

# Produzione di piante di qualità nel vivaismo ornamentale



*Quaderni della Ricerca*  
n. 136 - ottobre 2011

LOMBARDIA. COSTRUIAMOLA INSIEME.

Sperimentazione condotta nell'ambito dei progetti di ricerca n. 1092 "*Razionalizzazione delle tecniche vivaistiche in pieno campo ed in contenitore – TECVIVA*" (d.g.r. 02/08/2007 n. 5214 – Piano per la ricerca e lo sviluppo 2007) e n. 1356 "*Miglioramento delle tecniche produttive e della qualità del prodotto nel vivaismo ornamentale - TECPRO*" (d.g.r. 30/03/2009 n. 9182 – Piano per la ricerca e lo sviluppo 2009).

**Testi e foto a cura di:**

Gabriele Amoroso, Marco Faoro, Piero Frangi, Riccardo Piatti – Fondazione Minoprio  
Francesco Ferrini, Alessio Fini – DIPSA Università di Firenze  
Massimo Pugliese, Maria Lodovica Gullino, Angelo Garibaldi – Agroinnova Università di Torino

**Hanno realizzato le attività sperimentali:**

Fondazione Minoprio – Centro MiRT  
Viale Raimondi, 54 – 22070 Vertemate con Minoprio (CO)  
Tel. +39 031.900224 Fax +39 031.900248  
Referente: Piero Frangi  
e-mail: [frangi@fondazioneminoprio.it](mailto:frangi@fondazioneminoprio.it)

Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, del Suolo e dell'Ambiente Agroforestale  
Viale delle Idee, 30 – 50019 Sesto Fiorentino (FI)  
Tel +39 055.4574018 Fax +39 055.5254017  
Referente: Francesco Ferrini  
e-mail: [francesco.ferrini@unifi.it](mailto:francesco.ferrini@unifi.it)

Centro di Competenza per l'innovazione in campo agro-ambientale (Agroinnova)  
Via Leonardo da Vinci, 44 – 10095 Grugliasco (TO)  
Tel +39 011. 6708944 Fax +39 011. 6709307  
Referente: Angelo Garibaldi  
e-mail: [angelo.garibaldi@unito.it](mailto:angelo.garibaldi@unito.it)

Si ringrazia il Consorzio Florovivaisti Lombardi per la compartecipazione finanziaria al Progetto  
TECVIVA

**Per informazioni:**

Regione Lombardia - Direzione Generale Agricoltura  
U.O. Innovazione, cooperazione e valorizzazione delle produzioni  
Struttura Ricerca, innovazione tecnologica e servizi alle imprese  
Piazza Città di Lombardia n.1 - 20124 Milano  
Tel: +39 02 6765.3790 - fax +39 02 6765.8056  
e-mail: [agri\\_ricerca@regione.lombardia.it](mailto:agri_ricerca@regione.lombardia.it)  
Referente: Arturo Pinotti tel: +39 02 6765.8005  
e-mail: [arturo\\_pinotti@regione.lombardia.it](mailto:arturo_pinotti@regione.lombardia.it)

# Produzione di piante di qualità nel vivaismo ornamentale



## INDICE

<b>Presentazione</b>	<b>3</b>
<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>Miglioramento della qualità della pianta in contenitore</b>	
1. Sviluppo delle piante arboree allevate in contenitori antispiralizzanti	7
2. Effetto di diverse metodologie di potatura radicale al momento del rinvaso	11
3. Risposta alla micorrizzazione di specie arboree allevate in contenitore	
3.1. <i>Relazione tra micorrizzazione controllata e stress idrico</i>	17
3.2. <i>Relazione tra micorrizzazione controllata e apporto di concime al substrato</i>	24
4. Valutazione di sistemi irrigui ad elevata efficienza di uso dell'acqua	34
5. Capacità repressiva dei substrati a base di compost nei confronti dei parassiti tellurici	41
<b>Gestione del verde ornamentale</b>	
1. Effetti della modalità di potatura sulla crescita e la fisiologia di <i>Acer pseudoplatanus</i>	47
2. Influenza dell'epoca di potatura sulla crescita, la cicatrizzazione delle ferite e la fisiologia degli alberi ornamentali	54
3. Danni provocati da scavi in prossimità degli apparati radicali	59
<b>Bibliografia</b>	<b>64</b>



## *Presentazione dell'Assessore*

Il florovivaismo costituisce un settore altamente specializzato dell'agricoltura lombarda: per livello tecnologico e produttività è in grado di competere alla pari con le regioni più avanzate in questo campo a livello italiano ed europeo. In una fase di crisi generalizzata la vivacità del settore è dimostrata dalla sostanziale tenuta del valore della produzione, a fronte però della riduzione del numero di imprese della filiera operanti sul territorio regionale.



In uno scenario caratterizzato dall'incertezza della domanda e da un generale aumento dei costi, soprattutto delle materie prime legate ai prodotti petroliferi, è fondamentale che le aziende vivaistiche lombarde difendano le loro posizioni di mercato attraverso una produzione di qualità, ottenuta anche attraverso una razionalizzazione delle tecniche di coltivazione.

Rispondendo alle esigenze manifestate degli operatori di questo settore, Regione Lombardia ha finanziato i progetti di ricerca “Razionalizzazione delle tecniche vivaistiche in pieno campo ed in contenitore” e “Miglioramento delle tecniche produttive e della qualità del prodotto nel vivaismo ornamentale”, allo scopo di diffondere la conoscenza, tra gli addetti ai lavori, delle metodologie di produzione e gestione in grado di garantire un verde di qualità.

I risultati delle ricerche realizzate dalla Fondazione Minoprio, con la collaborazione delle Università degli Studi di Firenze e di Torino, sono esposti in questo opuscolo che ho il piacere di presentare al settore florovivaistico lombardo.

*Giulio De Capitani*  
Assessore all'Agricoltura  
Regione Lombardia



## *Introduzione*

La presente pubblicazione riporta i risultati delle ricerche condotte nell'ambito di due progetti finanziati dalla Direzione Generale Agricoltura della Regione Lombardia e svolti con la supervisione del prof. Francesco Ferrini, responsabile scientifico dei progetti.

Le ricerche effettuate hanno riguardato lo studio di tecniche innovative di produzione vivaistica e di gestione del verde, rivolte al miglioramento della qualità del prodotto.

I progetti sono stati proposti dalla Fondazione Minoprio insieme a due partner universitari (Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, del Suolo e dell'Ambiente Agroforestale dell'Università di Firenze; Centro di Competenza per l'Innovazione in campo agro-ambientale - Agroinnova dell'Università di Torino) che hanno messo a disposizione le rispettive qualificate competenze nel campo dell'arboricoltura ornamentale e della patologia vegetale.

Il progetto *“Razionalizzazione delle tecniche vivaistiche in pieno campo ed in contenitore – TECVIVA”* si è posto i seguenti obiettivi:

- migliorare la stabilità strutturale delle piante che andranno a costituire alberature cittadine mediante una corretta impostazione delle potature sin dalle prime fasi di coltivazione in vivaio;
- favorire una adeguata ripresa post-trapianto, anche in un ambiente difficile come quello urbano, grazie ad una buona conformazione dell'apparato radicale e alla colonizzazione artificiale di questo mediante funghi micorrizici specifici;
- abbassare i costi di produzione grazie ad un utilizzo sempre più efficace di acqua e fertilizzanti in vivaio, limitando inoltre le problematiche ambientali legate all'inquinamento delle falde acquifere;
- contrastare la presenza e la diffusione di parassiti zoosporici, particolarmente favoriti dalla presenza di soluzioni nutritive drenate ed eventualmente sottoposte a ricircolo.

Nel progetto *“Miglioramento delle tecniche produttive e della qualità del prodotto nel vivaismo ornamentale - TECPRO”* sono confluite molte delle ricerche iniziate nel primo progetto, e si sono aggiunti due nuovi obiettivi di indagine:

- affrontare il problema del deperimento delle alberature in ambiente urbano a seguito dello scavo di fosse o trincee per opere edili o manutentive;
- limitare la mortalità ed aumentare la vigoria delle piante al momento del rinvaso mediante appropriati interventi di potatura sull'apparato radicale.

I risultati ottenuti, riportati in questo volume e divulgati nel corso di questi ultimi anni anche attraverso seminari e convegni, sono immediatamente trasferibili al settore produttivo e forniscono suggerimenti utili per il miglioramento delle tecniche vivaistiche e per la tutela del patrimonio arboreo delle nostre città.

*Giovanni D'Angelo*  
Responsabile Centro MiRT  
Fondazione Minoprio





# MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ DELLA PIANTA IN CONTENITORE

## 1 - Sviluppo delle piante arboree allevate in contenitori antispiralizzanti

La malformazione dell'apparato radicale nelle piante in vaso è da sempre uno dei principali problemi che affligge il settore del vivaismo. A causa del limitato volume di substrato in cui si trovano a dover crescere, le radici vanno spesso incontro a deformazioni, ed in particolar modo al fenomeno della spiralizzazione: raggiunte le pareti laterali del vaso, iniziano a girare a spirale lungo la parete del contenitore ammassandosi poi sul fondo, nei pressi dei fori di drenaggio. Ne risulta un apparato radicale debole, deforme e poco ramificato, che occupa solo la parte esterna della zolla, influenzando di conseguenza in modo negativo sia la crescita che la qualità dell'intera pianta nel lungo periodo. Un apparato radicale mal conformato, infatti, accresce la vulnerabilità delle radici ad attacchi patogeni, compromette la stabilità meccanica della pianta, e ne aumenta la sensibilità agli stress idrici. Una tecnica molto utilizzata per rimediare al problema è la potatura all'impianto delle radici spiralizzate, che stimola

l'emissione di nuove radici; ma tale pratica può implicare l'asportazione anche del 50% dell'intero apparato radicale, con gravi conseguenze sia sulla stabilità sia sulle possibilità di sopravvivenza della pianta. Per ovviare al problema sono state studiate alcune tipologie di vaso in grado di ridurre l'incidenza delle deformazioni radicali, in particolare impiegando impedimenti meccanici (setti in grado di impedire alle radici di girare a spirale, guidandone quindi lo sviluppo in direzione basipeta) oppure sfruttando l'aria come inibitore dello sviluppo dell'apice radicale (*air pruning*).

Oggigiorno, purtroppo ancora in molti casi, i principali criteri di scelta della tipologia di contenitore da parte dei vivaisti continuano a rimanere ancorati alla maneggevolezza, alla robustezza e, soprattutto, al costo del contenitore, spesso tralasciando considerazioni più tecniche che riguardano il tipo di apparato radicale in relazione alla specie da coltivare. Eppure una

maggiore spesa per un corretto contenitore dovrebbe essere considerata un investimento, in quanto in grado di garantire piante di elevata qualità e capaci quindi di spuntare un prezzo maggiore sul mercato.

La presente prova ha voluto verificare l'effettivo vantaggio nell'utilizzo di alcuni tipi di nuovi contenitori, rispetto ai tradizionali vasi lisci, nel prevenire o limitare la spiralizzazione già in vivaio.



Materiali e metodi	
Anno di prova	Biennio 2008-2009
Specie utilizzate	Piante a radice nuda di <i>Tilia cordata</i> , <i>Ulmus minor</i>
Tesi a confronto	<p>Prima stagione vegetativa (2008) – Contenitori da 0,9 litri:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Superroots® Air-Cell™ (The Caledonian Tree Company): contenitore di forma cilindrica costituito da pareti plastiche cuspidate-forate e da un fondo a rete</li> <li>2) Quadro fondo rete (Bamaplast): contenitore di forma quadrata dotato di 8 setti verticali interni (2 per lato) atti a costituire una barriera meccanica alla spiralizzazione, fondo a rete</li> <li>3) Testimone (Stop Quadro, Arca): vaso quadrato a pareti e fondo liscio</li> </ol> <p>Seconda stagione vegetativa (2009) – Contenitori da 3 litri:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Superroots® Air-Pot™ (The Caledonian Tree Company): contenitore di forma cilindrica simile a Superroots® Air-Cell™.</li> <li>2) Quadro Antispiralizzante (Bamaplast): contenitore di forma quadrata dotato di 4 setti verticali interni.</li> <li>3) Testimone (Cultistop, Arca): vaso cilindrico a pareti e fondo liscio.</li> </ol> <p>N.B.: le piante coltivate nel corso della prima stagione vegetativa in vaso 0,9 litri sono state rinvasate l'anno successivo in contenitori simili ma di dimensioni maggiori (3 litri)</p>
Substrato utilizzato	Miscuglio torba e pomice in rapporto v/v 4:1; aggiunta di 4 Kg/m <sup>3</sup> di concime a rilascio controllato 8-9 mesi con titolo N:P:K 15-8-12. Correzione del pH con 4 Kg/m <sup>3</sup> di CaCO <sub>3</sub>
Numero di piante per tesi	480 piante per specie (suddivise in quattro repliche)
Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinazione della biomassa aerea al termine di ogni stagione vegetativa (20 piante per tesi)</li> <li>• Grado di spiralizzazione delle radici (massa radici spiralate/massa radici non spiralate) al termine di ogni stagione vegetativa</li> <li>• Misurazione della fluorescenza (Fv/Fm) e del contenuto fogliare della clorofilla (SPAD) nel corso della seconda stagione vegetativa</li> </ul>

## Risultati ottenuti

Prima stagione vegetativa (2008) – vaso 0,9 litri			
Specie e tipologia di contenitore	Biomassa aerea (g)	Biomassa radicale (g)	Radici deformate (%)
<b><i>Tilia cordata</i></b>			
Superroots® Air-Cell™	12,7	14,6 a	13,2 b
Quadro fondo rete	13,7	11,4 b	15,1 b
Testimone	11,9	14,0 a	26,2 a
Significatività	n.s.	*	**
<b><i>Ulmus minor</i></b>			
Superroots® Air-Cell™	13,4	9,5	11,3 b
Quadro fondo rete	12,8	9,0	17,1 b
Testimone	12,5	8,8	26,8 a
Significatività	n.s.	n.s.	**

Per ogni specie le medie all'interno della stessa colonna, seguite da lettere differenti, sono statisticamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*: significativo per  $p \leq 0.05$ ; \*\*: significativo per  $p \leq 0.01$ ).

Al termine del primo anno, indipendentemente dalla specie, entrambi i vasi in prova hanno garantito un grado di spiralizzazione delle radici

significativamente inferiore rispetto al testimone, mentre nessuna differenza è stata osservata a livello dello sviluppo della parte aerea.

Seconda stagione vegetativa (2009) – vaso 3 litri			
Specie e tipologia di contenitore	Biomassa aerea (g)	Biomassa radicale (g)	Radici deformate (%)
<b><i>Tilia cordata</i></b>			
Superroots® Air-Pot™	35,9 b	38,7	18,3 b
Quadro Antispiralizzante	47,1 a	40,8	19,3 b
Testimone	41,9 a	40,7	34,6 a
Significatività	**	n.s.	**
<b><i>Ulmus minor</i></b>			
Superroots® Air-Pot™	66,6	39,4 b	25,0 c
Quadro Antispiralizzante	76,1	50,4 a	48,0 b
Testimone	77,9	44,7 ab	58,9 a
Significatività	n.s.	*	**

Per ogni specie le medie all'interno della stessa colonna, seguite da lettere differenti, sono statisticamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*: significativo per  $p \leq 0.05$ ; \*\*: significativo per  $p \leq 0.01$ ).

Al termine della seconda stagione vegetativa l'impiego di Superroots® ha penalizzato lo sviluppo della parte aerea di *T. cordata* e della parte radicale di *U. minor*. Come riportato in bibliografia, le giovani piante coltivate in vasi che permettono l'*air pruning* presentano una minor crescita e una biomassa inferiore alle piante prodotte in contenitori tradizionali. Ciò può essere attribuito al moderato stress risultante dalla creazione di nuovi apici radicali e dalla formazione di nuove radichette, che sostituiscono gli apici disseccati dal contatto con l'aria. Inoltre,

l'aria che si infila tra il vaso e la zolla porta ad un rapido disseccamento della porzione periferica del substrato di coltivazione. Come già osservato in precedenti sperimentazioni, una zolla con meno umidità tende a scaldarsi più facilmente rispetto ad una più umida, arrecando alla pianta uno stress da calore che va ad aggiungersi allo stress idrico. Ovviamente questo problema è inversamente proporzionale al volume della zolla (minore è il volume di quest'ultima, maggiormente tenderà a disseccarsi e riscaldarsi).





Rilievi fisiologici anno 2009						
<i>Tilia cordata</i>						
Tipologia di contenitore	25 giugno		17 luglio		11 agosto	
	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD
Superroots® Air-Pot™	0,787	32,4	0,793	33,8	0,741	31,8 b
Quadro antispiralizzante	0,783	33,9	0,799	34,3	0,752	32,2 ab
Testimone	0,772	34,5	0,795	37,4	0,744	35,7 a
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
<i>Ulmus minor</i>						
Tipologia di contenitore	8 giugno		7 agosto		6 ottobre	
	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD
Superroots® Air-Pot™	0,783	39,7 a	0,761	36,7	0,798 b	34,6 b
Quadro antispiralizzante	0,768	38,8 a	0,750	39,0	0,811 ab	40,0 a
Testimone	0,779	34,6 b	0,762	36,5	0,823 a	40,4 a
Significatività	n.s.	*	n.s.	n.s.	**	**

Per ogni specie, le medie all'interno della stessa colonna, seguite da lettere differenti, sono statisticamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*: significativo per  $p \leq 0.05$ ; \*\*: significativo per  $p \leq 0.01$ ).

In entrambe le specie, in occasione dell'ultimo rilievo fisiologico, le piante coltivate in vasi Superroots® hanno presentato una condizione di stress maggiore rispetto al testimone (evidente anche dalla precoce senescenza fogliare). Anche in questo caso quanto osservato può essere spiegato dal moderato stress che potatura radicale e temperatura più alta della zolla arrecano alla pianta in coltivazione.

La limitata riduzione della biomassa delle piante coltivate nei vasi che permettono l'*air pruning*, risulta comunque ampiamente compensata dalla migliore conformazione dell'apparato radicale di queste piante.

Alberi con un apparato radicale ben conformato garantiscono infatti percentuali di attecchimento maggiori in fase post-trapianto ed una maggior sopportazione degli stress biotici ed abiotici,

garantendo così ai coltivatori che decidono di puntare sulla qualità della produzione un importante ritorno economico.





## 2 - Effetto di diverse metodologie di potatura radicale al momento del rinvaso

La prolungata permanenza delle piante entro il contenitore porta alla spiralizzazione delle radici. In presenza di un apparato radicale spiralato, è comunque possibile intervenire al fine di cercare di rimuovere tale grave difetto, sia nel caso di trapianto in piena terra sia di rinvaso in un contenitore di maggiori dimensioni, con un allargamento manuale delle radici oppure con interventi di taglio e/o potatura dell'apparato radicale.

Diverse ricerche riportano come la potatura della parte ipogea della pianta possa incoraggiare lo sviluppo laterale delle radici e la formazione di un apparato radicale denso e maggiormente idoneo a resistere agli stress legati al trapianto. La potatura radicale, infatti, conduce a rapidi

cambiamenti fisiologici che coinvolgono anche la parte aerea: entro poche ore dall'intervento si osserva una riduzione della  $CO_2$  fissata e della traspirazione; nelle settimane successive si rileva una allocazione preferenziale degli assimilati verso la parte ipogea, al fine di rafforzare e rigenerare l'apparato radicale. Nel lungo termine la  $CO_2$  fissata aumenta considerevolmente, stimolando pertanto l'accrescimento sia della parte epigea che ipogea.

Nella presente prova sono state confrontate, su due specie arboree a differente vigoria dell'apparato radicale, alcune tipologie di potatura radicale, allo scopo di individuare quelle che permettono di limitare la mortalità e di aumentare la vigoria delle piante dopo il rinvaso.

