

Metodologie produttive e gestionali per migliorare la qualità del verde ornamentale

*Quaderni della ricerca
n. 164 Novembre 2014*



Regione Lombardia
Agricoltura

Sperimentazione condotta nell'ambito del progetto di ricerca n. 1749
"Metodologie produttive e gestionali per migliorare la qualità del verde ornamentale"
(METAVERDE) finanziato con il
Programma Regionale di Ricerca in campo agricolo 2010-2012 di Regione Lombardia

Testi e foto a cura di:

Gabriele Amoroso, Piero Frangi, Riccardo Piatti, Elena Robbiani –
Fondazione Minoprio
Francesco Ferrini, Alessio Fini, Jacopo Mori –
DISPAA 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, frangi@fondazioneminoprio.it

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

Centro di Competenza per l'innovazione in campo agro-ambientale (Agroinnova)
Largo Paolo Braccini, 2 – 10095 Grugliasco (TO)
Tel +39 011. 6708944 Fax +39 011. 6709307
Referente: Angelo Garibaldi, angelo.garibaldi@unito.it

Si ringrazia il Distretto Florovivaistico Alto Lombardo
per la compartecipazione finanziaria al Progetto

Per informazioni:

Regione Lombardia - Direzione Generale Agricoltura
U.O. Sviluppo di innovazione, cooperazione e valorizzazione delle produzioni
Struttura Sviluppo e promozione delle produzioni, 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
Referente: Rossana Tonesi tel: +39 02 6765.3737
e-mail: rossana_tonesi@regione.lombardia.it



Regione Lombardia
Agricoltura

www.fondazioneminoprio.it

DALLA TERRA UN FUTURO VERDE
La Fondazione / Fondazione Minoprio



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DISPAA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE
PRODOTTE AGRICOLE, ALIMENTARI
E DELL'AMBIENTE

AGRONNOVA

Metodologie produttive e gestionali per migliorare la qualità del verde ornamentale

*Quaderni della ricerca
n. 164 Novembre 2014*

Indice

Presentazione	5
1. Effetto della conformazione radicale sullo sviluppo in fase post-trapianto di due specie arboree	7
2. Effetti dell'inoculazione controllata con ceppi micorrizici e di regimi irrigui ridotti nella fase di vivaio sulla crescita e fisiologia nella fase post-trapianto di tre specie arboree	15
3. Relazione tra inoculazione con ceppi micorrizici specifici e crescita e fisiologia in fase post-trapianto di tre specie arboree allevate in precedenza con dosi ridotte di fertilizzante	25
4. Valutazione dell'effetto di pavimentazioni a diverso grado di permeabilità sullo sviluppo e sulla fisiologia di due specie arboree	31
5. Effetto del substrato e della tipologia di contenitore sul contenimento di patogeni terricoli	43
Bibliografia	53

Presentazione

Il comparto delle piante da esterno e del vivaismo ornamentale in Lombardia, pur soffrendo della congiuntura economica negativa, registra una risposta migliore in termini di valore della produzione rispetto alla media nazionale.

Per il mantenimento di questa posizione di mercato è importante aggiornare le tecniche di produzione vivaistica in modo da mantenere alta la qualità del prodotto con costi di produzione contenuti. La valorizzazione di tale produzione passa anche attraverso una corretta gestione degli impianti arborei in ambiente urbano. Rispondendo alle esigenze manifestate degli operatori di questo settore, Regione Lombardia ha finanziato il progetto di ricerca “Metodologie produttive e gestionali per migliorare la qualità del verde ornamentale”, allo scopo di diffondere la conoscenza, tra gli addetti ai lavori, delle innovazioni tecnologiche per lo sviluppo di un verde di qualità. Le ricerche sono state realizzate dalla Fondazione Minoprio, con la preziosa collaborazione delle Università degli Studi di Firenze e di Torino che hanno messo a disposizione le rispettive qualificate competenze nel campo dell’arboricoltura ornamentale e della diagnostica fitopatologica.

1 Effetto della conformazione radicale sullo sviluppo in fase post-trapianto di due specie arboree

La produzione di piante ad alto fusto in contenitore è divenuta una prassi consolidata, in quanto garantisce una gestione delle operazioni vivaistiche più rapida e svincolata dal calendario colturale.

Tuttavia, se realizzata nei tradizionali vasi di plastica, questa tecnica può ridurre la qualità del prodotto a causa della formazione di radici spiralizzate.

Un apparato radicale mal conformato causa limitazioni nell'assorbimento di acqua ed elementi nutritivi, rendendo la pianta più sensibile agli stress e maggiormente suscettibile ad attacchi di patogeni terricoli, in particolare in fase di post-trapianto. Di conseguenza, nel lungo periodo una conformazione radicale non ottimale mina la stabilità meccanica della pianta, favorendo schianti e ribaltamenti.

Diverse ricerche condotte in ambito internazionale hanno evidenziato come la sopravvivenza della pianta in fase post-trapianto sia direttamente correlata all'abilità della stessa di produrre rapidamente nuove radichette, e un apparato radicale mal conformato

fallisce in questo. Oggigiorno la metodologia più impiegata per ovviare al problema della spiralizzazione consiste nell'eseguire potature radicali più o meno pesanti (tagli verticali della zolla o intera rimozione della parte basale della stessa), aggiungendo però ulteriore stress a una pianta in condizioni già difficili come quelle del post-trapianto.

Al fine di favorire un corretto sviluppo radicale in fase vivaistica, e al fine di evitare tagli alle radici, è stato proposto l'impiego di vasi studiati per limitare i problemi di spiralizzazione, ma le performances post-trapianto di piante allevate in tali contenitori sono ancora poco note.

Nell'ambito di precedenti progetti si è potuta validare l'efficacia dei contenitori antispiralizzanti nel ridurre in modo rilevante l'incidenza delle deformazioni radicali, in particolar modo di quei contenitori che impiegano la tecnica dell'air-pruning. Nella presente prova si è valutato quanto la tipologia di contenitore utilizzata in vivaio può condizionare lo sviluppo e la conformazione degli apparati radicali dopo la messa a dimora degli alberi.



Materiali e metodi	
Anni di prova	2010-2013 (trapianto in campo: aprile 2010)
Specie utilizzate	<i>Tilia cordata</i> , <i>Ulmus minor</i>
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"> • Piante allevate per due anni in contenitori Air-Pot[®] • Piante allevate per due anni in contenitori Quadro Antispiralizzante • Piante allevate per due anni in contenitori tradizionali a pareti lisce
Disegno sperimentale	Blocchi randomizzati con 4 repliche. Parcella elementare di 8 piante
Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"> • Determinazione della biomassa aerea e radicale dopo 2 e dopo 4 stagioni vegetative valutazione del grado di spiralizzazione delle radici (massa radici spiralate/massa radici non spiralate) N.B.: dopo l'estirpazione delle piante le radici sono state accorciate simulando l'azione di una zollatrice (raggio di 40 cm su tiglio, 50 cm su olmo) • Accrescimento dei germogli (solo su tiglio) alla fine di ogni stagione vegetativa • Misurazione della fluorescenza (Fv/Fm) e del contenuto fogliare della clorofilla (SPAD) nel corso della stagione vegetativa • Prove di trazione controllata (solo su olmo) dopo 4 stagioni vegetative

Risultati ottenuti

Sviluppo post-trapianto dopo 2 stagioni vegetative			
Specie e tipologia di contenitore	Peso secco parte aerea (g)	Peso secco radici (g)	Radici deformate (%)
<i>Tilia cordata</i>			
Air-Pot [®]	366,9	158,7	16,0 c
Quadro Antispiralizzante	300,0	173,1	33,0 b
Testimone	306,2	185,8	56,0 a
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	**
<i>Ulmus minor</i>			
Air-Pot [®]	1595,2	536,1 b	33,0 b
Quadro Antispiralizzante	2584,5	969,3 a	77,7 a
Testimone	2283,7	863,2 a	90,2 a
<i>Significatività</i>	<i>n.s.</i>	**	**

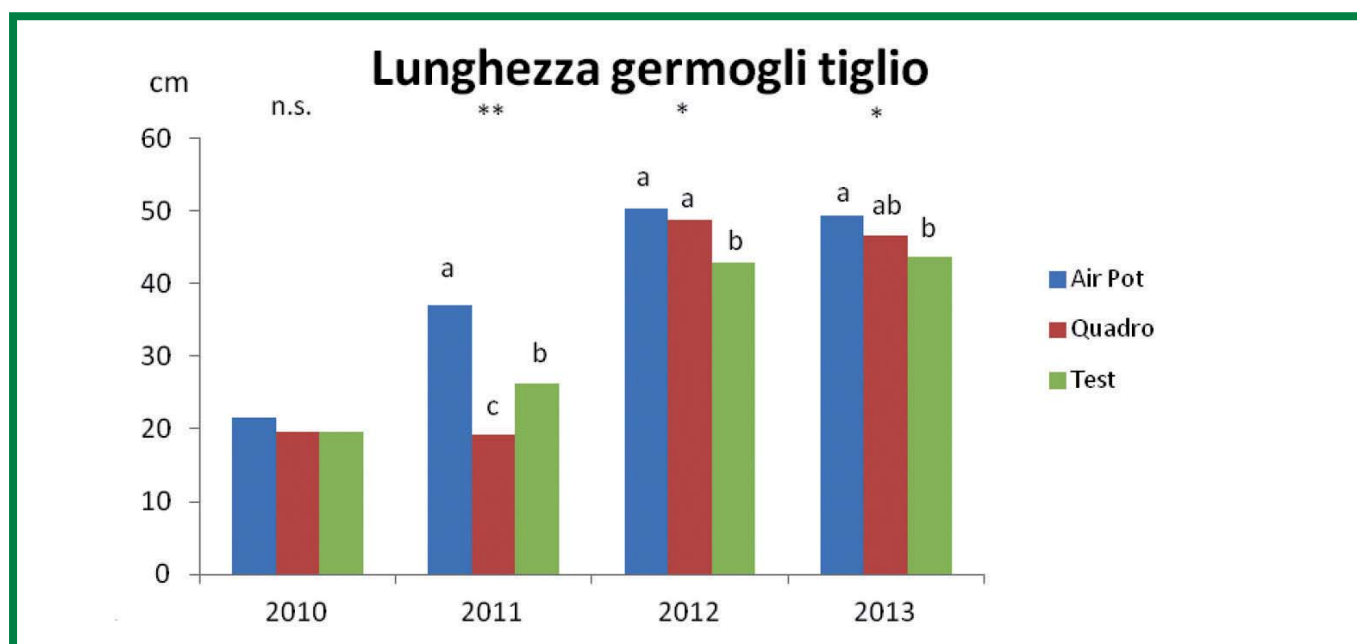
Per ogni specie le medie all'interno della stessa colonna, seguite da lettere differenti, sono statisticamente differenti al test di Duncan. *n.s.*: non significativo; **: significativo per $p \leq 0,01$

In entrambe le specie saggiate la biomassa aerea non è stata influenzata dal tipo di contenitore utilizzato nella fase vivaistica. Si è invece osservata, rispetto al controllo, una riduzione della biomassa radicale in olmo precedentemente allevato nei contenitori Air-Pot®; questa differenza era già stata osservata nel secondo anno di coltivazione in vaso e ha, di conseguenza, influito sulla prima fase di crescita post-trapianto. La conformazione dell'apparato radicale è

stata influenzata dal tipo di contenitore adottato in vivaio sia iniglio che in olmo. Nella prima specie la più alta percentuale di radici deformate è stata osservata sulle piante in precedenza allevate nel vaso tradizionale a pareti lisce e, tra i vasi antispiralizzanti, Air-Pot® è quello che ha controllato meglio la formazione di radici deformate. In olmo solamente Air-Pot® ha permesso una significativa riduzione del fenomeno della spiralizzazione radicale dopo due anni dal trapianto.

Sviluppo post-trapianto dopo 4 stagioni vegetative			
Specie e tipologia di contenitore	Peso fresco parte aerea (kg)	Peso fresco radici (kg)	Radici deformate (%)
<i>Tilia cordata</i>			
Air-Pot®	9,8	1,6	43,3 c
Quadro Antispiralizzante	11,1	2,0	60,4 b
Testimone	9,0	1,9	81,4 a
Significatività	n.s.	n.s.	**
<i>Ulmus minor</i>			
Air-Pot®	67,0	13,1	34,9
Quadro Antispiralizzante	64,9	13,2	54,0
Testimone	52,6	11,1	56,0
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 $p \leq 0,01$



Per ciascun anno di prova lettere differenti indicano differenze significative al test di Duncan. n.s.: non significativo; *: significativo per $p \leq 0,05$; **: significativo per $p \leq 0,01$

A distanza di quattro stagioni vegetative dalla messa a dimora delle piante non sono state osservate, in entrambe le specie, differenze di biomassa aerea e radicale tra le piante allevate in vivaio nelle tre tipologie di contenitore confrontate. In taglio una significativa riduzione della percentuale di radici deformate è stata osservata nelle piante precedentemente allevate in contenitori antispiralizzanti.

Tra questi, Air-Pot® è risultato il più efficace nel ridurre le deformazioni radicali.

Per la relativa eterogeneità delle piante campionate dopo quattro anni dalla messa a dimora la riduzione della spiralizzazione radicale in olmo nei contenitori Air-Pot® non è risultata significativa.



