuite normalmente. Il test di Shapiro non è risultato significativo per PAR, NPQ, Φ_{NPQ} e NDVIm e marginalmente anche Φ_{II} ($P_{Shapiro} < 0.033$, $N = 270$); mentre la distribuzione non è risultata normale ($P < 0.000$) per le altre variabili fisiologiche: Fv/Fm, Φ_{NO} , REIP, WI, PRI, PRI_{pd} e Δ PRI. Data la presenza di un notevole numero di variabili non normalmente distribuita, si è proceduto all'analisi non parametrica dei dati tramite analisi ad una via dei singoli trattamenti (Specie, Substrati, Fertilizzazioni) con il test Kruskal-Wallis della somma dei ranghi. Se il valore di P del test è risultato significativo, nel caso in cui si debbano confrontare più di due livelli (specie e fertilizzazione), si è proceduto al confronto delle medie con il test di Dunn, il cui valore di



significatività P è stato corretto con il metodo Benjamini-Hochberg.

Il principale risultato dell'analisi statistica è l'assenza di differenze significative attribuibile ai trattamenti saggiati per PRI (all'alba, in luce saturante e Δ PRI) e per Φ_{II} in condizioni di luce saturante (Tabella 4). Al contrario, tutti e tre i trattamenti sono significativi per NDVIm, REIP e Φ_{NPQ} . I primi due indici quantificano i contenuti di clorofilla fogliare e sono tra loro strettamente e positivamente associati ($R = 0.944$; $R2_{adj} = 0.857$, $P < 0.000$, $N = 270$). Il terzo indice, Φ_{NPQ} , quantifica la frazione sul totale della dissipazione dell'energia in eccesso regolata dal ciclo delle xantofille, ovvero la capacità delle piante a tollerare condizioni di luce saturante in cui vi è un eccesso di energia, senza incorrere in danni fisiologici.

- Confronto tra specie

Tra le tre specie di quercia, il leccio mostra un maggiore contenuto di clorofilla (NDVIm e REIP) rispetto alle altre due specie decidue, che risultano a loro volta differenti. Ne consegue che i contenuti di clorofilla (NDVIm) sono decrescenti come segue: leccio > roverella > farnia.

Applicando l'equazione di Richardson et al. (2002) è stato possibile stimare i contenuti di Chl (mg cm^{-2}) nelle tre specie pari a 0.031, 0.028 e 0.026 mg cm^{-2} , rispettivamente, del 10% e 20% maggiori in roverella e leccio rispetto alla farnia. Le tre specie non presentano differenze di efficienza quantica in condizioni di luce saturante, Φ_{II} mediamente pari a 0.21 (+ 0.01 SD, $N = 270$, Kruskal-Wallis $P > 0.100\text{NS}$). Il leccio, rispetto alle altre due specie, mostra una minore dissipazione Φ_{NPQ} (0.52) rispetto alle specie decidue (0.58), tra loro non differenti, compensata dalla maggiore dissipazione di tipo strutturale: Φ_{NO} , pari 0.25 nel leccio e 0.22 nelle querce decidue. Inoltre, il leccio presenta una leggera ma significativa riduzione di efficienza massima di fluorescenza F_v/F_m pari a 0.78 (+ 0.02 SD) rispetto alle querce decidue (0.80 + 0.02 SD). I valori di F_v/F_m sono comunque sempre superiori a 0.7, indicando assenza di danni permanenti ai fotosistemi, come peraltro atteso nelle condizioni ottimali di vivaio (media generale pari a 0.79 + 0.02 SD; min-max: 0.71-0.84; $N = 270$, prossima ai massimi teorici di 0.84).



Tabella 4: Analisi non parametrica ad una via del Kruskal-Wallis rank sum test (P-value). Valori medi e deviazione standard tra parentesi. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative tra le medie con il test di Dunn il cui valore di P è stato corretto con il metodo di Benjamini-Hochberg

	PAR	Fv/Fm	NPQ	Φ_{II}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}		NDVI _m	REIP	WI	PRI	PRI _{pd}	Δ PRI
Specie													
Farnia	1105 (126)	0.795 ^b (0.016)	3.50 ^b (1.070)	0.202 (0.100)	0.581 ^b (0.121)	0.217 ^a (0.048)		0.392 ^a (0.071)	704 ^a (3.2)	1.030 ^a (0.014)	-0.024 (0.036)	0.028 (0.012)	0.052 (0.034)
Leccio	1105 (155)	0.784 ^a (0.017)	2.79 ^a (1.030)	0.230 (0.083)	0.518 ^a (0.115)	0.252 ^b (0.060)		0.452 ^c (0.077)	706 ^b (3.6)	1.040 ^b (0.016)	-0.028 (0.050)	0.027 (0.021)	0.055 (0.049)
Roverella	1105 (140)	0.795 ^b (0.019)	3.58 ^b (1.260)	0.210 ^b (0.112)	0.575 ^b (0.144)	0.215 ^a (0.053)		0.424 ^b (0.060)	705 ^b (2.8)	1.020 ^a (0.020)	-0.033 (0.037)	0.026 (0.018)	0.059 (0.039)
P-value	0.800	0.000	0.000	0.100	0.001	0.000		0.000	0.001	0.000	0.200	0.800	0.300
Substrato													
Torba	1115 (135)	0.793 (0.019)	3.02 ^a (1.07)	0.223 (0.093)	0.538 ^a (0.120)	0.239 ^b (0.053)		0.434 ^b (0.075)	705 ^b (3.5)	1.030 (0.017)	-0.027 (0.044)	0.026 (0.015)	0.053 (0.043)
Cocco	1101 (146)	0.789 (0.017)	3.55 ^b (1.22)	0.205 (0.105)	0.578 ^b (0.136)	0.217 ^a (0.058)		0.412 ^a (0.071)	704 ^a (2.9)	1.030 (0.018)	-0.030 (0.039)	0.028 (0.019)	0.058 (0.038)
P-value	0.400	0.070	0.000	0.900	0.003	0.000		0.009	0.005	0.900	0.200	0.100	0.080
Fertilizzazione													
Standard	1097 (133)	0.791 (0.016)	3.22 (1.160)	0.224 (0.088)	0.544 ^a (0.122)	0.233 (0.061)		0.416 (0.073)	704 ^a (3.080)	1.030 (0.018)	-0.028 (0.041)	0.027 (0.020)	0.055 (0.041)
K	1096 (143)	0.794 (0.022)	3.16 (1.190)	0.224 (0.102)	0.544 ^a (0.133)	0.233 (0.058)		0.441 (0.080)	706 ^b (3.860)	1.030 (0.016)	-0.025 (0.040)	0.027 (0.016)	0.052 (0.040)
P	1130 (144)	0.790 (0.015)	3.48 (1.150)	0.194 (0.105)	0.587 ^b (0.131)	0.219 (0.048)		0.411 (0.064)	704 ^a (2.500)	1.030 (0.018)	-0.032 (0.044)	0.027 (0.014)	0.060 (0.042)
P-value	0.100	0.080	0.200	0.040	0.030	0.400		0.040	0.003	0.500	0.700	0.700	0.800



Nel leccio sono stati osservati anche maggiori contenuti idrici WI, (1.04), rispetto alle querce decidue (1.02). Questi ultimi due indici (Fv/Fm e WI) hanno mostrato solo differenze significative tra le specie, mentre i due substrati messi a confronto (torba e cocco) o le 3 formule di fertilizzazione non sono risultate statisticamente differenti.

- Confronto tra substrati

In giugno, in cocco si osserva una maggiore dissipazione non fotochimica (Tab. 4) sia in termini di NPQ (Kruskal-Wallis $P < 0.000$) sia per il Φ_{NPQ} (cocco vs. torba, 58% vs. 54%; Kruskal-Wallis $P < 0.003$). Questi maggiori valori di Φ_{NPQ} in cocco sono controbilanciati dai minori valori di Φ_{NO} pari a 22% (vs. 24% in torba, Kruskal-Wallis $P < 0.000$), probabilmente in parte influenzato dai minori valori di NDVIm (Kruskal-Wallis $P < 0.009$) e quindi dal contenuto di clorofille totali (pari a 0.028 e 0.030 mg cm⁻² in cocco e torba, rispettivamente). L'efficienza quantica di fluorescenza in luce saturante, Φ_{II} , è risultata simile tra i due substrati e pari a 21% + 1% (Kruskal-Wallis $P > 0.9^{NS}$). Se i risultati vengono analizzati in termini di effetto percentuale del substrato cocco rispetto alla torba, ovvero come $100 \cdot (\text{Cocco} - \text{Torba}) / \text{Torba}$, si ottengono i seguenti valori per gli indici fluorescenza e riflettanza:

- una maggiore e significativa di dissipazione non fotochimica nel cocco pari a +6% per Φ_{NPQ} e 20% per NPQ
- valori non significativi per PRI (+11%^{NS}) e Δ PRI (6%^{NS})
- una significativa riduzione nel cocco dei contenuti di clorofilla (NDVIm), Φ_{NO} e Φ_{II} del -8%, -5% e -5% rispettivamente

A fine luglio, sono state saggiate le differenze attribuibili al substrato su un sottocampione di semenzali delle tre specie sulle tesi Co-St e Pe-St (N =30, 5 per specie x substrato) relativamente agli indici di fluorescenza e scambi gassosi. In questa data le misure sono state rilevate in condizioni ambientali non diverse tra substrati per luce saturante, CO₂, temperatura e deficit di pressione di vapore.

Fv/Fm è poco variabile e leggermente minore in cocco (0.82 + 0.02 SD) rispetto alla torba

(0.83 + 0.02), con un effetto, che sebbene statisticamente significativo (Kruskal-Wallis $P > 0.040$), risulta inferiore all'1% in termini di effetto. La media generale di F_v/F_m è 0.83 (+ 0.02 SD, $N = 99$), con un intervallo di variazione (min-max) pari a 0.78-0.86. In queste stesse condizioni ambientali il cocco non differisce statisticamente dalla torba per gli altri indici di fluorescenza se non per Φ_{II} , con una riduzione in cocco -13%, controbilanciata da un leggero (ma non significativo) aumento di Φ_{NPQ} (+9%) e NPQ (+5%), con una significativa riduzione di contenuti di clorofilla (NDVIm, -9%)

In cocco si osserva inoltre una significativa riduzione di A_{max} (-23%), solo in parte associata alle variabili che indicano una maggiore chiusura stomatica in cocco, che non sono però risultate significative, come la conduttanza stomatica (-22%, $P > 0.07$), traspirazione (-15%, $P > 0.12$), C_i e C_i/C_a (-13%, $P > 0.66$). I valori di A_{max} sono comparabili a quelli osservati per leccio in contenitore (Peña-Rojas et al 2004). In Figura 24 sono riportati i valori di A in curve di luce in CO_2 ambiente e alta CO_2 .