Materiali e metodi	
Anno di prova	2010 (due cicli di coltivazione: aprile-giugno; luglio-settembre)
Specie utilizzate	<i>Quercus robur</i> , <i>Ulmus minor</i>
Vaso e substrato	Vaso diametro 18 cm (volume 3 litri) Miscuglio torba e pomice in rapporto v/v 4:1; aggiunta di 4 Kg/m <sup>3</sup> di concime a rilascio controllato 8-9 mesi con titolo N:P:K 15-8-12. Correzione del pH con 4 Kg/m <sup>3</sup> di CaCO <sub>3</sub>
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"><li>• BP (butterfly pruning): allargamento manuale delle radici, in modo particolare nella porzione basale della zolla</li><li>• BR (bottom removal): taglio orizzontale con rimozione di circa 3 cm della parte basale della zolla</li><li>• LP (light pruning): leggera potatura radicale: taglio con profondità non superiore ad 1 cm su tutti i lati della zolla</li><li>• VC (vertical cut): taglio verticale con profondità di circa 3 cm su un solo lato della zolla</li><li>• T (test): nessuna potatura</li></ul>
Numero di piante per tesi	24 piante (suddivise in quattro repliche)
Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"><li>• misurazione degli scambi gassosi e del potenziale idrico fogliare prima dell'alba a 3, 30 e 60 giorni dai trattamenti di potatura radicale</li><li>• misurazione della fluorescenza (Fv/Fm) e del contenuto fogliare della clorofilla (SPAD) a 3, 30 e 60 giorni dai trattamenti di potatura radicale</li><li>• peso secco della parte aerea e radicale dopo 60 giorni dai trattamenti di potatura radicale</li></ul>

## Risultati ottenuti

<b><i>Quercus robur</i> - Primo ciclo di prove (aprile-giugno 2010)</b>						
Tipo di potatura	29 aprile		01 giugno		29 giugno	
	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD
BP (butterfly pruning)	0,713	36,1	0,757	37,3 b	0,789	38,6
BR (bottom removal)	0,732	36,0	0,771	39,2 ab	0,766	39,3
LP (light pruning)	0,721	35,3	0,767	37,1 b	0,794	38,5
VC (vertical cut)	0,771	36,4	0,779	40,0 ab	0,796	39,5
T (test)	0,780	36,8	0,782	41,8 a	0,793	40,6
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

<b><i>Quercus robur</i> - Primo ciclo di prove (aprile-giugno 2010)</b>									
Tipo di potatura	30 aprile			07 maggio			11 giugno		
	Fotosin-tesi netta	Traspira-zione	Potenz. idrico	Fotosin-tesi netta	Traspira-zione	Potenz. idrico	Fotosin-tesi netta	Traspira-zione	Potenz. idrico
BP	5,56	1,43	-0,73 a	7,48	1,70 ab	-0,46 a	8,63	1,93	-0,66 a
BR	4,56	1,31	-0,47 b	7,69	1,90 ab	-0,34 b	11,76	2,68	-0,55 ab
LP	4,63	1,24	-0,58 ab	5,98	1,35 b	-0,37 ab	9,51	2,52	-0,55 ab
VC	5,68	1,42	-0,46 b	7,58	2,24 a	-0,32 b	9,83	2,46	-0,46 b
T	5,48	1,46	-0,59 ab	8,84	1,87 ab	-0,32 b	11,04	2,72	-0,43 b
Signific.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Nel primo ciclo di prove si è osservato che le piante di quercia sottoposte ai trattamenti di potatura radicale evidenziano alcuni sintomi di stress; in particolare, si constata nel rilievo del 1° giugno una riduzione del contenuto fogliare di clorofilla nelle tesi in cui è stato effettuato l'allargamento manuale delle radici (BP) o la potatura radicale (LP). Nei 3 rilievi effettuati si sono registrati valori più negativi di potenziale idrico fogliare nella tesi in cui è stato effettuato l'allargamento manuale

delle radici: è probabile che con tale operazione siano state danneggiate alcune radici ma non sia avvenuta una rigenerazione di nuove radici come accade dopo una cimatura; di conseguenza l'assorbimento idrico è stato limitato ed ha provocato un leggero stress alla pianta. A livello di accumulo finale di biomassa aerea e radicale non sono comunque state osservate differenze tra le tesi in prova.

<b><i>Quercus robur</i> - Secondo ciclo di prove (luglio-settembre 2010)</b>						
Tipo di potatura	9 luglio		13 agosto		16 settembre	
	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD
BP (butterfly pruning)	0,773	36,1	0,791	41,2	0,767	38,2
BR (bottom removal)	0,739	37,9	0,797	40,0	0,760	37,9
LP (light pruning)	0,715	35,7	0,806	39,9	0,764	39,1
VC (vertical cut)	0,764	34,6	0,817	39,7	0,782	39,4
T (test)	0,768	38,0	0,802	40,3	0,784	39,2
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

<b><i>Quercus robur</i> - Secondo ciclo di prove (luglio-settembre 2010)</b>					
Tipo di potatura	13 luglio		17 settembre		
	Fotosintesi netta	Traspirazione	Fotosintesi netta	Traspirazione	Potenziale Idrico
BP (butterfly pruning)	8,14 ab	2,83 ab	8,55 ab	1,21	- 0,43 b
BR (bottom removal)	5,35 b	2,24 b	4,78 b	1,14	- 0,67 a
LP (light pruning)	7,46 ab	3,03 a	10,98 a	1,41	- 0,44 b
VC (vertical cut)	9,04 a	2,97 a	7,16 ab	1,25	- 0,61 ab
T (test)	9,33 a	3,13 a	9,93 a	1,28	- 0,45 b
<i>Significatività</i>	*	*	*	<i>n.s.</i>	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

<b>Biomassa aerea e radicale (g) di <i>Quercus robur</i> alla fine dei cicli di prova</b>				
Tipo di potatura	Primo ciclo		Secondo ciclo	
	Parte aerea	Apparato radicale	Parte aerea	Apparato radicale
BP (butterfly pruning)	35,8	17,5	52,6 b	31,3
BR (bottom removal)	39,4	16,5	47,6 b	25,9
LP (light pruning)	32,3	15,7	50,0 b	24,0
VC (vertical cut)	39,7	19,8	40,4 b	22,9
T (test)	28,4	15,5	67,5 a	31,6
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

In quercia nel secondo ciclo di prove si è osservata una minore fissazione di anidride carbonica attraverso la fotosintesi nelle tesi che hanno previsto il taglio della parte basale della zolla; in queste tesi si è registrato a fine prova

anche il valore più negativo di potenziale idrico fogliare. A livello di biomassa aerea tutte le tesi in cui sono stati effettuati interventi sulle radici hanno evidenziato una riduzione rispetto alla tesi non trattata.

<b><i>Ulmus minor</i> - Primo ciclo di prove (aprile-giugno 2010)</b>						
Tipo di potatura	29 aprile		01 giugno		29 giugno	
	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD
BP (butterfly pruning)	0,627	34,9	0,775	40,9	0,831	41,6
BR (bottom removal)	0,694	35,2	0,775	37,3	0,827	41,6
LP (light pruning)	0,708	35,3	0,791	38,8	0,828	41,0
VC (vertical cut)	0,716	38,1	0,779	40,7	0,826	44,1
T (test)	0,713	37,2	0,773	40,1	0,827	41,0
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>





<i>Ulmus minor</i> - Primo ciclo di prove (aprile-giugno 2010)									
Tipo di potatura	30 aprile			07 maggio			11 giugno		
	Fotosintesi netta	Traspirazione	Potenz. idrico	Fotosintesi netta	Traspirazione	Potenz. idrico	Fotosintesi netta	Traspirazione	Potenz. idrico
BP	6,85	1,56	-0,71 a	6,95	2,21	-0,41	11,20 ab	2,04 b	-0,70 ab
BR	8,61	1,97	-0,57 ac	8,45	2,60	-0,49	9,46 b	1,75 b	-0,64 ac
LP	7,38	1,72	-0,66 ab	7,84	2,26	-0,46	10,00 b	1,91 b	-0,73 a
VC	9,88	2,14	-0,49 bc	9,01	2,79	-0,52	13,90 a	2,56 a	-0,56 c
T	8,88	1,68	-0,53 c	9,35	3,04	-0,56	8,07 b	1,58 b	-0,60 bc
<i>Signific.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	**	**	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

In olmo si osserva nel primo ciclo di prove che inizialmente il potenziale idrico fogliare risulta significativamente inferiore nelle tesi in cui è stato effettuato un intervento di allargamento manuale delle radici, di potatura radicale o di rimozione della parte basale della zolla. Queste differenze non si registrano nel rilievo di maggio, probabilmente a causa del clima fresco e piovoso del periodo, e si evidenziano nel rilievo di giugno. In questo rilievo le piante di olmo in cui è stato effettuato il taglio verticale della zolla presentano i valori più elevati di traspirazione e di fissazione di anidride carbonica. Come osservato anche in quercia, in questo periodo della stagione gli interventi di potatura radicale non hanno provocato significativi cambiamenti

della biomassa aerea e radicale delle piante. Nel secondo ciclo di prove non si registrano differenze tra le tesi per i valori di fluorescenza e di contenuto di clorofilla delle foglie, mentre si evidenzia una minore fissazione di anidride carbonica nelle piante in cui è stata rimossa la parte basale della zolla; tali piante presentano anche i valori più negativi di potenziale idrico. Questa tecnica di potatura radicale nel periodo estivo ha indotto nelle piante di olmo una condizione di stress che non ha permesso una rigenerazione dell'apparato radicale: nel mese di settembre infatti il peso delle radici delle piante sottoposte a questa tecnica è risultato inferiore a quello delle piante non potate e di quelle in cui è stato effettuato l'allargamento manuale della zolla.



<i>Ulmus minor</i> - Secondo ciclo di prove (luglio-settembre 2010)						
Tipo di potatura	9 luglio		13 agosto		16 settembre	
	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD	Fv/Fm	SPAD
BP (butterfly pruning)	0,754	35,0	0,827	44,7	0,819	43,2
BR (bottom removal)	0,758	30,9	0,828	42,4	0,829	44,7
LP (light pruning)	0,787	33,4	0,830	45,1	0,828	43,7
VC (vertical cut)	0,763	31,6	0,825	42,8	0,818	43,2
T (test)	0,789	32,0	0,802	43,4	0,827	43,5
Significatività	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).



<i>Ulmus minor</i> - Secondo ciclo di prove (luglio-settembre 2010)					
Tipo di potatura	13 luglio		17 settembre		
	Fotosin-tesi netta	Traspira-zione	Fotosin-tesi netta	Traspira-zione	Potenziale Idrico
BP (butterfly pruning)	10,40 ab	2,33	13,18 ab	1,72	- 0,54 ac
BR (bottom removal)	8,13 b	1,89	9,64 c	1,24	- 0,67 a
LP (light pruning)	10,74 ab	2,09	14,66 a	1,76	- 0,50 bc
VC (vertical cut)	12,10 a	2,57	11,10 bc	1,47	- 0,62 ab
T (test)	11,29 a	2,58	13,00 ab	1,66	- 0,48 c
Significatività	*	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Biomassa aerea e radicale (g) di <i>Ulmus minor</i> alla fine dei cicli di prova				
Tipo di potatura	Primo ciclo		Secondo ciclo	
	Parte aerea	Apparato radicale	Parte aerea	Apparato radicale
BP (butterfly pruning)	71,6	18,4	143,1	41,5 a
BR (bottom removal)	76,2	18,8	118,2	27,9 b
LP (light pruning)	72,8	16,8	133,6	33,6 ab
VC (vertical cut)	74,0	18,7	133,7	32,9 ab
T (test)	85,1	22,8	144,8	38,1 a
Significatività	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Le prove effettuate non hanno fornito, in generale, una risposta univoca in merito all'efficacia delle tecniche di potatura radicale sulle due specie saggiate.

In presenza di apparati radicali fortemente spiralizzati risulta difficile stimolare una ripresa vegetativa delle piante arboree attraverso interventi sulle radici.





### 3 - Risposta alla micorrizzazione di specie arboree allevate in contenitore

#### 3.1 - Relazione tra micorrizzazione controllata e stress idrico

Le micorrize sono una simbiosi mutualistica tra una specie arborea ed una o più specie fungine, in cui la pianta cede al fungo una parte dei prodotti della fotosintesi ed in cambio il fungo aumenta la capacità dell'ospite vegetale di assorbire acqua ed elementi minerali, lo protegge da alcuni patogeni così come dagli effetti fitotossici della salinità e dei metalli pesanti. Le micorrize sono abbondanti in suoli naturali e forestali indisturbati ed esistono in letteratura numerosi studi che dimostrano come le piante micorrizzate siano maggiormente tolleranti agli stress ambientali, incluso lo stress idrico, rispetto ad altre prive di tali funghi. Tuttavia, qualsiasi perturbazione nei normali eventi ecologici può provocare l'alterazione delle popolazioni e dei ceppi fungini presenti e, di conseguenza, la diffusione e le tipologie delle micorrize presenti. In particolare, l'urbanizzazione costituisce una severa perturbazione che, generalmente, determina una drastica diminuzione della biodiversità fungina e della colonizzazione radicale. Ciò costituisce

un grave handicap per il verde ornamentale, soprattutto nella fase immediatamente successiva al trapianto, poiché le piante messe a dimora in ambiente urbano sono maggiormente soggette ad una grande varietà di stress abiotici, tra i quali lo stress idrico riveste un ruolo di particolare gravità. Una soluzione alternativa agli inoculi commerciali (scarsamente efficaci), già utilizzata in selvicoltura ma non ancora adottata per l'arboricoltura urbana, è la micorrizzazione controllata. Essa consiste nell'inoculare, in vivaio, le piante con il micelio di funghi micorrizici selezionati per le loro eccellenti performance tra tutti quelli presenti nel sito d'impianto. Secondo alcuni autori, la micorrizzazione controllata è il modo più efficace e conveniente di utilizzare le micorrize, poiché, essendo la quantità di inoculo proporzionale alla dimensione della pianta, l'inoculazione di giovani piante ancora in vivaio risulta economicamente più vantaggiosa rispetto a quella di esemplari già a dimora nel paesaggio.

Questa sperimentazione cerca di verificare se



specie e ceppi fungini autoctoni selezionati in Lombardia (in collaborazione con Grandi Trapianti Italiani e con il laboratorio tedesco MicoMax) siano in grado di sopravvivere durante la fase di coltivazione in vivaio riuscendo ad instaurare una simbiosi funzionale con le piante ospiti tale da aumentarne la tolleranza agli stress

ambientali.

In particolare si è cercato di valutare se, come e quanto l'inoculazione con funghi micorrizici autoctoni, specie-specifici e selezionati sia in grado di aumentare la tolleranza allo stress idrico di tre specie arboree comunemente utilizzate in ambiente urbano.

Materiali e metodi	
Anni di prova	2008-2009
Specie utilizzate	<i>Acer campestre</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Tilia cordata</i> 'Greenspire' (piante di 2 anni di età)
Vaso e substrato	2008: vaso diametro 18 cm (volume 3 litri); 2009: vaso diametro 24 cm (volume 7,5 litri) Miscuglio torba e pomice in rapporto v/v 4:1; aggiunta di 2 Kg/m <sup>3</sup> di concime a rilascio controllato 8-9 mesi con titolo N:P:K 15-8-12. Correzione del pH con 4 Kg/m <sup>3</sup> di CaCO <sub>3</sub>
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• +I +H<sub>2</sub>O (piante inoculate con 25 ml/pianta di inoculo micorrizico autoctono specie-specifico e irrigate quotidianamente a capacità di contenitore)</li> <li>• +I -H<sub>2</sub>O (piante inoculate con 25 ml di inoculo autoctono specie-specifico e sottoposte a stress idrico moderato, ottenuto mantenendo l'umidità del substrato attorno al 30% della capacità di ritenzione idrica)</li> <li>• -I +H<sub>2</sub>O (piante non inoculate e irrigate quotidianamente a capacità di contenitore)</li> <li>• -I -H<sub>2</sub>O (piante non inoculate e sottoposte a stress idrico moderato, ottenuto mantenendo l'umidità del substrato attorno al 30% della capacità di ritenzione idrica)</li> </ul>
Selezione e moltiplicazione dell'inoculo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selezione, in ambiente urbano e periurbano, di tigli, querce e aceri in eccellente stato di salute e campionamento di radici assorbenti. La selezione è stata condotta con l'aiuto di Grandi Trapianti Italiani e del Comune di Milano.</li> <li>• Analisi, presso il laboratorio MicoMax (Germania) delle radici raccolte per valutare la presenza e le caratteristiche delle micorrize</li> <li>• Selezione, isolamento e moltiplicazione delle specie e dei ceppi fungini con le caratteristiche desiderate</li> <li>• Inoculo delle piantine, effettuato al rinvaso, utilizzando 25 ml di prodotto, messo a diretto contatto con le radici assorbenti della pianta</li> </ul>
Numero di piante per tesi	20 per ciascuna specie (80 piante utilizzate nell'esperimento per ciascuna specie, 240 in totale)
Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinazione della frequenza e dell'intensità di colonizzazione 7 mesi dopo l'inoculo</li> <li>• Misurazione della biomassa, dell'area fogliare e del rapporto radici/parte aerea, effettuata dopo 7 e 19 mesi dall'inoculo</li> <li>• Misurazione degli scambi gassosi fogliari e della fluorescenza della clorofilla, effettuata 4, 5, 7, 17 e 18 mesi dopo l'inoculo</li> <li>• Misurazione del potenziale idrico prima dell'alba (soloiglio e acero) effettuata 18 mesi dopo l'inoculo</li> </ul>



## Risultati ottenuti

L'inoculazione con funghi micorrizici autoctoni selezionati ha aumentato la frequenza degli apici radicali colonizzati nelle tre specie in prova. L'analisi morfologica delle micorrize ha inoltre rivelato profonde differenze tra piante inoculate e non. Infatti se queste ultime presentavano micorrize poco ramificate, capaci di esplorare il suolo a breve distanza (le tipiche micorrize da vivaio), quelle inoculate mostravano strutture altamente specializzate, adibite all'esplorazione del substrato e all'assorbimento a lunga distanza. La presenza di queste strutture è chiaramente vantaggiosa per la pianta e potrebbe essere di estrema importanza, soprattutto dopo il trapianto. Il fatto di avere avuto un certo grado di micorizzazione anche sui controlli non trattati, esattamente come accadrebbe in qualsiasi vivaio tradizionale, è servito a dimostrare la buona capacità dei ceppi fungini selezionati ed inoculati

di competere con le "micorrize da vivaio" e di instaurare la simbiosi con la pianta ospite.

In accordo con i risultati di precedenti sperimentazioni, lo stress idrico moderato ha inoltre aumentato la percentuale di colonizzazione, anche se in modo variabile a seconda delle specie fungine e dell'ospite vegetale.

L'inoculazione con micorrize selezionate non ha modificato la produzione di biomassa, l'area fogliare e il rapporto radici/parte aerea di *Acer campestre*, né nella prima stagione vegetativa dopo l'inoculazione, né nella seconda. Gli aceri allevati in condizione di stress idrico moderato, a prescindere dal fatto che fossero o meno inoculati, non hanno mostrato alcuna riduzione dei parametri biometrici misurati nella prima stagione vegetativa, mentre significative riduzioni della biomassa totale e dell'area fogliare sono state osservate nella seconda.

<i>Acer campestre</i>						
Tesi	Peso secco totale (g)		Radici/parte aerea		Area fogliare (cm <sup>2</sup> )	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
<i>Effetto della micorizzazione</i>						
Micorizzato	94,3	248,2	1,0	0,9	1437,7 a	5398,3 a
Non micorizzato	101,1	238,2	1,1	1,0	1494,8 a	4964,9 a
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	105,3	292,2 a	1,0	1,0 a	1514,1 a	5859,5 a
Irrigazione ridotta	90,1	195,2 b	1,1	0,9 a	1414,8 a	4503,7 b
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*
<i>Interazione tra micorizzazione e irrigazione</i>						
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

In *Quercus robur*, invece, l'inoculazione ha determinato la produzione di una maggiore area fogliare, in questo caso significativa sia nel 2008, sia nel 2009. Al contrario, il peso secco totale e il rapporto radici/parte aerea non sono stati influenzati dall'inoculo. Sia le querce micorizzate, sia quelle non micorizzate, se allevate in condizioni di stress idrico, hanno mostrato un significativo calo della biomassa

(solo 2009) e dell'area fogliare (2008 e 2009) ed un aumento del rapporto radici/parte aerea (2008 e 2009). L'aumento del rapporto radici/parte aerea, ottenuto in vivaio mediante l'esposizione a stress moderati (es. deficit di irrigazione), è stato frequentemente associato a una maggior capacità di tollerare gli stress ambientali dopo la messa a dimora in ambiente urbano.