Tiglio allevato in vivaio:

1 in contenitori Air-Pot®;

2 in contenitori tradizionali;

3 in contenitori quadro Antispiralizzante;

Olmo allevato in vivaio:

4 in contenitori Air-Pot®;

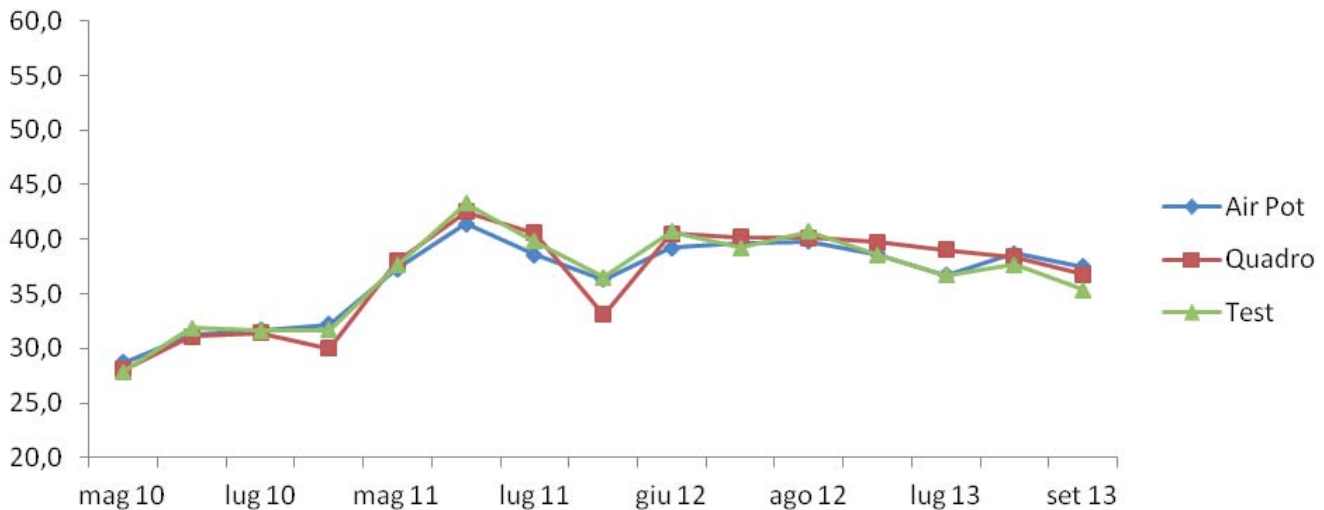
5 in contenitori tradizionali.

Nel primo anno dopo la messa a dimora non sono state osservate differenze di crescita dei germogli di taglio tra le tesi a confronto, mentre nei tre anni successivi il maggiore allungamento dei germogli è stato registrato sulle piante precedentemente allevate nei contenitori Air-Pot®.

Le piante di taglio cresciute in vivaio nei vasi

Quadro Antispiralizzante hanno avuto, nella seconda stagione post-trapianto, una crescita minore dei germogli rispetto al controllo, mentre dall'anno successivo l'allungamento

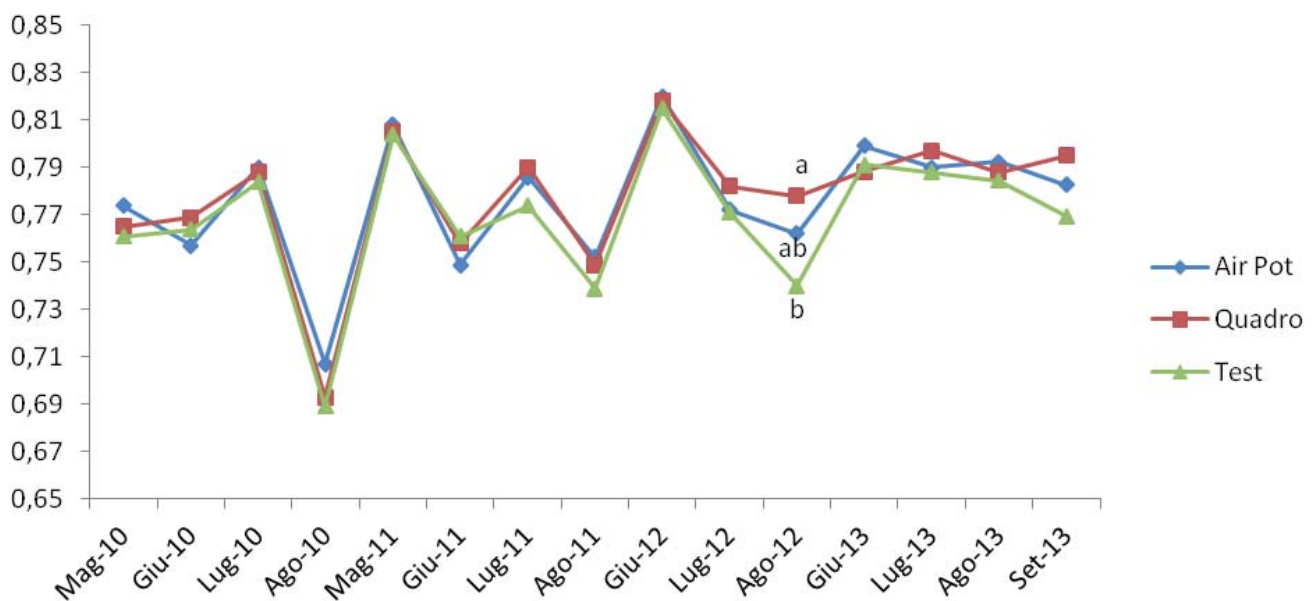
SPAD tiglio



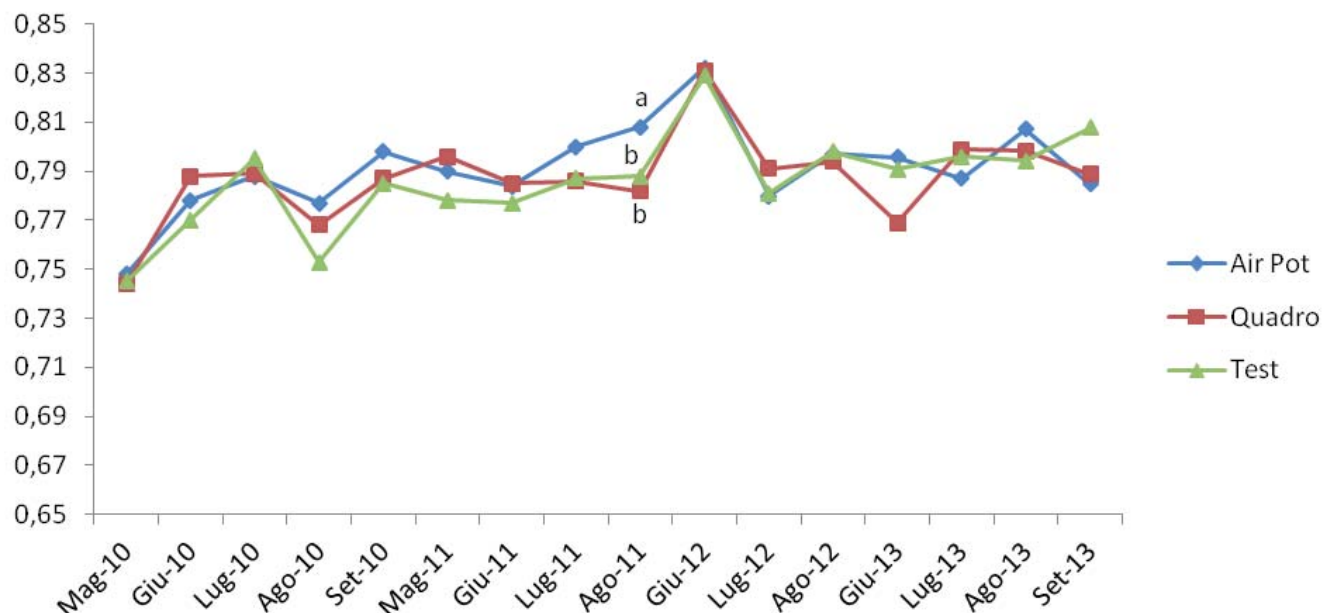
dei germogli è risultato uguale o superiore al controllo. Ciò indica che in questo caso lo stress da trapianto non si è limitato alla prima stagione vegetativa ma è proseguito per un altro anno. Durante il periodo di prova non si sono registrate differenze significative del contenuto fogliare di clorofilla (SPAD) tra le tesi confrontate. Per quanto riguarda la fluorescenza della clorofilla, in tiglio non sono emerse differenze tra i trattamenti se non nel rilievo dell'agosto 2012, in cui le piante allevate in vivaio nei contenitori Quadro Antispiralizzante hanno mostrato valori di F_v/F_m maggiori rispetto alle

piante del controllo. Anche in olmo non sono state osservate differenze di fluorescenza della clorofilla tra le tesi, ad eccezione che nel mese di agosto 2011; in questo rilievo sulle piante in precedenza cresciute nei contenitori Air-Pot® si sono registrati i più alti valori di fluorescenza della clorofilla. Le differenze osservate per questo parametro possono essere attribuite a un moderato stress idrico registratosi in una fase critica della stagione vegetativa (agosto 2011 e 2012 sono stati i mesi con le più alte temperature medie e con le più basse piovosità dell'anno).

Fv/Fm tiglio



Fv/Fm olmo



Lettere differenti indicano differenze significative al test di Duncan con $P \leq 0,05$

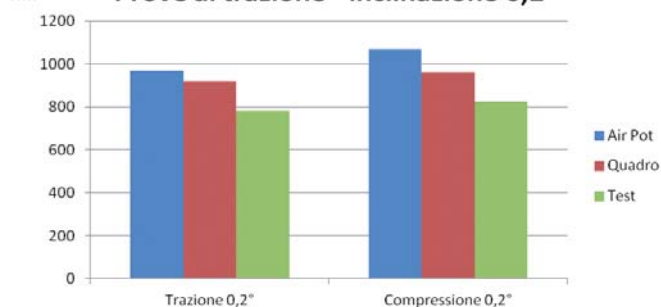
Nel mese di aprile 2014 sono state eseguite, dallo Studio Gifor di Firenze, le prove di trazione su piante di olmo. Per questo rilievo sono stati posizionati due inclinometri orizzontalmente vicino al colletto, uno sul lato sottoposto a stress di compressione e uno sul lato con stress di trazione. Per determinare la forza di trazione è stata posta, vicino al centro di gravità dell'albero, una fascia collegata con un dinamometro posizionato sulla linea di tiro. Il dinamometro è stato collegato, tramite cavo di acciaio, a un Tirfor (argano manuale).

Al lato opposto rispetto alla direzione di tiro, il Tirfor è stato collegato al gancio di un trattore che fungeva da punto di ancoraggio. Gli inclinometri e il dinamometro erano collegati a un PC con software di acquisizione dati. Dopo aver sistemato i cablaggi descritti, si è iniziato ad applicare all'albero, tramite l'argano, una

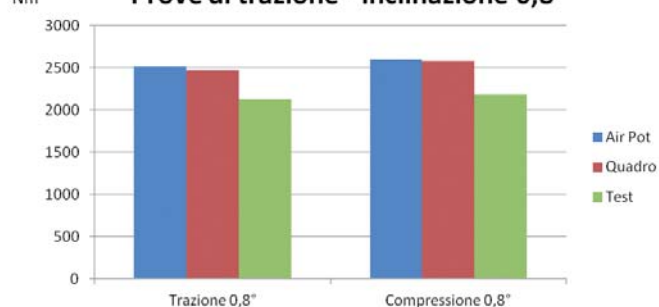
forza progressiva, registrando istantaneamente gli stress della pianta. Si è misurata la trazione a due livelli di inclinazione (0,2 e 0,8 gradi). Queste inclinazioni hanno lo scopo di simulare la forza del vento nei confronti dell'albero.



Prove di trazione - inclinazione 0,2°



Prove di trazione - inclinazione 0,8°



Dal primo set di misurazioni emerge che le piante precedentemente allevate in contenitori Air-Pot® hanno richiesto una forza maggiore per raggiungere valori di inclinazione, sia in trazione che in compressione, pari a $0,2^\circ$. Al contrario, i valori più bassi sono stati registrati sulle piante di olmo allevate in vivaio nei contenitori tradizionali a pareti lisce. Occorre tener presente che la forza necessaria per ottenere una inclinazione dell'albero di $0,2^\circ$ è predittiva del momento necessario per indurne il ribaltamento, pur rimanendo nel campo elastico e non provocando quindi danni alla pianta. Con forze superiori si può superare il limite elastico dell'albero e provocare deformazioni permanenti alla sua struttura.

Anche con l'applicazione di forze maggiori per raggiungere una inclinazione di $0,8^\circ$ si confermano le differenze registrate a inclinazione di $0,2^\circ$: le piante in precedenza allevate nei vasi tradizionali richiedono sforzi inferiori per inclinarsi rispetto a quelle allevate in contenitori antispiralizzanti, e risultano quindi meno stabili quando sottoposte all'azione del vento.

Il dato principale che emerge da questa sperimentazione è che la scelta del contenitore influenza drasticamente la qualità dell'apparato radicale delle piante arboree, e un apparato radicale malformato nelle prime fasi di crescita continua ad esserlo nelle fasi successive, a meno che si intervenga con drastiche potature. Occorre tener presente che spesso i difetti (strozzature, debolezze strutturali) si manifestano a distanza di molti anni dall'impianto, con possibili conseguenze sulla stabilità e la vitalità dell'albero. Tra i contenitori saggiati i migliori risultati in termini di riduzione della spiralizzazione radicale sono stati ottenuti con i vasi Air-Pot®. Per ottenere eccellenti risultati in termini di crescita occorre tener presente che la coltivazione in un contenitore con numerosi punti di contatto tra aria e substrato richiede una differente gestione dell'irrigazione e la scelta di un substrato con idonee caratteristiche fisiche.



Pianta di olmo caduta dopo 4 anni dal trapianto.



Particolare del colletto strozzato da radici spiralizzate.