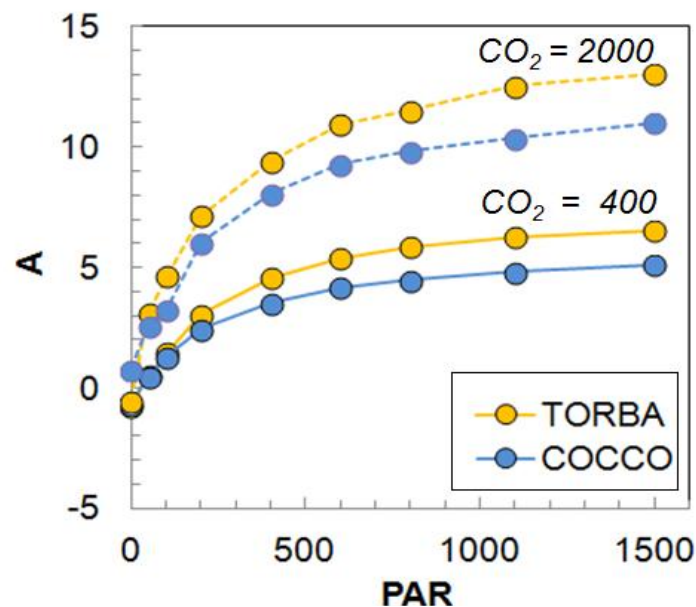


Figura 24: Curve di luce a CO_2 ambiente (= 400 ppm) e in alta CO_2 (=2000 ppm). Assimilazione netta (A in $\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), PAR (radiazione fotosinteticamente attiva in $\mu\text{mol foton} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Media delle tre specie, 15 curve per tipo di substrato.



- Confronto tra regimi di fertilizzazione

A giugno 2017, le tre diverse formulazioni di fertilizzazione non hanno mostrato differenze significative per gli indici di fluorescenza e riflettanza (Tab. 4) ad eccezione di Φ_{II} , Φ_{NPQ} , NDVIm e REIP che risultano avere un effetto significativo ($P < 0.05$).

La concimazione arricchita in P mostra una ridotta efficienza quantica (Φ_{II} -13%) rispetto alle altre due formule di concimazione che non si differenziano tra loro (Kruskal-Wallis $P < 0.763$). Il confronto tra concimazione arricchita in fosforo da un lato e St o K dall'altro risultano al margine della significatività statistica (P vs St: $P < 0.059$ e P vs K: $P < 0.064$). Con l'arricchimento in fosforo si ha una maggiore efficienza di dissipazione non fotochimica Φ_{NPQ} (+9%, Kruskal-Wallis $P < 0.029$). Φ_{NPQ} si differenzia tra P e St e tra P e K, mentre K e St non differiscono. Con l'arricchimento in fosforo il contenuto di clorofilla è simile alla concimazione St (Kruskal-Wallis P , REIP: 0.541NS; NDVIm: =0.089^{NS}), ma inferiore rispetto a K (Kruskal-Wallis P , REIP: 0.004; NDVIm: =0.050^{NS}). Infatti il substrato arricchito in potassio ha maggiori contenuti di clorofilla rispetto ad ognuno degli due substrati (REIP: $P < 0.05$).

- Andamento stagionale

Nell'arco della stagione vegetativa del primo anno, l'andamento stagionale è stato rilevato a metà giugno (primavera), inizio e fine luglio (estate) e metà ottobre (autunno) sulle tesi Co-St e Pe-St. L'efficienza quantica massima al buio (F_v/F_m) è risultata stabile, senza differenze tra i substrati ($P < 0.56^{NS}$), e con un effetto legato al substrato inferiore all'1%. L'efficienza quantica in luce saturante, Φ_{II} , è simile tra i due substrati alla fine della primavera (-8% in cocco rispetto alla torba, $P > 0.05^{NS}$); raggiunge i valori massimi misurati all'inizio dell'estate (30 giugno) con valori elevati per tutto il mese di luglio, mentre i valori di metà ottobre sono comparabili a quelli di metà giugno. Le differenze di Φ_{II} tra torba e cocco sono maggiormente accentuate in estate ed in autunno (-23% cocco rispetto a torba). NPQ a luce saturante non risulta però diverso tra i due substrati nelle tre date di campionamento ($P < 0.115$) tuttavia si

osserva una caratteristica forma concava durante la stagione vegetativa con valori elevati in giugno, minimi in luglio e di nuovo elevato in ottobre per la torba (ma non in cocco).

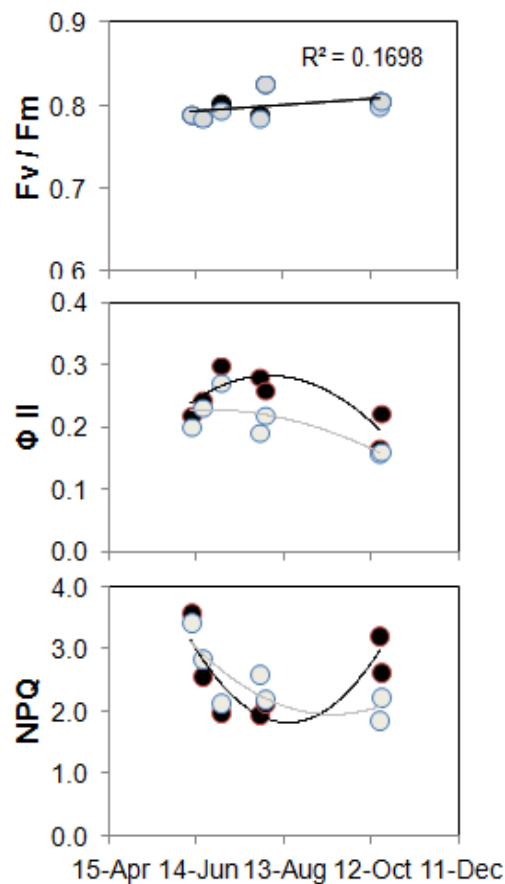


Figura 25: Andamento stagionale degli indici di fluorescenza F_v/F_m , Φ_{II} e NPQ. Torba punti neri; cocco punti bianchi

- Indici di fluorescenza (fluorimetro Handy PEA)

Con la campagna di rilievi parallela eseguita con fluorimetro Handy PEA è stata analizzata la variazione degli indici di fluorescenza con il proseguire della stagione vegetativa su tutte le tesi. I dati sono elaborati prendendo come riferimento il trattamento Pe-St. Si riportano i grafici per le tre specie riferiti alle medie dell'intera stagione vegetativa 2017.

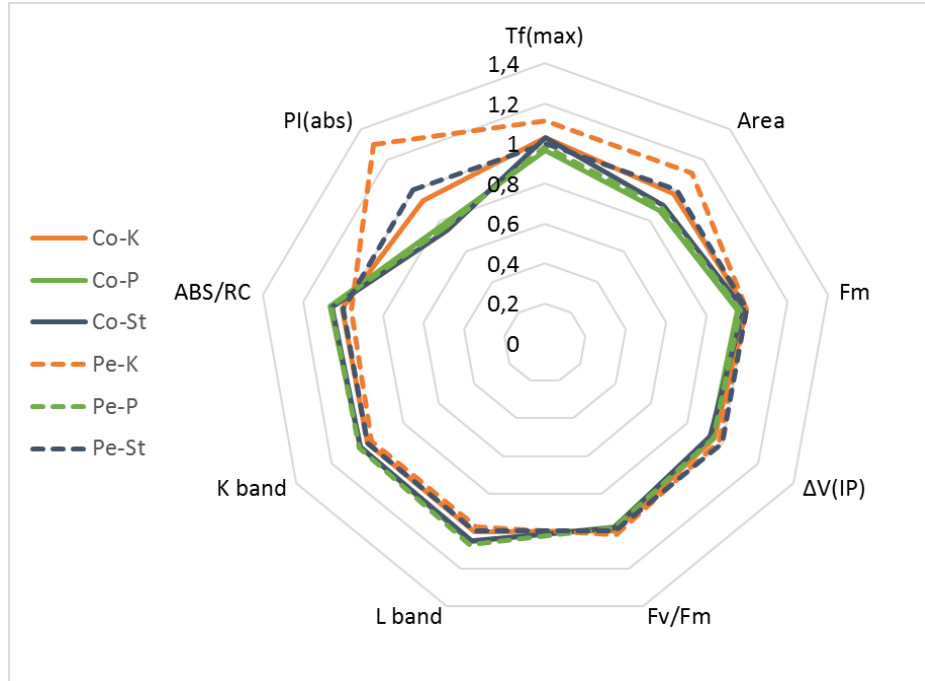


Figura 26: Farnia - indici di fluorescenza nei vari trattamenti. Reference (val.1) Pe-St

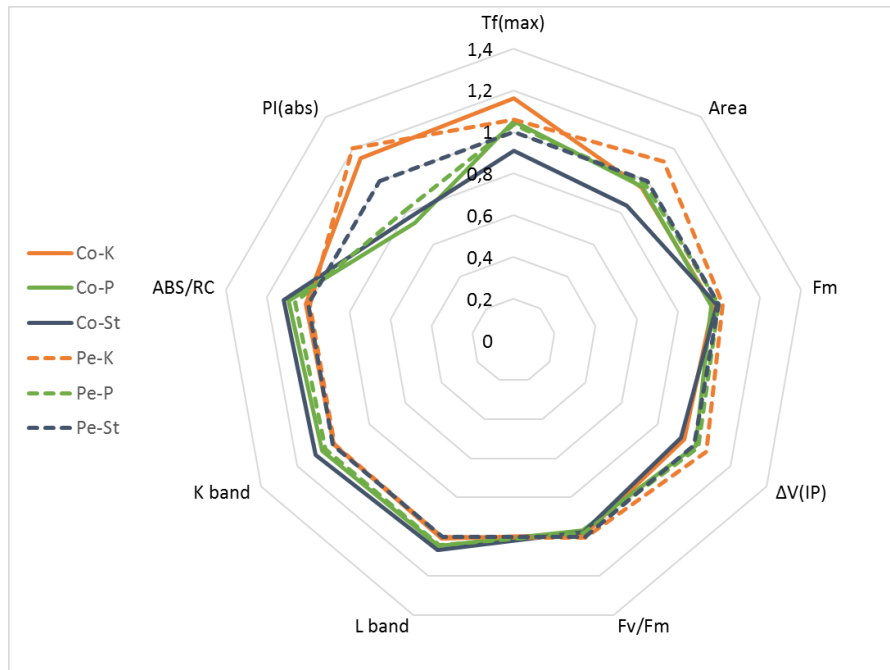


Figura 17- Roverella - indici di fluorescenza nei vari trattamenti. Reference (val.1) Pe-St