<i>Quercus robur</i>						
Tesi	Peso secco totale (g)		Radici/parte aerea		Area fogliare (cm <sup>2</sup> )	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
<i>Effetto della micorizzazione</i>						
Micorrizato	58,7	187,5	0,7	0,7	1737,2 a	5092,9 a
Non micorrizato	56,5	201,8	0,7	0,8	1153,2 b	3875,9 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	**
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	64,0	233,6 a	0,6 b	0,6 b	1885,6 a	5715,4 a
Irrigazione ridotta	50,9	155,8 b	0,8 a	1,0 a	1004,8 b	3253,4 b
Significatività	n.s.	**	*	**	**	**
<i>Interazione tra micorizzazione e irrigazione</i>						
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

La micorizzazione controllata non ha modificato la biomassa totale e il rapporto radici/parte aerea in *Tilia cordata*, né nel 2008, né nel 2009. Tuttavia, nel 2009, un significativo aumento dell'area fogliare è stato osservato nei tigli

inoculati. Lo stress idrico ha determinato, già dal primo anno di sperimentazione, una significativa riduzione della biomassa totale, nonché dell'area fogliare, mentre il rapporto radici/parte aerea non è cambiato.

<i>Tilia cordata</i>						
Tesi	Peso secco totale (g)		Radici/parte aerea		Area fogliare (cm <sup>2</sup> )	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
<i>Effetto della micorizzazione</i>						
Micorrizato	55,0	160,4	0,8	0,9	631,5	4428,0 a
Non micorrizato	54,8	153,3	0,9	0,9	597,9	4036,9 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	60,9 a	190,3 a	0,9	0,9	930,7 a	4833,4 a
Irrigazione ridotta	48,9 b	123,4 b	0,8	0,9	298,7 b	3631,5 b
Significatività	*	**	n.s.	n.s.	*	**
<i>Interazione tra micorizzazione e irrigazione</i>						
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

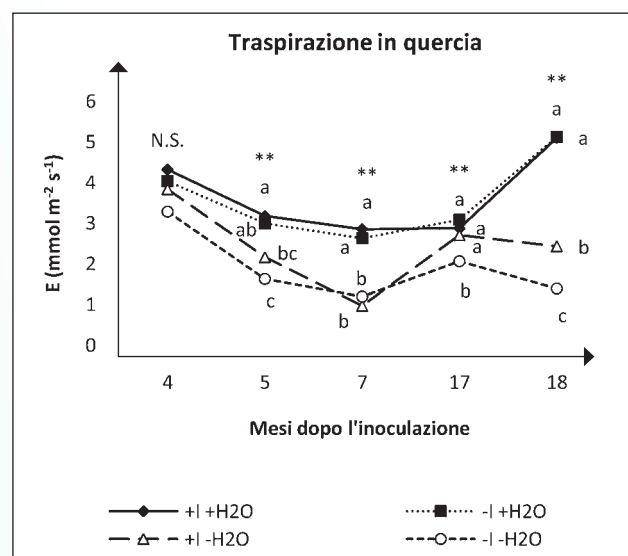
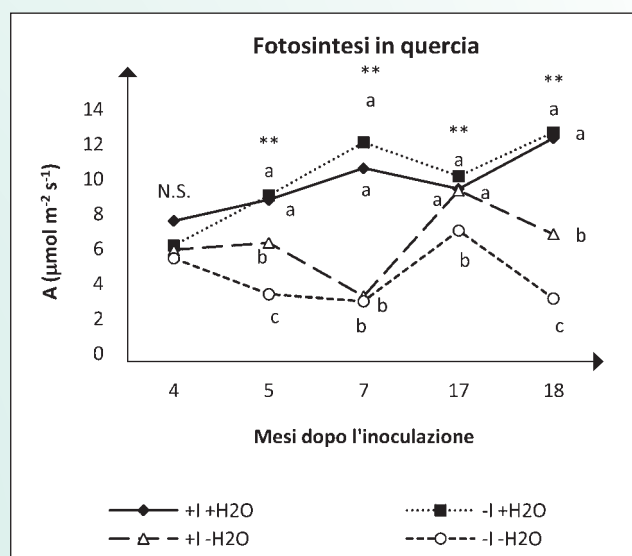
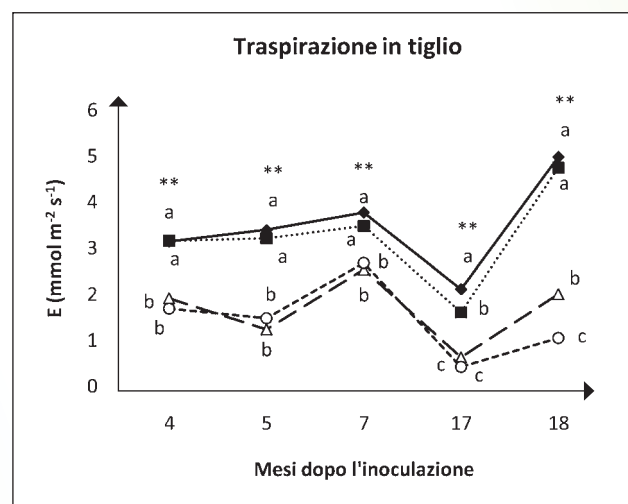
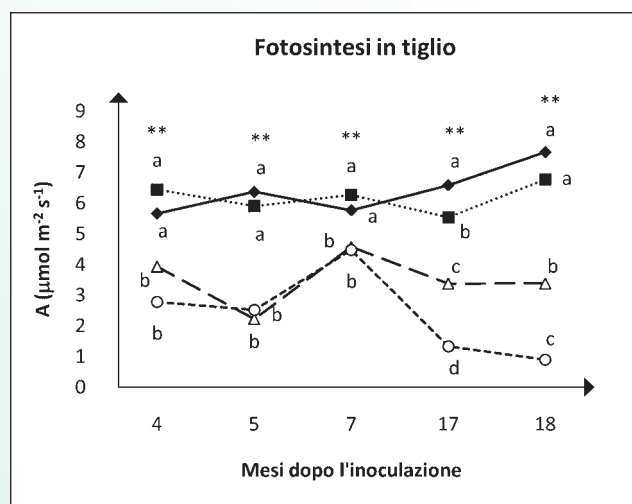
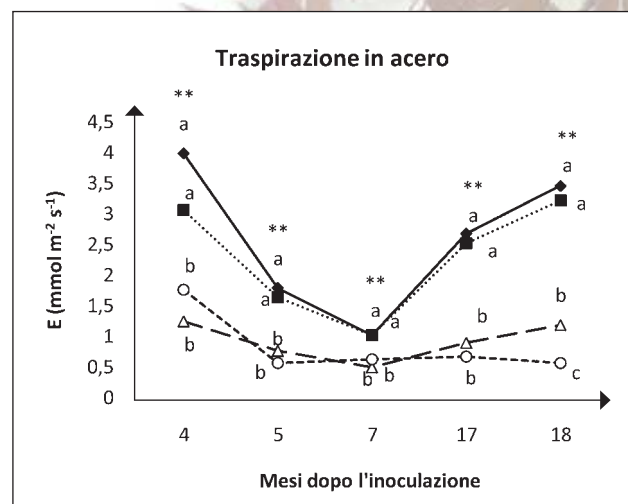
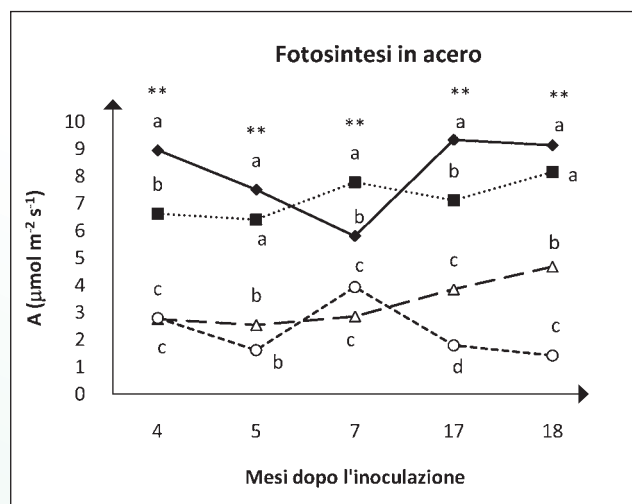
Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Gli scambi gassosi fogliari sono stati significativamente influenzati dal trattamento per tutta la durata della sperimentazione in tutte e tre le specie studiate. Le piante allevate in condizioni di disponibilità idrica ottimale hanno mostrato, durante tutto il periodo di prova, maggiore fotosintesi e traspirazione rispetto a quelle allevate in condizioni di stress idrico.

È stato inoltre possibile notare che, quando la disponibilità idrica è stata elevata, l'effetto dell'inoculo micorrizico sugli scambi gassosi si è rivelato trascurabile. La situazione è stata differente nelle piante allevate in condizioni di stress idrico: 17 e 18 mesi dopo l'inoculo, le piante micorrizzate, a prescindere della specie, hanno mostrato una maggior fotosintesi netta e

traspirazione rispetto ai controlli non trattati. La capacità di mantenere, in condizioni di stress idrico, una maggior assimilazione di carbonio atmosferico, è un importante segnale della capacità delle micorrize di ridurre l'impatto della siccità. Inoltre, una maggior capacità fotosintetica

in condizioni di stress permette alla pianta di avere una maggior disponibilità di carboidrati da allocare non tanto per la crescita, quanto per la sintesi di composti di difesa con cui proteggersi dallo stress stesso.



Diverse lettere nella stessa data di campionamento indicano differenze significative tra le tesi con  $P < 0,01$ .



Quanto detto a proposito della fotosintesi netta è stato confermato dall'analisi della fluorescenza della clorofilla, un indice largamente utilizzato per valutare eventuali stati di stress della pianta. Valori di Fv/Fm superiori a 0,76 sono associati a piante in buono stato di salute, mentre valori inferiori

indicano la presenza di stress. L'inoculazione con micorrize specifiche selezionate ha aumentato il valore di Fv/Fm in tutte le specie e in entrambi gli anni di sperimentazione (eccetto in quercia nel 2009).

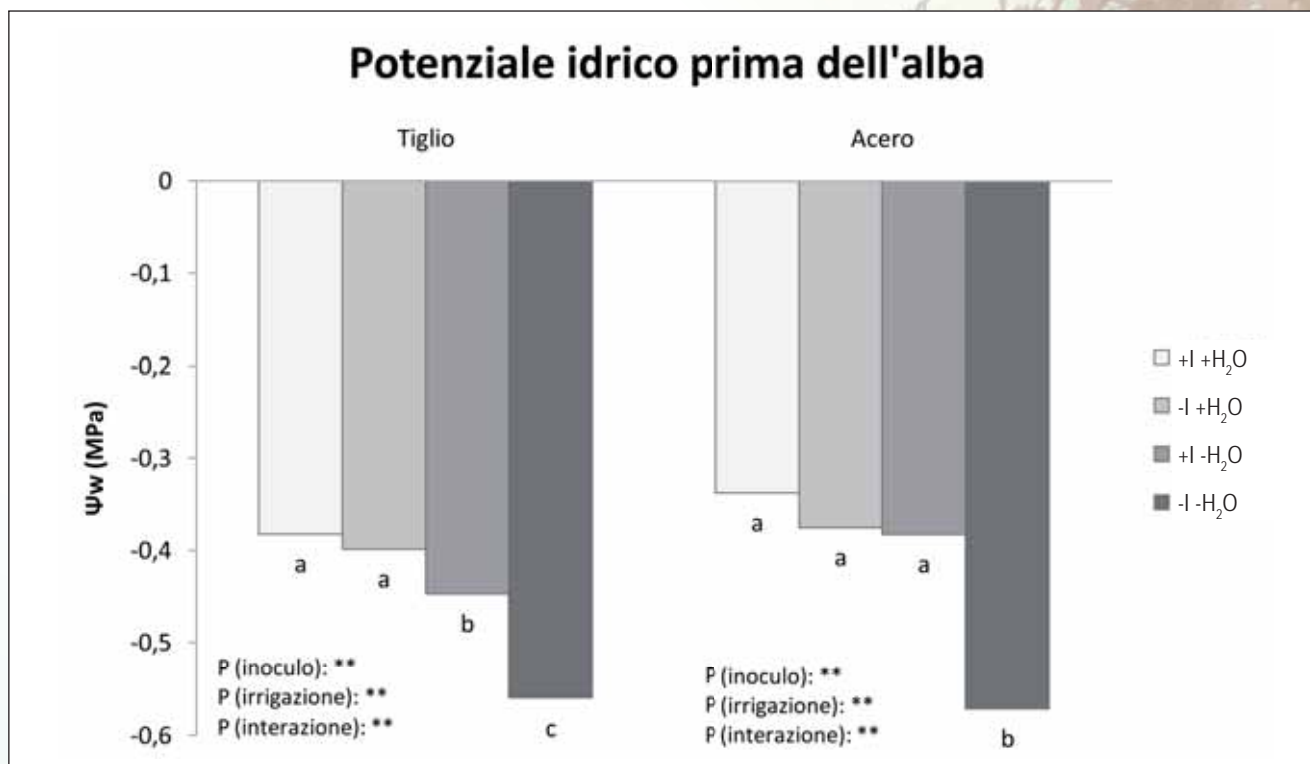
Fluorescenza clorofilla (Fv/Fm)						
Tesi	<i>Acer campestre</i>		<i>Quercus robur</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
<i>Effetto della micorrizzazione</i>						
Micorrizzato	0,767 a	0,780 a	0,783 a	0,784	0,773 a	0,789 a
Non micorrizzato	0,737 b	0,739 b	0,748 b	0,789	0,752 b	0,762 b
Significatività	**	**	**	n.s.	**	*
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	0,764 a	0,770 a	0,774	0,789	0,769 a	0,798 a
Irrigazione ridotta	0,740 b	0,751 b	0,757	0,784	0,756 b	0,753 b
Significatività	**	**	n.s.	n.s.	*	**
<i>Interazione tra micorrizzazione e irrigazione</i>						
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Perché avvenga la fotosintesi, la CO<sub>2</sub> deve poter entrare nella foglia attraverso gli stomi e ciò determina, in contemporanea, la fuoriuscita di acqua attraverso gli stessi, secondo il processo chiamato traspirazione. In condizioni di siccità, è estremamente importante che le piante siano in grado di trovare un “compromesso fototraspirazionale” che permetta loro di avere buona disponibilità di anidride carbonica, senza però incorrere in eccessiva disidratazione. La maggior traspirazione mostrata dalle piante inoculate e allevate in condizioni di stress idrico, rispetto ai controlli allevati nelle medesime condizioni, 17 e 18 mesi dopo l'incolo, indica come le micorrize siano state in grado di aumentare la capacità di estrarre acqua dal substrato. Ciò può essere stato causato dalla migliore capacità di esplorare il substrato da parte delle ife fungine, determinando una migliore capacità della pianta micorrizzata di mantenere uno status idrico più favorevole e, di

conseguenza, di mantenere maggiormente aperti gli stomi e di attuare la fotosintesi. La miglior capacità delle piante micorrizzate di mantenere relazioni idriche favorevoli è stata dimostrata mediante la misurazione del potenziale idrico prima dell'alba. Infatti, se in condizioni di buona disponibilità idrica non sono emerse differenze tra il potenziale idrico dei tigli inoculati rispetto quelli non trattati, in condizioni di stress idrico gli esemplari inoculati hanno mostrato un potenziale idrico significativamente meno negativo se confrontati con i rispettivi controlli. In modo analogo, in acero, nessuna differenza è emersa tra le piante inoculate e non in quegli esemplari irrigati quotidianamente a capacità di contenitore. Al contrario, in condizioni di stress, l'inoculazione con micorrize selezionate ha determinato un potenziale idrico meno negativo (statisticamente uguale a quello delle piante non stressate), rispetto alle piante non trattate.





Nella stessa specie lettere diverse indicano differenze significative tra le tesi al test di Duncan, con  $P < 0,01$  (\*\*).

I risultati ottenuti hanno confermato la capacità delle specie fungine selezionate di formare micorrize con giovani semenzali di acero, quercia e tiglio, superando la competizione delle micorrize da vivaio. Sebbene l'inoculazione non abbia determinato, nella maggior parte dei casi, alcun incremento nella biomassa prodotta, a livello fisiologico sono stati osservati numerosi benefici indotti dalla simbiosi, quali l'aumento

dell'assimilazione di carbonio atmosferico e la capacità di mantenere relazioni idriche più favorevoli. Tali benefici fisiologici sono risultati evidenti quando le piante sono state allevate in condizioni sub-ottimali mediante l'imposizione di uno stress idrico controllato. In generale, quindi, è possibile affermare che l'inoculazione con micorrize autoctone dell'ambiente urbano, specie-specifiche e selezionate ha permesso di aumentare la tolleranza allo stress idrico in tutte le specie studiate. L'assenza di una maggior produzione di biomassa, nonostante il maggior tasso fotosintetico è motivabile col fatto che la pianta deve cedere al fungo circa il 20% dei fotosintetati. Tuttavia, come già riportato in letteratura, il valore aggiunto delle micorrize non risiede tanto nella maggior capacità di crescita, ma nel citato aumento della tolleranza a molti stress ambientali che sono tipici dell'ambiente urbano.



*Pianta di quercia micorrizata (sinistra) e non micorrizata (destra)*

### 3.2 - Relazione tra micorizzazione controllata e apporto di concime al substrato

Il vivaismo in contenitore è un comparto agricolo caratterizzato da una produzione molto intensiva in quanto, al fine di ottenere prodotti di qualità in tempi relativamente brevi, si utilizzano ingenti quantitativi di acqua e fertilizzanti. La necessità di ridurre gli input chimici per unità di superficie coltivata ha dato il via alla ricerca di alternative ecocompatibili alla fertilizzazione chimica. Le micorrize potrebbero essere una di queste. La micorizzazione controllata, in particolare, ovvero quella tecnica che consiste nell'inoculare le piante in vivaio con le migliori specie o ceppi di funghi micorrizici selezionati tra quelli autoctoni del sito di messa a dimora finale, appare particolarmente interessante. Questo perché permetterebbe ai vivaisti di allevare le piante in vivaio con un ridotto utilizzo di concimi chimici e di venderle con il valore aggiunto di essere già "preparate" per l'ambiente in cui verranno messe a dimora. Gli effetti della micorizzazione sull'assorbimento minerale sono già stati in

parte individuati: di primaria importanza è il miglioramento della nutrizione fosfatica a causa dell'aumento del fosforo disponibile per la pianta. Questo elemento, fondamentale per il metabolismo energetico, è spesso presente nei nostri suoli, ma si trova, in larga parte, in forma non disponibile per la pianta a causa di fenomeni di insolubilizzazione. Numerosi studi evidenziano come le piante micorrizzate possono utilizzare forme di fosforo, che in assenza di simbiosi risulterebbero non disponibili. Oltre al fosforo, le ife fungine svolgono un importante ruolo nell'incrementare l'assorbimento di macro- e microelementi, come  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4$ , Fe, Zn, Cu. Tuttavia, è necessario verificare se i funghi micorrizici autoctoni selezionati siano in grado di sopravvivere alla fase di coltivazione in vivaio e se, anche in tale ambiente, siano in grado di fornire benefici tali da permettere al vivaista di ridurre l'uso di fertilizzanti chimici senza penalizzare la qualità delle piante.