2 Effetti della inoculazione controllata con ceppi micorrizici e di regimi irrigui ridotti nella fase di vivaio sulla crescita e fisiologia nella fase post-trapianto di tre specie arboree

La messa a punto e l'adozione di tecniche di coltivazione in vivaio in grado di aumentare la sopravvivenza e le performance delle piante arboree dopo la messa a dimora in ambiente urbano è fondamentale per aumentare i benefici forniti dal verde, riducendo contemporaneamente i costi di gestione. L'inoculazione in vivaio con funghi micorrizici selezionati potrebbe essere, in tal senso, utile. E' stato riportato come le micorrize aumentino la tolleranza delle piante nei confronti di diversi stress abiotici, tra i quali lo stress idrico, e migliorino la nutrizione minerale della pianta ospite. L'importanza delle micorrize è testimoniata dal fatto che, in ambienti naturali, la quasi totalità delle piante è associata a funghi micorrizici. L'urbanizzazione, tuttavia, è un severo agente di disturbo nei confronti dei microrganismi del suolo ed è stato osservato come, in ambienti antropizzati, diminuisca sia la biodiversità, sia la quantità di funghi micorrizici presenti nel suolo, favorendo spesso specie fungine molto aggressive, ma poco utili per le piante (es. *Cenococcum geophilum*). Similmente, in vivaio, ove la fertilità dei suoli è alta, si osservano generalmente specie poco competitive di funghi micorrizici, che solitamente deperiscono o vengono soppiantate da altre più aggressive dopo l'impianto in ambiente urbano. Ciò contribuisce allo spesso stentato stato di salute dei nuovi impianti cittadini. La

micorrizzazione controllata è una tecnica che consiste nell'inoculare le piantine in vivaio con funghi micorrizici precedentemente selezionati per le loro migliori performance tra i simbionti residenti nel futuro sito d'impianto. In tal modo, si assicura sia la buona compatibilità fungo-ospite, sia l'adattabilità della specie fungina alle condizioni geopedologiche del sito d'impianto. L'approccio della micorrizzazione controllata può, perciò, aiutare nel superare i problemi derivanti da una bassa specificità degli inoculi micorrizici commerciali nei confronti delle condizioni del suolo e della pianta ospite. Questa tecnica può essere applicata al verde ornamentale se è possibile isolare simbionti nativi ed efficaci nei siti destinati all'impianto (come ad esempio le aree urbane), se i ceppi selezionati sono capaci di sopravvivere nelle condizioni di vivaio al trapianto.



In una precedente sperimentazione, si era osservata la capacità di funghi micorrizici autoctoni specie-specifici selezionati di instaurare la simbiosi con giovani piante di due anni allevate in contenitore.

Recenti studi hanno inoltre evidenziato come l'allevamento in vivaio in condizioni di stress abiotico moderato possa acclimatare le piante a sopportare tale stress e tradursi in migliori performance dopo che le piante sono state trapiantate da un ambiente ottimale, come il vivaio, in uno stressante, come quello urbano. L'irrigazione in vivaio con volumi idrici subottimali, tali da indurre un lieve stress idrico, è stata proposta come una delle più promettenti tecniche di pre-acclimatazione in vivaio. Tuttavia, i meccanismi di risposta delle specie vegetali allo stress idrico sono molteplici

e variano dalla capacità di sopportare crescente disidratazione cellulare (anisoidria) a quella di evitare, mediante adattamenti morfo-fisiologici la disidratazione (isoidria). Perciò, gli effetti dello stress idrico controllato in vivaio sulle performance post-trapianto possono variare in funzione della strategia messa in atto dalla specie vegetale per sopravvivere allo stress. Attualmente, tuttavia, i meccanismi di risposta della maggior parte delle specie arboree utilizzate nel verde urbano sono sconosciuti. L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di valutare gli effetti di due diverse tecniche di acclimatazione in vivaio, cioè dell'inoculazione controllata con i funghi micorrizici specifici selezionati e dello stress idrico controllato, sulla crescita e sullo stato di salute delle piante dopo la messa a dimora in pieno campo.

Materiali e metodi	
Anni di prova	2010-2012 (trapianto in campo: primavera 2010)
Specie utilizzate	<i>Acer campestre</i> , <i>Tilia cordata</i> 'Greenspire', <i>Quercus robur</i>
Modalità di preparazione dell'inoculo (precedente alla prova)	Gli inoculi di funghi micorrizici sono stati precedentemente ottenuti prelevando, isolando e moltiplicando diversi ceppi di funghi micorrizici a partire da radici di piante adulte in ambiente urbano appartenenti alle tre specie studiate. Con i funghi isolati sono state inoculate piante di due anni di età delle corrispettive specie arboree
Tesi a confronto	La sperimentazione ha studiato le performance dopo il trapianto in pieno campo di piante precedentemente allevate in contenitore (2008-2010) secondo le seguenti modalità: <ul style="list-style-type: none"> • piante inoculate con funghi micorrizici specifici e cresciute in condizioni di disponibilità idrica ottimale (100% della capacità di ritenzione idrica del vaso) • piante inoculate con funghi micorrizici cresciute in condizioni di stress idrico moderato (30% della capacità di ritenzione idrica) • piante non inoculate e cresciute in condizioni di disponibilità idrica ottimale (100% della capacità di ritenzione idrica del vaso) • piante non inoculate e cresciute in condizioni di stress idrico moderato (30% della capacità di ritenzione idrica)
Disegno sperimentale	Blocchi randomizzati con 3 repliche. Parcella elementare di 6 piante.

Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"> • Determinazione del numero delle fallanze • Misurazione della biomassa aerea e radicale e dell'area fogliare alla fine della sperimentazione (settembre 2012) • Diametro del fusto alla fine di ogni stagione (2010-2012) • Misurazione della fluorescenza (Fv/Fm) 6 volte durante le stagioni estive 2010-2012 • Misurazione degli scambi gassosi fogliari (fotosintesi, traspirazione, conduttanza stomatica, efficienza d'uso dell'acqua) 7 volte durante le stagioni estive 2010-2012 • Misurazione del potenziale idrico prima dell'alba (4 volte durante le stagioni estive 2010-2012) • Misurazione degli zuccheri solubili nei tessuti fogliari (2010)
---------------------------	---

Risultati ottenuti

In linea generale i due fattori studiati (inoculazione e regime irriguo) hanno mostrato effetti tra loro indipendenti; di conseguenza, i risultati verranno presentati separatamente per ciascuno dei due fattori. Né l'inoculazione con micorrize specifiche, né lo stress idrico controllato in vivaio hanno aumentato il tasso di sopravvivenza post-trapianto. La mortalità è stata, tuttavia, relativamente bassa in tutte le specie, probabilmente a causa dell'elevata piovosità negli anni di prova.

E' stato osservato come la micorrizzazione controllata non abbia prodotto un aumento della biomassa fresca nelle tre specie studiate, alla fine della terza stagione vegetativa dopo la messa a dimora. Analogamente, gli accrescimenti diametrali non sono risultati dissimili in piante inoculate e non inoculate per alcuna delle specie saggiate.

Al contrario, l'allevamento in vivaio in condizioni di stress idrico moderato ha influenzato l'accrescimento post-trapianto, seppur in modo specie-specifico.

Bisogna premettere che, all'impianto, tutte le piante acclimatate allo stress idrico in vivaio avevano minore biomassa e area fogliare totale rispetto alle loro controparti ben irrigate (come riportato nel Quaderno della Ricerca n. 136). Tuttavia, a tre anni dall'impianto, le piante di acero acclimatate in vivaio al 30% della disponibilità idrica hanno mostrato maggiore biomassa fresca rispetto agli aceri allevati in vivaio con disponibilità idrica ottimale,

testimoniando che, in questa specie, la *deficit irrigation* in vivaio è utile per aumentare gli accrescimenti dopo la messa a dimora. Al contrario, piante di farnia e di tiglio allevate in vivaio in condizioni di piena disponibilità idrica hanno mostrato maggiore biomassa e accrescimenti diametrali del fusto dopo il trapianto rispetto alle piante precedentemente acclimatate allo stress idrico.

Tesi	Biomassa fresca (g) e area fogliare media (cm ²) a due anni dal trapianto					Diametro fusto (mm)		
	Foglie	Steli	Radici	Totale	Area Fogliare	2010	2011	2012
Acer campestre								
<i>Effetto della micorrizzazione controllata</i>								
Inoculato	1050,0	3791,0	1886,7	6728,3	15,4	22,7	36,4	57,5
Non inoculato	1125,6	3614,2	1670,9	6410,6	13,7	22,4	37,0	56,8
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>								
Irrigazione normale	1010,4	3400,0 b	1641,3	6051,7 b	14,2	23,0	36,1	54,3
Irrigazione ridotta	1165,2	4005,8 a	1916,3	7087,3 a	14,8	22,0	37,3	60,0
Significatività	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Tilia cordata								
<i>Effetto della micorrizzazione controllata</i>								
Inoculato	1033,3	3552,9	1705,4	6291,6	34,6	21,5 b	40,1	60,1
Non inoculato	1305,1	4096,7	1793,3	7195,1	33,4	23,2 a	40,3	60,4
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>								
Irrigazione normale	1310,3	4529,6 a	2102,1 a	7942,0 a	38,9 a	23,5 a	42,7 a	64,7 a
Irrigazione ridotta	1028,0	3120,0 b	1396,7 b	5544,7 b	29,8 b	21,2 b	37,8 b	55,8 b
Significatività	n.s.	*	**	**	*	**	**	*
Quercus robur								
<i>Effetto della micorrizzazione controllata</i>								
Inoculato	899,4	4035,8	2424,2	7359,4	16,3 a	20,7	36,7	56,0
Non inoculato	937,9	4371,3	2549,8	7858,8	13,6 b	19,9	35,2	51,6
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>								
Irrigazione normale	1081,6 a	4836,3	2992,1 a	8910,0 a	15,5	21,9 a	36,6	52,0
Irrigazione ridotta	755,7 b	3570,8	1981,7 b	6308,2 b	14,4	18,8 b	35,2	55,6
Significatività	*	n.s.	*	*	n.s.	**	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore di ogni specie i valori di colonna seguiti da lettere differenti sono statisticamente 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 specifiche selezionate in vivaio ha determinato, in acero e, in misura minore in quercia e tiglio, l'aumento della fotosintesi netta e dell'efficienza d'uso dell'acqua dopo la messa a dimora.

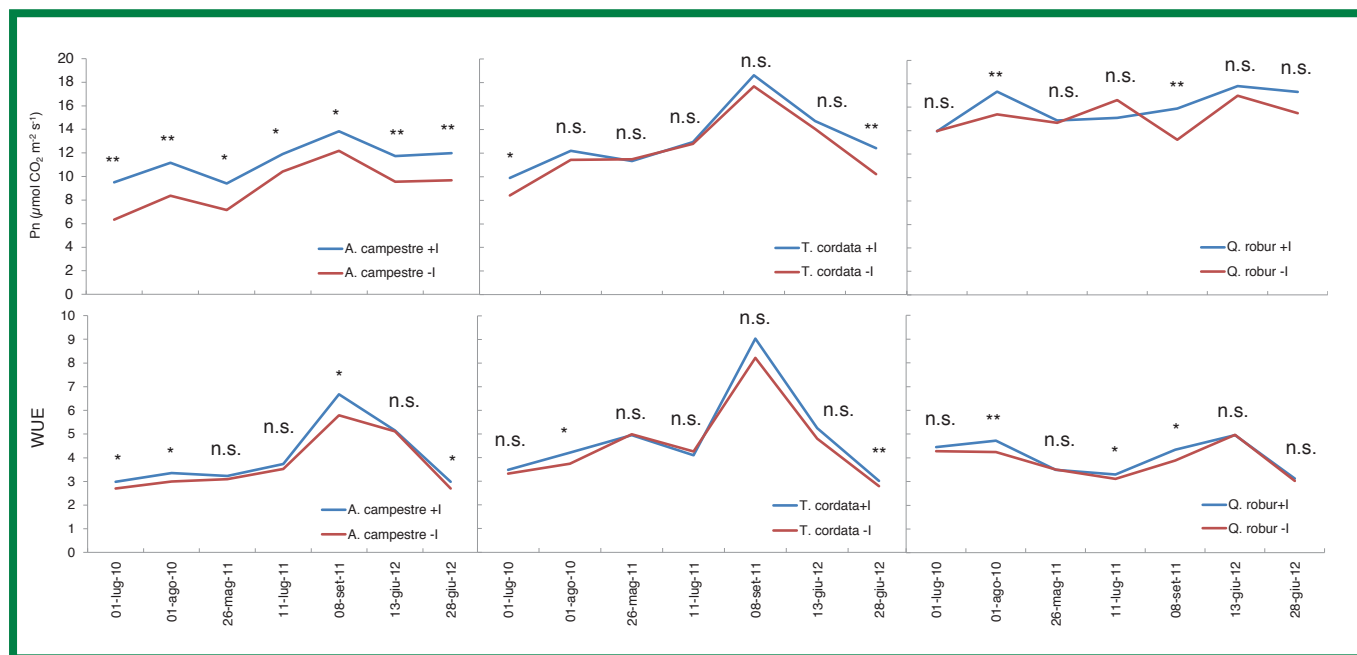
In particolare, l'aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua nelle piante inoculate è

estremamente interessante, in un'ottica di limitato impiego di risorse per la gestione del verde, in quanto indica che le piante inoculate sono in grado assimilare una data quantità di carbonio consumando meno acqua rispetto a quelle non inoculate.