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

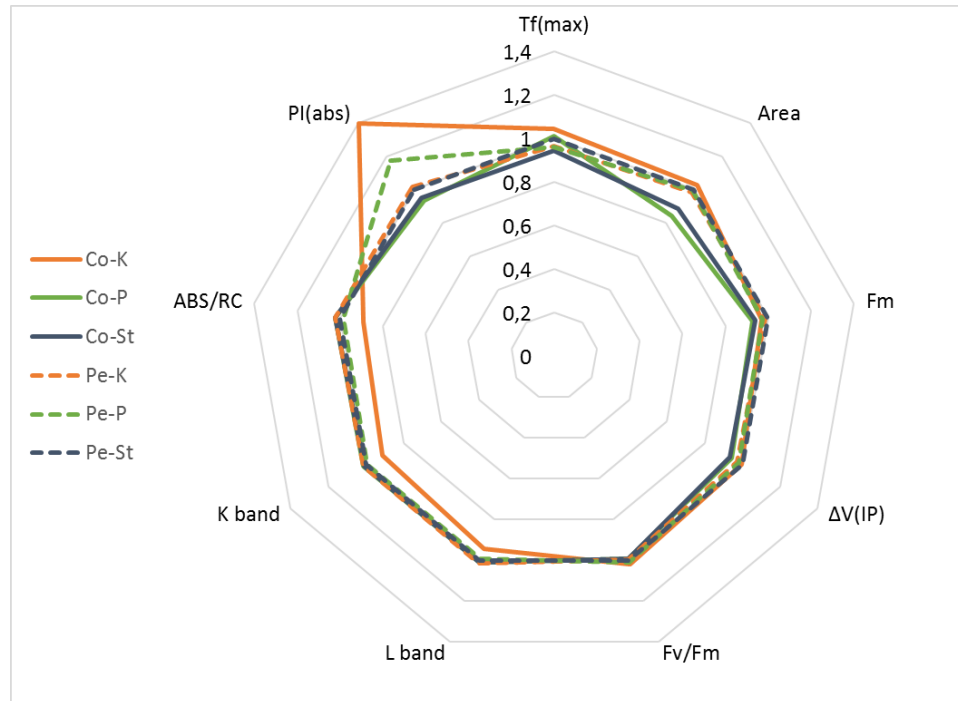


Figura 28: Leccio - indici di fluorescenza nei vari trattamenti. Reference (val.1) Pe-St

Prova di stress idrico in ambiente controllato (stagione vegetativa 2018)

Al fine di valutare la resistenza a periodi di aridità da parte dei lotti di postime prodotto, è stata predisposta una prova di stress idrico controllato. Si tratta di uno speed-test, cioè di un test a durata limitata in cui le piante vengono sottoposte a regimi idrici prefissati, che generalmente prevedono sia un controllo (approvvigionamento a capacità di campo) sia un forte stress (approvvigionamento minimo) al fine di studiarne gli effetti e le potenziali capacità di reazione dei lotti studiati. Per controllare la quantità di acqua somministrata, questo tipo di prove si svolge in serra.



a. Materiali e metodi

In marzo 2018, 45 piantine per specie e per combinazione di substrato e fertilizzazione, sono state trapiantate in contenitori da 3 litri forniti dall'azienda pistoiese Agraria Checchi (cod. VQT3A; 14x14x21). I vasi sono stati riempiti con fibra di cocco e inseriti all'interno di un altro vaso vuoto di colore bianco per ridurre gli effetti del riscaldamento del terriccio. Le piante sono state sistemate in serra all'inizio di aprile 2018. La prova si è svolta in un vivaio di proprietà di Vannucci Piante in zona Valenzatico, in località Quarrata (PT).

Per ogni combinazione di specie x substrato x fertilizzazione è stata prevista l'applicazione di 3 diversi regimi idrici:

1. Controllo: le piante ricevono una quantità di acqua capace di far raggiungere al substrato la piena capacità di campo (no stress);
2. 50%: le piante ricevono il 50% della quantità di acqua necessaria a mantenere la capacità di campo (medio/alto stress);
3. 0%: nessuna disponibilità idrica per le piante (stress massimo).

Alla metà di aprile 2018 sono state eseguite delle prove preliminari per definire, per le tre specie studiate, la quantità di acqua necessaria al mantenimento della capacità di campo e, conseguentemente, sono state calcolate le quantità da somministrare agli altri 2 regimi.

Per ogni combinazione di specie x substrato x fertilizzazione sono state testate 15 piante per regime idrico, per un totale di 810 semenzali. Le piantine travasate sono state posizionate in trine da 90, con doppia irrigazione a goccia su due lati del vaso (circa 60 ml/min per vaso). Ogni trina è composta da una specie, un tipo di concimazione e due substrati. Ogni fila (30 piante) identifica un diverso regime idrico.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF
DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

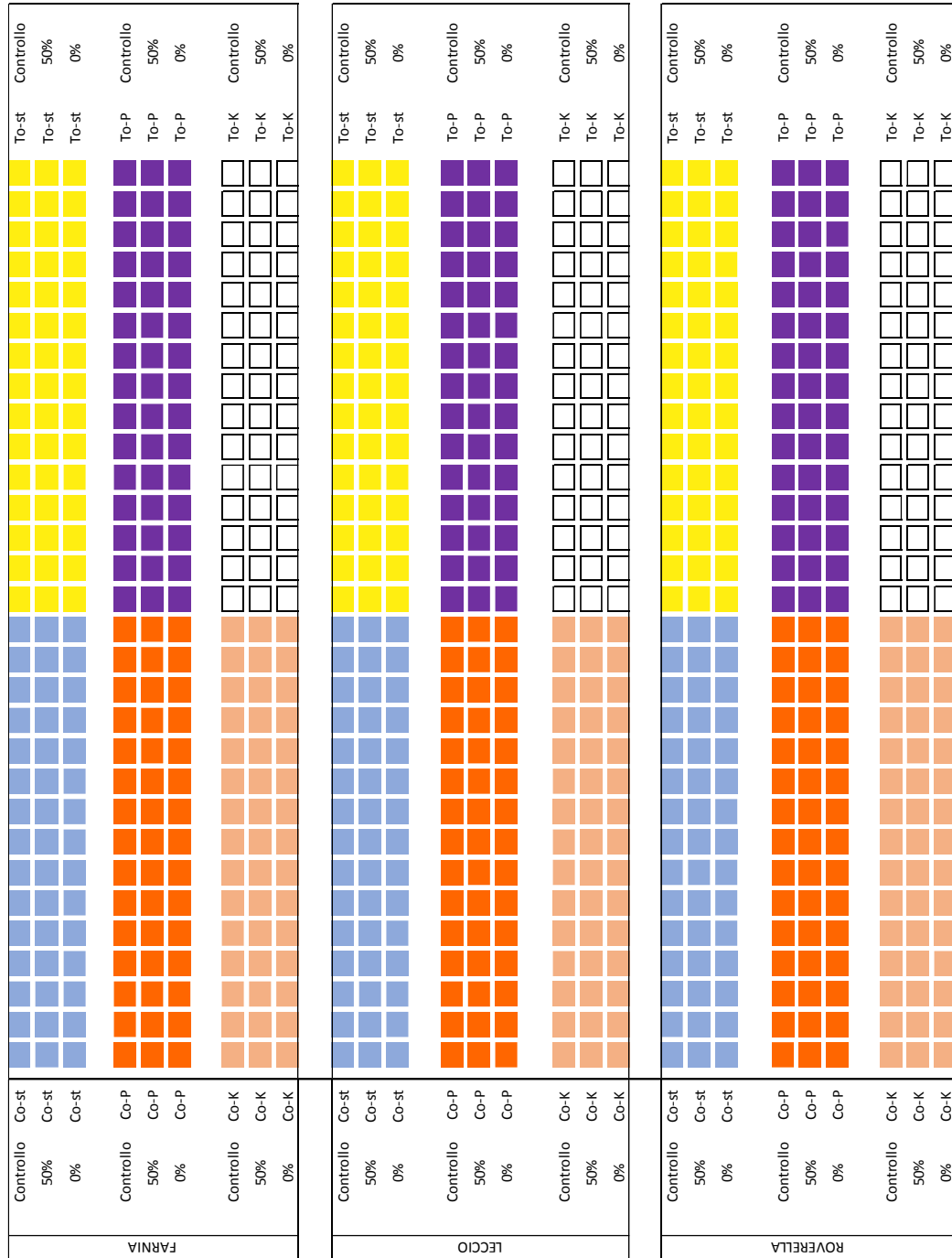


Figura 29: disegno sperimentale per il secondo anno di allevamento e imposizione dei regimi di stress



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI



Figura 30: allestimento del disegno sperimentale nella stagione 2018

La prova ha avuto la durata di 15 giorni, con inizio in giugno ma con date differenti per ogni specie in modo tale da poter rendere fattibili le misurazioni.