*Radice micorrizzata di quercia*

Materiali e metodi	
Anni di prova	2008-2009
Specie utilizzate	<i>Acer campestre</i> , <i>Tilia cordata</i> ‘Greenspire’, <i>Quercus robur</i> (piante di 2 anni di età)
Vaso e substrato	2008: vaso diametro 18 cm (volume 3 litri); 2009: vaso diametro 24 cm (volume 7,5 litri) Miscuglio torba e pomice in rapporto v/v 4:1; correzione del pH con 4 Kg/m <sup>3</sup> di CaCO <sub>3</sub>
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M1: piante inoculate con 25 ml/pianta di inoculo micorrizico autoctono specie-specifico e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 1 Kg/m<sup>3</sup> di concime a rilascio controllato</li> <li>• C1: piante non inoculate e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 1 Kg/m<sup>3</sup> di concime a rilascio controllato</li> <li>• M3: piante inoculate con 25 ml/pianta di inoculo micorrizico autoctono specie-specifico e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 3 Kg/m<sup>3</sup> di concime a rilascio controllato</li> <li>• C3: piante non inoculate e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 3 Kg/m<sup>3</sup> di concime a rilascio controllato</li> </ul> <p>Concime utilizzato: Ficote®, 8-9 mesi, titolo 15-8-12</p>
Selezione e moltiplicazione dell'inoculo	Come nella prova 3.1
Numero di piante per tesi	20 per ciascuna specie (80 piante utilizzate nell'esperimento per ciascuna specie, 240 in totale)
Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinazione della frequenza e dell'intensità di colonizzazione 7 mesi dopo l'inoculo</li> <li>• Misurazione della biomassa, dell'area fogliare e del rapporto radici/parte aerea, effettuata dopo 7 e 19 mesi dall'inoculo</li> <li>• Misurazione degli scambi gassosi fogliari effettuata 4, 5, 7, 17 e 18 mesi dopo l'inoculo</li> <li>• Misurazione del contenuto di clorofilla fogliare (SPAD) effettuata 4, 5 e 18 mesi dopo l'inoculo</li> <li>• Misurazione dei nutrienti fogliari (N, P, K), effettuata 18 mesi dopo l'inoculo</li> </ul>

## Risultati ottenuti

L'inoculazione con micorrize autoctone selezionate ha aumentato la percentuale di radici colonizzate da funghi micorrizici in tutte le specie studiate. Ciò conferma la capacità dei funghi selezionati di sopravvivere in ambiente vivaistico. La concimazione, in questo caso effettuata con un prodotto a rilascio controllato, ha avuto solo trascurabili effetti sulla micorrizzazione. Quindi, dall'analisi dei dati emerge che l'infezione micorrizica non viene penalizzata se le colture sono concimate con prodotti a rilascio controllato, almeno fino a dosaggi di 3 kg/m<sup>3</sup>. Ciò differisce da quanto osservato da altri autori che, impiegando fertilizzanti solubili a pronto rilascio, avevano

riscontrato come l'alta fertilità, e soprattutto l'ampia disponibilità di fosforo, penalizzassero la simbiosi.

L'inoculazione non ha aumentato la biomassa prodotta da *Acer campestre*, né ha modificato il rapporto radici/parte aerea. Gli aceri concimati con 3 kg/m<sup>3</sup> hanno mostrato, sia nel primo, sia nel secondo anno di sperimentazione, un maggiore accumulo di biomassa, mentre l'allocazione delle risorse tra parte aerea e radicale è rimasta invariata. Un'interazione significativa (riportata in grafico) tra i fattori concimazione e micorrizzazione è stata trovata per l'area fogliare totale ed il peso secco delle foglie.

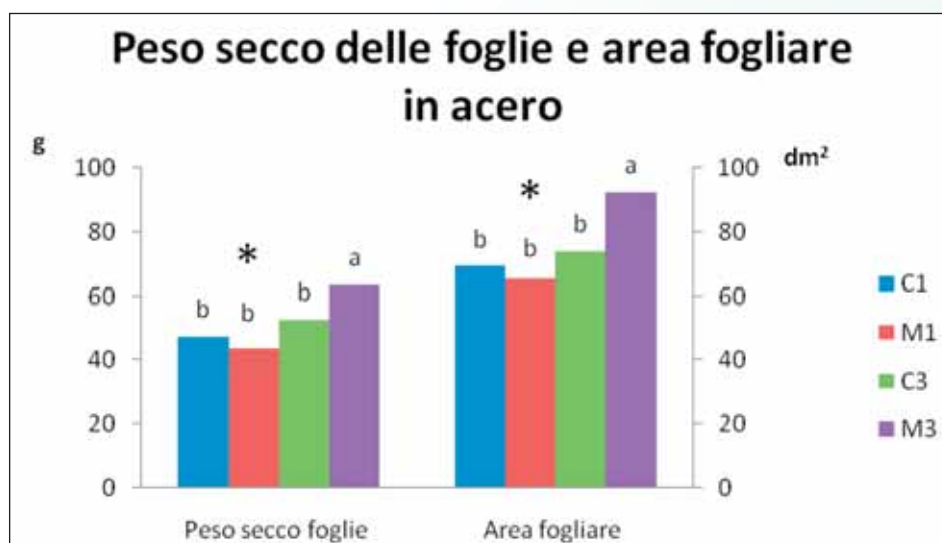


<i>Acer campestre</i>					
Tesi	Peso secco totale (g)		Radici/parte aerea		Area fogliare (cm <sup>2</sup> )
	2008	2009	2008	2009	2009
<i>Effetto della micorizzazione</i>					
Micorrizato	102,8	345,2	0,80	0,77	7904,7
Non micorrizato	101,2	326,0	0,76	0,77	7159,1
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto della concimazione</i>					
Concimazione normale	125,0 a	369,0 a	0,71	0,76	8320,0 a
Concimazione ridotta	80,0 b	302,0 b	0,83	0,82	6743,8 b
Significatività	**	**	n.s.	n.s.	**
<i>Interazione tra micorizzazione e concimazione</i>					
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Sia il peso secco delle foglie, sia l'area fogliare totale per pianta sono risultati simili nelle tesi C1, M1 e C3. Quindi, il solo aumento della quantità di concime impiegata non è stato sufficiente per ottenere aceri con una maggiore superficie fotosintetizzante. Al contrario, l'uso di una dose di concime normale in combinazione con l'inoculo con micorrize selezionate ha indotto un significativo aumento dell'area fogliare. Ciò è stato causato sia dalla maggior conducibilità idrica dell'apparato radicale micorrizato (in grado, quindi, di sostenere una maggior

area fogliare), sia, probabilmente, dalla capacità delle radici inoculate di utilizzare con maggiore efficienza i nutrienti.



Per ogni parametro lettere diverse indicano differenze significative al test di Duncan tra le tesi con  $P \leq 0,05$  (\*).

Analogamente a quanto osservato in acero, anche in *Quercus robur* l'inoculazione con micorrize selezionate non ha determinato incrementi nel peso secco totale o alterazioni del rapporto radici/parte aerea. Tuttavia, un significativo aumento dell'area fogliare in seguito all'inoculazione è stato trovato nel 2009. La riduzione della quantità di fertilizzanti utilizzati non ha alterato, nel 2008, la biomassa prodotta e ha aumentato il

rapporto radici/parte aerea in quercia. Il maggiore rapporto tra la superficie assimilante e quella traspirante è frequentemente correlato con una superiore tolleranza ad alcuni stress abiotici (es. siccità). Tuttavia, tali differenze non sono state confermate nel secondo anno di prova, quando le piante fertilizzate con dose ridotta mostravano un simile rapporto radici/parte aerea rispetto a quelle fertilizzate con dose normale, ma una



produzione di biomassa e un'area fogliare totale significativamente inferiori. Non sono state trovate interazioni significative tra inoculo e

concimazione, il che conferma che l'uso di concimi a rilascio controllato interferisce in modo molto marginale con la formazione delle micorrize.

<i>Quercus robur</i>					
Tesi	Peso secco totale (g)		Radici/parte aerea		Area fogliare (cm <sup>2</sup> )
	2008	2009	2008	2009	2009
<i>Effetto della micorrizzazione</i>					
Micorrizzato	70,0	274,3	0,71	0,58	7109,3 a
Non micorrizzato	72,9	276,4	0,67	0,64	6579,3 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
<i>Effetto della concimazione</i>					
Concimazione normale	82,0	330,1 a	0,59 b	0,67	7376,71 a
Concimazione ridotta	71,0	220,6 b	0,83 a	0,60	6311,92 b
Significatività	n.s.	**	*	n.s.	**
<i>Interazione tra micorrizzazione e concimazione</i>					
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

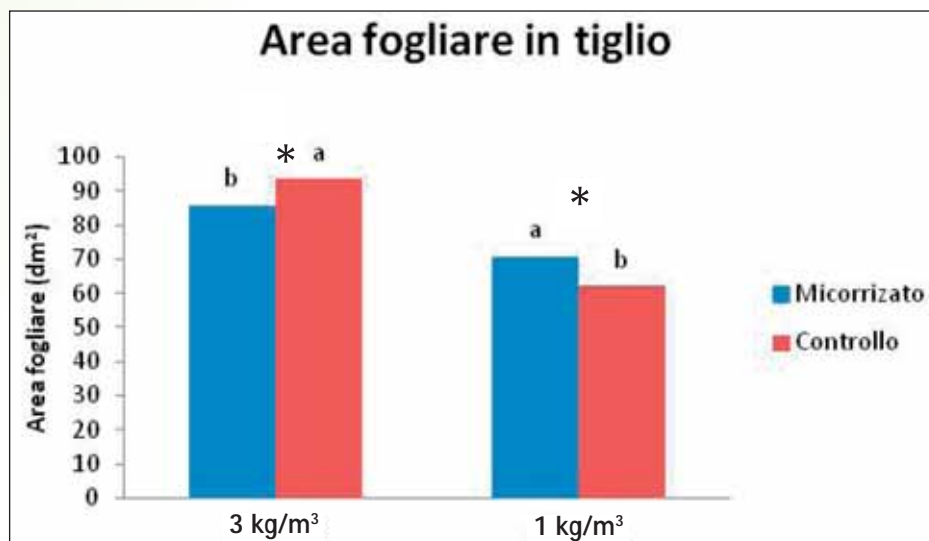
Anche in *Tilia cordata* l'inoculazione con micorrize selezionate non ha avuto effetti significativi sulla biomassa prodotta e sull'allocatione delle risorse nella pianta, mentre la riduzione della quantità di fertilizzanti applicati ha comportato un significativo calo del

peso secco totale e dell'area fogliare della pianta, già evidente nel primo anno di sperimentazione e confermato nel secondo. Similmente a quanto riscontrato in acero, è emersa una significativa interazione tra micorrizzazione e concimazione per i valori di area fogliare.

<i>Tilia cordata</i>					
Tesi	Peso secco totale (g)		Radici/parte aerea		Area fogliare (cm <sup>2</sup> )
	2008	2009	2008	2009	2009
<i>Effetto della micorrizzazione</i>					
Micorrizzato	65,2	248,5	0,91	0,74	7814,8
Non micorrizzato	66,1	243,0	0,91	0,82	7770,6
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto della concimazione</i>					
Concimazione normale	84,0 a	300,4 a	0,91	0,75	8952,3 a
Concimazione ridotta	47,0 b	191,1 b	0,91	0,80	6633,1 b
Significatività	**	**	n.s.	n.s.	**
<i>Interazione tra micorrizzazione e concimazione</i>					
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

L'inoculazione con micorrize selezionate ha ridotto l'area fogliare, rispetto alle piante non inoculate, dei tigli allevati con concimazione normale (3 kg/m<sup>3</sup>). Tuttavia, in condizioni di minor fertilità del substrato (piante concimate con 1 kg/m<sup>3</sup>), l'inoculazione ha determinato un significativo incremento dell'area fogliare totale della pianta.



Per ogni parametro lettere diverse indicano differenze significative al test di Duncan tra le tesi con  $P \leq 0,05$  (\*).

L'inoculazione con micorrize selezionate non ha influenzato il contenuto di azoto fogliare in nessuna delle specie studiate. Analogamente, anche la riduzione della quantità di fertilizzanti non ha avuto effetti significativi sul contenuto di azoto fogliare. L'assenza di effetti significativi dei trattamenti per l'azoto, elemento mobile nella pianta, potrebbe essere legato a un effetto di diluizione dell'azoto assorbito su una maggior superficie fogliare. Nonostante i benefici delle micorrize sull'assorbimento del fosforo siano

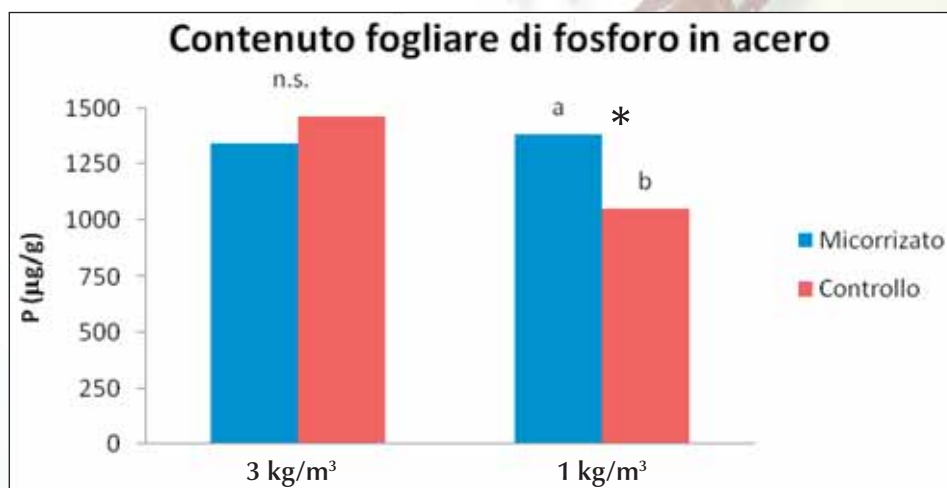
accertati, l'inoculazione non ha aumentato il contenuto di fosforo fogliare in quercia e taglio. In acero, al contrario, si è osservata un'interazione significativa tra inoculazione e concimazione per il contenuto di fosforo fogliare. Né la micorrizazione, né la somministrazione di diverse quantità di concime hanno influenzato il contenuto fogliare di potassio in acero e quercia. Al contrario, in taglio la micorrizazione controllata ha aumentato la concentrazione di tale elemento nei tessuti fogliari.

Analisi del contenuto fogliare dei macroelementi									
Tesi	<i>Acer campestre</i>			<i>Quercus robur</i>			<i>Tilia cordata</i>		
	N (%)	P (µg/g)	K (µg/g)	N (%)	P (µg/g)	K (µg/g)	N (%)	P (µg/g)	K (µg/g)
<i>Effetto della micorrizazione</i>									
Micorrizzato	1,50	1365	3295	2,32	1839	4458	1,63	1714	6604 a
Non micorrizzato	1,64	1257	3416	2,31	1761	4438	1,55	1792	5746 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
<i>Effetto della concimazione</i>									
Concimaz. normale	1,54	1405 a	3486	2,26	1726	4295	1,52	1727	5860
Concimaz. ridotta	1,60	1218 b	3226	2,36	1873	4601	1,66	1779	6490
Significatività	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Interazione tra micorrizazione e concimazione</i>									
Significatività	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

L'inoculazione di micorrize selezionate non ha influenzato il contenuto di fosforo nelle foglie di taglio quando le piante erano allevate in condizioni di concimazione normale ( $3 \text{ kg/m}^3$ ). In accordo con studi precedenti, l'efficacia delle micorrize nell'assorbire tale elemento diminuisce all'aumentare del fosforo disponibile nel substrato. Infatti, in condizioni di ridotta fertilità ( $1 \text{ kg/m}^3$ ), i tagli micorrizzati hanno mostrato un maggior contenuto di fosforo fogliare. Il maggior assorbimento da parte delle radici micorrizzate in condizioni di carenza fosfatica o di insolubilizzazione del fosforo nel suolo (legata per esempio al pH) è imputabile alla presenza di enzimi fungini specifici, dotati di maggiore efficacia rispetto a quelli della pianta, per la solubilizzazione ed il trasporto del fosforo. Inoltre, le ife fungine

riescono a esplorare più efficacemente il suolo rispetto ai peli radicali, quindi riescono ad assorbire P anche al di fuori della "zona di carenza della radice" (= porzione di suolo attorno alla radice in cui, a causa dell'attività assorbente della stessa, si verifica un depauperamento dei nutrienti minerali presenti). Ciò è estremamente importante per quegli elementi, come appunto il fosforo, che sono relativamente immobili nel suolo.



Per ogni parametro lettere diverse indicano differenze significative al test di Duncan tra le tesi con  $P \leq 0,05$  (\*).





La micorrizzazione controllata ha aumentato il contenuto di clorofilla fogliare in acero e tiglio. Tale effetto, risultato altamente significativo nel 2008, è stato confermato nel 2009. In quercia, invece, non sono emerse differenze significative, né nel 2008, né nel 2009, tra le piante micorrizzate

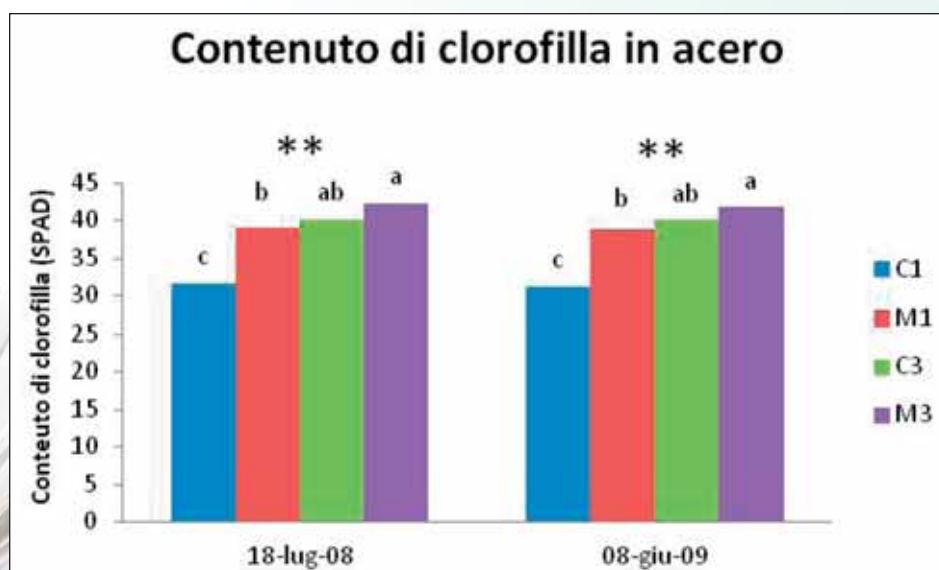
e quelle non trattate. La riduzione della dose di concime ha causato la diminuzione del contenuto di clorofilla fogliare in tutte le specie e in tutti gli anni di prova. Una significativa interazione tra inoculazione e concimazione è stata trovata in acero nel 2008 e confermata nel 2009.

Contenuto fogliare di clorofilla (SPAD)						
Tesi	<i>Acer campestre</i>		<i>Quercus robur</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	lug 2008	giu 2009	lug 2008	giu 2009	lug 2008	giu 2009
<i>Effetto della micorrizzazione</i>						
Micorrizzato	40,7 a	40,3 a	42,4	42,7	32,5 a	30,9 a
Non micorrizzato	35,8 b	35,6 b	41,7	42,3	28,4 b	27,1 b
<i>Significatività</i>	**	**	n.s.	n.s.	**	**
<i>Effetto della concimazione</i>						
Concimazione normale	41,1 a	40,9 a	44,2 a	44,8 a	32,2 a	30,9 a
Concimazione ridotta	35,3 b	35,1 b	39,9 b	40,2 b	28,6 b	27,1 b
<i>Significatività</i>	**	**	**	**	**	**
<i>Interazione tra micorrizzazione e concimazione</i>						
<i>Significatività</i>	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

L'analisi dei dati inerenti il contenuto di clorofilla in acero hanno mostrato come non sia emersa, né nel 2008, né nel 2009, alcuna differenza significativa tra le tesi M3 e C3. Dunque, utilizzando un regime di concimazione normale ( $3 \text{ kg/m}^3$ ), l'effetto delle micorrize è poco importante. Tuttavia è molto interessante notare come anche la tesi M1 (piante micorrizzate e allevate con concimazione ridotta) abbia un valore di clorofilla fogliare non statisticamente diverso dalle piante allevate utilizzando  $3 \text{ kg/m}^3$  di concime. In altre parole, almeno per questa specie e per questo parametro, mediante la micorrizzazione è stato possibile ridurre l'impiego di fertilizzanti senza pena-

lizzare la qualità delle piante. Al contrario, la tesi C1 (piante non inoculate e allevate con concimazione ridotta) ha mostrato, in entrambi gli anni di prova, il minor contenuto di clorofilla, significativamente inferiore rispetto a tutte le altre tesi.



Per ogni parametro lettere diverse indicano differenze significative al test di Duncan tra le tesi con  $P \leq 0,05$  (\*).