L'assenza di effetto sulla crescita, nonostante

una maggiore disponibilità di fotosintetati per le piante inoculate può essere spiegata, da un lato, dal fatto che il fungo, in cambio dell'aumento nell'assorbimento di acqua e minerali, richiama dalla piante fino al 20%

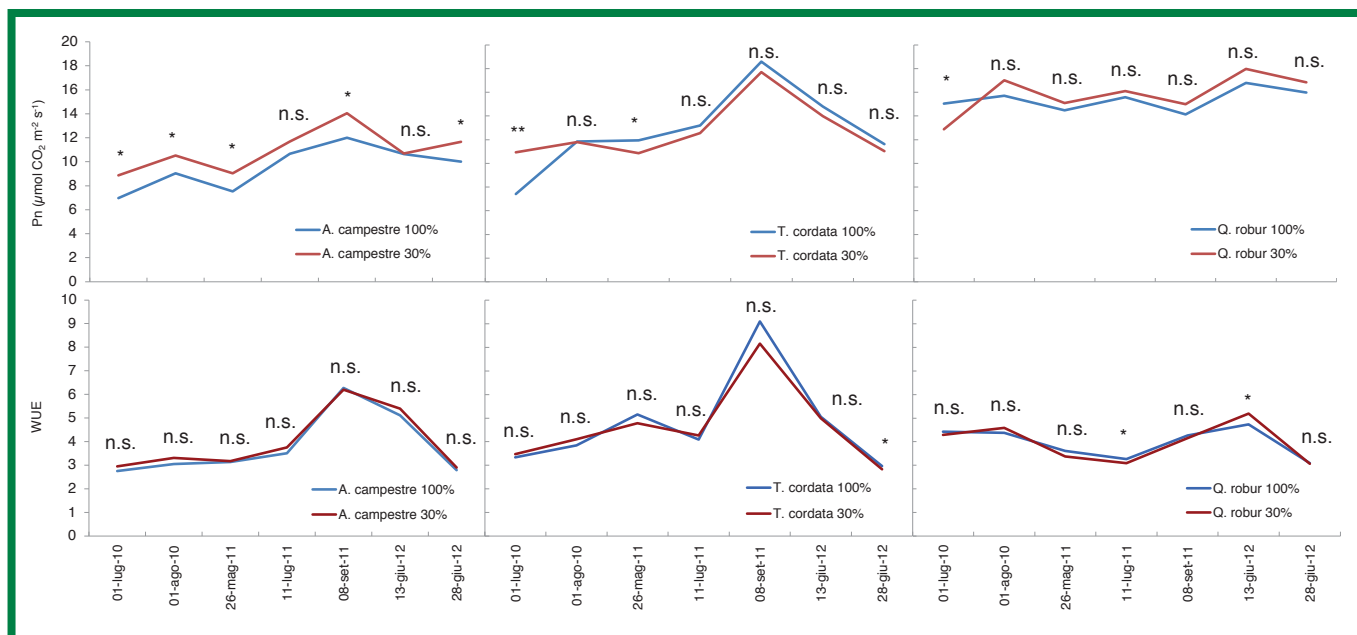
dei fotoassimilati; dall'altro dal possibile uso dei carboidrati prodotti dalla fotosintesi per il metabolismo secondario (difesa) anziché per la crescita.



Effetti della micorizzazione controllata sulla fotosintesi (Pn) e sull'efficienza d'uso dell'acqua (WUE) delle diverse specie durante il periodo del post-trapianto. In ogni grafico e per ogni data sono riportate le medie del parametro misurato delle due tesi a confronto con indicato il risultato del test di Duncan. n.s. indica una differenza non significativa tra le medie; * indica una differenza significativa per $P \leq 0,05$; ** indica una differenza significativa per $P \leq 0,01$.

L'effetto sugli scambi gassosi dell'acclimatazione in vivaio in condizioni di stress idrico controllato sono stati, analogamente a quanto osservato per la crescita, specie-specifici. In acero, la ridotta disponibilità idrica nella fase di contenitore ha aumentato l'attività fotosintetica nei tre anni successivi al trapianto e tale risultato è in accordo con i maggiori accrescimenti

mostrati negli aceri acclimatati mediante *deficit irrigation* rispetto alle loro controparti irrigate alla dose normale. Al contrario, non sono stati rilevati aumenti della fotosintesi causati dall'acclimatazione in vivaio in tiglio e farnia, a eccezione che nel primo rilievo dopo la messa a dimora.



Effetti dell'adattamento a diversi regimi irrigui nella fase di vivaio sulla fotosintesi (Pn) ed efficienza d'uso dell'acqua (WUE) delle diverse specie durante il periodo del post-trapianto. In ogni grafico e per ogni data sono riportate le medie del parametro misurato delle due tesi a confronto con indicato il risultato del test di Duncan. n.s. indica una differenza non significativa tra le medie; * indica una differenza significativa per $P \leq 0,05$; ** indica una differenza significativa per $P \leq 0,01$.

In acero e tiglio l'inoculo con micorrize autoctone selezionate ha aumentato i valori di Fv/Fm nei primi mesi dopo il trapianto.

Valori maggiori di questo parametro indicano un maggior "benessere fisiologico" della foglia e della pianta. Dopo circa un anno dalla messa a dimora, le differenze tra le tesi sono risultate essere non più significative in entrambe le specie.

In farnia, non è stata evidenziata nessuna differenza tra le piante inoculate e non inoculate durante l'intera sperimentazione. L'acclimatazione in vivaio allo stress idrico moderato ha migliorato Fv/Fm nella fase post-trapianto solo in acero, e solo nel primo anno dopo la messa a dimora.



Fluorescenza della clorofilla (Fv/Fm) nelle diverse specie durante il periodo del post-trapianto. In ogni grafico e per ogni data sono riportate le medie del parametro misurato delle due tesi a confronto con indicato il risultato del test di Duncan. n.s. indica una differenza non significativa tra le medie; * indica una differenza significativa per $P \leq 0,05$; ** indica una differenza significativa per $P \leq 0,01$.

Il potenziale idrico prima dell'alba è costantemente meno negativo in piante di acero e tiglio inoculate rispetto ai controlli. Ciò indica una migliore idratazione delle piante inoculate, legata all'aumento della capacità di esplorazione del suolo e di assorbimento dell'acqua determinato dalla simbiosi. Tutti i valori misurati, comunque, sono poco negativi, a indicare come, a causa dell'elevata piovosità negli anni di sperimentazione, l'acqua

non sia stata un fattore limitante per la crescita e la sopravvivenza delle piante. L'acclimatazione in vivaio allo stress idrico controllato ha determinato, solo in acero, la capacità di mantenere un potenziale idrico meno negativo, rispetto ai controlli. Tali differenze inter-specifiche sono da imputare, come prima anticipato, alle diverse strategie messe in atto dalle diverse specie per sopravvivere alla siccità.

Tesi	Potenziale idrico fogliare prima dell'alba (Ψ_w , MPa)			
	Ago 2010	Mag 2011	Sett 2011	Lug 2012
<i>Acer campestre</i>				
<i>Effetto della micorrizzazione controllata</i>				
Inoculato	-0,30 a	-0,35 a	-0,30 a	-0,23 a
Non inoculato	-0,44 b	-0,40 b	-0,40 b	-0,34 b
Significatività	**	*	*	**
<i>Effetto dell'irrigazione</i>				
Irrigazione normale	-0,42 b	-0,41 b	-0,46 b	-0,33 b
Irrigazione ridotta	-0,32 a	-0,34 a	-0,24 a	-0,25 a
Significatività	**	**	*	**
<i>Tilia cordata</i>				
<i>Effetto della micorrizzazione controllata</i>				
Inoculato	-0,25 a	-0,22 a	-0,22	-0,24 a
Non inoculato	-0,36 b	-0,27 b	-0,25	-0,28 b
Significatività	**	**	n.s.	**
<i>Effetto dell'irrigazione</i>				
Irrigazione normale	-0,33 b	-0,25	-0,26 b	-0,23 a
Irrigazione ridotta	-0,28 a	-0,25	-0,21 a	-0,29 b
Significatività	*	n.s.	*	**
<i>Quercus robur</i>				
<i>Effetto della micorrizzazione controllata</i>				
Inoculato	-0,31	-0,28	-0,29	-0,22
Non inoculato	-0,35	-0,30	-0,30	-0,24
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>				
Irrigazione normale	-0,34	-0,32 b	-0,28	-0,21 a
Irrigazione ridotta	-0,32	-0,27 a	-0,31	-0,25 b
Significatività	n.s.	*	n.s.	*

Per ciascun fattore di ogni specie i valori di colonna seguiti da lettere differenti sono statisticamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; **: significativo per $P \leq 0,01$; *: significativo per $P \leq 0,05$).

Dall'analisi del contenuto dei cinque principali zuccheri solubili misurati nei tessuti fogliari delle diverse specie è emerso come i valori di galattosio e mannitolo siano significativamente aumentati, in tiglio e quercia, rispettivamente, in seguito all'inoculazione con micorrize.

L'accumulo di carboidrati fogliari contribuisce all'aggiustamento osmotico e al mantenimento del turgore cellulare in condizioni di stress idrico, quando il potenziale idrico fogliare tende a diminuire in risposta alla diminuzione di acqua disponibile nel terreno.

Tesi	Carboidrati solubili fogliari 2010 (nmoli/g PF)					
	Saccarosio	Glucosio	Galattosio	Fruttosio	Mannitolo	Totale
Acer campestre						
<i>Effetto della micorizzazione controllata</i>						
Inoculato	6,11	40,20	83,98	32,01	2,68	165,0
Non inoculato	6,41	35,74	79,07	31,49	2,18	154,9
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	7,49	35,58	77,82	31,35	2,56	154,8
Irrigazione ridotta	5,02	40,35	85,16	32,15	2,30	165,0
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Tilia cordata						
<i>Effetto della micorizzazione controllata</i>						
Inoculato	6,07	56,13	19,96 a	48,21	3,09	133,5
Non inoculato	6,73	52,18	5,81 b	42,42	4,05	101,5
Significatività	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	8,16	56,60	12,10	44,60	2,75	124,2
Irrigazione ridotta	4,64	51,70	13,70	46,10	4,39	109,6
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Quercus robur						
<i>Effetto della micorizzazione controllata</i>						
Inoculato	3,21	55,51	7,68	104,60	5,94 a	177,0
Non inoculato	2,57	43,23	6,89	88,51	2,93 b	144,1
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
<i>Effetto dell'irrigazione</i>						
Irrigazione normale	2,87	50,71	7,96	105,10	5,13	171,8
Irrigazione ridotta	2,91	48,33	6,62	88,04	3,74	149,6
Significatività	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Per ciascun fattore di ogni specie i valori di colonna seguiti da lettere differenti sono statisticamente differenti al test di Duncan (n.s.: non significativo; **: significativo per $P \leq 0,01$; *: significativo per $P \leq 0,05$).

Conclusioni

Questo esperimento è stato condotto per valutare gli effetti di due tecniche di pre-condizionamento in vivaio (inoculo con micorrize autoctone selezionate e *deficit irrigation*) sulle performance post-trapianto di tre specie arboree ampiamente utilizzate nel verde ornamentale.

I risultati ottenuti indicano che, sebbene l'inoculazione con micorrize autoctone specie-specifiche e selezionate non abbia prodotto effetti significativi sulla produzione di biomassa, ha invece determinato benefici fisiologici, come l'aumento della fotosintesi netta, dell'efficienza d'uso dell'acqua, del potenziale idrico e dei parametri di fluorescenza della clorofilla misurati, evidenti soprattutto in acero.

Il mancato aumento di biomassa nonostante il verificarsi di maggiori livelli di fotosintesi è probabilmente dovuto alla cessione di carbonio organico che avviene comunemente dalla pianta al fungo.

La differenza di risultati tra le specie non sembra imputabile alla dipendenza intrinseca delle specie dalle micorrize, ma piuttosto, alle caratteristiche dell'inoculo. In particolare in acero sono state inoculate specie di micorrize arbuscolari-vescicolari capaci di penetrare le cellule corticali delle radici, in quercia sono state inoculate ecto-micorrize caratterizzate dal rimanere esterne alle radici e iniglio entrambe le tipologie. Maggiori studi si rendono necessari al fine di definire i meccanismi esistenti tra pianta e fungo, soprattutto in relazione alle diverse tipologie di habitus esistenti tra le specie di micorrize oggi conosciute. In acero eiglio inoltre, la micorrizazione ha indotto un

aumento dei valori dei potenziali idrici che può essere interpretato come indicatore di uno stato di maggior benessere della pianta.

E' da tenere inoltre presente che la variabilità dei risultati ottenuti tra le diverse specie vegetali, oltre che alle specie stesse, potrebbe essere dovuta ai diversi ceppi di funghi micorrizici inoculati.

Come ipotizzato, gli effetti dell'acclimatazione in vivaio sono risultati specie-specifici, a seconda dei meccanismi di risposta alla siccità impiegati dalle diverse specie. Tale pratica si è dimostrata efficace per la specie maggiormente anisoidrica (acero campestre, in grado di mantenere l'attività metabolica durante lo stress), ma non per quella isoidrica (iglio, in cui la ridotta disponibilità idrica in contenitore ha determinato un minor accumulo di fotosintetati da utilizzare per crescere dopo il trapianto). È necessaria ulteriore ricerca atta a studiare i meccanismi di risposta delle diverse specie arboree comunemente utilizzate per poter meglio identificare, in base a esse, le migliori tecniche colturali, in vivaio, per promuovere le performance dopo la messa a dimora in ambiente urbano.



■ 3 Relazione tra inoculazione con ceppi micorrizici specifici e crescita e fisiologia in fase post-trapianto di tre specie arboree allevate in precedenza con dosi ridotte di fertilizzante

L'utilizzo di concimi chimici è una pratica diffusa nei vivai, in particolare per le piante in contenitore: il ridotto volume del substrato esplorabile dalle radici ne limita la capacità di assorbire i nutrienti e ostacola la crescita. Circa 1,2 tonnellate per ettaro di concimi sono utilizzate in Italia per la produzione vivaistica in contenitore, con un notevole impatto ambientale a causa della lisciviazione dei nutrienti, fenomeno particolarmente intenso nel caso siano somministrati fertilizzanti idrosolubili. Mentre è assodato che livelli più elevati di concimazione portano a una maggiore crescita delle piante se altri fattori – es. la disponibilità di acqua – non sono limitanti, ci sono risultati contrastanti circa l'effetto della concimazione in vivaio sulle caratteristiche morfo-fisiologiche della pianta, sull'attecchimento post-trapianto e sulla tolleranza a stress idrici, a basse temperature e alle malattie. Tramite la concimazione i vivaisti cercano di ottenere piante vendibili nel più breve tempo possibile, ma l'obiettivo di un vivaismo sostenibile dovrebbe essere quello di produrre piante di qualità in grado di sopravvivere agli stress da trapianto e di adattarsi alla crescita in un ambiente ostico come quello urbano. Le micorrize sono in grado di accrescere la

tolleranza agli stress abiotici delle piante, oltre a migliorarne la nutrizione: la simbiosi tra pianta e specifici funghi micorrizici può accrescere la capacità delle radici di assorbire elementi nutritivi, riducendo quindi la necessità di concimi e aumentando l'efficienza di uso dei fertilizzanti. Le micorrize possono aiutare la pianta a superare la crisi di trapianto riducendo gli stress tipici di questa fase, in primis lo stress idrico. Nel presente lavoro si è voluto studiare l'effetto combinato dell'inoculazione in vivaio con ceppi di funghi micorrizici selezionati e di differenti regimi di concimazione sulle performance post-trapianto di tre specie arboree ornamentali.