Le date di inizio e fine sono le seguenti:

- Farnia: dall'11/06 al 26/06
- roverella: dal 19/06 al 4/07
- leccio: dal 14/06 al 29/06

Contestualmente al trasporto delle piantine in serra sono state predisposte 2 centraline meteo (una all'interno e una all'esterno della serra) e un sistema di rilievo in remoto dell'umidità dei vasi. L'umidità del substrato è stata monitorata 2 volte a settimana prima e durante la prova fino al termine con sensore FieldScout TDR 150 (Spectrum Technologies, USA). Sono stati monitorati 5 vasi per regime x combinazione x specie effettuando 3 misure per vaso.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

Prima dell'inizio della prova, a metà e alla fine dei 15 giorni di stress sono stati rilevati i seguenti parametri:

- Altezza totale di tutte le piante;
- Potenziale idrico all'alba e a mezzogiorno su 3-4 foglie da altrettante piante (min. 54 campioni) per regime idrico con camera a pressione PMS (Co. Corvallis, USA);
- Spettroscopia e fluorescenza fogliare con spettrometro USB2000 (Ocean Optics, USA) e fluorimetro PAM-2000 (Walz, Effeltrich, Germania) su 15 foglie per regime idrico (3 foglie su 5 piante) all'alba e a metà giornata;
- Fluorescenza della clorofilla con fluorimetro HANDY PEA (Hansatech, UK) e contenuto di clorofilla con SPAD-502 Plus (Konica-Minolta, Giappone) su 9 foglie per trattamento per regime idrico;

b. Primi risultati

Caratteri morfologici

Per meglio comprendere l'influenza del continuato stress idrico sullo sviluppo in altezza sono stati analizzati gli incrementi settimanali. Sono in corso le analisi statistiche sui dati raccolti.



Tabella 5: medie e deviazione standard di altezza e incrementi per specie, trattamento e stress

Specie/ trattamento	H iniziale	H intermedia	H finale	incremento		incremento totale	
				1a settimana	2a settimana		
Farnia	64,6	66,0	66,9	1,3 ± 2,3	0,9 ± 1,7	2,2 ± 2,8	
Co-St	controllo	53,0	54,0	55,4	1,1 ± 2,1	1,3 ± 2,0	2,4 ± 2,6
	50%	54,0	55,7	57,0	1,8 ± 1,9	1,3 ± 1,5	3,1 ± 2,3
	0%	52,2	52,2	53,3	0,0	1,1 ± 2,4	1,1 ± 2,4
Co-P	controllo	58,7	61,0	61,8	2,3 ± 3,5	0,7 ± 1,4	3,1 ± 3,4
	50%	54,4	56,2	57,2	1,8 ± 2,5	1,0 ± 2,1	2,8 ± 2,9
	0%	57,0	57,1	58,1	0,1 ± 0,4	1,0 ± 1,2	1,0 ± 1,4
Co-K	controllo	60,9	62,9	65,1	1,9 ± 2,5	2,2 ± 2,6	4,1 ± 3,5
	50%	59,8	61,0	62,2	1,2 ± 1,7	1,2 ± 1,6	2,4 ± 2,6
	0%	62,2	62,2	62,7	0,0	0,5 ± 1,1	0,5 ± 1,1
To-St	controllo	72,0	73,8	74,7	1,8 ± 1,9	0,8 ± 1,2	2,7 ± 2,4
	50%	68,9	70,2	70,7	1,4 ± 2,0	0,4 ± 0,7	1,8 ± 2,1
	0%	66,7	66,7	67,2	0,0	0,5 ± 0,8	0,5 ± 0,8
To-P	controllo	74,4	77,7	78,3	3,3 ± 4,1	0,6 ± 1,2	3,9 ± 4,3
	50%	73,9	75,2	75,7	1,3 ± 1,6	0,5 ± 0,8	1,8 ± 1,7
	0%	70,3	70,7	71,2	0,3 ± 0,7	0,4 ± 0,8	0,8 ± 1,0
To-K	controllo	74,5	77,3	79,6	2,8 ± 3,6	2,3 ± 3,9	5,1 ± 4,1
	50%	75,6	78,1	78,6	2,5 ± 2,8	0,5 ± 1,1	3,0 ± 2,6
	0%	75,5	75,5	75,6	0,0	0,1 ± 0,3	0,1 ± 0,3
Roverella	41,1	41,4	42,4	0,3 ± 1,1	1,0 ± 1,8	1,3 ± 2,3	
Co-St	controllo	30,4	31,7	33,3	1,3 ± 2,5	1,6 ± 3,2	2,9 ± 3,7
	50%	31,4	31,8	32,7	0,4 ± 1,4	0,9 ± 0,5	1,3 ± 2,5
	0%	32,2	32,2	32,5	0,0	0,3 ± 0,5	0,3 ± 0,5
Co-P	controllo	30,2	31,7	34,1	1,6 ± 2,1	2,3 ± 2,8	3,9 ± 4,0
	50%	33,3	33,7	35,1	0,4 ± 1,0	1,4 ± 1,5	1,9 ± 1,9
	0%	32,6	32,7	33,0	0,1 ± 0,3	0,3 ± 0,8	0,4 ± 0,8
Co-K	controllo	35,2	35,3	37,0	0,1 ± 0,4	1,7 ± 1,7	1,8 ± 1,8
	50%	39,9	39,9	40,8	0,1 ± 0,2	0,9 ± 1,2	1,0 ± 1,3
	0%	38,7	38,7	39,9	0,02 ± 0,1	1,2 ± 1,8	1,2 ± 1,8
To-St	controllo	47,3	48,0	49,2	0,6 ± 1,5	1,3 ± 1,6	1,9 ± 2,3
	50%	47,6	47,7	48,7	0,1 ± 0,3	1,0 ± 1,5	1,1 ± 1,6
	0%	43,8	43,8	43,8	0,0	0,0	0,0



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

Specie/ trattamento	H iniziale	H intermedia	H finale	incremento	incremento	incremento totale	
				1a settimana	2a settimana		
To-P	controllo	48,0	48,7	50,3	0,6 ± 2,0	1,6 ± 2,0	2,3 ± 2,7
	50%	44,3	44,5	45,1	0,2 ± 0,6	0,6 ± 1,0	0,7 ± 1,0
	0%	42,5	42,5	42,6	0,0	0,1 ± 0,3	0,1 ± 0,3
To-K	controllo	54,6	54,8	55,5	0,1 ± 0,5	0,8 ± 1,1	0,9 ± 1,4
	50%	52,0	52,1	53,7	0,1 ± 0,2	1,6 ± 3,0	1,7 ± 3,2
	0%	54,9	54,9	55,4	0,02 ± 0,1	0,4 ± 1,0	0,5 ± 1,0
Leccio	62,8	64,5	65,2	1,6 ± 2,2	0,8 ± 1,5	2,4 ± 2,8	
Co-St	controllo	61,4	64,2	65,4	2,8 ± 3,1	1,2 ± 2,0	4,0 ± 3,6
	50%	55,1	56,7	57,5	1,6 ± 2,1	0,8 ± 0,9	2,4 ± 2,2
	0%	57,5	58,0	58,4	0,5 ± 0,9	0,4 ± 0,6	0,8 ± 1,2
Co-P	controllo	63,0	65,0	65,7	2,0 ± 2,8	0,8 ± 1,1	2,8 ± 3,0
	50%	67,0	68,2	69,1	1,3 ± 1,0	0,9 ± 1,1	2,1 ± 1,7
	0%	54,4	55,7	57,0	1,2 ± 1,4	1,3 ± 2,2	2,5 ± 2,6
Co-K	controllo	58,3	60,4	61,1	2,1 ± 2,5	0,7 ± 1,4	2,8 ± 2,9
	50%	56,7	58,2	59,2	1,5 ± 1,5	1,0 ± 2,3	2,4 ± 2,7
	0%	53,7	54,7	55,2	1,0 ± 1,0	0,5 ± 0,9	1,5 ± 1,5
To-St	controllo	72,7	75,7	76,1	3,1 ± 2,3	0,4 ± 0,6	3,4 ± 2,2
	50%	63,2	64,9	66,0	1,6 ± 2,5	1,1 ± 1,1	2,7 ± 3,1
	0%	64,3	65,0	65,6	0,7 ± 1,0	0,6 ± 2,3	1,3 ± 2,8
To-P	controllo	63,8	67,0	68,4	3,2 ± 3,3	1,4 ± 2,7	4,6 ± 5,1
	50%	73,7	75,8	76,3	2,1 ± 2,8	0,5 ± 0,8	2,6 ± 2,7
	0%	60,9	61,6	62,0	0,7 ± 1,0	0,4 ± 0,5	1,1 ± 1,3
To-K	controllo	69,0	71,4	72,5	2,4 ± 3,1	1,1 ± 1,6	3,5 ± 3,6
	50%	69,9	70,8	71,3	0,9 ± 1,3	0,5 ± 0,8	1,4 ± 1,6
	0%	66,6	67,2	67,3	0,5 ± 0,9	0,1 ± 0,3	0,7 ± 1,0

Caratteri fisiologici

Dopo circa un mese dall'imposizione dei tre livelli di stress idrico (di seguito denominati S1: controllo – capacità di campo; S2: medio stress - 50% della capacità di campo; S3: stress forte - 0% senza irrigazione) è stata effettuata una campagna di misura, al momento del raggiungimento di una soglia stress individuata specie per specie. I rilievi sono stati effettuati tra il 27 giugno 2018 (farnia) e il 10 luglio 2018 (leccio e roverella). Sono stati misurati l'umidità idrica del suolo, i potenziali idrici minimi (a metà giornata) e massimi (prima dell'alba), scambi gassosi con curve di luce, riflettanza e fluorescenza fogliare, complementate da misure in campo. Le piante al momento del massimo stress idrico (Tmax) consumano circa 300 ml di acqua al giorno nei controlli con un minore consumo di acqua in S2 e S3, pari a 70 e 15 % rispetto al controllo. Le quantità traspirate sono state re-integrate giornalmente per mantenere il livello di umidità del suolo costante per un periodo di circa un mese dall'inizio dell'esperimento, Figura 12.