L'inoculo con micorrize selezionate non ha influenzato la fotosintesi di *Acer campestre* né nel 2008, né nel 2009. La risposta della fotosintesi ai diversi dosaggi di fertilizzante non è apparsa univoca e consistente nei due anni di prova. Infatti nel 2008 gli aceri concimati con dose ridotta assimilavano meno carbonio rispetto a quelli fertilizzati con dose normale, mentre nel 2009 le piante allevate con 1 kg/m<sup>3</sup> mostravano valori di A superiori. La micorrizzazione controllata ha aumentato la fotosintesi di *Quercus robur* in entrambi gli anni di prova. Non sono emerse differenze significative tra le due tesi di concimazione nel 2008, mentre nel 2009 le piante allevate con 3 kg/m<sup>3</sup> di concime mostravano un'assimilazione di carbonio significativamente superiore rispetto a quelle allevate con dosaggio ridotto. L'inoculazione con micorrize selezionate ha aumentato la fotosintesi di *Tilia cordata* sia nel 2008, sia nel 2009. I tigli allevati con

3 kg/m<sup>3</sup> di concime hanno mostrato una maggiore assimilazione di carbonio rispetto a quelli allevati con dosaggio ridotto. È interessante notare che, eccetto che in acero, l'aumento della dose fertilizzante e l'inoculazione hanno sortito effetti simili sulla fotosintesi. La maggiore fotosintesi osservata nelle querce e nei tigli micorrizati è imputabile, da un lato, al maggior contenuto di clorofilla fogliare, dall'altro a una maggior efficienza d'uso dell'acqua, come verrà discusso in seguito. Tuttavia, come detto precedentemente, a tale simile aumento dell'assimilazione di carbonio atmosferico non è corrisposto un pari aumento della biomassa prodotta. L'assenza di un maggior accumulo di biomassa nelle piante micorizzate, rispetto a quelle non trattate, nonostante una maggiore fotosintesi può essere spiegata dalla cessione, da parte della pianta, di una parte dei fotosintetati al fungo.

Fotosintesi netta (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )						
Tesi	<i>Acer campestre</i>		<i>Quercus robur</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
<i>Effetto della micorrizzazione</i>						
Micorrizato	7,1	9,4	10,8 a	12,7 a	8,2 a	9,1 a
Non micorrizato	6,6	9,3	10,2 b	11,4 b	7,4 b	8,1 b
Significatività	n.s.	n.s.	*	**	*	*
<i>Effetto della concimazione</i>						
Concimazione normale	8,2 a	8,9 b	10,5	12,7 a	8,5 a	9,5 a
Concimazione ridotta	5,5 b	9,8 a	10,5	11,4 b	7,1 b	7,7 b
Significatività	**	**	n.s.	**	**	*
<i>Interazione tra micorrizzazione e concimazione</i>						
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti ai test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

L'efficienza d'uso dell'acqua è un parametro di grande importanza, poiché in grado di determinare la sopravvivenza, l'adattabilità e la produttività di un individuo/specie in un determinato ambiente. Piante con una maggior efficienza d'uso dell'acqua sono in grado di fissare una maggior quantità di carbonio atmosferico per unità di acqua traspirata, il che costituisce un importante vantaggio ecologico.

L'inoculazione con micorrize selezionate non ha modificato l'efficienza d'uso dell'acqua in acero, né nel 2008, né nel 2009. Gli aceri allevati con dose di fertilizzante normale hanno mostrato maggior efficienza d'uso dell'acqua, rispetto a quelli allevati con dose ridotta, nel 2008, ma tali differenze non sono state confermate nel 2009. In *Quercus robur*, l'efficienza d'uso dell'acqua non è stata influenzata da alcuno dei due fattori,

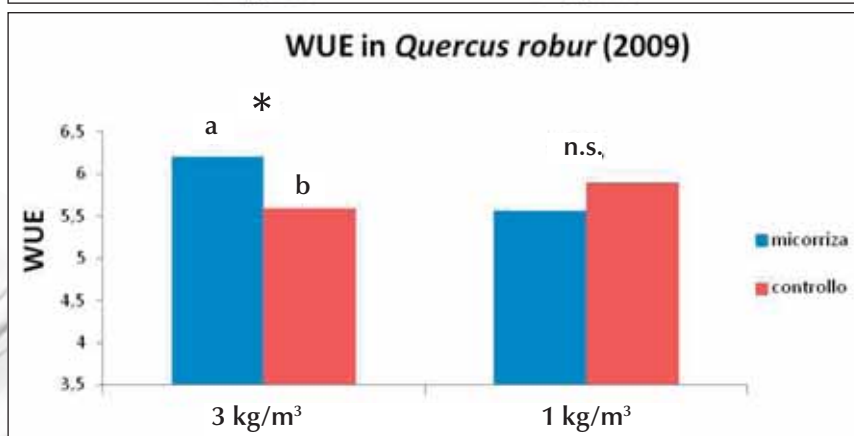
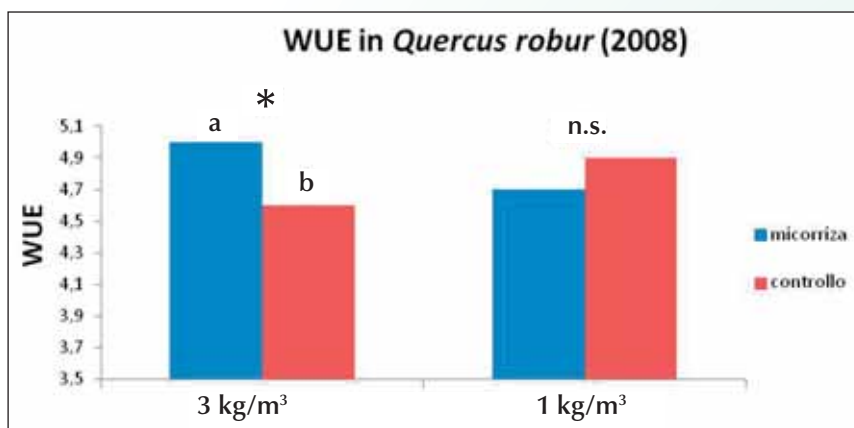
se presi singolarmente. Tuttavia, in entrambi gli anni di prova, è emersa una interazione significativa tra concimazione e micorizzazione. La micorizzazione controllata e, in modo simile,

l'aumento della dose di concime hanno aumentato l'efficienza d'uso dell'acqua di *Tilia cordata* sia nel 2008, sia nel 2009.

Efficienza d'uso dell'acqua (WUE, $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ )						
Tesi	<i>Acer campestre</i>		<i>Quercus robur</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
<i>Effetto della micorizzazione</i>						
Micorizzato	5,5	6,2	4,8	5,9	2,9 a	3,8 a
Non micorizzato	5,0	6,1	4,8	5,8	2,6 b	3,6 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*
<i>Effetto della concimazione</i>						
Concimazione normale	6,2 a	6,2	4,8	5,7	3,0 a	3,9 a
Concimazione ridotta	4,3 b	6,1	4,8	5,9	2,5 b	3,5 b
Significatività	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	**
<i>Interazione tra micorizzazione e concimazione</i>						
Significatività	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

In *Quercus robur* è stata osservata una significativa interazione tra i fattori micorizzazione e fertilizzazione, sia nel 2008, sia nel 2009 per l'efficienza d'uso dell'acqua. Infatti, se le piante allevate con  $1 \text{ kg/m}^3$  di concime hanno mostrato una simile WUE, a prescindere dal fatto di essere state micorizzate o meno, lo stesso non si è verificato per quelle allevate con  $3 \text{ kg/m}^3$ . Infatti, tra le querce allevate con fertilizzazione normale, quelle micorizzate hanno mostrato un'efficienza d'uso dell'acqua significativamente superiore rispetto ai controlli, sia nel 2008, sia nel 2009.



Per ogni parametro lettere diverse indicano differenze significative al test di Duncan tra le tesi con  $P \leq 0,05$  (\*).



I risultati ottenuti hanno mostrato che l'uso di concimi a rilascio controllato, anche a dosi di etichetta, non ha particolari effetti negativi sulla percentuale di radici colonizzate da funghi micorrizici. Tuttavia, basandosi puramente su parametri biometrici, la micorrizazione controllata non sembra in grado di permettere la riduzione dell'uso di fertilizzanti in vivaio senza allungare i tempi di produzione. In accordo con altri studi, infatti, l'inoculazione non ha causato incrementi significativi di biomassa rispetto ai controlli e le piante allevate con concimazione normale hanno sempre mostrato, al termine della sperimentazione, una maggiore biomassa rispetto a quelle allevate con dose ridotta, a prescindere dal fatto che fossero o no micorrizzate. L'unico parametro biometrico che è aumentato in seguito all'inoculazione è stato l'area fogliare, probabilmente a riflesso di una maggior capacità di assorbire e utilizzare efficacemente l'acqua da parte delle piante inoculate. L'assenza di una maggior crescita delle piante trattate non deve sorprendere: i maggiori benefici attribuiti alle

micorrize sono costituiti dalla maggior tolleranza agli stress ambientali, anziché all'aumento del tasso di crescita. Infatti, la micorrizazione ha aumentato la fotosintesi, il contenuto fogliare di alcuni elementi (P in acero, K in tiglio), il contenuto di clorofilla fogliare e l'efficienza d'uso dell'acqua. In conclusione, non sembra possibile, in vivaio, ridurre il dosaggio di concimi e mantenere lo stesso tasso di crescita, anche inoculando le piante con micorrize selezionate. Tuttavia, la micorrizazione induce una serie di miglioramenti fisiologici che potrebbero rivelarsi determinanti, soprattutto dopo la messa a dimora, ovvero quando le piante passeranno dalle condizioni ottimali del vivaio a quelle sub-ottimali o stressanti dell'ambiente urbano. Infatti, proprio la maggior capacità di tollerare gli stress ambientali ed il trapianto sono ritenuti tra i maggiori benefici offerti dalle micorrize e devono essere considerati il "valore aggiunto" posseduto da una pianta micorrizzata con funghi specifici autoctoni selezionati.

## 4 - Valutazione di sistemi irrigui ad elevata efficienza di uso dell'acqua

Le comuni pratiche di gestione utilizzate nel settore ortoflorovivaistico sono caratterizzate da un massiccio impiego di mezzi di produzione, quali acqua e fertilizzanti, con l'intento di ottenere in tempi brevi piante ben conformate, sane e prive di difetti morfologico/strutturali. A causa del basso costo di acqua e fertilizzanti rispetto ad altri fattori produttivi il loro utilizzo è spesso eccessivo e poco responsabile. Nella maggioranza dei vivai il rapporto tra l'acqua somministrata e quella resa effettivamente disponibile per l'assorbimento radicale risulta estremamente basso raggiungendo perdite fino al 50-60% del totale somministrato. La disponibilità e la qualità delle risorse idriche disponibili per il settore florovivaistico, inoltre, hanno subito negli ultimi anni un costante e preoccupante peggioramento, a causa della ferrea competizione esercitata da altre utenze, come quelle civili e turistiche, della progressiva salinizzazione delle falde idriche nelle zone costiere ed anche delle sempre più irregolari e incostanti precipitazioni atmosferiche, oltre a vincoli legislativi sempre più stringenti mirati ad una maggior tutela dell'agroambiente.

L'acqua è quindi uno dei beni in assoluto più preziosi, la cui efficienza di utilizzo deve essere massimizzata ed ottimizzata spingendo gli operatori florovivaistici a perseguire un suo più razionale, efficiente ed ecosostenibile utilizzo. La determinazione della quantità di acqua da distribuire e la tecnica irrigua da adottare risultano di fondamentale importanza per ridurre i consumi idrici e, di conseguenza, le perdite di elementi nutritivi.

Una soluzione percorribile in tal senso è la subirrigazione su tappetino ad alta capacità di ritenzione idrica. Questa tecnica si basa sulla distribuzione dell'acqua o della soluzione nutritiva nella parte basale dei contenitori, tramite l'utilizzo di specifici tappetini dotati di una certa quota di immagazzinamento; l'acqua risale poi fino all'apparato radicale per capillarità, secondo un flusso

unidirezionale dal basso verso l'alto.

Un altro metodo valido può essere l'utilizzo di particolari sensori, i tensiometri, che consentono di monitorare il contenuto idrico nel substrato misurando la tensione dell'acqua all'interno del terreno o del substrato di coltivazione, ovvero la forza necessaria alle radici per assorbire l'acqua stessa dal mezzo circolante. I tensiometri consentono quindi di fornire acqua alle piante solo quando è realmente necessario, evitando loro stress idrici e consentendo una più precisa programmazione degli interventi irrigui così da ottenere il risparmio di notevoli quantità di acqua e nutrienti. I sistemi più moderni possono essere corredati di una sonda digitale collegata a sistemi di lettura/immagazzinamento dati e con trasduttore di segnale che può inviare l'impulso elettrico



*Irrigazione controllata mediante tensiometro*



di apertura direttamente all'elettrovalvola al raggiungimento di un determinato valore soglia. In una prima sperimentazione sono state messe a confronto diverse tipologie di tappetini ad elevata ritenzione idrica allo scopo di valutarne la reale efficacia in ambito vivaistico. Per approfondire

e puntualizzare i risultati ottenuti una seconda prova è stata effettuata in ambiente protetto (tunnel), così da essere completamente svincolati dall'andamento pluviometrico stagionale; in tale prova è stato adottato il pilotaggio automatizzato dell'irrigazione tramite sonde tensiometriche.

## Prima sperimentazione

Materiali e metodi	
Anno e ambiente di prova	2009 – Vivaio in pien'aria
Specie utilizzata	<i>Photinia x fraseri</i> 'Red Robin'
Vaso e substrato	Vaso diametro 18 cm (3 litri); substrato: torba (corretta) e pomice, addizionato con 3 Kg/m <sup>3</sup> di concime a rilascio controllato (titolo 15+8+12)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. subirrigazione con sistema Aquamat®: tappetino multistrato con capacità di ritenzione idrica dichiarata di 11,6 l/m<sup>2</sup>; adacquamento diretto nel tappetino tramite ala gocciolante</li> <li>2. subirrigazione con sistema Mitec (Idrofloor+Idrosub+Idrotop): tappetino multistrato con capacità di ritenzione idrica massima dichiarata di 2 l/m<sup>2</sup>; adacquamento diretto nel tappetino tramite ala gocciolante</li> <li>3. subirrigazione con sistema Vivaplus®: tappetino multistrato con capacità di ritenzione idrica massima dichiarata di 3 l/m<sup>2</sup>; adacquamento diretto nel tappetino tramite ala gocciolante</li> <li>4. irrigazione tradizionale per aspersione (controllo)</li> </ol>
Adacquamenti	La frequenza delle irrigazioni è stata impostata mediante centralina temporizzata ed è stata interrotta in occasione di importanti eventi meteorici
Rilievi effettuati	Consumo idrico mediante lettura contalitri; biomassa aerea e radicale (su 5 piante per 4 repliche)
Analisi chimiche effettuate	Analisi del contenuto dei macroelementi nelle foglie; analisi chimica del substrato di coltivazione; analisi del contenuto di elementi nutritivi a livello del tappetino a fine ciclo

## Risultati ottenuti

Dall'analisi dei dati si evince come i sistemi Aquamat® e Mitec abbiano portato ad uno sviluppo complessivamente maggiore delle piante, in particolare della parte epigea, mentre l'apparato radicale si è sviluppato maggiormente nel vivaio con irrigazione per aspersione. Il rapporto tra peso aereo e peso radicale ha manifestato differenze significative ed è risultato più elevato nei sistemi irrigati mediante i tappetini. I dati relativi al consumo idrico mostrano come tutti i sistemi di subirrigazione abbiano consentito un evidente risparmio rispetto al sistema tradizionale

per aspersione. Il sistema Mitec in particolare ha permesso una riduzione del consumo pari al 69%, mentre le altre tipologie di tappetino hanno consentito ad un risparmio complessivo pari al 65% (Vivaplus®) e 60% (Aquamat®). L'efficienza irrigua, calcolata come la biomassa accumulata dalla pianta per litro di acqua di irrigazione, è risultata superiore nei sistemi a tappetino rispetto all'aspersione e, tra le tipologie confrontate, il sistema Mitec ha presentato il più elevato indice di efficienza irrigua.



Tipologia di irrigazione	Peso secco parte aerea (g)	Peso secco radici (g)	Peso secco totale (g)	Rapporto parte aerea/radici	Consumo idrico stagionale (l/m <sup>2</sup> )	Risparmio idrico rispetto aspersione	Efficienza irrigua (g/l)
Aquamat®	43,8 a	9,8 ab	53,7 a	4,5 a	470	60,0%	1,14 b
Mitec	44,3 a	9,3 bc	53,7 a	4,8 a	359	69,0%	1,50 a
Vivaplus®	36,9 b	8,4 c	45,4 b	4,5 a	410	65,0%	1,07 b
Test (aspersione)	38,1 b	11,0 a	49,1 ab	3,5 b	1157	-	0,42 c
<i>Significatività</i>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>*</b>	<b>**</b>	-	-	<b>**</b>

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ , \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Le analisi fogliari non hanno evidenziato differenze significative nel contenuto di azoto e potassio, mentre il contenuto in fosforo è risultato

significativamente inferiore nelle foglie delle piante irrigate per aspersione rispetto a quelle subirrigate.

Analisi fogliari			
Tipologia di irrigazione	N (%)	P (%)	K (%)
Aquamat®	1,39	0,12 a	1,45
Mitec	1,45	0,13 a	0,85
Vivaplus®	1,36	0,12 a	1,18
Test (aspersione)	1,32	0,09 b	0,87
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	<b>**</b>	<i>n.s.</i>

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

Anche dalle analisi dei substrati a fine ciclo sono emerse differenze tra le diverse tesi. Il contenuto di Ca e Mg è risultato inferiore nei sistemi subirrigati mediante tappetino mentre il contenuto in  $P_2O_5$  è risultato più elevato nei vivai con tappetini Aquamat® e Mitec. La differenza di pH riscontrata tra il substrato del vivaio test e quello

dei substrati dei vivai subirrigati è imputabile verosimilmente al maggior accumulo di ioni Ca e Mg nel sistema per aspersione a causa dell'elevato volume idrico somministrato. Non si sono invece evidenziate differenze significative per quanto riguarda la conducibilità elettrica globale (EC), nè per il contenuto in azoto e potassio.

Analisi substrati							
Tipologia di irrigazione	pH	EC (mS/m)	N minerale (mg/l)	$P_2O_5$ (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
Aquamat®	6,4 b	2,2	4,1	0,45 a	0,90	3,80 b	1,0 b
Mitec	6,2 b	2,4	4,1	0,40 a	1,00	3,85 b	1,0 b
Vivaplus®	6,4 b	2,7	4,3	0,10 b	0,70	4,75 b	1,4 b
Test (aspersione)	7,2 a	2,6	4,8	0,10 b	0,45	8,00 a	2,4 a
<i>Significatività</i>	<b>**</b>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<b>**</b>	<i>n.s.</i>	<b>**</b>	<b>**</b>

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).



## Seconda sperimentazione

Materiali e metodi	
Anno e ambiente di prova	2010 – Tunnel coperti con telo di polietilene
Specie utilizzata	<i>Photinia x fraseri</i> 'Red Robin'
Vaso e substrato	Vaso diametro 18 cm (3 litri); substrato: torba (corretta) e pomice, addizionato con 3 Kg/m <sup>3</sup> di concime a rilascio controllato (titolo 15+8+12)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. subirrigazione con sistema Aquamat®: tappetino multistrato con capacità di ritenzione idrica dichiarata di 11,6 l/m<sup>2</sup>; adacquamento diretto nel tappetino tramite ala gocciolante</li> <li>2. subirrigazione con sistema Mitec (Idrofloor+Idrosub+Idrotop): tappetino multistrato con capacità di ritenzione idrica massima dichiarata di 2 l/m<sup>2</sup>; adacquamento diretto nel tappetino tramite ala gocciolante</li> <li>3. subirrigazione con sistema Vivaplus®: tappetino multistrato con capacità di ritenzione idrica massima dichiarata di 3 l/m<sup>2</sup>; adacquamento diretto nel tappetino tramite ala gocciolante</li> <li>4. irrigazione per aspersione tramite ugelli a farfalla su barra statica</li> <li>5. irrigazione per aspersione tramite ugelli a farfalla su barra statica</li> </ol>
Adacquamenti	<p><u>Tesi 1-4</u>: al raggiungimento del valore-soglia di 75 hPa di tensione idrica del substrato in almeno uno dei due tensiometri posti in vasi-campione entro la parcella (sistema Sensormat10)</p> <p><u>Tesi 5</u>: tramite centralina temporizzata (6 minuti al giorno)</p>
Rilievi effettuati	Consumo idrico mediante lettura contalitri; biomassa aerea e radicale (su 5 piante per 4 repliche)
Analisi chimiche effettuate	Analisi del contenuto dei macroelementi nelle foglie; analisi chimica del substrato di coltivazione; analisi del contenuto di elementi nutritivi a livello del tappetino a fine ciclo



## Risultati ottenuti

Dall'analisi dello sviluppo delle piante di *Photinia x fraseri* è emerso come complessivamente nei diversi ambienti subirrigati lo sviluppo della biomassa aerea e radicale sia risultato inferiore rispetto alle tesi irrigate mediante aspersione. Dall'analisi del rapporto tra biomassa aerea e quella radicale non si sono evidenziate differenze significative tra le tesi in esame.