Materiali e metodi	
Anni di prova	2010-2012. Trapianto in campo: aprile 2010
Specie utilizzate	<i>Acer campestre</i> , <i>Tilia cordata</i> 'Greenspire', <i>Quercus robur</i>
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"> +I 1: piante inoculate con 25 ml/pianta di inoculo micorrizico autoctono specie-specifico e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 1 Kg/m³ di concime a rilascio controllato -I 1: piante non inoculate e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 1 Kg/m³ di concime a rilascio controllato +I 3: piante inoculate con 25 ml/pianta di inoculo micorrizico autoctono specie-specifico e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 3 Kg/m³ di concime a rilascio controllato -I 3: piante non inoculate e fertilizzate, nella primavera del 2008 e del 2009, con 3 Kg/m³ di concime a rilascio controllato Concime utilizzato: Ficote®, 8-9 mesi, titolo 15-8-12
Disegno sperimentale	Blocchi randomizzati con 3 repliche. Parcella elementare di 6 piante
Rilievi effettuati	<ul style="list-style-type: none"> Conteggio delle piante morte dopo il trapianto Misurazione della biomassa aerea e radicale e dell'area fogliare alla fine della sperimentazione (settembre 2012) Misurazione degli scambi gassosi fogliari (fotosintesi, traspirazione, efficienza d'uso dell'acqua) durante la stagione vegetativa Misurazione del contenuto di clorofilla fogliare (SPAD) Misurazione del potenziale idrico fogliare prima dell'alba

Risultati ottenuti

L'inoculazione con micorrize autoctone selezionate ha aumentato la sopravvivenza delle piante dopo il trapianto in campo. L'entità della sopravvivenza delle piante è variata da specie a specie, ma l'effetto favorevole della micorrizzazione si è confermato in tutte le specie saggiate, indipendentemente della quantità di concime somministrato in vivaio.

Nelle piante di acero e quercia non inoculate la riduzione della concimazione in vivaio ha

diminuito la mortalità delle piante dopo la messa a dimora, mentre in tiglio è stato osservato un comportamento opposto (maggiore mortalità delle piante non inoculate e concimate a dose ridotta).

La relazione tra quantità di concime somministrato in vivaio e la sopravvivenza post-trapianto non è ben definita e probabilmente è in relazione ai fabbisogni nutrizionali delle singole specie.

Piante morte a tre anni dal trapianto				
Specie	Concimazione normale (3 kg/m ³)		Concimazione ridotta (1 kg/m ³)	
	Inoculato	Non inoculato	Inoculato	Non inoculato
<i>Acer campestre</i>	0	11	0	0
<i>Quercus robur</i>	17	44	20	27
<i>Tilia cordata</i>	0	6	0	17

In acero l'inoculazione in vivaio con micorrize autoctone non ha favorito la crescita post-trapianto e non ha accresciuto la superficie fogliare delle piante. Tre anni dopo il trapianto la biomassa totale in acero era simile nelle piante fertilizzate con 1 o con 3 kg/m³ di

concime, mentre un significativo aumento della superficie fogliare è stato registrato sulle piante inoculate e concimate a dose piena, rispetto a quelle concimate a dose ridotta. Il rapporto radici /parte aerea è rimasto invariato nei diversi trattamenti confrontati.

Acer campestre - Parametri di crescita							
Parametro	Concimazione normale (3 kg/m ³)		Concimazione ridotta (1 kg/m ³)		Significatività degli effetti		
	Inoculato	Non inoculato	Inoculato	Non inoculato	M	C	M x C
Peso secco totale (g)	2261	2278	1884	2223	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Rapp. radici/p. aerea	0,49	0,55	0,50	0,55	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Area fogliare (m ²)	3,8 a	4,1 a	2,5 b	3,6 a	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>

M: micorrizzazione, C: concimazione, MxC: interazione micorrizzazione x concimazione.

Le medie all'interno della stessa riga seguite da lettere differenti sono statisticamente differenti al test di Duncan.
n.s.: non significativo; *: significativo per $P \leq 0,05$

In quercia tutti i parametri di crescita rilevati dopo tre anni dal trapianto non sono stati influenzati in modo significativo dalla micorrizzazione

controllata e dalle dosi di concime apportato in vivaio.

Quercus robur - Parametri di crescita							
Parametro	Concimazione normale (3 kg/m ³)		Concimazione ridotta (1 kg/m ³)		Significatività degli effetti		
	Inoculato	Non inoculato	Inoculato	Non inoculato	M	C	M x C
Peso secco totale (g)	3483	2662	2291	3373	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Rapp. radici/p. aerea	0,72	0,58	0,60	0,58	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Area fogliare (m ²)	6,3	6,7	5,8	6,5	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

M: micorrizzazione, C: concimazione, MxC: interazione micorrizzazione x concimazione.

Analogamente alle altre due specie studiate, in taglio non è stato notato un effetto significativo della micorrizzazione controllata sull'accumulo di biomassa e sull'area fogliare dopo il trapianto. La concimazione in vivaio ha invece avuto un effetto positivo in questa specie sulla crescita post-trapianto. Il rapporto radici/parte aerea è risultato simile nelle piante inoculate e in quelle non inoculate concimate con 1 kg/m³, mentre in quelle concimate alla dose più alta l'inoculazione ha ridotto la quantità di biomassa allocata alle radici rispetto alla biomassa aerea. Riduzioni del rapporto radici/parte aerea dopo

inoculazione con funghi micorrizici sono state osservate anche in altre specie, in particolare in suoli ben dotati di elementi nutritivi.

<i>Tilia cordata</i> - Parametri di crescita							
Parametro	Concimazione normale (3 kg/m ³)		Concimazione ridotta (1 kg/m ³)		Significatività degli effetti		
	Inoculato	Non inoculato	Inoculato	Non inoculato	M	C	M x C
Peso secco totale (g)	2188 ab	2903 a	1749 b	1897 b	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>
Rapp. radici/p. aerea	0,32 b	0,49 a	0,37 ab	0,37 ab	*	*	*
Area fogliare (m ²)	5,6	6,6	4,4	5,5	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

M: micorrizzazione, C: concimazione, MxC: interazione micorrizzazione x concimazione.

Le medie all'interno della stessa riga seguite da lettere differenti sono statisticamente differenti al test di Duncan.

n.s.: non significativo; *: significativo per $P \leq 0,05$

La micorrizzazione controllata in vivaio ha aumentato il contenuto fogliare di clorofilla dopo il trapianto in campo. Questo effetto è risultato altamente significativo in acero e quercia nei primi due anni dopo il trapianto, mentre in taglio valori superiori del contenuto di clorofilla

fogliare sono stati registrati anche dopo tre anni dal trapianto. La riduzione della dose di concime durante i due anni di allevamento in vaso ha determinato, sulle tre specie saggiate, una riduzione del contenuto di clorofilla fogliare nel primo anno dopo la messa a dimora.

Contenuto fogliare di clorofilla (SPAD)									
Tesi	<i>Acer campestre</i>			<i>Quercus robur</i>			<i>Tilia cordata</i>		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
<i>Effetto della micorrizzazione</i>									
Micorrizzato	29,7 a	42,1 a	42,6	34,2 a	46,8 a	41,4	29,2 a	40,8 a	39,2 a
Non micorrizzato	27,1 b	39,7 b	43,4	29,7 b	45,4 b	41,2	25,2 b	39,7 b	35,9 b
Significatività	**	**	<i>n.s.</i>	**	**	<i>n.s.</i>	**	*	**
<i>Effetto della concimazione</i>									
Normale	29,8 a	40,0	44,0	33,8 a	45,9	40,9	29,3 a	40,4	37,5
Ridotta	27,0 b	41,8	42,0	30,0 b	46,3	41,7	25,2 b	40,2	37,5
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>Interazione tra micorrizzazione e concimazione</i>									
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>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

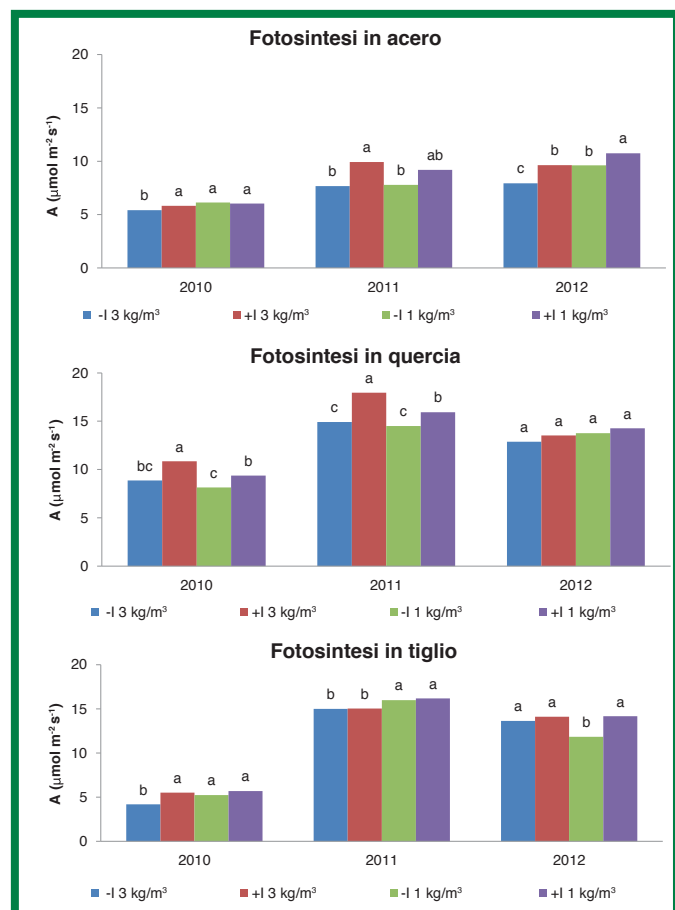
Per ciascun fattore i valori entro le colonne seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al test di Duncan (*n.s.*: non significativo; *: significativo per $P \leq 0,05$; **: significativo per $P \leq 0,01$).

L'inoculazione in vivaio con micorrize autoctone selezionate e la concimazione hanno influenzato gli scambi gassosi fogliari delle specie studiate. Sebbene le differenze non sono sempre risultate significative, si sono registrati aumenti di A (fotosintesi netta) in

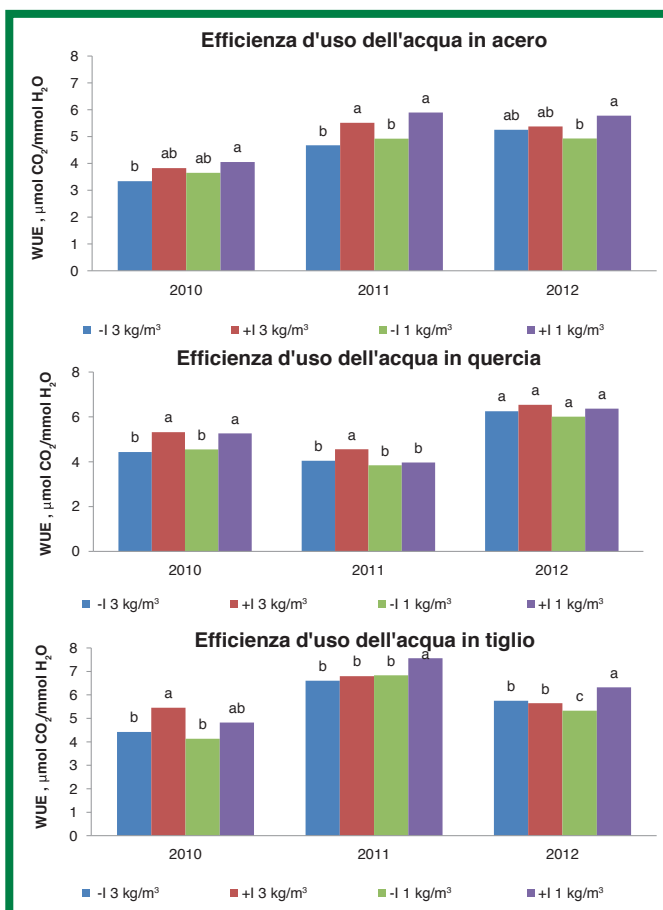
tutte le specie, e l'incremento di fotosintesi è stato compreso fra il 4% e il 28% a seconda della specie e dell'anno di prova. L'effetto favorevole della micorrizzazione controllata sull'assimilazione di CO₂ è aumentato in acero nelle stagioni successive al trapianto, mentre

un trend opposto è stato osservato in quercia e tiglio. La concimazione con 3 kg/m³ in vivaio ha ridotto la fotosintesi nel primo anno dopo il trapianto (tranne che in quercia), ma solamente nelle piante non inoculate. Negli anni successivi le differenze tra i due tipi di concimazione sono continuate (in acero) o si sono ridotte (in quercia e tiglio).

la micorrizzazione controllata ha aumentato il valore di efficienza d'uso dell'acqua nelle piante precedentemente concimate con 3 kg/m³, mentre nei due anni successivi l'effetto positivo dell'inoculazione è stato osservato nelle piante allevate in vivaio alla dose più bassa di concime.



Per ciascun anno lettere diverse indicano differenze significative tra le tesi al test di Duncan, con $P < 0,01$

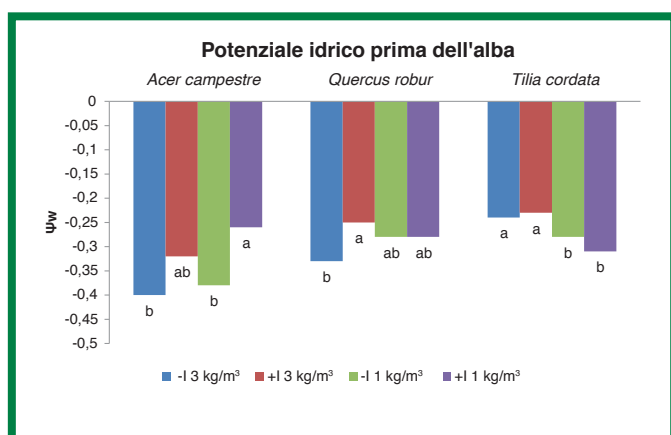


Per ciascun anno lettere diverse indicano differenze significative tra le tesi al test di Duncan, con $P < 0,01$.