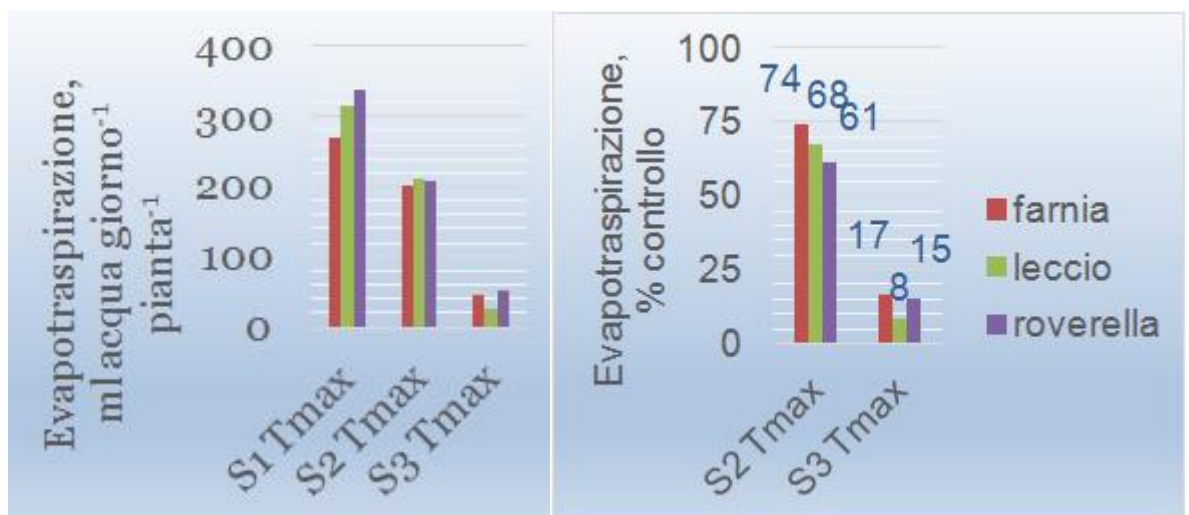


Figura 31: Evapotraspirazione in valore assoluto e in % rispetto al controllo nei trattamenti di stress idrico



- Potenziali idrici, Ψ

I potenziali idrici prima dell'alba, Ψ_{pd} , in condizioni di irrigazione a capacità di campo (controllo) sono risultati massimi nel leccio (-0.025 MPa) seguiti da farnia (-0.054 MPa) e roverella (-0.148 MPa) mediamente pari, per le tre specie, a -0.08 MPa. Nei due stress idrici c'è una riduzione dei potenziali idrici medi nelle tre specie rispetto al controllo, che nello stress moderato risulta in valori di $\Psi_{pd} = -0.16$ MPa (effetto rispetto al controllo = -100%, $P > 0.23$), e si accentua ancor più nello stress idrico forte ($\Psi_{pd} = -0.46$ MPa, effetto rispetto al controllo = -250%, $P > 0.23$). Anche l'ordine delle diverse specie si modifica nei due trattamenti di stress con farnia > roverella > leccio. A metà giornata il potenziale idrico minimo Ψ_{min} è mediamente pari a -2.1 MPa nel controllo, -2.2 nello stress moderato e -2.47 MPa nello stress forte, con un effetto rispetto al controllo del 4% e 18% rispettivamente. Entro ognuno dei tre livelli di stress idrico il leccio raggiunge i valori più bassi di Ψ_{min} seguito dalle due querce decidue come segue: leccio < roverella < farnia, raggiungendo nello stress idrico forte valori di Ψ_{min} pari a -2.7 MPa nel leccio, -2,4 MPa nella roverella e -2.3 MPa nella farnia. L'effetto dello stress idrico moderato e forte su Ψ_{min} è di 11% e 20% nel leccio, 5% e 18% nella roverella e 5% e 15% nella farnia.

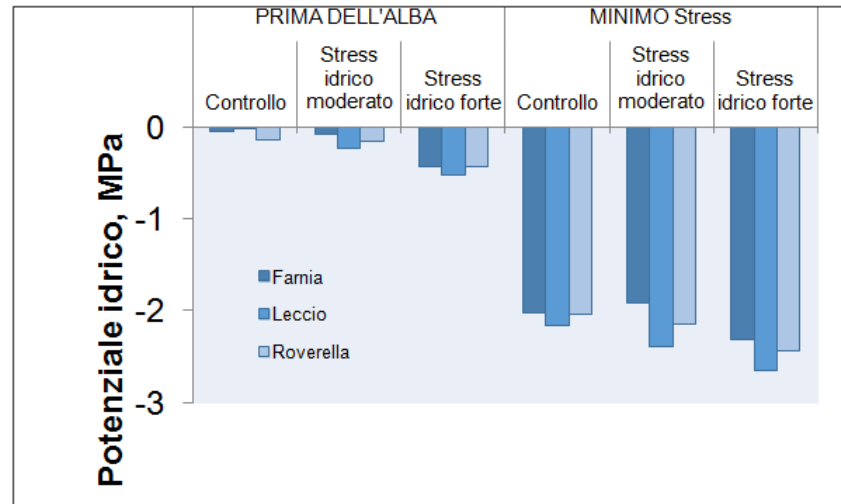


Figura 32: Potenziali idrici prima dell'alba e minimi giornalieri

- Fluorescenza e Riflettanza

Nelle Tabelle 6 e 7 vengono riportati i risultati relativi al confronto dei tre regimi idrici (S1 controllo, S2 stress moderato e S3 stress forte) nei tre trattamenti di specie, substrato e fertilizzazione. Oltre all'ANOVA si è proceduto anche a test non parametrici per il confronto entro trattamento e per i test post-hoc delle differenze delle medie, dato che in caso di non-normalità della distribuzione vi è il rischio di una sovra-stima della significatività degli effetti delle fonti di variazione.

L'irrigazione e le specie sono risultate significative ($P < 0.05$) per tutti gli indici di fluorescenza (ad eccezione di q_L per irrigazione) e per tutti gli indici di riflettanza (ad eccezione di ΔPRI per specie). I substrati sono risultati significativamente diversi solo per F_v/F_m tra gli indici di fluorescenza e per NDV_{im} , $REIP$, PRI_{pd} e PRI (ma non per WI e ΔPRI). La fertilizzazione è risultata diversa per F_v/F_m , NPQ , Φ_{II} , Φ_{NO} , qPd e per gli indici PRI (PRI_{pd} , PRI e ΔPRI). È da sottolineare l'effetto significativo dell'interazione tra



irrigazione da un lato e le specie, i substrati e le concimazioni dall'altro (Tabelle 6 e 7). Nel confronto tra le tre tesi di irrigazione, F_v/F_m risulta molto ridotto in S3 con valori ben al di sotto della soglia di 0.7, indice di foto-danno ($F_v/F_m = 0.54 + 0.32 \text{ SD}$), e notevolmente inferiori rispetto all'irrigazione moderata o a capacità di campo che presentano valori di 0.78 ($S3 < S2 < S1$). La flessione di F_v/F_m in S3 è maggiore nella farnia seguito da leccio e roverella, ed è maggiore nella fertilizzazione standard seguito da K e P. Roverella e P risultano quindi la specie e la fertilizzazione che meglio risponde allo stress idrico.

La frazione di energia alla fotosintesi (Φ_{II}) varia tra i tre regimi di irrigazione con valori $S3 < S2 < S1$ pari a $0.168 < 0.176 < 0.194$ a PAR saturante. La dissipazione non fotochimica è maggiore in S3 sia in termini di Φ_{NO} (=0.40) e che di Φ_{NPQ} (=0.60) rispetto a S1 e S2, seppure in S1 e S2 Φ_{NPQ} sia comunque maggiore di 0.5 e Φ_{NO} sia pari a circa 0.2. S3 mostra un minor numero di centri di reazione funzionali ($qPd = 0.57$ vs 0.76 in S1 e S2). Inoltre in S3 si osserva una minore concentrazione di clorofilla (REIP), minori contenuti idrici fogliari (WI), minori valori di PRI all'alba e in luce saturante con un delta pari a 0.06 rispetto a 0.03 nelle altre due tesi.

Le due tesi S1 e S2 corrispondenti a capacità di campo e stress idrico moderato, si differenziano per Φ_{II} e PRI_{pd} con un effetto -9% in S2 rispetto a S1, per PRI e ΔPRI con un effetto di +23% e +14%, mentre molti indici presentano effetti inferiori a + 5% (NDVim, REIP, WI, F_v/F_m , qPd , Φ_{NO} e Φ_{NPQ}).

Il confronto tra specie mostra valori crescenti di F_v/F_m e NDVIm per farnia < leccio < roverella e per qPd farnia < roverella < leccio. Φ_{II} è invece simile tra farnia e leccio e inferiore rispetto alla roverella, che tra le specie mostra i valori maggiori con $\Phi_{II} = 0.193$, con un maggiore Φ_{NPQ} in farnia e leccio e un maggiore Φ_{NO} in farnia. Delle tre specie i valori più alti di PRI e PRI_{pd} sono stati osservati in roverella. Non sono state osservate differenze di ΔPRI tra le tre specie.



La fertilizzazione fosfatica è quella che maggiormente si differenzia dalla fertilizzazione standard. In P si osserva una maggiore efficienza quantica (Φ_{II} , effetto = 115) con valori maggiori di PRI_{pd} e ΔPRI (effetto = 45%) e minore Φ_{NO} (effetto = -8%). Valori simili tra St e P sono stati osservati per Φ_{NPQ} , Fv/Fm e qPd, contenuti di clorofilla e acqua, PRI. La fertilizzazione K si differenzia da St solo per valori maggiori di PRI e ΔPRI , con effetto pari a -15% e 19%, rispettivamente.

La torba (rispetto al cocco) si differenzia soprattutto per gli indici di riflettanza con minori contenuti di clorofilla (effetto = 16%), valori minori di PRI all'alba (effetto = 107%) e a metà giornata (effetto = 38%), e limitatamente per valori maggiori Φ_{II} (effetto = 3%). I due substrati non si differenziano per Fv/Fm, Φ_{NPQ} , Φ_{NO} , qL, qPd e WI e ΔPRI .

Tabella 6: Valore di significatività P dell'analisi della varianza per gli indici di fluorescenza al massimo stress idrico. Irr = irrigazione, Spp = specie, Sub = substrato, Fert = fertilizzazione, N = 1968

	PAR	Fv/Fm	NPQ	Φ_{II}	Φ_{NPQ}	Φ_{NO}	qL	qPd
Irrigazione	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.275	0.000
Specie	0.241	0.000	0.000	0.003	0.032	0.000	0.000	0.000
Substrato	0.157	0.000	0.070	0.535	0.253	0.284	0.684	0.052
Fertilizzazione	0.562	0.000	0.000	0.032	0.072	0.040	0.338	0.020
Irr:Spp	0.882	0.000	0.000	0.492	0.554	0.000	0.479	0.001
Irr:Sub	0.851	0.001	0.001	0.910	0.178	0.000	0.000	0.693
Spp:Sub	0.001	0.077	0.118	0.314	0.000	0.115	0.007	0.007
Irr:Fert	0.142	0.000	0.006	0.083	0.091	0.358	0.070	0.001
Spp:Fert	0.077	0.000	0.000	0.654	0.567	0.000	0.008	0.368
Sub:Fert	0.000	0.846	0.252	0.350	0.072	0.391	0.645	0.083
Irr:Spp:Sub	0.487	0.088	0.143	0.801	0.639	0.240	0.171	0.007
Irr:Spp:Fert	0.020	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.008	0.153
Irr:Sub:Fert	0.097	0.836	0.083	0.000	0.072	0.709	0.003	0.038
Spp:Sub:Fert	0.447	0.210	0.269	0.389	0.020	0.367	0.000	0.110
Irr:Spp:Sub:Fert	0.027	0.080	0.464	0.027	0.068	0.846	0.000	0.445



Tabella 7: Valore di significatività P dell'analisi della varianza per gli indici di riflettanza al massimo stress idrico. Irr = irrigazione, Spp = specie, Sub = substrato, Fert = fertilizzazione, N = 1968.