I consumi idrici stagionali sono risultati notevolmente inferiori nei settori subirrigati rispetto a quelli adacquati per aspersione. In accordo con la precedente sperimentazione la maggior riduzione del consumo idrico è stata registrata nella tesi "Mitec" seguita da "Vivaplus®" ed "Aquamat®". L'introduzione del controllo tensiometrico dell'irrigazione nell'aspersione ha permesso una riduzione del consumo di acqua di quasi il 40% rispetto al più diffuso sistema dell'irrigazione a timer. In termini di efficienza irrigua si conferma quanto registrato nella sperimentazione dell'anno precedente: i sistemi di subirrigazione permettono uno sfruttamento migliore dell'acqua rispetto alla tecnica dell'aspersione.



Prova 2010 - Aspersione

Tipologia di irrigazione	Peso secco parte aerea (g)	Peso secco radici (g)	Peso secco totale (g)	Rapporto parte aerea/ radici	Consumo idrico stagionale (l/m <sup>2</sup> )	Risparmio idrico rispetto irrigazione per aspersione	Efficienza irrigua (g/l)
Aquamat®	44,1 c	10,7 bc	54,8 bc	4,2	398	65,5%	1,38 b
Mitec	39,6 c	8,8 d	48,4 c	4,6	289	75,0%	1,68 a
Vivaplus®	41,1 c	9,3 cd	50,4 c	4,5	340	70,6%	1,48 b
Aspersione/ tensiometro	50,7 b	11,2 b	61,9 b	4,6	707	38,8%	0,88 c
Aspersione/timer	62,0 a	12,8 a	74,8 a	4,9	1157	-	0,65 d
Significatività	**	**	**	n.s.	-	-	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo, \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).





*Prova 2010 - Subirrigazione*

Dall'analisi del contenuto fogliare degli elementi nutritivi si evince come il valore di K sia risultato più basso nei sistemi subirrigati rispetto alle tesi irrigate per aspersione. La percentuale di

fosforo è stata maggiore nel caso dell'aspersione temporizzata mentre il contenuto in azoto fogliare è risultato inferiore nella tesi "Aquamat®".

Analisi fogliari			
Tipologia di irrigazione	N (%)	P (%)	K (%)
Aquamat®	1,47 b	0,07 d	0,99 b
Mitec	1,79 a	0,08 c	1,01 b
Vivaplust®	1,79 a	0,09 bc	1,06 b
Aspersione/tensiometro	1,87 a	0,10 ab	1,23 a
Aspersione/timer	1,80 a	0,11 a	1,33 a
Significatività	**	**	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

Le analisi dei contenuti di elementi nutritivi a livello di substrato hanno mostrato un maggiore accumulo di Ca, Mg e K nei substrati irrigati per aspersione; questo potrebbe aver influito anche sulla conducibilità elettrica (EC), valore

anch'esso maggiore nelle due tesi irrigate per aspersione. Non sono emerse differenze invece per quanto riguarda l'azoto minerale, il fosforo ed il pH.

Analisi substrati							
Tipologia di irrigazione	pH	EC (mS/m)	N minerale (mg/l)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
Aquamat®	6,5	7,2 b	27,0	0,22	4,5 b	28,4 b	5,4 b
Mitec	6,2	13,5 b	25,3	3,09	10,8 ab	55,8 b	10,3 b
Vivaplus®	6,4	7,5 b	22,5	0,00	4,9 b	27,5 b	4,3 b
Aspersione/tensiometro	6,1	32,3 a	25,3	1,99	14,6 a	162,1 a	23,8 a
Aspersione/timer	6,4	27,0 a	28,1	1,11	15,8 a	127,8 a	20,0 a
Significatività	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	**	**	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

I risultati ottenuti evidenziano che la metodologia irrigua della subirrigazione consente un effettivo e consistente risparmio idrico; con una corretta calibrazione dei volumi forniti (utilizzando ad esempio le sonde tensiometriche) è possibile massimizzare l'efficienza d'uso dell'acqua e/o della soluzione nutritiva. Considerato quindi che la quasi totalità dell'acqua fornita risulta essere "utile" per la crescita delle piante e che i materiali in prova possono arrivare, secondo quanto

dichiarato dai costruttori, ad una durata di oltre 10 anni, anche i costi di gestione relativi risultano essere molto competitivi ed ammortizzabili nel corso degli anni. Nell'ottica, dunque, di un uso più razionale e sostenibile di acqua e fertilizzanti e di una riduzione dell'inquinamento ambientale i sistemi provati si confermano una valida soluzione e sembra auspicabile una loro più ampia diffusione sul territorio anche in ambito vivaistico.





## 5 - Capacità repressiva dei substrati a base di compost nei confronti dei parassiti tellurici

Diverse sono le alterazioni che possono causare danni a livello basale e radicale nella produzione in vivaio di specie arbustive di interesse ornamentale. In particolare, nella coltivazione in contenitore i parassiti zoosporici risultano essere estremamente dannosi potendo facilmente diffondersi da individui infetti ad individui sani semplicemente grazie all'acqua di irrigazione drenata dai contenitori successivamente agli interventi irrigui.

L'allevamento di piante in contenitore ha però il vantaggio di poter utilizzare substrati dotati di repressività nei confronti di diversi parassiti terricoli. Il fenomeno della "repressività", già noto e sfruttato da tempo, consiste nella capacità di un suolo o di un substrato di limitare lo sviluppo di uno o più patogeni nonostante la coltivazione di ospiti suscettibili, la presenza di condizioni pedologiche e ambientali favorevoli all'espressione della malattia e in presenza del patogeno. L'aggiunta di compost repressivi a substrati convenzionali può favorire questo fenomeno. I meccanismi che sono alla base della repressività di un compost sono in genere molto complessi e legati a caratteristiche chimiche

e/o fisiche e/o microbiologiche. In alcuni casi l'effetto della microflora può assumere una rilevanza prevalente rispetto alle altre componenti del fenomeno di repressività, tale per cui l'arricchimento con microrganismi ne aumenta la qualità e la capacità repressiva. In Italia vengono prodotti ogni anno oltre 1 milione di tonnellate di compost, prontamente utilizzabili sia per colture di pieno campo sia per quelle in vaso. Di queste, l'80% viene classificato dalla normativa vigente (D.lgs. 75/2010) come ammendante compostato misto (ACM), il rimanente 20% come ammendante compostato verde (ACV).

Scopo di questo lavoro è stato quello di saggiare l'effetto di repressività di compost nei confronti del marciume del colletto causato da *Phytophthora cinnamomi* su azalea e del marciume basale e dei marciumi radicali causati da *Phytophthora nicotianae* su *Skimmia japonica*, valutando alcuni vantaggi e svantaggi dell'impiego di ammendanti compostati per l'allevamento di piante ornamentali in vaso. Le prove sono state condotte in ambiente protetto presso le serre in ferro/vetro di Agroinnova.



Sintomi causati da *Phytophthora nicotianae* su piante di *Skimmia japonica* 'Rubella' coltivate in vaso



## Prima sperimentazione

Materiali e metodi	
Anni	2007-2009
Specie utilizzata	Azalea ( <i>Rhododendron hybr.</i> ) 'Blaauw's Pink'
Vaso e substrato	Vaso diametro 14 cm (volume 2 litri); substrato Compo Sana® Azalee e Rododendri (K+S Agricoltura Spa)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"><li>1) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto</li><li>2) Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno</li><li>3) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno</li><li>4) Substrato professionale con aggiunta di 40% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno</li><li>5) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato verde</li><li>6) Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno</li><li>7) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno</li><li>8) Substrato professionale con aggiunta di 40% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno</li><li>9) Testimone sano: substrato professionale</li><li>10) Testimone inoculato: substrato professionale, inoculato con il patogeno</li><li>11) Testimone chimico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con Metalaxil-M (25 ml/m<sup>3</sup>)</li></ol>
Metodologia di inoculazione	Sono stati effettuati due cicli di prova. I substrati sono stati inoculati alla dose di 1g/l con cariossidi di grano e canapa infestate da <i>Phytophthora cinnamomi</i> ; una settimana dopo l'inoculazione le talee di azalea sono state trapiantate in vaso e riposte in serra su bancali sopraelevati a una temperatura intorno ai 20°C, favorevole alla manifestazione dei sintomi della malattia
Numero di piante per tesi	25 piante (suddivise in cinque repliche di 5 piante ciascuna)
Rilievi effettuati	A partire da 10 giorni dopo il trapianto: rilievi settimanali sul numero di piante colpite dalla malattia; a fine prova: biomassa della porzione epigea

## Risultati ottenuti

Nella prima prova di questa sperimentazione il substrato contenente ammendante compostato misto (ACM) in miscela al 40% ha ridotto significativamente il numero di piante colpite dal patogeno, rispetto al testimone inoculato. I substrati contenenti ACM al 10 e al 20% e

l'ammendante compostato verde (ACV) non hanno invece ottenuto risultati significativi rispetto al testimone inoculato. Nella seconda prova il substrato contenente ammendante compostato misto in miscela al 40% ha confermato i risultati ottenuti precedentemente.

Effetto di compost sul contenimento di <i>Phytophthora cinnamomi</i> su azalea (2007-2009)			
Tesi confrontate	Prima prova	Seconda prova	
	% piante vive	% piante vive	Biomassa (g)
20% ACM sano	96 a	93 a	83 a
10% ACM inoculato	79 ab	10 d	29 bc
20% ACM inoculato	89 ab	44 cd	41 ac
40% ACM inoculato	92 a	56 bc	54 ab
20% ACV sano	95 a	n.s.	n.s.
10% ACV inoculato	70 ab	n.s.	n.s.
20% ACV inoculato	76 ab	n.s.	n.s.
40% ACV inoculato	71 b	n.s.	n.s.
Testimone sano	100 a	100 a	91 a
Testimone inoculato	69 b	6 d	15 c
Metalaxil-M	92 a	80 ab	79 a
Significatività	*	**	*

Per ciascun rilievo a lettere uguali corrispondono valori non significativamente differenti al test di Tukey (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ; n.s.: non saggiato).



Prove di suscettibilità a *Phytophthora cinnamomi* di cultivar di azalea



## Seconda sperimentazione

Materiali e metodi	
Anni	2009-2011
Specie utilizzata	<i>Skimmia japonica</i> 'Rubella'
Vaso e substrato	Vaso diametro 14 cm (volume 2 litri); substrato Tecno2 (Turco Silvestro s.n.c.)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno</li> <li>2) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno</li> <li>3) Substrato professionale con aggiunta di 40% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno</li> <li>4) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto</li> <li>5) Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto addizionato con <i>Trichoderma</i> (3 g/l), inoculato con il patogeno</li> <li>6) Testimone sano: substrato professionale</li> <li>7) Testimone inoculato: substrato professionale, inoculato con il patogeno</li> <li>8) Testimone chimico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con Metalaxil-M (25 ml/m<sup>3</sup>)</li> </ol>
Metodologia di inoculazione	Sono stati effettuati due cicli di prova. I substrati sono stati inoculati alla dose di 1g/l con cariossidi di grano e canapa infestate da <i>Phytophthora nicotianae</i> ; una settimana dopo l'inoculazione le talee di skimmia sono state trapiantate in vaso e riposte in serra su bancali sopraelevati a una temperatura intorno ai 20°C, favorevole alla manifestazione dei sintomi della malattia
Numero di piante per tesi	15 piante (suddivise in cinque repliche di 3 piante ciascuna)
Rilievi effettuati	A partire da 10 giorni dopo il trapianto: rilievi settimanali sul numero di piante colpite dalla malattia; a fine prova: biomassa della porzione epigea

## Risultati ottenuti

Nella prima prova i substrati contenenti ammendante compostato misto (ACM) in miscela al 20 e 40% hanno ridotto significativamente il numero di piante colpite dal patogeno, rispetto al testimone inoculato. Nella seconda prova solamente il substrato contenente ACM in miscela al 40% ha ottenuto un contenimento significativo della malattia. L'aggiunta di *Trichoderma* sp. al substrato contenente compost in miscela al 20% non ha ridotto la malattia in maniera significativamente diversa rispetto allo stesso substrato non inoculato con il microrganismo



**Marciume radicale da *Phytophthora nicotianae* su skimmia allevata in vaso**



antagonista. Per quanto riguarda lo sviluppo in biomassa delle piante, l'impiego di compost, in assenza del patogeno, non ha fornito differenze significative rispetto al testimone. In presenza del

patogeno, la biomassa prodotta da piante coltivate utilizzando il substrato contenente compost in miscela al 40% è stata significativamente maggiore rispetto al testimone inoculato.

Effetto di compost sul contenimento di <i>Phytophthora nicotianae</i> su skimmia (2009-2011)				
Tesi confrontate	Prima prova		Seconda prova	
	% piante vive	Biomassa (g)	% piante vive	Biomassa (g)
20% ACM sano	100 a	8,1 a	100 a	22,0 b
10% ACM inoculato	42 d	3,8 c	53 c	11,4 c
20% ACM inoculato	58 bc	5,3 ac	87 bc	16,2 bc
40% ACM inoculato	75 ac	7,1 ab	90 ab	21,8 b
20% ACM inoculato + <i>Trichoderma</i> (3 g/l)	50 cd	4,5 bc	79 bc	17,3 bc
Testimone sano	100 a	7,2 ab	100 a	29,2 a
Testimone inoculato	45 d	3,4 c	50 c	9,5 c
Metalaxil-M	89 ab	7,7 a	100 a	25,8 ab
Significatività	**	*	*	*

Per ciascun rilievo a lettere uguali corrispondono valori non significativamente differenti al test di Tukey (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).







Prova di lotta contro *Phytophthora nicotianae* su skimmia

La presente sperimentazione contribuisce ad evidenziare l'applicabilità del compost anche in un settore particolarmente esigente da un punto di vista della soglia di danno da fitotossicità quale quello ornamentale. L'utilizzo di ammendanti compostati può essere una strategia utile al contenimento di patogeni zoosporici, in particolare *Phytophthora*, su piante ornamentali anche acidofile come azalea. Tuttavia miscele con un contenuto troppo elevato di compost sono

sconsigliate, in quanto inducono fitotossicità nelle piante, in particolare in quelle acidofile che necessitano di valori di pH spesso diversi da quelli del compost. In futuro potrà essere utile anche l'impiego di compost arricchiti con microorganismi antagonisti ottenuti dagli stessi compost, al fine di migliorare ulteriormente la qualità dei substrati e ridurre eventuali problemi di fitotossicità.



# GESTIONE DEL VERDE ORNAMENTALE

## 1 - Effetti della modalità di potatura sulla crescita e la fisiologia di *Acer pseudoplatanus*

Come sostenuto da Alex Shigo, la potatura può essere una delle migliori cose che un arboricoltore può fare per un albero ma, se mal effettuata, può essere una delle cose peggiori che egli può fare a un albero. Negli Stati Uniti lo Standard A300 descrive quattro tipi convenzionali di taglio da utilizzare per raggiungere un predeterminato obiettivo di potatura. I tipi di taglio e le relative regole sono stati sviluppati per lo più senza il beneficio di test empirici, in particolare su alberi ornamentali. Temi come la risposta dell'albero alle ferite o le interazioni tra gli alberi e le linee elettriche oppure ancora la resistenza dell'albero al carico del vento sono stati oggetto di molti studi, mentre altri come gli effetti di diversi metodi di potatura sulla salute, la struttura e la fisiologia hanno ricevuto molta meno attenzione e necessitano quindi di ulteriori ricerche. Inoltre gli alberi urbani sono frequentemente oggetto

di potature ripetute. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di valutare gli effetti di diverse tipologie di potatura, ripetute a distanza di due anni, sulla crescita, la fisiologia e la resistenza alla rottura di piante di acero montano.



Callo di cicatrizzazione dopo un taglio di diradamento

Materiali e metodi	
Anni di prova	Inizio: ottobre 2007; termine: agosto 2011
Specie utilizzata	Acero montano ( <i>Acer pseudoplatanus</i> L.), trapiantato nel 2004
Tesi a confronto	C) capitozzo: taglio effettuato su branca principale nello spazio compreso tra due ramificazioni R) ritorno: taglio effettuato in corrispondenza di un laterale di dimensione sufficiente per assumere la funzione di nuovo tiralinf (leader) D) diradamento: taglio dei rami malformati e mal posizionati direttamente all'inserzione sul tronco oppure su una branca di ordine superiore T) testimone: nessuna potatura Con le potature è stata ridotta la superficie fogliare di circa 1/3 di quella stimata
Disegno sperimentale	Una pianta per replica in disegno sperimentale completamente randomizzato con 7 repliche
Numero interventi di potatura	2 (febbraio 2008, febbraio 2010)
Rilievi biometrici	Diametro del fusto a 130 cm, accrescimento germogli in diametro e lunghezza, numero di succhioni nei 20 cm dal taglio, numero di polloni, area e peso medio singola foglia, resistenza alla rottura meccanica, percentuale di chiusura delle ferite da potatura
Rilievi fisiologici	Contenuto fogliare di clorofilla (SPAD), scambi gassosi fogliari



## Risultati del primo ciclo di potature

L'accrescimento in diametro del fusto è stato influenzato dal tipo di potatura solo nella prima stagione vegetativa, quando le tesi controllo e capitozzatura hanno mostrato l'accrescimento più limitato. Nella prima stagione vegetativa successiva al taglio (2008), le branche potate con taglio a capitozzo e di ritorno hanno mostrato un maggior incremento in lunghezza rispetto al controllo. Nella seconda stagione vegetativa successiva al taglio, tuttavia, le differenze tra "capitozzo", "ritorno" e "controllo" non sono risultate significative. I minori accrescimenti

in lunghezza sono stati riscontrati nella tesi "diradamento" poiché i germogli originatisi dai tagli di potatura, all'interno della chioma, divengono presto dominati a causa della carenza di luce. Tutte le tesi potate hanno mostrato un rapporto lunghezza/diametro della branca inferiore rispetto al controllo. Il taglio a capitozzo è stato particolarmente efficace nel ridurre tale rapporto immediatamente dopo il taglio (feb. 2008). Tuttavia, nel corso della successiva stagione vegetativa, le differenze tra "capitozzo" e "ritorno" non sono risultate significative.

Tipo di potatura	Incremento diametro fusto (cm)	Incremento lunghezza branca potata (cm)		Rapporto lunghezza/diametro branca potata		N° succhioni entro 20 cm dal taglio
	2008-2009	2008-2009	2009-2010	feb 2008	dic 2009	dic 2008
Capitozzo	1,08 b	98,63 a	61,80 a	24,15 c	75,76 b	2,29 a
Diradamento	1,76 a	39,60 c	6,00 b	-	65,40 c	0,33 c
Ritorno	1,78 a	84,32 a	55,23 a	35,37 b	75,90 b	0,64 b
Controllo	1,09 b	64,70 b	57,78 a	63,66 a	85,86 a	0,00 c
<i>Significatività</i>	**	**	**	**	**	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).



I succhioni generatisi entro 20 cm dalla ferita nella stagione successiva agli interventi di potatura hanno mostrato una crescita maggiore nella tesi "capitozzo" rispetto alle tesi "ritorno" e "diradamento", con germogli tendenti alla codominanza. Tale parametro viene stimato dal rapporto tra i diametri dei laterali e quello del tiralinfa: un rapporto superiore a 0,66 indica che il succhione ha buona probabilità di diventare codominante. È noto come rami e branche codominanti rappresentino in genere un difetto strutturale, soprattutto quando inseriti con un angolo piuttosto stretto (inserzione a V) e quando al loro interno presentino corteccia inclusa. È stato recentemente dimostrato che i rami o le branche, anche apparentemente ben salde, possono essere considerate realmente sicure quando il rapporto lunghezza/diametro del titalinfa è inferiore a 125. Se il punto di inserzione

del ramo risulta debole o presenta segni di danni strutturali o di carie del legno, le rotture e le sbrancature possono verificarsi facilmente già a valori di poco maggiori a 40. In questa prova, il rapporto lunghezza/diametro del leader due anni dopo le potature è risultato compreso tra 65 (diradamento) e 86 (controllo). Come è noto, germogli, rami e branche originatisi da gemme avventizie sono meno fortemente attaccati alla branca di ordine superiore visto che sono inseriti a livello del cambio. La forza di giunzione del

germoglio sul ramo principale è stata valutata utilizzando come parametro la resistenza alla rottura, cioè la forza di trazione necessaria al distacco del germoglio a livello del collare. I dati confermano quanto rilevato anche da altri autori e cioè che per staccare il germoglio apicale sviluppato nella tesi capitozzatura è stata necessaria circa la metà della forza richiesta nella tesi di potatura di ritorno o per staccare un ramo laterale nella tesi controllo.