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. In acero la micorrizzazione controllata ha accresciuto l'efficienza d'uso dell'acqua nel 2011, mentre nel 2012 l'effetto positivo è stato osservato solamente con la dose più bassa di concime. In quercia questo parametro è stato influenzato positivamente dall'inoculazione nel 2010 e nell'anno successivo solo alla dose più alta di concime. Nel 2010 in tiglio

In acero la micorrizzazione controllata ha determinato un potenziale idrico meno negativo nella terza stagione vegetativa dopo il trapianto in campo, mentre la concimazione non ha avuto effetto su questo parametro. In quercia è stata registrata un'interazione tra inoculazione e concimazione: la micorrizzazione in vivaio ha generato valori meno negativi di potenziale idrico solo nelle piante concimate con 3 kg/m³. In tiglio invece una condizione di minore stress idrico è stata osservata sulle piante in precedenza concimate a dose normale. Gli effetti della micorrizzazione e della concimazione in vivaio sulle relazioni idriche della pianta sono risultati specie-specifici, e correlati con le differenti strategie adottate dalle piante saggiate quando la risorsa idrica è

limitata: specie come *Acer campestre* mettono in atto meccanismi di tolleranza, mantenendo i processi metabolici anche con potenziali idrici più negativi; in queste condizioni di stress idrico l'apparato fotosintetico risulta maggiormente efficiente. Specie come *Tilia cordata* invece cercano di evitare lo stress idrico riducendo l'attività fotosintetica e chiudendo precocemente gli stomi per risparmiare acqua e mantenere valori costanti di potenziale idrico. In specie come *Quercus robur* sono invece presenti entrambi i meccanismi di adattamento allo stress idrico.



30

Rilievo effettuato il 30 luglio 2013. Nella stessa specie lettere diverse indicano differenze significative tra le tesi al test di Duncan, con $P < 0,01$.

I risultati ottenuti hanno mostrato che le piante inoculate con funghi micorrizici selezionati possiedono una migliore tolleranza agli stress da trapianto. Questo “valore aggiunto” posseduto da una pianta sottoposta alla micorrizazione controllata può essere sfruttato dai vivaisti per differenziare l'offerta commerciale delle proprie produzioni. L'utilizzo nella fase vivaistica di concimi a rilascio controllato, anche a dosi di etichetta, non ha determinato effetti negativi sulla colonizzazione delle radici da parte dei funghi micorrizici. Tuttavia la riduzione delle dosi di concime in vivaio non ha portato evidenti vantaggi in termini di crescita e di sopravvivenza post-trapianto. L'inoculazione con funghi micorrizici selezionati può quindi essere considerata un complemento e non una sostituzione della concimazione in vivaio, per fare in modo che un buon tasso di crescita degli alberi in vivaio sia accompagnato da un'alta tolleranza agli stress da trapianto.



■ 4 Valutazione dell'effetto di pavimentazioni a diverso grado di permeabilità sullo sviluppo e sulla fisiologia di due specie arboree

Come affermato nel 2012 dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, la copertura della superficie del suolo con materiali impermeabili ha un grande impatto ambientale, soprattutto nelle aree urbane. Nei paesi già intensamente urbanizzati, come quelli del bacino del Mediterraneo, il tasso di perdita di suolo a causa dell'impermeabilizzazione è fra i più elevati e ciò altera il deflusso superficiale in termini sia quantitativi che qualitativi e determina effetti diretti sulle caratteristiche fisico-chimiche del suolo e sulle caratteristiche micro e mesoclimatiche delle nostre città con la formazione delle isole di calore urbane, la cui intensità è diretta funzione della percentuale di superficie pavimentata.

Il grado di permeabilità di un suolo, pavimentato o no, si misura tramite il Coefficiente di Permeabilità medio annuo (C_p) cioè la percentuale di acqua piovana che infiltra attraverso il pavimento e gli strati sottostanti. Il C_p è influenzato dall'intensità degli afflussi, dalla pendenza, dal terreno di sottofondo (ad es. se è argilloso o ghiaioso) e dai materiali utilizzati per la posa. Se il C_p di un suolo non pavimentato è attorno al 70-90%, quello di un suolo pavimentato con materiali impervi varia dallo 0 al 15%, con i conseguenti problemi di allagamenti e inondazioni sempre più frequenti nel nostro Paese. Per tali motivi, da un certo numero di anni si stanno diffondendo, anche nel nostro Paese, delle tipologie di materiali per pavimentazioni urbane, caratterizzate da elevata permeabilità per la gestione sostenibile in-situ delle acque meteoriche. Il comune denominatore di questi sistemi di drenaggio

urbano sostenibile (SUDS – Sustainable Urban Design Systems) nella terminologia anglofona, progettazione urbana sensibile alla gestione dell'acqua (WSUD, Water Sensitive Urban Design) nella definizione australiana, lo sviluppo a basso impatto (LID – Low Impact Development) in quella statunitense è proprio quello di avere un approccio progettuale di pianificazione del territorio e di ingegneria che integri nella progettazione urbana il ciclo delle acque urbane, piovane, sotterranee e reflue e quelle di approvvigionamento idrico per ridurre al minimo il degrado ambientale e migliorare le caratteristiche estetiche e ricreative, garantendo sempre la fruibilità delle aree verdi urbane. Le pavimentazioni pervie e l'uso di aree verdi sono presupposti fondamentali di queste tecniche, che mirano a mantenere il C_p , anche in ambienti fortemente pavimentati, attorno al 60-70%, valori ritenuti ottimali in aree urbanizzate. Esistono principalmente due tipi di pavimentazioni pervie: 1) pavimenti permeabili, costituiti da elementi impermeabili ma con il drenaggio assicurato dagli spazi vuoti tra gli elementi (es. autobloccanti); 2) pavimenti porosi, strutture interamente permeabili all'acqua (es. asfalto drenante). Ovviamente, per garantire l'infiltrazione, l'intero profilo deve essere permeabile; è perciò opportuno sostituire il massetto in cemento tradizionale con un sottofondo drenante (es. sasso spezzato o ghiaia). Oltre all'effetto sull'infiltrazione dell'acqua piovana, l'impermeabilizzazione del suolo influenza le caratteristiche chimiche del suolo sia direttamente (es. attraverso lo scioglimento del calcare presente nelle

pavimentazioni in calcestruzzo che aumenta il pH e rende i terreni più alcalini con riflessi diretti sulla disponibilità di nutrienti per le piante), sia, indirettamente, attraverso l'alterazione delle caratteristiche biologiche (es. attività dei microrganismi del suolo, associazione con micorrize) e fisiche (es. scambi gassosi suolo-atmosfera, contenuto di ossigeno, anidride carbonica e acqua nel suolo, evaporazione). Tuttavia, gli effetti di pavimentazioni a diverso grado di permeabilità sulle caratteristiche chimico-fisico e biologiche del suolo sono ancora in larga parte da chiarire.

Nel tessuto urbano, la presenza di alberi rallenta e immagazzina temporaneamente il deflusso, promuove ulteriormente l'infiltrazione, e diminuisce il pericolo di inondazioni e, nelle



aree declivi, anche l'erosione. Inoltre, il verde urbano evapora ingenti quantità di acqua, mantenendo più basso e costante il livello di falda e aumentando la capacità del suolo di immagazzinare acqua a seguito di intensi eventi piovosi. Oltre a ridurre i rischi legati agli eccessi idrici, gli alberi producono molteplici benefici, tra cui il miglioramento del microclima, della qualità dell'aria, la riduzione dei consumi energetici e l'aumento di valore delle abitazioni, oltre alla riduzione dello stress e delle malattie croniche (es. diabete, malattie cardiovascolari, obesità) e al miglioramento dello stato psicofisico dei cittadini.

D'altra parte è noto che la presenza di superfici impermeabili influenza negativamente la vitalità degli alberi riducendo in tal modo il loro contributo positivo sull'ambiente urbano. Alcuni autori hanno ipotizzato che il declino dello stato di salute degli alberi in suoli sigillati sia imputabile allo stress idrico che si genera a causa della ridotta infiltrazione attraverso i

pavimenti impermeabili. Al contrario, altri studi hanno evidenziato l'aumento del contenuto idrico in suoli pavimentati, a causa della ridotta evaporazione. Sono necessari ulteriori studi per chiarire le dinamiche dell'acqua in suoli pavimentati. Si è ipotizzato, inoltre, che la diminuzione dell'ossigeno disponibile e l'aumento della temperatura del substrato interessato dall'apparato radicale alterino la fisiologia delle radici, ne diminuiscano la longevità e ne influenzino la formazione. Infine, si è ipotizzato che la CO_2 prodotta dalla respirazione microbica e radicale, non potendo diffondere nell'atmosfera a causa della pavimentazione impermeabile, si accumuli nel suolo con riflessi ancora da chiarire sulla longevità degli apparati radicali e sulla loro attività. Perciò, l'alterazione delle caratteristiche chimico fisiche della rizosfera, e non solo della disponibilità idrica, sembra essere tra le principali cause del declino degli alberi a dimora in aree pavimentate, sebbene i meccanismi che inducano tale declino non sia ancora stati chiariti.

La presenza di temperature più elevate in prossimità della copertura, la minore evaporazione causata dalla impermeabilizzazione e la condensazione di acqua a ridosso della pavimentazione possono, di contro, stimolare la crescita laterale di radici superficiali e ciò può favorire i conflitti tra radici e pavimentazioni, uno dei problemi più diffusi nell'arboricoltura urbana, poichè la rimozione



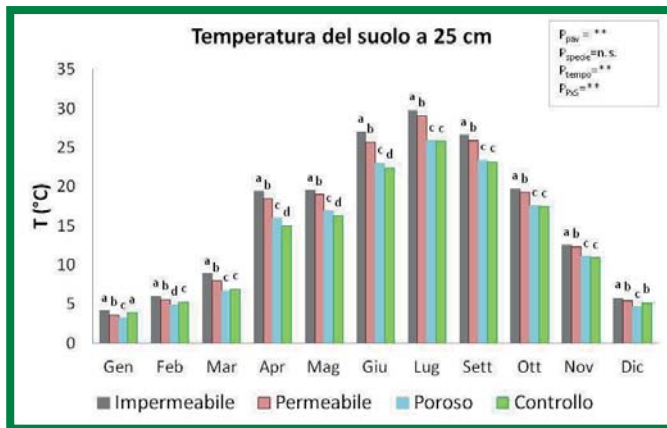
A: pavimentazione impermeabile (asfalto);
B: pavimentazione permeabile (autobloccante);
C: pavimentazione porosa;
D: controllo: suolo non pavimentato.

e/o la sostituzione di alberi e la riparazione delle superfici pavimentate rappresenta un problema per la limitatezza di fondi comunali. Inoltre, le amministrazioni sono direttamente responsabili per i danni e le lesioni causate dalle pavimentazioni irregolari. Nonostante l'ampia diffusione delle pavimentazioni negli ambienti antropizzati, esistono pochi studi che ne analizzino gli effetti sul suolo e li correlino con la vitalità di specie arboree tipicamente utilizzate in ambienti pavimentati. Inoltre,

esistono ancora meno evidenze scientifiche che comparino il tradizionale design impermeabile (asfalto su sottofondo di cemento) con stratigrafie alternative drenanti. Lo scopo di questo lavoro è stato, quindi, quello di valutare gli effetti di pavimenti impermeabili, permeabili e porosi su alcune caratteristiche chimico-fisiche del suolo e sulla crescita e fisiologia di due specie arboree ornamentali messe a dimora in suoli con diversa copertura.

Materiali e metodi	
Anni di prova	2011-2014 (realizzazione parcelle: novembre 2011; impianto arboreo: marzo 2012)
Specie utilizzate	Bagolaro (<i>Celtis australis</i>), orniello (<i>Fraxinus ornus</i>)
Tesi a confronto	<ul style="list-style-type: none"> Design impermeabile: asfalto + sottobase di calcestruzzo Design permeabile: autobloccante + sottobase in sasso spezzato Design poroso: pavimentazione porosa (resina poliuretanica + inerte) + sottobase in sasso spezzato Controllo: suolo non pavimentato e mantenuto nudo per mezzo di diserbo chimico <p>In ogni parcella (ad eccezione del controllo), le piante sono state messe a dimora in buche d'impianto aventi 1 m² di superficie libera non pavimentata</p>
Disegno sperimentale	Blocchi randomizzati con 6 repliche (48 piante in tutto). L'area pavimentata attorno a ogni pianta era di 25 m ² .
Rilievi effettuati	<p><u>Misure sul suolo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Umidità del suolo (v/v), misurata settimanalmente a 20 cm (5 cm sotto le pavimentazioni) e 45 cm (30 cm sotto le pavimentazioni) di profondità Temperatura del suolo, misurata mensilmente a 25 cm di profondità Contenuto di O₂ negli strati superficiali del suolo e flusso di CO₂ dal suolo, misurati mensilmente. <p>Umidità, contenuto di O₂ e flusso di CO₂ sono stati misurati sia nelle vicinanze della buca d'impianto, sia al centro di ogni parcella, ove l'influenza delle radici era ipotizzata essere trascurabile</p> <p><u>Misure sulle piante:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Accrescimento dei germogli e del diametro del fusto (a 1,3 m), effettuati alla fine di ogni stagione vegetativa Scambi gassosi fogliari (fotosintesi, traspirazione, conduttanza stomatica, efficienza d'uso dell'acqua) effettuati mensilmente durante la stagione vegetativa Temperatura delle foglie e deficit di vapore acqueo tra foglia e atmosfera Fluorescenza della clorofilla (Fv/Fm) e contenuto fogliare di clorofilla (SPAD), misurati nel corso della stagione vegetativa Potenziali idrici prima dell'alba (2:30 - 5:00), misurati nel corso della stagione vegetativa

Risultati ottenuti: effetti sul suolo



Temperatura del suolo misurata a 25 cm di profondità. Per ogni data di misurazione, lettere diverse indicano differenze significative tra le pavimentazioni con $P < 0,01$. I dati mensili sono stati ottenuti come medie di tre anni di misurazione (novembre 2011-ottobre 2014).