	NDVI _m	REIP	WI	PRI _{pd}	PRI	ΔPRI
Irr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Spp	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.897
Sub	0.000	0.000	0.765	0.000	0.000	0.393
Fert	0.075	0.075	0.726	0.000	0.003	0.000
Irr:Spp	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000
Irr:Sub	0.028	0.028	0.047	0.000	0.052	0.005
Spp:Sub	0.000	0.000	0.072	0.033	0.001	0.350
Irr:Fert	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.075
Spp:Fert	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Sub:Fert	0.084	0.084	0.882	0.550	0.960	0.356
Irr:Spp:Sub	0.001	0.001	0.022	0.050	0.619	0.046
Irr:Spp:Fert	0.000	0.000	0.008	0.000	0.002	0.000
Irr:Sub:Fert	0.648	0.648	0.818	0.569	0.136	0.710
Spp:Sub:Fert	0.086	0.086	0.050	0.335	0.321	0.009
Irr:Spp:Sub:Fert	0.030	0.030	0.422	0.401	0.637	0.090

- Scambi gassosi e isotopi del C

In concomitanza con le misure in vivaio sono stati misurati anche gli scambi gassosi sui trattamenti saggati (irrigazione, specie, fertilizzazione e substrato) e raccolti campioni fogliari di foglie apicali (di più recente emissione) per l'analisi isotopica del carbonio (n = 300) effettuata presso i laboratori dell'Università di Bologna e la cui elaborazione dei risultati è ancora in corso. Vengono qui di seguito presentati alcuni risultati preliminari relativi alle curve di luce per i tre livelli di stress idrico, in cui A_{max} presenta valori leggermente superiori a $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per S1 e S2, e valori intorno a $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in S3 e una relazione coerente tra A e conduttanza stomatica.

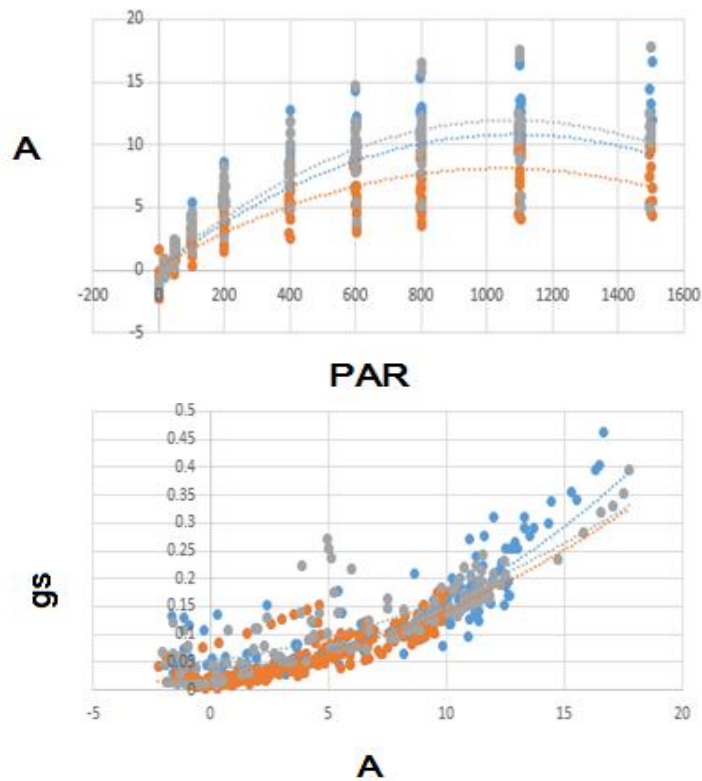


Figura 33: Curve di luce in S1 (blu), S2 (grigio), S3 (arancio).
Relazione tra A, assimilazione netta e PAR, radiazione fotosinteticamente attiva e tra A e conduttanza stomatica

- Mortalità a fine prova

Fenomeni di mortalità sono stati osservati solo nel trattamento S3; ciò indica che questo livello di stress è fisiologicamente estremo e fa registrare complessivamente una mortalità del 34% + 5% (SE). Si nota una forte differenza tra le specie con farnia (50%) > leccio (28%) > roverella (23%), ma simile nei due substrati (31% in cocco e 36% in torba, chi-quadro > 0.05). Per quanto riguarda le concimazioni si osserva una mortalità minore in fosforo rispetto alle altre due concimazioni (chi-quadro $P < 0.000$, 38% per standard, 28% in P e 36% in K). Vi è comunque una diversa risposta delle specie entro formula di fertilizzazione, ad esempio nella



concimazione K la mortalità è risultata massima per la farnia, mentre la roverella non mostra mortalità ed il leccio ha una minore mortalità in cocco.

Tabella 8: Numero di semenzali apparentemente morti nella tesi di stress idrico “forte” su un numero totale di 15 semenzali

Substrato	Fertilizzazione	Farnia	Leccio	Roverella	3 specie
Cocco	St	5	6	5	16
Torba	St	6	6	6	18
Cocco	K	11	2	0	13
Torba	K	12	7	0	19
Cocco	P	5	2	6	13
Torba	P	6	2	4	12
Cocco	St & K & P	21	10	11	42
Torba	St & K & P	24	15	10	49

Tabella 9: Test di chi-quadro sulla base dei semenzali apparentemente morti (dati Tabella)

Confronto	Chi quadro
Cocco vs Torba	0.343
K vs P	0.000
St vs P	0.045
St vs K	0.000

Prova di field performance

La prova di campo è stata predisposta per valutare il comportamento del postime in condizioni ambientali “reali” e non controllate. Si tratta di una prova biennale, che si è previsto di fare durare oltre la scadenza naturale del progetto grazie alla collaborazione con Vannucci Piante al fine di potersi avvalere di una valutazione di più lungo periodo.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF
DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

a. Materiali e metodi

La prova è stata predisposta in un appezzamento situato in località Bonelle (PT).

Il piano sperimentale ha previsto l'impiego di 50 piantine per specie per combinazione substrato-fertilizzazione distribuite in 5 blocchi randomizzati (10 per blocco per combinazione x specie).



Figura 28: messa a dimora delle piante in pieno campo

Durante la stagione vegetativa 2018 sono stati rilevati:

- Altezza delle piantine
- WVC % con sensore FieldScout 150 TDR



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

- Fluorescenza fogliare con fluorimetro HandyPea su un campione di 7 piante per specie x substrato x fertilizzazione in giugno, luglio e agosto
- Contenuto di clorofilla con Spad-502 su un campione di 7 piante per specie x substrato x fertilizzazione in giugno, luglio e agosto
- scambi gassosi con analizzatore di gas all'infrarosso CIRAS-2 (PPSystem Inc., USA) su un campione di 8 foglie per trattamento su altrettante piante. Le misure sono state effettuate la mattina su foglie completamente sviluppate.

Contestualmente alla messa a dimora delle piantine è stata installata una centralina meteo per il monitoraggio dei parametri climatici per tutta la durata dell'esperimento. Sono previsti inoltre periodici interventi di ripulitura delle infestanti e trattamenti antiparassitari a cura di "Vannucci piante".

b. Risultati preliminari

Si riportano i valori medi di altezza (cm) per tutte le specie e combinazioni. Sono in corso le analisi statistiche dei dati raccolti. È prevista nei prossimi mesi una prova distruttiva in laboratorio per analizzare l'apparato radicale di un campione di piante x trattamento.

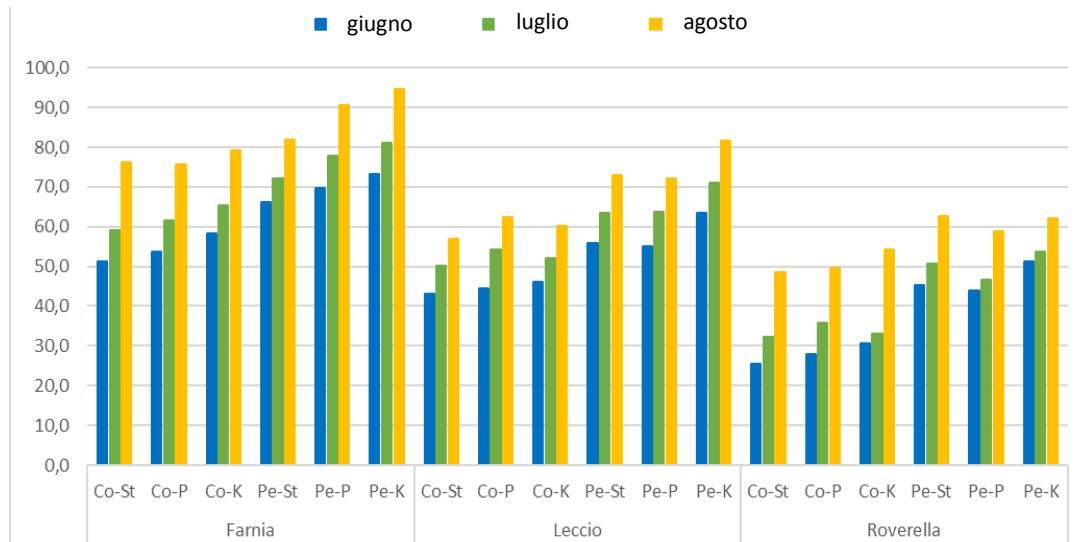


Figura 29: altezza (cm) delle tre specie per i 6 trattamenti durante i mesi estivi

Si riportano a titolo di esempio due grafici relativi alla conduttanza stomatica misurata in giugno su farnia e roverella. Analisi simili sono in corso sui dati di luglio e agosto.