Tipo di potatura	Rapporto diametro laterali/ diametro tiralinfa	Rapporto lunghezza/ diametro tiralinfa	Resistenza alla rottura (MPa)	Area della ferita di potatura (cm <sup>2</sup> )	Cicatrizzazione della ferita di potatura (%)	Area fogliare media (cm <sup>2</sup> )	Massa dell'unità di area fogliare (mg/cm <sup>2</sup> )
	dic 2009	dic 2009	dic 2009	feb 2008	dic 2009	lug 2008	lug 2008
Capitozzo	0,73 a	75,8 a	20,1 b	2,46 b	1 c	270,8 a	10,1 b
Diradamento	0,93 a	65,4 b	-	4,19 a	93 a	188,0 b	12,5 a
Ritorno	0,32 b	75,9 b	47,0 a	2,66 b	72 b	199,0 b	12,4 a
Controllo	0,52 ab	85,9 a	53,7 a	-	-	220,8 b	12,0 a
Significatività	**	**	**	**	**	**	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Come dimostrato in altri lavori, se i tagli sono eseguiti correttamente le ferite di potatura di diametro inferiore a 5 cm, possibili vie di ingresso di patogeni cariogeni, tendono a chiudersi in tempi rapidi. Le ferite di dimensioni maggiori sono state create con i tagli di dirado; tuttavia in questo caso la velocità di chiusura della ferita è risultata

più elevata rispetto alla tesi di ritorno: a distanza di due anni dagli interventi di potatura le ferite dei tagli di dirado e di ritorno si sono rimarginate per il 93% e il 72%, rispettivamente, mentre solo l'1% di callo di cicatrizzazione è stato prodotto dopo la seconda stagione vegetativa nelle tesi in cui è stato eseguito il capitozzo.

Rilievi fisiologici dopo il primo ciclo di potatura							
Tipo di potatura	Fotosintesi netta ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )					SPAD	
	2008			2009		2008	2009
	giugno	luglio	agosto	maggio	luglio		
Capitozzo	11,7 a	10,0 a	10,0	13,15	12,94	45,0 a	40,0
Diradamento	10,2 ab	9,3 b	10,4	11,56	11,88	39,0 c	39,6
Ritorno	9,9 ab	10,8 a	10,1	12,44	13,20	42,9 b	40,9
Controllo	8,3 b	9,0 b	10,7	12,58	11,91	40,2 c	40,1
Significatività	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).



I rilievi fisiologici hanno evidenziato che le differenze nel ritmo di assimilazione del carbonio tra le tesi si sono manifestate solo all'inizio della prima stagione vegetativa dopo le potature, collegate con buona probabilità dalle modificazioni delle proprietà morfo-fisiologiche delle foglie indotte dalle potature stesse. I tagli di capitozzatura hanno portato alla formazione di foglie con un più alto contenuto di clorofilla.

Inoltre la capitozzatura ha portato nel primo anno allo sviluppo di foglie più grandi e più sottili (massa dell'unità di area inferiore) in confronto con le altre tesi. La capitozzatura quindi sembra essere la tecnica che induce, almeno inizialmente, la più forte alterazione della morfo-fisiologia dell'albero, sia a livello di portamento, sia a livello fogliare.



**Controllo non potato**



**Taglio di ritorno**

### **Risultati del secondo ciclo di potature**

In questo secondo ciclo le piante capitozzate hanno evidenziato l'accrescimento in diametro del fusto significativamente più basso rispetto agli altri tagli, come pure l'accrescimento diametrico delle branche potate, misurato al punto di inserzione nel tronco subito dopo il collare della branca stessa. Subito dopo i tagli il rapporto lunghezza/diametro del ramo principale è risultato differente nelle tesi controllo non potato, taglio di ritorno, capitozzatura, con valori decrescenti dalla prima all'ultima. Tuttavia,

nella stagione successiva al taglio, il rapporto lunghezza/diametro della branca potata è variato dell'1% e del 12%, rispettivamente, nelle tesi "controllo" e "ritorno", mentre del 155% nella tesi "capitozzo". Ciò fa supporre che, analogamente a quanto osservato nel primo ciclo, entro poche stagioni vegetative il rapporto lunghezza/diametro della tesi "capitozzo" eguaglierà o addirittura supererà quello delle altre tesi potate, portando alla formazione di una struttura della pianta meno sicura.



Tipo di potatura	Incremento diametro fusto (cm)	Incremento diametro branca potata (cm)	Incremento lunghezza branca potata (cm)	Rapporto lunghezza/diametro branca potata e variazione nella stagione successiva al taglio		N° succhioni entro 20 cm dal taglio
	2010	2010	2010	feb 2010	feb-dic 2010	dic 2010
Capitozzo	0,90 b	0,08 b	84,65 a	18,32 c	+155%	3,27 a
Diradamento	1,69 a	0,60 a	41,82 b	-	-	0,63 c
Ritorno	1,59 a	0,18 ab	33,44 b	57,20 b	+ 12%	1,41 b
Controllo	1,68 a	0,35 a	26,18 b	88,41 a	+ 1%	0,00 c
<i>Significatività</i>	**	**	**	**	-	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

Anche in questo secondo ciclo il numero più alto di succhioni sviluppatasi entro 20 cm dal taglio di potatura si è riscontrato nelle branche capitozzate mentre quello più basso in quelle diradate e nel controllo non potato. Il rischio che questi succhioni possano competere per la dominanza apicale con il ramo leader della branca è stato anche in questo caso stimato usando il rapporto tra i diametri dei rami leader e laterale. Nei germogli sviluppatasi in seguito a capitozzatura e tagli di diradamento tale rapporto è stato sempre

significativamente analogo e superiore rispetto ai valori riscontrati sui tagli di ritorno o al testimone non potato. Il rapporto lunghezza/diametro del ramo principale è risultato più alto nelle branche capitozzate e non potate rispetto alle altre due tipologie di taglio. I valori di resistenza al distacco del germoglio apicale della branca di ordine superiore confermano che i germogli più debolmente inseriti sono quelli della tesi capitozzo. Detti valori sono infatti risultati più bassi sia nel 2009 che nel 2010.

Tipo di potatura	Rapporto diametro rami laterali/diametro ramo principale	Rapporto lunghezza/diametro ramo principale	Resistenza alla rottura (MPa)	Area della ferita di potatura (cm <sup>2</sup> )	Cicatrizzazione della ferita di potatura (%)	Area fogliare media (cm <sup>2</sup> )	Massa dell'unità di area fogliare (mg/cm <sup>2</sup> )
	dic 2010	dic 2010	dic 2010	feb 2010	dic 2010	lug 2010	lug 2010
Capitozzo	0,77 a	79,89 a	37,4 b	3,29 b	4 b	279,9 a	8,4 c
Diradamento	0,91 a	51,26 b	-	7,11 a	17 a	155,3 b	9,9 b
Ritorno	0,29 c	61,16 b	62,4 a	4,11 b	19 a	165,2 b	11,7 a
Controllo	0,46 b	86,93 a	58,5 a	-	-	147,8 b	10,9 ab
<i>Significatività</i>	**	**	**	**	**	**	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (\*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Anche nel secondo ciclo di tagli la potatura di diradamento, vista la modalità di esecuzione cioè taglio a livello dell'inserzione al tronco, ha prodotto le ferite di maggiori dimensioni rispetto alle altre tesi. Ma, come del resto già

osservato durante il primo ciclo di potatura, le ferite più lente e meno efficaci nel richiudersi si sono riscontrate nei tagli di capitozzatura. Inoltre il 26% di rami capitozzati ha mostrato evidenti segni di deperimento e disseccamento, non

osservati invece nelle altre tesi.

Per quanto riguarda le foglie, anche in questo secondo ciclo quelle cresciute su branche capitozzate sono risultate più espanse di quelle cresciute su branche su cui è stato eseguito il taglio di ritorno o su quelle non potate, come anche rispetto a quelle cresciute su germogli posizionati immediatamente attorno ai tagli di diradamento. La misurazione della massa dell'unità di area fogliare ha confermato che le foglie su branche capitozzate hanno, nella prima stagione vegetativa dopo il taglio, un valore più basso rispetto al controllo, mentre quelli delle tesi ritorno, diradamento e controllo sono risultati tra loro comparabili. Riduzioni nella massa dell'unità di area fogliare sono spesso associate a riduzioni di resistenza o tolleranza a fattori di

stress e in genere all'interno della stessa specie le foglie giovanili hanno un valore più basso, presentando una maggiore suscettibilità a stress ossidativi.



**Callo di cicatrizzazione dopo un taglio di ritorno**

Rilievi fisiologici dopo il secondo ciclo di potatura							
Tipo di potatura	Fotosintesi netta ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )					SPAD	
	2010			2011		2010	2011
	maggio	luglio	settembre	maggio	luglio		
Capitozzo	12,42 a	9,27	8,54	12,13	12,78 ab	42,7 a	39,6 a
Diradamento	8,95 b	8,69	8,47	9,80	11,07 b	35,0 c	35,7 b
Ritorno	12,06 a	10,48	9,63	11,70	14,26 a	39,1 b	38,3 a
Controllo	7,98 b	8,83	8,46	10,12	14,48 a	39,9 bc	37,3 ab
Significatività	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	**

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

Nel 2010 le foglie delle piante capitozzate hanno evidenziato il più alto contenuto fogliare di clorofilla (in unità SPAD) e nel 2011 tali risultati sono stati, almeno in parte, confermati; le foglie nella tesi in cui è stato effettuato il taglio di diradamento hanno continuato a manifestare i valori più bassi di SPAD. I rilievi fisiologici

riconfermano quanto già osservato durante il primo ciclo e cioè che quando l'umidità del suolo e la temperatura dell'aria non sono fattori limitanti per gli scambi gassosi fogliari, le foglie delle piante capitozzate mostrano i valori più alti di assimilazione, mentre con il proseguire della stagione le differenze si riducono o si annullano.

## Conclusioni

I risultati indicano che le conseguenze delle potature dipendono in larga misura dalla tipologia di intervento eseguita sull'albero.

Le tecniche, come la capitozzatura, che rimuovono la gemma apicale senza lasciare e/o impostare un germoglio che possa diventare il nuovo tiralinfa della branca portano ad uno sviluppo maggiore

di succhioni, che spesso risultano codominanti. Questi crescono velocemente producendo una grande area fogliare nel tentativo di vincere la competizione di quelli vicini e per questo sviluppano foglie molto larghe ma molto sottili e ricche in clorofilla, così da massimizzare l'assimilazione carbonica quando le condizioni



ambientali non sono limitanti. Il rovescio della medaglia è che questa struttura morfo-funzionale modificata a causa della ridotta massa dell'unità di area fogliare è molto suscettibile a vari tipi di stress, biotici e abiotici. In un certo senso la potatura fa regredire il ramo potato ad un comportamento più pionieristico, che però risulta meno tollerante agli stress ambientali, come evidenziato dall'alta frequenza di disseccamenti osservata nelle branche capitozzate. Inoltre i germogli da gemme avventizie o latenti che si sviluppano a seguito di questo tipo di taglio risultano uniti più debolmente alla branca di ordine superiore, portando nel tempo a maggiori problemi di stabilità. Al contrario le altre metodologie di potatura modificano in misura minore la struttura e la fisiologia dell'albero, o perché mantengono un germoglio apicale e quindi non alterano la dominanza apicale nel caso della potatura di ritorno, oppure perché vanno ad eliminare la branca direttamente all'inserzione sul tronco con lo sviluppo di succhioni nella parte interna della chioma ove sono poco competitivi per la scarsità di luce, come nel caso della potatura di diradamento.



**Capitotatura**



**Capitotatura**

In conclusione, mentre la capitozzatura porta a profondi cambiamenti nella struttura e nella fisiologia della pianta, tecniche come il taglio di diradamento oppure il taglio di ritorno comportano un minor grado di 'disturbo' e sono quindi raccomandabili per garantire una maggior sanità e, probabilmente quindi, longevità della pianta, considerando anche il fatto che gli alberi urbani durante la loro vita subiscono numerose potature e dunque subiscono ripetutamente gli effetti e le alterazioni morfo-fisiologiche di tali interventi.



**Modifiche morfo-strutturali  
in seguito a capitozzatura**



## 2 - Influenza dell'epoca di potatura sulla crescita, la cicatrizzazione delle ferite e la fisiologia degli alberi ornamentali

Le ferite causate dai tagli di potatura sono un punto d'ingresso preferenziale per una molteplicità di patogeni e di funghi cariogeni. Questi organismi, oltre a ridurre la vitalità della pianta, la indeboliscono strutturalmente. L'aumentato rischio di rottura in seguito all'infezione dei funghi cariogeni mette in pericolo la sicurezza delle persone e dei beni nelle vicinanze dell'albero. La pianta è in grado di reagire alle infezioni e "compartimentare" il patogeno. Tuttavia, oltre che dall'aggressività di quest'ultimo, l'efficacia della pianta nel processo di compartimentazione dipende dallo stato di salute dell'organismo vegetale e dal periodo (da cui dipende lo stato di attività del patogeno e dei tessuti della pianta) in cui la ferita è inferta. Esistono numerosi riscontri nella letteratura italiana ed internazionale che individuano nella stagione tardo autunnale – invernale il periodo ideale per la potatura secca di formazione delle giovani latifoglie in vivaio. Per gli interventi di potatura di formazione viene generalmente consigliato il periodo che va da novembre fino ad aprile, ponendo però attenzione a concludere le potature prima del rigonfiamento

primaverile delle gemme e dell'inizio del germogliamento. Tuttavia, il periodo individuato (almeno 5 mesi) risulta essere estremamente lungo e caratterizzato da condizioni ambientali (soprattutto termiche) estremamente variabili, anche in considerazione dei recenti mutamenti indotti dal cambio climatico, che potrebbero anticipare o ritardare le varie fasi fenologiche. Quale sia, durante la dormienza delle gemme, il momento ottimale per la potatura delle specie arboree ornamentali è, ancora oggi, elusivo.



Materiali e metodi	
Anni di prova	Inizio: dicembre 2007; termine: aprile 2011
Specie utilizzata	Acero montano ( <i>Acer pseudoplatanus</i> L.), trapiantato nel 2004
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"><li>• potatura effettuata precocemente, a dicembre, prima che le temperature raggiungano il minimo annuale</li><li>• potatura a gennaio</li><li>• potatura a febbraio</li><li>• potatura tardiva, a marzo, in prossimità del risveglio vegetativo, ma comunque prima del rigonfiamento delle gemme</li></ul> <p>In ogni epoca di potatura sono stati effettuati 2 tipi di taglio (di ritorno e di diradamento)</p> <p>Tutti gli interventi di potatura sono stati effettuati in modo da ridurre l'area fogliare stimata di circa il 30%</p>
Disegno sperimentale	Una pianta per replica in disegno sperimentale completamente randomizzato con 7 repliche
Numero interventi di potatura	2 (inverno 2007-2008, inverno 2009-2010)
Rilievi biometrici	Diametro del fusto a 130 cm, area cicatrizzazione ferite di potatura, percentuale di chiusura delle ferite da potatura, accrescimento germogli dominanti in diametro e lunghezza, diametro succhioni nei 20 cm dal taglio
Rilievi fisiologici	Contenuto fogliare di clorofilla (SPAD)

## Risultati ottenuti

All'inizio della sperimentazione, prima di eseguire il primo ciclo di potatura, il diametro del fusto era omogeneo tra le tesi. Alla fine della sperimentazione, dopo che sono stati effettuati due cicli di potatura, tutte le tesi hanno esibito un

incremento diametrale simile. Da ciò è possibile dedurre che la potatura invernale “sul secco”, se effettuata tra dicembre e marzo, non influenza in modo significativo l'accrescimento diametrale del fusto.

Epoca di potatura	Diametro fusto (cm) dicembre 2007	Incremento diametro fusto (cm) 2008-2011
Dicembre	5,9	25,2
Gennaio	6,0	24,9
Febbraio	6,0	25,4
Marzo	6,0	26,9
Significatività	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Durante il primo ciclo, l'epoca di potatura non ha avuto effetti significativi né sull'area della ferita inferta, né sulla velocità di cicatrizzazione della stessa. Infatti, la percentuale dell'area cicatrizzata mediante la formazione del callo variava da 44,6% a 54,3% dopo un anno e da 71,3% a 87,5% dopo due anni, ma nessuna differenza significativa è emersa tra le tesi. Anche nel secondo ciclo di potatura, l'area della ferita inferta non era dissimile tra le quattro epoche di potatura. Tuttavia, in questo caso, le ferite praticate a marzo hanno mostrato una minore cicatrizzazione rispetto a quelle effettuate a dicembre e gennaio.

Anche il tipo di taglio ha giocato un ruolo importante nel determinare la dimensione della ferita e la successiva cicatrizzazione. Chiaramente, rimuovere una branca direttamente alla sua inserzione nel fusto (taglio di diradamento) causa una ferita di diametro maggiore rispetto a quella derivante dal raccorciamento della branca stessa mediante taglio di ritorno, a causa dell'assottigliamento della

branca. Ciò è stato osservato sia nel primo, sia nel secondo ciclo di potatura. Tuttavia, nonostante





la maggiore dimensione, le ferite derivanti dal taglio di diradamento sono risultate più veloci nella cicatrizzazione rispetto a quelle causate dai

tagli di ritorno.

Non sono state trovate interazioni significative tra epoca e tipo di taglio.

Tesi	Primo ciclo			Secondo ciclo	
	Area della ferita di potatura (cm²)	Cicatrizzazione della ferita di potatura (%)		Area della ferita di potatura (cm²)	Cicatrizzazione della ferita di potatura (%) dopo 1 anno
		dopo 1 anno	dopo 2 anni		
Effetto dell'epoca di potatura					
Dicembre	3,30	44,6	72,8	2,32	18,70 a
Gennaio	4,49	52,6	78,7	2,06	16,60 a
Febbraio	2,99	54,3	87,5	2,47	14,60 ab
Marzo	3,40	46,5	71,3	2,13	8,38 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
Effetto del tipo di potatura					
Ritorno	2,93 b	41,9 b	69,5 b	2,15 b	11,20 b
Diradamento	4,12 a	66,2 a	96,4 a	2,54 a	17,90 a
Significatività	**	**	**	**	**
Interazione epoca x tipo					
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Il diametro delle branche selezionate e marcate per essere potate era, all'inizio della sperimentazione e prima del secondo intervento di potatura, omogeneo tra le tesi. Un anno dopo l'esecuzione del primo ciclo di potatura, le branche potate in marzo hanno mostrato un maggior incremento

diametrico rispetto a quelle potate in febbraio. Il minor incremento diametrico è stato osservato nelle branche potate in dicembre. Tuttavia, tali differenze non sono state confermate né nel secondo anno dopo il primo intervento di potatura, né dopo il secondo intervento di potatura.

Epoca di potatura	Primo ciclo			Secondo ciclo	
	Diametro branca principale (cm)	Incremento diametro branca principale (cm)		Diametro branca principale (cm)	Incremento diametro branca principale (cm) dopo 1 anno
		dopo 1 anno	dopo 2 anni		
Dicembre	1,17	0,51 c	0,30	1,33	0,66
Gennaio	0,95	0,70 bc	0,34	1,22	0,69
Febbraio	0,80	0,95 b	0,33	1,07	0,87
Marzo	0,82	1,17 a	0,30	1,21	0,69
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).