La copertura del suolo ha alterato il regime termico degli strati più superficiali del suolo, rispetto al terreno nudo, ma in modo diverso a seconda del materiale utilizzato e della stagione. Da marzo a novembre, la temperatura del suolo coperto da asfalto e, in modo minore, da autobloccante è stata significativamente più alta (con punte di circa $4^{\circ}C$ di differenza in luglio) rispetto al suolo coperto da pavimentazione porosa e al suolo non pavimentato. Risulta altresì chiaro come, nel medesimo periodo, le

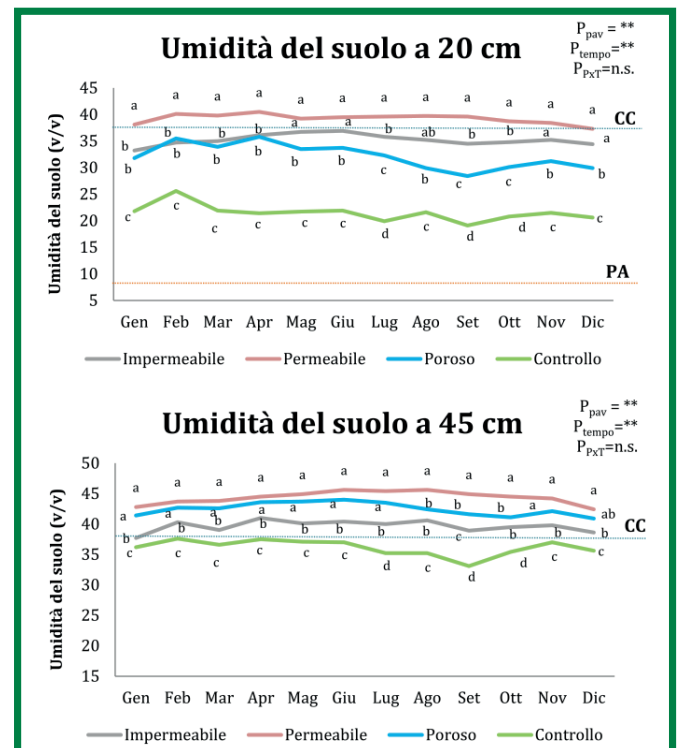
impervie impediscono all'acqua di evaporare e ciò, combinato con il basso albedo (cioè la frazione della radiazione incidente che viene riflessa) dell'asfalto e con la sua elevata conducibilità termica, determina il surriscaldamento del suolo sottostante. La pavimentazione permeabile ha mostrato, sorprendentemente, risultati simili all'asfalto, probabilmente perché i vuoti tra i masselli impermeabili non sono sufficienti a garantire un'adeguata evaporazione dell'acqua nel suolo. Durante l'inverno, quando le basse temperature riducono l'evaporazione, le differenze di temperatura tra le pavimentazioni sono risultate minime e influenzate prevalentemente dalla colorazione delle pavimentazioni.

In assenza di radici, la copertura del suolo ha aumentato il contenuto di umidità del terreno, sia a 20 cm, sia a 45 cm di profondità, rispetto

34



differenze di temperatura tra pavimenti porosi e controllo siano quasi sempre trascurabili. Si è ipotizzato che le minori temperature osservate sotto pavimenti porosi e nel controllo non pavimentato siano dovute all'evaporazione di acqua dal suolo all'atmosfera, e al calore sensibile dissipato come calore latente da tale fenomeno fisico. Al contrario, pavimentazioni



Umidità del suolo a 20 cm e a 45 cm di profondità. I valori sono stati misurati in porzioni di suolo non colonizzate dagli apparati radicali degli alberi, in cui l'apporto della traspirazione all'evapotraspirazione totale è nullo. Per ogni data di misurazione, lettere diverse indicano differenze significative tra le pavimentazioni con $P < 0,01$. I dati mensili sono stati ottenuti come medie di tre anni di misurazione (2012-2014).

Le linee tratteggiate contrassegnate con CC e PA indicano il contenuto idrico corrispondente alla capacità di campo e al punto di appassimento, rispettivamente, determinati con metodo gravimetrico.



Sonda per la misurazione della temperatura del suolo.

al controllo non pavimentato.

L'autobloccante ha mostrato, a entrambe le profondità, la maggiore umidità, seguito dall'asfalto (a 20 cm) o dalla pavimentazione porosa (45 cm). In assenza di radici, il contenuto idrico del suolo è principalmente determinato dal bilancio tra infiltrazione, condensazione ed evaporazione, con quest'ultimo fenomeno che interessa maggiormente gli strati di suolo più superficiali (es. 20 cm più di 45 cm).

In quest'ottica, il maggior contenuto idrico del suolo, a 20 cm, osservato nelle tesi pavimentate rispetto al controllo è probabilmente imputabile proprio alla riduzione dell'acqua che può evaporare dal suolo all'atmosfera a causa della copertura del suolo e alla condensazione dell'umidità a contatto con il pavimento.

La riduzione dell'evaporazione appare maggiore nelle tesi impermeabile e permeabile, rispetto al poroso, che dunque sembra in grado di permettere migliori scambi gassosi tra suolo e atmosfera rispetto alle due tipologie precedenti. La maggior riduzione dell'evaporazione nelle tesi impermeabile e permeabile rispetto al poroso e al controllo sono consistenti con la maggior temperatura del suolo misurata nelle prime due tesi, rispetto alle seconde.

A 45 cm di profondità, il maggior contenuto idrico delle tesi permeabile e poroso, rispetto all'impermeabile, sono invece probabilmente da imputare alla riduzione dell'infiltrazione causato dall'asfalto, rispetto a entrambe le pavimentazioni drenanti.

Infine, è possibile notare che, in assenza di traspirazione, il suolo al di sotto delle pavimentazioni ha un contenuto idrico generalmente superiore alla capacità di

campo. In questi casi, l'acqua può occupare i macropori del suolo, normalmente occupati dai gas, e possono sorgere problemi di ipossia e ristagno idrico.

La saturazione può quindi occorrere al di sotto delle coperture e, in questo studio, contenuti idrici superiori alla capacità di campo sono stati osservati a 45 cm di profondità in tutte le tesi pavimentate e, a 20 cm di profondità, nell'autobloccante (che probabilmente infila, ma non evapora).

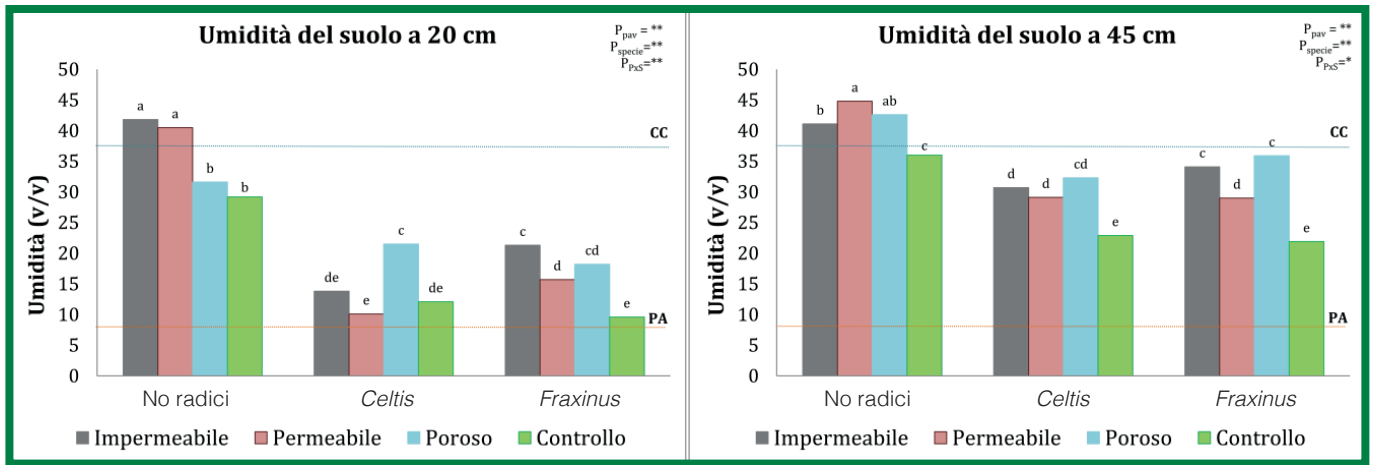
La traspirazione rimuove considerevoli quantità di acqua dal suolo. Perciò non stupisce che, in prossimità delle piante, il contenuto idrico del suolo, sia a 20, sia a 45 cm di profondità sia significativamente inferiore rispetto a quello delle porzioni di suolo non colonizzate da radici. In presenza di radici, l'umidità del suolo è risultata sempre inferiore alla capacità di campo e ciò testimonia l'importanza degli alberi nel prevenire gli eccessi idrici nel suolo, particolarmente in terreni impermeabilizzati o, comunque, pavimentati.

L'umidità del suolo in presenza di radici è stata influenzata dalla traspirazione delle due specie saggiate (descritta in seguito ma, in generale, superiore in bagolaro rispetto all'orniello).

Negli strati superficiali (20 cm), in bagolaro, un contenuto idrico molto vicino al punto di appassimento è stato trovato in suoli coperti da pavimentazioni impervie, permeabili e non pavimentati, mentre in presenza di pavimentazioni drenanti si sono riscontrati valori di umidità superiori. In orniello, tutte le tesi pavimentate hanno mostrato un contenuto idrico superiore al suolo nudo.

Più in profondità (45 cm), la disponibilità idrica del suolo è stata più che adeguata durante l'intera stagione di crescita, con valori di umidità corrispondenti al 50-90% del totale dell'acqua disponibile per tale tipologia di suolo.

A 45 cm, tutte le tesi pavimentate hanno comunque mostrato un contenuto idrico superiore rispetto al controllo, per entrambe le specie. Le pavimentazioni non influenzano solo l'infiltrazione di acqua nel suolo e l'evaporazione, ma anche gli scambi gassosi tra suolo e atmosfera. In questa sperimentazione mensilmente, è stato misurato il flusso di CO_2 dal suolo attraverso dei cilindri infissi nel suolo, normalmente mantenuti chiusi e aperti solo per effettuare le misurazioni. Il flusso di CO_2



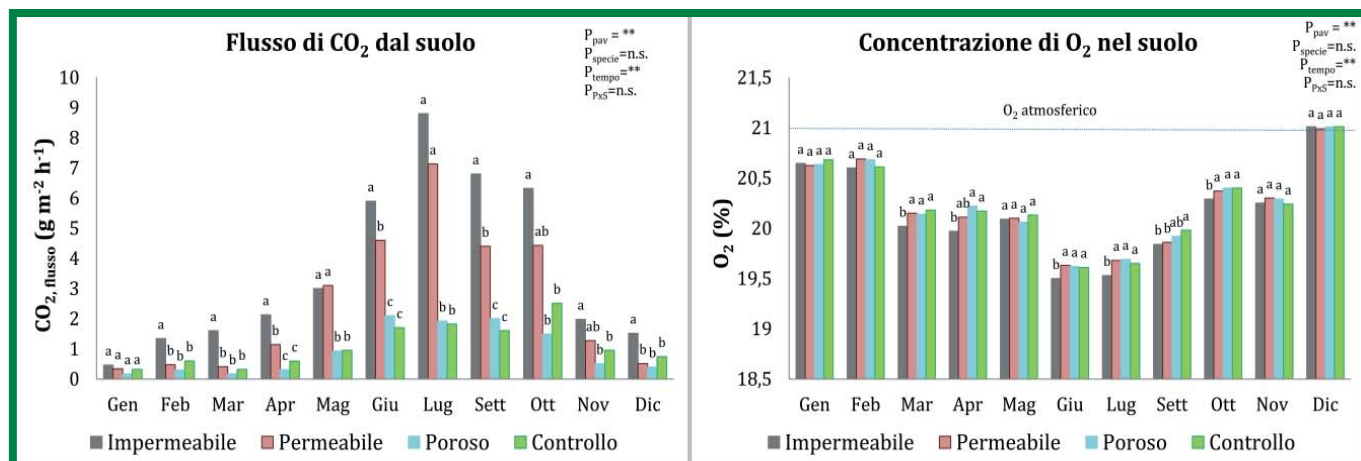
Umidità del suolo a 20 cm e 45 cm di profondità misurata durante il periodo estivo (giugno-settembre) in suoli coperti da diverse pavimentazioni in assenza di radici e in presenza di radici di bagolaro o orniello. Per ogni data di misurazione, lettere diverse indicano differenze significative tra le pavimentazioni con $P < 0,01$. I valori sono ottenuti come medie di quelli misurati tra giugno e settembre nel 2013 e nel 2014. Le linee tratteggiate contrassegnate con CC e PA indicano il contenuto idrico corrispondente alla capacità di campo e al punto di appassimento, rispettivamente.

misurato dopo l'apertura dei cilindri, per la legge di Fick, è correlato alla concentrazione di CO_2 del suolo. Risulta quindi chiaro come pavimentazioni impermeabili e permeabili, ma non quelle porose, riducano, rispetto al controllo, la diffusione della CO_2 dal suolo all'atmosfera, causandone un accumulo nel terreno. L'aumento della concentrazione di CO_2 nel suolo inibisce direttamente la respirazione, l'attività e l'accrescimento delle radici e, indirettamente, altera il pH

delle cellule radicali, con conseguenze che possono essere reversibili (es. inibizione fino al 40% della respirazione radicale, osservata a concentrazioni di circa 3000-4000 ppm) o irreversibili e letali per le cellule corticali (a concentrazioni di CO_2 superiori alle 10000 ppm). L'accumulo di CO_2 nel suolo è maggiore nei mesi estivi, quando la maggiore temperatura stimola la respirazione microbica e radicale, quando il flusso di CO_2 è 3-4 volte maggiore nelle tesi asfalto e autobloccante, rispetto a al poroso e al controllo, mentre le differenze si riducono (pur essendo sempre significative) nei mesi invernali, quando le basse temperature limitano la respirazione del suolo e delle radici. In condizioni normali, l'ossigeno è presente, sia nell'atmosfera, sia nel terreno, in concentrazioni molto superiori (la sua concentrazione è espressa in %) rispetto alla CO_2 (la cui concentrazione è espressa in parti per milione). Non deve quindi stupire che a grandi aumenti della CO_2 nel suolo corrispondano diminuzioni molto minori nella concentrazione di ossigeno. Alcuni studi hanno evidenziato che, in suoli ben aerati, sono state osservate concentrazioni di CO_2 simili o leggermente inferiori a quella atmosferica. Consistentemente, i risultati ottenuti in questo studio evidenziano quantità di O_2 nel suolo comprese tra il 19,5% e il 20,9% durante l'anno, con i valori inferiori osservati nei mesi estivi, quando la temperatura stimola la respirazione del suolo, e i valori massimi osservati nei mesi invernali. Ad eccezione dei mesi più freddi, la copertura del suolo



Misurazione della concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nel suolo.