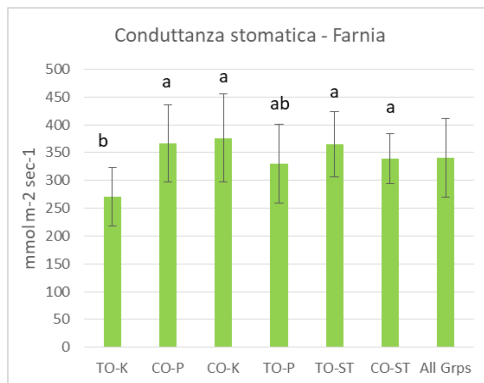


Figura 30: Farnia - conduttanza stomatica e analisi della varianza per i 6 trattamenti

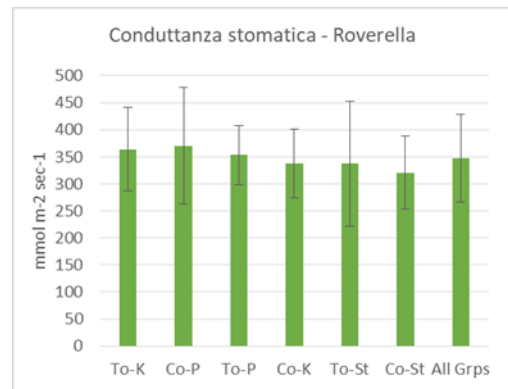


Figura 31: Roverella - conduttanza stomatica per i 6 trattamenti



Considerazioni preliminari

Primo anno di allevamento in serra

Un risultato di rilevante interesse è rappresentato dal fatto che i trattamenti applicati nella fase di vivaio (substrati e formule di concimazione) hanno originato un prodotto vivaistico significativamente differenziato per funzionamento (rilevato dall'analisi della fisiologia fogliare) e, conseguentemente, per varie caratteristiche morfologiche. Ciò è di fondamentale importanza per associare i risultati delle prove di stress e di campo alle procedure vivaistiche adottate.

Dopo un anno di allevamento in vivaio (2017) le piantine che hanno prodotto una maggiore biomassa sono state quelle allevate nella combinazione To-K, seguite dalle altre tesi con torba, mentre le tesi Co-St e Co-P risultano sempre quelle con peso minore. La concimazione potassica incrementa la crescita delle piantine rispetto alle altre concimazioni nello stesso substrato. Questo risultato si riflette e si evidenzia anche nelle piantine allevate in cocco: i valori di biomassa relativi alle piantine cresciute in Co-K infatti tendono ad avvicinarsi di più ai valori relativi alle tesi con torba (fino ad eguagliarle nel caso della farnia) che a quelli delle altre combinazioni con cocco. Il potassio è un elemento essenziale, che influenza molti processi biochimici e fisiologici della crescita e dello sviluppo della pianta, con un ruolo chiave nel determinarne la capacità di sopravvivenza in condizioni di stress idrico. Analizzando i pesi in percentuale, invece, le piantine coltivate in cocco hanno sviluppato una maggiore biomassa radicale rispetto a quelle allevate in torba, così come riscontrato in altri studi (Possanzini 2006; Tsakalimi e Ganatsas 2016) dove si è osservato un'influenza negativa del cocco sulla crescita della parte epigea a vantaggio dell'apparato radicale.

A livello morfologico e fisiologico non sono stati rilevati sintomi evidenti di stress che possano giustificare queste differenze di sviluppo: infatti, come numero di flussi di crescita sviluppati durante la stagione tutte le tesi sono uguali o molto simili (differenza massima tra combinazioni di 1 flusso). Le maggiori dimensioni raggiunte dalle piantine allevate in torba



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

sono da attribuire quindi a un maggiore allungamento dei getti di crescita; la causa di questo fenomeno è in fase di studio, ma non si esclude che l'origine di questo maggior vigore sia da attribuire alla diversa capacità di trattenere l'umidità dei due substrati. Le piante in cocco hanno mostrato una maggiore chiusura stomatica e minori perdite traspirative, associate a una minore fissazione di carbonio per unità di area fogliare.

A livello radicale le differenze maggiori tra le tesi e tra le specie sono state osservate per le radici intermedie. Tali radici sono importanti per lo sviluppo futuro del semenzale, in quanto hanno la capacità di generare nuovo capillizio radicale con turnover più breve ma fondamentale per la sua capacità di assorbimento di acqua e sostanze minerali. Finita la seconda stagione vegetativa (2018) questa caratterizzazione del materiale prodotto viene usata come base per analizzare la *field performance* delle piantine e le prestazioni in fase di stress idrico.

Visto che l'obiettivo del progetto è la produzione di piantine con una maggiore resistenza agli stress idrici, non risulta corretto associare il maggiore sviluppo delle piantine allevate in torba ad una maggiore qualità del postime. Esistono pareri contrastanti riguardo l'influenza delle dimensioni dei semenzali sulla resistenza all'aridità: da una parte una piantina più sviluppata e con più riserve di macro-elementi potrà affrontare meglio un periodo con limitate risorse idriche e raggiungere velocemente gli strati di suolo più profondi e umidi (Oliet et al., 2009; Villar-Salvador et al., 2013), dall'altra parte una piantina di minori dimensioni ha minori esigenze idriche e minori perdite per evapo-traspirazione (Trubat et al., 2012).

È ipotizzabile che la riscontrata maggiore percentuale di biomassa ipogea nelle piantine allevate in cocco possa aumentare significativamente la sopravvivenza in condizioni di stress, confermando così anche la validità del modello produttivo dell'azienda partner Vannucci Piante, per la produzione di piantine di buona qualità in un'ottica di eco-sostenibilità.

Prova di stress idrico in ambiente controllato

Per quanto riguarda questa prova occorre premettere che i tempi tecnici necessari per la sua conclusione si sono protratti fin quasi al termine dei tempi concessi per la chiusura del



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

progetto; pertanto a questo punto dell'indagine siamo, per gran parte dei dati rilevati, in fase di elaborazione. Si segnala comunque un risultato che appare molto interessante e che si riferisce alla mortalità delle piantine che è stata riscontrata solo nella situazione di stress più severo (S3). Dall'esame complessivo dei dati, comprendente quindi tutte e tre le specie quercine considerate, non emergono grandi differenze di mortalità tra le piante prodotte nei diversi substrati e con le diverse formule di concimazione. Il risultato però cambia totalmente se si considerano solo le due specie quercine che, per loro caratteristiche specifiche, sono comunemente indicate come più tolleranti le condizioni di aridità: roverella e leccio. Considerando solo queste due specie, le diverse formule di concimazione adottate determinano forti differenze. La mortalità, a stress massimo, colpisce ben il 76% delle piante prodotte a concimazione standard, contro il 47% di quelle derivanti dalla concimazione arricchita in P e scende addirittura al 30% per quelle derivanti dalla concimazione a maggiore titolo di K. Si tratta di un risultato importante che però dovrà essere confermato su base statistica. Nel caso in cui questo venga confermato, una mirata analisi dei dati di tipo fisiologico potranno contribuire alla comprensione dei "meccanismi" che inducono la resistenza alla siccità in queste specie.

Attività complementari al progetto

È stato avviato un progetto in collaborazione con il laboratorio di geomatica GeoLAB dell'Università di Firenze per valutare la possibilità di utilizzare una macchina digitale a infrarossi (Canon S110 NIR) per il monitoraggio delle condizioni fisiologiche e la conseguente programmazione dell'irrigazione sulle piantine allevate in vivaio e su quelle coltivate in pieno campo.

In concomitanza con le misurazioni fisiologiche eseguite all'inizio e alla fine della prova di stress in serra sono state fotografate:

- 3 foglie singole sulle 5 piante in cui sono stati fatti i rilievi fisiologici



- Tutte le piante per trattamento fotografate orizzontalmente e verticalmente

Per le piantine allevate in pieno campo sono stati eseguiti voli in luglio e agosto con drone UAV ad ala fissa SenseFly eBee Ag dotato di una Canon S110 NIR.

In post-elaborazione i valori della banda spettrale rilevati dalla fotocamera sono stati tradotti in valori di riflettanza. Gli NDVI derivati dalla fotocamera sono stati confrontati con quelli ottenuti mediante spettroscopia. È in fase di studio la correlazione tra i dati ottenuti con i 2 strumenti.

Bibliografia citata

- AREND M., KUSTER T., GÜNTHARDT-GOERG M.S., DOBBERTIN M., 2011). Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*). *Tree Physiology*, 31(3), 287-297. BIGG W.L. & SCHALAU J.W., 1990 - Mineral nutrition and the target seedling. In *Proceedings of the Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations*, Roseburg, Ore (pp. 13-17).
- CHIRINO E., VILAGROSA A., HERNÁNDEZ E.I., MATOS A., & VALLEJO V.R., 2008 - Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management*, 256(4), 779-785.
- CORTINA J., VILAGROSA A., & TRUBAT R., 2013 - The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. *New Forests*, 44(5), 719-732.
- CUESTA B., VILLAR-SALVADOR P., PUÉRTOLAS J., JACOBS D.F., & BENAYAS J.M.R., 2010 - Why do large, nitrogen rich seedlings better resist stressful transplanting conditions? A physiological analysis in two functionally contrasting Mediterranean forest species. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 71-78.
- DZIEDEK C., VON OHEIMB G., CALVO L., FICHTNER A., KRIEBITZSCH W.U., MARCOS E., TILL PITZ W., HÄRDTLE W., 2016 - Does excess nitrogen supply increase the drought sensitivity of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings?. *Plant Ecology*, 217(4), 393-405.
- EGILLA J.N., DAVIES F.T., & DREW M.C., 2001 - Effect of potassium on drought resistance of *Hibiscus rosa-sinensis* cv. Leprechaun: plant growth, leaf macro-and micronutrient content and root longevity. *Plant and Soil*, 229(2), 213-224.