Nel primo ciclo di potatura, né l'epoca di taglio, né il tipo di taglio hanno influenzato il numero e l'accrescimento dei succhioni originatisi entro 20 cm dalla ferita. Va qui ricordato che un'elevata produzione di succhioni in risposta alla potatura è da considerarsi una caratteristica negativa sia perché i succhioni possono diventare codominanti con altri germogli, rami o branche (soprattutto nel caso del taglio di ritorno), sia poiché essi costituiscono un elemento di potenziale debolezza strutturale per la pianta. Infatti, come dimostrato da altri studi, succhioni e altri germogli avventizi sono, generalmente, inseriti in modo meno solido

sul ramo, poiché inseriti a livello del cambio. Comunque l'assenza di un effetto significativo del periodo di potatura sul numero di succhioni emessi è stato confermato anche nel secondo ciclo di potatura. In questo caso, però, si è trovato un effetto significativo dell'epoca di taglio sulla dimensione dei succhioni: il taglio a febbraio ha, infatti, causato una maggior crescita diametrica degli stessi a confronto con le altre epoche. Nel secondo ciclo è stato, inoltre, trovato un effetto significativo del tipo di taglio sul numero di succhioni emessi, che è risultato maggiore ove è stato praticato il taglio di ritorno.

Tesi	Primo ciclo			Secondo ciclo	
	Numero succhioni entro 20 cm dal taglio	Diametro succhioni entro 20 cm dal taglio (cm)		Numero succhioni entro 20 cm dal taglio	Diametro succhioni entro 20 cm dal taglio (cm)
	dopo 1 anno	dopo 1 anno	dopo 2 anni	dopo 1 anno	
Effetto dell'epoca di potatura					
Dicembre	0,63	0,37	0,05	0,74	0,41 b
Gennaio	0,61	0,47	0,13	0,71	0,41 b
Febbraio	0,91	0,67	0,41	0,77	0,74 a
Marzo	0,83	0,37	0,17	0,54	0,46 b
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**
Effetto del tipo di potatura					
Ritorno	0,52	0,41	0,21	0,97 a	0,51
Diradamento	0,43	0,55	0,33	0,42 b	0,50
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
Interazione epoca x tipo					
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; **\*\***: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

Prima della potatura (2007), il contenuto di clorofilla era simile in tutte le tesi studiate. Durante la prima stagione vegetativa dopo il primo intervento, le piante potate in gennaio avevano un maggior contenuto di clorofilla rispetto a quelle potate a dicembre e marzo le quali, a loro volta, avevano un maggior contenuto di clorofilla rispetto a quelle potate a febbraio. Le differenze

tra le tesi non sono risultate significative nella seconda stagione dopo la potatura. Tuttavia, dopo un nuovo intervento di potatura (2010), sono nuovamente emerse differenze significative tra le tesi. In particolare, la potatura a febbraio ha ridotto il contenuto di clorofilla fogliare rispetto a quella effettuata in dicembre o gennaio.

Contenuto fogliare di clorofilla (SPAD)				
Epoca di potatura	Prima della potatura	Primo ciclo		Secondo ciclo
	2007	2008	2009	2010
Dicembre	43,2	38,0 b	39,2	40,1 a
Gennaio	43,9	40,2 a	41,9	40,6 a
Febbraio	41,2	36,0 c	39,2	38,4 b
Marzo	44,0	38,6 b	42,0	39,3 ab
Significatività	<i>n.s.</i>	**	<i>n.s.</i>	*

I valori di ogni colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

In conclusione, non sono emerse differenze di particolare rilievo tra le quattro epoche di potatura messe a confronto. Sebbene siano emerse lievi differenze per quanto riguarda la cicatrizzazione, l'accrescimento diametrico della branca potata, il diametro dei polloni emessi ed il contenuto di clorofilla fogliare, tali differenze non sono state

tali da permettere la determinazione dell'epoca ottimale in cui potare una specie a foglia caduca come l'acero. Anche interventi abbastanza tardivi, come a marzo, periodo in cui spesso si è già verificato il rigonfiamento delle gemme, non hanno comportato alcuna riduzione di vigoria nelle piante.





### 3 - Danni provocati da scavi in prossimità degli apparati radicali

L'ambiente urbano si presenta particolarmente ostile alla crescita e al corretto funzionamento delle radici, che devono confrontarsi quotidianamente con problemi quali la compattazione, il ristagno idrico, la scarsa disponibilità di ossigeno e le eccessive temperature che il suolo può raggiungere. Inoltre, l'uomo spesso si rende protagonista di eventi che possono portare al declino anche alberi di grandi dimensioni in buono stato di salute. È il caso, per esempio, dello scavo di fosse o trincee in prossimità del colletto dei soggetti arborei per l'installazione o la manutenzione di sottoservizi oppure per altre opere edili. Il problema è estremamente serio poiché oltre il 70% delle radici assorbenti dell'albero è concentrato nei primi 40 cm di suolo; inoltre, l'estensione orizzontale dell'apparato radicale può arrivare fino a circa 4 volte oltre la proiezione al suolo della chioma. Vista l'entità del volume di suolo esplorato dall'apparato radicale, è possibile rendersi conto di quanto sia facile asportare, con scavi o altre operazioni di costruzione o di installazione e manutenzione di sottoservizi, anche vaste porzioni di apparato radicale. Tali danneggiamenti, se interessano radici di sostegno, possono minare la stabilità della pianta, in quanto vanno ad eliminare

importanti punti di ancoraggio, facilitando il ribaltamento. Inoltre, le ferite inferte all'apparato radicale possono fungere da punto di ingresso per i patogeni e per i funghi cariogeni.

La sperimentazione è stata volta a studiare l'effetto dello scavo di trincee nella zona interessata dalle radici sulla crescita e la fisiologia di due specie ornamentali caratterizzate da diversa tolleranza alla manipolazione delle radici: tiglio e ippocastano. La prima specie, infatti, dovrebbe essere in grado di rigenerare una maggior quantità di radici rispetto all'ippocastano, che dovrebbe, al contrario, risentire maggiormente dello stress.



Materiali e metodi	
Anni di prova	Inizio: giugno 2009; termine: luglio 2011
Specie utilizzate	Tiglio europeo ( <i>Tilia x europaea</i> ) e ippocastano ( <i>Aesculus hippocastanum</i> ), di classe di circonferenza 25-30, trapiantati nel 2004
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"><li>• taglio dell'apparato radicale effettuato su un lato della pianta, lasciando intatte le radici sviluppatesi nelle altre direzioni</li><li>• taglio dell'apparato radicale sui due lati simmetrici rispetto al colletto</li><li>• nessun danno all'apparato radicale (controllo)</li></ul> <p>I tagli sono stati ottenuti scavando, a distanza di circa 50 cm dal colletto delle piante, una trincea parallela alla fila di profondità 70 cm; gli scavi sono stati lasciati aperti per 10 giorni, ed in seguito si è provveduto a ripristinare il passaggio lungo i filari</p>
Disegno sperimentale	4 piante per replica in disegno sperimentale completamente randomizzato con 4 repliche
Rilievi biometrici	Diametro del fusto a 130 cm, lunghezza dei germogli
Rilievi fisiologici	Misurazione degli scambi gassosi e del potenziale idrico fogliare prima dell'alba; misurazione della fluorescenza (Fv/Fm) e del contenuto fogliare della clorofilla (SPAD)

## Risultati ottenuti

I dati raccolti relativi alla crescita delle piante evidenziano come il taglio delle radici conseguente allo scavo abbia avuto conseguenze negative sia sullo sviluppo diametrico, sia sull'allungamento dei germogli e che queste permangano anche dopo due stagioni vegetative dopo la sua esecuzione. Relativamente all'accrescimento diametrico nel primo anno, è da rilevare che lo scavo su entrambi i lati ha avuto riflessi negativi, mentre non sono emerse differenze significative fra piante di controllo e quelle sottoposte a taglio radicale su un solo lato. Nella seconda stagione dopo il taglio, l'accrescimento diametrico è risultato significativamente inferiore in entrambe le tesi in cui è stato effettuato lo scavo. La lunghezza dei germogli è risultata fortemente influenzata dal taglio radicale con differenze significative sia rispetto al controllo sia, nel 2010, fra il taglio su di un solo lato e quello su entrambi i lati. Fatta eccezione per la lunghezza dei germogli misurata nel 2010, non sono emerse interazioni significative fra l'esecuzione degli scavi e le due

specie in prova.

Il taglio dell'apparato radicale ha determinato una riduzione della crescita dei germogli, più evidente quando lo scavo ha interessato entrambi i lati. La differenza è apparsa ancor più accentuata nella seconda stagione dopo il taglio, quando i germogli delle piante della tesi "scavo su 2 lati" sono risultati più corti del 37,8% rispetto al controllo e, comunque, di lunghezza inferiore anche rispetto alla tesi con scavo su un lato.



Tesi	Incremento diametro fusto (cm)		Lunghezza germogli (cm)		Riduzione della crescita dei germogli	
	2009-2010	2010-2011	2009	2010	2009	2010
<i>Effetto del tipo di scavo</i>						
Scavo su 1 lato	1,46 a	1,04 b	29,43 b	18,82 b	26,6%	23,2%
Scavo su 2 lati	0,90 b	0,92 b	27,91 b	15,22 c	30,4%	37,8%
Controllo	1,41 a	1,33 a	40,10 a	24,49 a	-	-
<i>Significatività</i>	**	**	**	**	-	-
<i>Effetto della specie</i>						
Tiglio	1,48 a	1,08	42,39 a	19,85	-	-
Ippocastano	1,03 b	1,15	22,56 b	19,16	-	-
<i>Significatività</i>	**	n.s.	**	n.s.	-	-
<i>Interazione scavo x specie</i>						
<i>Significatività</i>	n.s.	n.s.	n.s.	*	-	-

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Le misurazioni degli scambi gassosi, effettuate per tre stagioni vegetative hanno evidenziato che nelle piante sottoposte a taglio delle radici la fotosintesi netta è risultata, in linea generale, inferiore, mentre meno chiari appaiono i dati relativi all'efficienza di uso dell'acqua, parametro per il quale non sempre sono emerse differenze significative, pur notando

che, quando queste sono emerse, i valori maggiori sono stati rilevati per le piante sottoposte a taglio delle radici. Per quanto riguarda le interazioni scavo-specie, esse sono apparse significative al primo rilievo di giugno 2009 ed in quelli di giugno e settembre 2010 relativamente al parametro efficienza d'uso dell'acqua.

Fotosintesi netta (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )								
Tesi	2009			2010			2011	
	26 giu	09 lug	20 ago	20 mag	18 giu	20 set	12 mag	06 lug
<i>Effetto del tipo di scavo</i>								
Scavo su 1 lato	6,60	9,77 b	5,78 b	8,49 b	9,66 b	5,84 ab	7,88 b	10,05 a
Scavo su 2 lati	7,35	9,18 b	6,15 b	8,58 b	8,99 b	5,25 b	8,75 b	7,52 b
Controllo	7,95	11,42 a	9,20 a	9,95 a	11,40 a	6,64 a	11,03 a	11,06 a
Significatività	n.s.	**	**	**	**	*	**	**
<i>Effetto della specie</i>								
Tiglio	9,24 a	9,66	6,26 b	10,12 a	11,07 a	5,45	9,53	9,47
Ippocastano	5,29 b	10,58	7,83 a	7,89 b	8,96 b	6,40	8,91	9,62
Significatività	**	n.s.	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Interazione scavo x specie</i>								
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Efficienza d'uso dell'acqua (WUE, $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ )								
Tesi	2009			2010			2011	
	26 giu	09 lug	20 ago	20 mag	18 giu	20 set	12 mag	06 lug
<i>Effetto del tipo di scavo</i>								
Scavo su 1 lato	5,24 b	7,59 ab	2,87 b	5,44	9,51 b	4,72	5,99	6,57 a
Scavo su 2 lati	8,66 a	8,22 a	2,97 b	5,62	12,86 a	6,12	6,01	6,11 ab
Controllo	5,79 b	7,17 b	3,30 a	5,89	9,07 b	4,96	5,79	5,61 b
Significatività	n.s.	*	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	*
<i>Effetto della specie</i>								
Tiglio	7,04	7,13 b	2,70 b	5,60	9,22 b	4,39 b	6,02	6,24
Ippocastano	6,08	8,19 a	3,36 a	5,70	11,75 a	6,14 a	5,84	6,09
Significatività	n.s.	**	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Interazione scavo x specie</i>								
Significatività	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Per quanto riguarda i parametri di fluorescenza e di contenuto fogliare di clorofilla, solo occasionalmente sono emerse interazioni significative. Sebbene le misurazioni di fluorescenza possano fornire delle buone misure di fotosintesi, il loro vero vantaggio è nella capacità di dare informazioni non facilmente ottenibili in altri modi. In particolare, la fluorescenza può fornire dettagli sulla capacità di una pianta di tollerare stress ambientali. Nella sperimentazione in questione,

lo scavo ha avuto effetti sulla fluorescenza della clorofilla, anche se non sempre le differenze sono risultate significative e, comunque, i valori rilevati sono sempre risultati superiori a 0,75, valore considerato come soglia al di sotto della quale la pianta può dirsi in condizioni di stress. Per cui, almeno in base a questo parametro, lo scavo non sembra aver prodotto effetti tangibili sulla fisiologia della pianta.



Fluorescenza (Fv/Fm) e contenuto fogliare di clorofilla (SPAD)									
Tesi	Fv/Fm 2009			Fv/Fm 2010			Fv/Fm 2011		SPAD 2010
	26 giu	09 lug	20 ago	20 mag	18 giu	20 set	12 mag	06 lug	18 giu
<i>Effetto del tipo di scavo</i>									
Scavo su 1 lato	0,824	0,798 a	0,793 a	0,833 a	0,833	0,789	0,847 ab	0,809	43,69
Scavo su 2 lati	0,808	0,775 b	0,759 b	0,821 b	0,822	0,775	0,843 b	0,818	43,06
Controllo	0,802	0,791 a	0,804 a	0,830 ab	0,822	0,774	0,849 a	0,828	43,96
Significatività	n.s.	**	*	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
<i>Effetto della specie</i>									
Tiglio	0,820	0,791	0,801 a	0,837 a	0,830	0,749 b	0,855 a	0,823	46,50 a
Ippocastano	0,802	0,785	0,771 b	0,818 b	0,821	0,809 a	0,838 b	0,814	40,64 b
Significatività	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**	**	n.s.	**
<i>Interazione scavo x specie</i>									
Significatività	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ; \*: significativo per  $P \leq 0,05$ ).

Il potenziale idrico fogliare è risultato fortemente influenzato dall'effettuazione degli scavi. Come è evidente dalla tabella sotto riportata, soprattutto le piante scavate su entrambi i lati hanno evidenziato valori inferiori rispetto al controllo. Nel 2010 sono anche emerse differenze significative fra le due tesi di "taglio": le piante che avevano subito l'asportazione delle radici su entrambi i lati hanno manifestato valori nettamente inferiori, indicando una situazione di stress idrico maggiore. Le interazioni tesi x specie non sono risultate significative.



Potenziale idrico fogliare ( $\Psi_w$ , MPa)		
Tesi	settembre 2010	maggio 2011
<i>Effetto del tipo di scavo</i>		
Scavo su 1 lato	-0,37 b	-0,26 b
Scavo su 2 lati	-0,69 c	-0,27 b
Controllo	-0,20 a	-0,20 a
Significatività	**	**
<i>Effetto della specie</i>		
Tiglio	-0,39	-0,23 a
Ippocastano	-0,45	-0,26 b
Significatività	n.s.	**
<i>Interazione scavo x specie</i>		
Significatività	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; \*\*: significativo per  $P \leq 0,01$ ).

In conclusione, si può notare come il taglio manifesti accrescimenti superiori rispetto all'ippocastano, ma che non evidenzia una reazione al taglio migliore rispetto all'ippocastano. Le misurazioni di fotosintesi mediante l'analisi di scambi gassosi e di fluorescenza hanno fornito chiare indicazioni sullo stato fisiologico conseguente al taglio delle radici e potrebbero quindi essere utilizzate anche in campo applicativo. I risultati finora ottenuti hanno inoltre mostrato che anche dopo due anni dal taglio è ancora possibile individuare l'effetto dello stress da esso causato. Riguardo alle differenze fra le varie specie, solo raramente sono emerse differenze significative per quanto concerne l'interazione taglio x specie, e non appare evidente che il taglio mostri, come riportato da alcuni autori, un alto grado di tolleranza nei confronti dello stress causato dalla rimozione di parte dell'apparato radicale.

Queste informazioni potrebbero essere importanti per comprendere meglio la reazione delle piante a questo tipo di stress e potrebbero essere utili per la selezione specie più tolleranti per gli impianti posti lungo le vie di comunicazione dove più frequenti sono i lavori per la posa in opera di infrastrutture sotterranee.





## BIBLIOGRAFIA

### Pubblicazioni nell'ambito dei Progetti Tecviva e Tecpro

- Amoroso G., Frangi P., Piatti R., Ferrini F., Fini A., 2010 - Effetto di diverse tipologie di contenitore sullo sviluppo dell'apparato radicale di *Tilia cordata* Mill. e *Ulmus minor* Mill. Atti IX Giornate Scientifiche SOI, Firenze, 10-12 marzo 2010. Italus Hortus 17(2): 77-78.
- Amoroso G., Frangi P., Piatti R., Ferrini F., Fini A., 2010 - Effect of Container Design on Plant Growth and Root Deformation of Littleleaf Linden and Field Elm. Hortscience 45(12): 1824-1829.
- Amoroso G., Frangi P., Piatti R., Fini A., Ferrini F., 2010 - Influence of different container typology on *Ulmus minor* Mill. plant growth and root morphology. Book of Abstracts 28<sup>th</sup> International Horticultural Congress, Lisbon, August 22-27, 2010, Vol.I, p. 286 (in corso di pubblicazione su Acta Horticulturae).
- Faoro M., Piatti R., Frangi P., Amoroso G., 2010 - Valutazione di sistemi irrigui ad alta efficienza d'uso dell'acqua nel vivaismo in contenitore. Il Floricoltore 47 (10): 34-38.
- Fini A., Faoro M., Amoroso G., Piatti R., Frangi P., Ferrini F., 2011 - Effect of pruning type on growth, physiology and breaking stress of maple trees. Atti 87° ISA Conference and Tree Climbing Championship (Paramatta, Australia).
- Fini A., Faoro M., Amoroso G., Piatti R., Frangi P., Ferrini F., 2011 - Effect of repeated pruning cycles on growth and physiology of maple trees. Atti International Meeting and Research Symposium on Urban Tree Growth (The Morton Arboretum, Lisle, Illinois, USA).
- Fini A., Frangi P., Amoroso G., Piatti R., Faoro M., Bellasio C., Ferrini F., 2011 - Effect of controlled inoculation with specific mycorrhizal fungi from the urban environment on growth and physiology of containerized shade tree species growing under different water regimes. Mycorrhiza DOI 10.1007/s00572-011-0370-6.
- Fini A., Frangi P., Amoroso G., Piatti R., Faoro M., Ferrini F., 2010 - Effect of specific mycorrhiza and water deficit on growth and physiology of container-grown shade tree species. Atti 86° ISA Conference and Trade Show (Chicago, Illinois, USA).
- Frangi P., Amoroso G., Martinetti L., 2010 - Efficacia e potenziale fitotossicità di alcuni erbicidi utilizzati in vivaio su *Hydrangea macrophylla* e *Pachysandra terminalis*. Atti IX Giornate Scientifiche SOI, Firenze, 10-12 marzo 2010. Italus Hortus 17(2): 121.
- Nespoli M.G., 2009 - Valutazione dell'efficacia e della potenziale fitotossicità di alcuni erbicidi utilizzati nel vivaismo ornamentale. Tesi di laurea, Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria, anno accademico 2008-09.
- Pugliese M., Gullino M.L., Garibaldi A., 2010 - Effetto di repressività di compost nei confronti di *Phytophthora cinnamomi* su azalea. Protezione delle colture 3(2): 121-122.
- Pugliese M., Gullino M.L., Garibaldi A., 2011 - Suppressive effect of compost against *Phytophthora cinnamomi* on ornamentals. Atti del XVII Congresso della Società Italiana di Patologia vegetale, Università di Bologna, 12-14 settembre 2011.
- Pugliese M., Marengo M., Gullino M.L., Garibaldi A., 2011 - Effetto di repressività di compost nei confronti di *Phytophthora cinnamomi* su *Skimmia japonica*. Protezione delle colture, 4 (2): 113.



Ottobre 2011

Impaginazione e stampa a cura de *L'Arte Grafica* - Cantù (Como)

Tel. 031.735332



[www.agricoltura.regione.lombardia.it](http://www.agricoltura.regione.lombardia.it)