- EGILLA J.N., DAVIES F.T., & BOUTTON T. W., 2005 - Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. *Photosynthetica*, 43(1), 135-140.
- FOLK R.S., & GROSSNICKLE S.C., 2000 - Stock-type patterns of phosphorus uptake, retranslocation, net photosynthesis and morphological development in interior spruce seedlings. *New forests*, 19(1), 27-49.
- FRÜCHTENICHT E. et al., 2018 - Response of *Quercus robur* and two potential climate change winners—*Quercus pubescens* and *Quercus ilex* — To two years summer drought in a semi-controlled competition study: I—Tree water status. *Environmental and Experimental Botany*, 152: 107-117.
- GARCÍA-CANO M.F., CORTINA J., DE LUIS M., RAVENTÓS J., SÁNCHEZ J.R., & GONZÁLEZ-HIDALGO J.C., 2000 - Degradación del suelo asociada a la erosión en un aulajar quemado afectado por lluvia torrencial. *Cuadernos de la SECF*, 9, 145-154.
- JACOBS D.F., SALIFU K.F., & SEIFERT J.R., 2005 - Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests*, 30(2), 235-251.
- LAL R., 2008 - Soils and sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 57-64.
- LANDIS T.D., 2011 - The target plant concept-a history and brief overview. USDA Forest Service. Proceedings RMRS-P-65.
- MARTINI S., 2017 - Studio delle concimazioni minerali per l'incentivazione della resistenza all'aridità in semenzali di specie quercine. Stato dell'arte, progetto sperimentale e primi risultati. Tesi di laurea magistrale, Università di Firenze.
- MATTSSON A., 1997 - Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*, 13(1-3), 227-252.
- OLIET J.A. & JACOBS D. F. 2012 - Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests*, 43.5-6: 535-541.
- MEDRANO H., FLEXAS J., & GALMÉS J., 2009 - Variability in water use efficiency at the leaf level among Mediterranean plants with different growth forms. *Plant and Soil*, 317(1-2), 17-29.
- OLIET J.A., GONZÁLEZ R.P., ARIAS M.L., & CABALLERO F.A., 1997 - Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (4).
- OLIET J.A., PLANELLES R., SEGURA M.L., ARTERO F., & JACOBS D.F., 2004 - Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 113-129.
- OLIET J.A., PLANELLES R., ARTERO F., & JACOBS D.F., 2005 - Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. *Forest Ecology and Management*, 215(1), 339-351.
- OLIET J.A., PLANELLES R., ARTERO F., VALVERDE R., JACOBS D.F., & SEGURA M.L., 2009 - Field performance of *Pinus halepensis* planted in Mediterranean arid conditions:



- relative influence of seedling morphology and mineral nutrition. *New Forests*, 37(3), 313-331.
- Oliet, J. A., & Jacobs, D. F. (2012). Restoring forests: advances in techniques and theory. *New Forests*, 43(5-6), 535-541.
- OVALLE J.F., ARELLANO E.C., OLIET J.A., BECERRA P., & GINOCCHIO R., 2016 - Linking nursery nutritional status and water availability post-planting under intense summer drought: the case of a South American Mediterranean tree species. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(5), 758.
- PEÑA-ROJAS K., ARANDA X. & FLECK I., 2004 - Stomatal limitation to CO₂ assimilation and down-regulation of photosynthesis in *Quercus ilex* resprouts in response to slowly imposed drought. *Tree Physiology* 24, 813–822.
- PERKINS D., UHL E., BIBER P., DU TOIT B., CARRARO V., RÖTZER T., PRETZSCH H., 2018 - Impact of Climate Trends and Drought Events on the Growth of Oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) within and beyond Their Natural Range. *Forests*, 9(3), 108.
- PINTO J. R., DUMROESE R. K., DAVIS A. S., LANDIS T. D., 2011 - Conducting seedling stocktype trials: a new approach to an old question. *Journal of Forestry*, 109 (5), 293-299.
- POORTER H. & NAGEL O., 2000 - The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*, 27(12), 1191-1191.
- RICHARDSON A.D., DUIGAN S.P. & BERLYN G.P., 2002 - An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist* 153: 185–194.
- ROSE R., CARLSON W. C., & MORGAN P., 1990, - The target seedling concept. In Proc. Target Seedling Symposium. Combined Meetings of the Western Forest Nursery Associations (pp. 1-8).
- SONG C.J., MA K.M., QU L.Y., LIU Y., XU X.L., FU B.J., ZHONG J.F., 2010 - Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Bauhinia faberi* seedlings. *Journal of arid environments*, 74(9), 1003-1012.
- SUN Y., GU J.C., ZHUANG H.F., WANG Z.Q., 2010 - Effects of ectomycorrhizal colonization and nitrogen fertilization on morphology of root tips in a *Larix gmelinii* plantation in northeastern China. *Ecological research*, 25(2), 295-302.
- THOMAS F. M. & GAUSLING T., 2000 - Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science*, 57.4: 325-333.
- TRIPLER C.E., KAUSHAL S.S., LIKENS G.E., TODD WALTER M., 2006 - Patterns in potassium dynamics in forest ecosystems. *Ecology Letters*, 9(4), 451-466.
- TRUBAT R., CORTINA, J. & VILAGROSA A., 2008 - Short-term nitrogen deprivation increases field performance in nursery seedlings of Mediterranean woody species. *Journal of Arid Environments*, 72(6), 879-890.
- TRUBAT R., CORTINA J. & VILAGROSA A., 2012 - Root architecture and hydraulic



- conductance in nutrient deprived *Pistacia lentiscus* L. seedlings. *Oecologia* 170: 899.
- VILLAR-SALVADOR P., PEÑUELAS J.L., NICOLÁS-PERAGÓN, J.L., BENITO L.F., & DOMÍNGUEZ-LERENA S., 2013 - Is nitrogen fertilization in the nursery a suitable tool for enhancing the performance of Mediterranean oak plantations?. *New forests*, 44(5), 733-751.
- WHITMORE A. P. & WHALLEY W. R., 2009 - Physical effects of soil drying on roots and crop growth. *Journal of Experimental Botany*, 60 (10), 2845-2857.
- ZHU J., INGRAM P. A., BENFEY P. N., ELICH T., 2011 - From lab to field, new approaches to phenotyping root system architecture. *Current opinion in plant biology*, 14 (3), 310-317.

Attività di Divulgazione

Partecipazione a convegni internazionali e nazionali

1. MARIOTTI B, MALTONI A, JACOBS DF, TANI A *Re-evaluating the link between nursery systems and outplanting performance* Convegno IUFRO Regional Congress for Asia and Oceania 2016, Beijing China 24-27 Ottobre 2016, nella sessione 44 – Sessione: The Target Plant Concept: a foundation for forest regeneration success
2. MARIOTTI B, MALTONI A, MARTINI S, RADDI S, RESTA E, TANI A (2017) Realizzazione di postime di vivaio di alcune specie quercine ad elevata adattabilità ad ambienti aridi: presentazione del Progetto Integrato di Filiera (PIF-VIAA) e primi risultati. Poster. Congresso SISEF 2017 La foresta che cambia: Ricerca, qualità della vita e opportunità in un paese in transizione: 10-13 ottobre 2017 - CNR Centro Congressi Roma
3. MARIOTTI B, MARTINI S, RADDI S, MALTONI A, OLIET J, JACOBS DF, TANI A (2018) The effectiveness of coconut substrate and fertilization regimes during nursery culture and post-transplant response in three *Quercus* species. Oral presentation. 4th International Conference REFORESTATION CHALLENGES (sponsored by IUFRO). Belgrade (Serbia) 20-22 June 2018
4. GIANNETTI F, MARTINI S, RADDI S, MALTONI A, TANI A, CHIRICI G, TRAVAGLINI D, MARIOTTI B (2018) Is it possible monitoring plant physiological condition with a near



- infrared consumer digital camera in forest nursery stock? Poster. 4th International Conference REFORESTATION CHALLENGES (sponsored by IUFRO). Belgrade (Serbia) 20-22 June 2018
5. GIANNETTI F, MARTINI S, RADDI S, MALTONI A, TANI A, CHIRICI G, TRAVAGLINI D, MARIOTTI B (2018) Is it possible monitoring plant physiological condition with a near infrared consumer digital camera in forest nursery stock? Poster. AIT2018 The IX Conference of the Italian Society of Remote Sensing. Firenze (Italy) 4-6 July 2018
 6. BARBARA MARIOTTI, SOFIA MARTINI, SABRINA RADDI, ALBERTO MALTONI, EMILIO RESTA, FRANCESCA UGOLINI, ANDREA TANI (presentazione orale accettata – 2018) È possibile produrre materiale vivaistico in grado di resistere meglio a periodi di stress idrico? L'esperienza del progetto VIAA (Vivaistica Innovativa ad Alta Adattabilità). IV Congresso Nazionale di Selvicoltura. Torino 5-9 novembre 2018.
 7. PROGETTO INTEGRATO DI FILIERA: VERDI CONNESSIONI - PROGETTO VIAA VIVAISTICA INNOVATIVA PER PRODOTTI AD ALTA ADATTABILITÀ, Pistoia Nursery Campus, 12 dicembre 2017; 1° incontro divulgativo per esposizione e discussione dei risultati intermedi del progetto.
 8. PROGETTO INTEGRATO DI FILIERA: VERDI CONNESSIONI - PROGETTO VIAA VIVAISTICA INNOVATIVA PER PRODOTTI AD ALTA ADATTABILITÀ, Pistoia Nursery Campus, 20 luglio 2018; 2° incontro divulgativo per esposizione e discussione dei risultati finali del progetto.

Articoli su riviste scientifiche e/ tecnico divulgative

1. MARTINI S, MARIOTTI B, MALTONI A, RADDI S, TANI A (2018) Piantare alberi che sopportino lo stress idrico. Il progetto VIAA. *Sherwood Foreste ed Alberi oggi* 232:7-10.
2. MARIOTTI B, MARTINI S, MALTONI A, RADDI S, RESTA E, TANI A (in pubblicazione) Influenza di substrato e concimazione su postime di querce. *Sherwood Foreste ed Alberi oggi*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

GESAAF

DIPARTIMENTO DI GESTIONE
DEI SISTEMI AGRARI,
ALIMENTARI E FORESTALI

3. Sono in preparazione 3 articoli scientifici su rivista internazionale. Per il loro completamento è necessario aver completato l'elaborazione dei dati raccolti in luglio e agosto, pertanto saranno pronti nel 2019.

Tesi di laurea

1. Sofia Martini (2017) – “Studio delle concimazioni minerali per l'incentivazione della resistenza all'aridità in semenzali di specie quercine. Stato dell'arte, progetto sperimentale e primi risultati”;
2. Emanuele Giachi (2018) – “Prove di fertilizzazione e di substrati per la coltivazione di *Quercus pubescens* in vivaio”;
3. Fabio Farinella (in fase di completamento) – “Valutazione della possibilità di monitorare lo stato fisiologico di specie quercine sottoposte a stress idrico con tecnologia in remoto (DCM)”
4. Giulia Guarrella (in fase di completamento) – “Monitoraggio dello stato fisiologico di specie quercine sottoposte a stress idrico”

Firenze, 21 settembre 2018

Il responsabile scientifico per il GESAAF

Prof. Andrea Tani