Flusso di anidride carbonica dal suolo e concentrazione di ossigeno in suoli coperti da diverse pavimentazioni. Per ogni data di misurazione, lettere diverse indicano differenze significative tra le pavimentazioni con $P < 0,01$. I dati mensili sono stati ottenuti come medie di tre anni di misurazione (2012-2014).

con pavimentazioni impermeabili ha dunque determinato un calo nel contenuto di ossigeno nel suolo, significativo da marzo a ottobre, rispetto alle altre tesi pavimentate e al controllo. Sebbene tale diminuzione sia probabilmente troppo piccola per avere significato biologico, bisogna considerare che le piante erano, al termine dell'esperimento, a dimora da soli 30 mesi, probabilmente con ancora la maggior parte dell'apparato radicale all'interno della buca d'impianto e solo un piccolo volume di suolo esplorato al di sotto dei terreni

pavimentati. Il fabbisogno di ossigeno, così come la produzione di CO₂, potrebbe aumentare con l'aumento della biomassa radicale al di sotto delle pavimentazioni, ma sono necessari altri anni di sperimentazione per meglio chiarire gli effetti delle diverse coperture del suolo nel lungo periodo.

Risultati ottenuti: effetti sulle piante

Specie	Pavimento	Diametro fusto all'impianto (cm)	Incremento diametro fusto 2012-2013 (cm)	Lunghezza germogli 2012 (cm)	Lunghezza germogli 2013 (cm)
<i>Celtis australis</i>	Impermeabile	4,4 a	0,9 a	33,4 a	30,0 a
	Permeabile	4,4 a	0,8 a	33,1 a	21,4 b
	Poroso	4,3 a	1,1 a	23,2 b	31,4 a
	Controllo	4,1 a	0,9 a	22,9 b	19,3 b
<i>Fraxinus ornus</i>	Impermeabile	4,3 a	0,9 a	17,1 c	8,4 c
	Permeabile	4,5 a	0,7 ab	24,9 b	22,2 a
	Poroso	4,5 a	0,5 b	49,5 a	16,2 b
	Controllo	4,5 a	0,6 ab	24,7 b	16,8 b
Effetto del pavimento		n.s.	n.s.	**	**
Effetto della specie		n.s.	**	**	**
Interazione pavimento x specie		n.s.	*	**	**

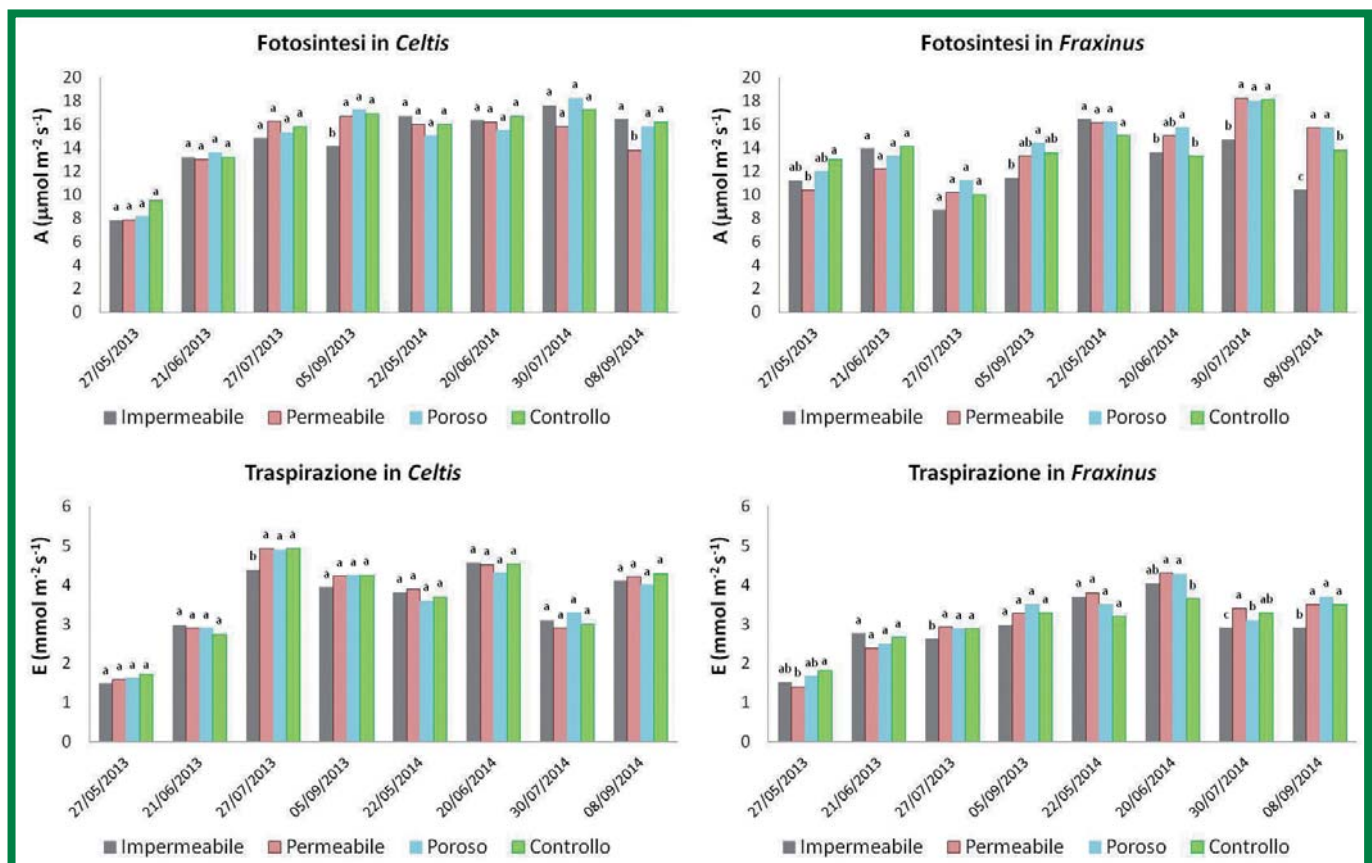
Effetto di diverse coperture del suolo sull'accrescimento diametrico e sui germogli di bagolaro e orniello nei due anni successivi alla messa a dimora. Lettere diverse all'interno della stessa specie indicano differenze significative tra le diverse coperture del suolo con $P < 0,05$ (*) o $P < 0,01$ (**).

Gli effetti della copertura del suolo sulla crescita delle due specie arboree in prova (*Celtis australis* e *Fraxinus ornus*) sono stati, in larga parte, specie-specifici.

In bagolaro, la copertura del suolo con qualsiasi materiale, rispetto al terreno nudo, non ha influenzato gli accrescimenti diametrali del fusto ma ha, generalmente, aumentato l'allungamento dei germogli. In orniello, non sono emerse differenze significative tra il controllo e le diverse tesi pavimentate per l'accrescimento diametrico del fusto, mentre l'accrescimento dei germogli è stato inferiore in presenza di pavimentazioni impermeabili rispetto sia alle pavimentazioni drenanti, sia al controllo.

Ulteriori misurazioni saranno necessarie per avere un quadro più chiaro degli effetti sui

parametri biometrici delle specie nel lungo periodo, soprattutto quando, dopo in completo affrancamento, le piante avranno espanso la maggior parte delle radici assorbenti al di sotto dello strato pavimentato.



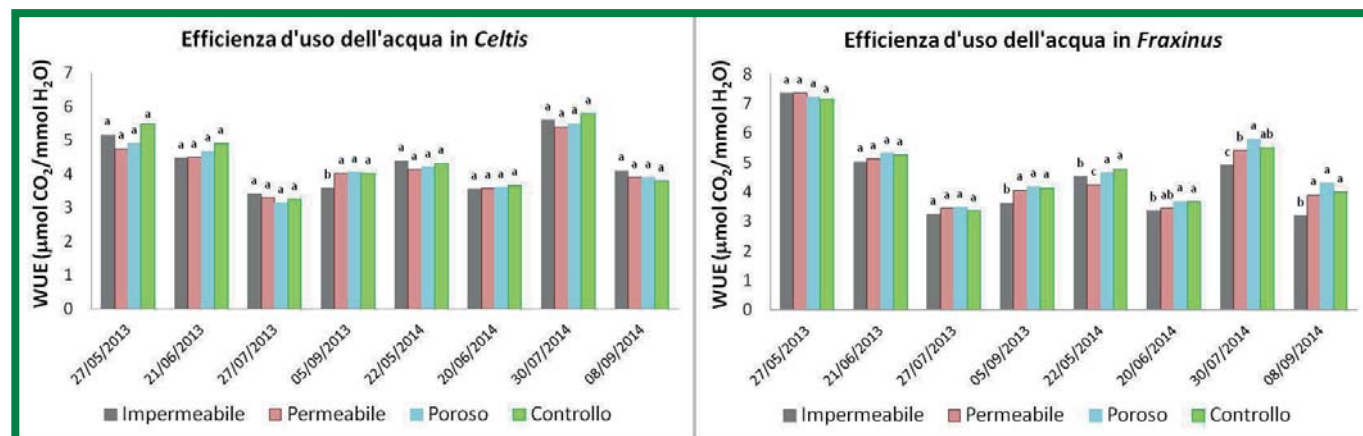
Fotosintesi netta e traspirazione in bagolaro e orniello a dimora in parcelle coperte da diverse pavimentazioni. Lettere diverse nella stessa data di misurazione indicano differenze significative tra le tesi con $P < 0,05$.

La misurazione degli scambi gassosi fogliari è iniziata un anno dopo la messa a dimora, per evitare che i risultati venissero influenzati dallo shock da trapianto. Nei due anni di misurazione successivi sono stati rilevati valori relativamente elevati sia per la fotosintesi, sia

per la traspirazione, a testimoniare la buona salute delle piante e la buona disponibilità di acqua nel terreno, a prescindere dal tipo di copertura del suolo. La pavimentazione non ha influenzato gli scambi gassosi del bagolaro, confermando la grande rusticità di questa

specie e la sua capacità di acclimatazione anche a condizioni ambientali e pedologiche diverse. Anche in orniello, fino a giugno 2014 (27 mesi dall'impianto), sono emerse solo piccole (e spesso non significative) differenze tra le tesi pavimentate e il controllo. Tuttavia, in luglio e settembre 2014, è stata evidenziata una significativa diminuzione della fotosintesi e, in misura minore, della traspirazione nella

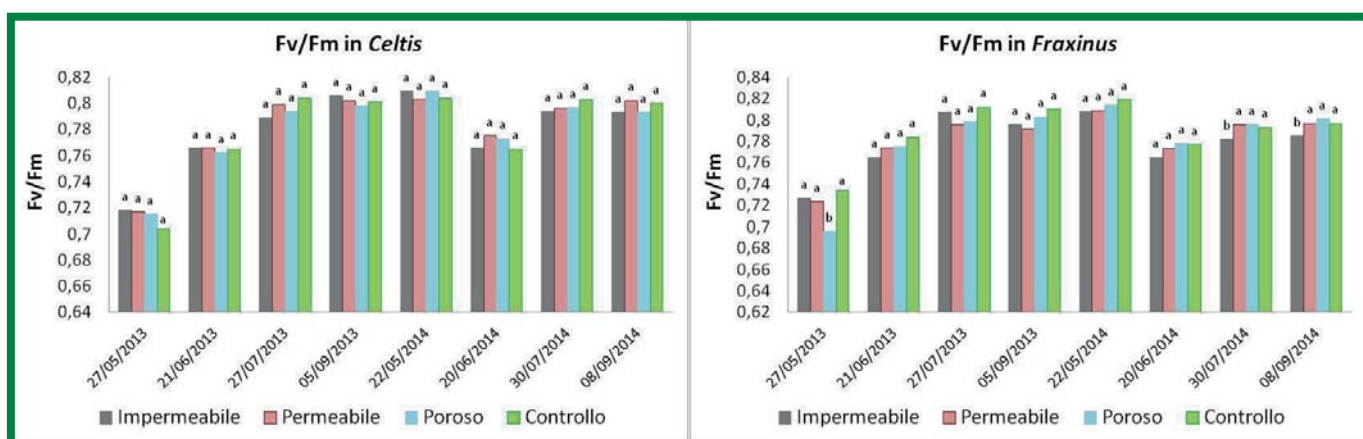
tesi impermeabile, rispetto sia al controllo non pavimentato, sia alle pavimentazioni drenanti. Analogamente a quanto riportato per l'accrescimento, è possibile che gli effetti della copertura del suolo sugli scambi gassosi divengano via via più evidenti con la progressiva espansione degli apparati radicali dalla buca d'impianto verso il suolo pavimentato.



Efficienza d'uso dell'acqua ($WUE = A/E$) in piante di bagolaro e orniello a dimora in parcelle coperte da diverse pavimentazioni. Lettere diverse nella stessa data di misurazione indicano differenze significative tra le tesi con $P < 0,05$.

L'efficienza d'uso dell'acqua (WUE), cioè la quantità di anidride carbonica fissata per unità di acqua traspirata, è un parametro importante nel determinare l'"horticultural tolerance" di una determinata specie, ovvero la sua capacità di fornire benefici in situazioni ambientali sub-ottimali o stressanti, come quelle urbane. Gli effetti della copertura del suolo sull'efficienza d'uso dell'acqua sono, analogamente a quanto osservato per fotosintesi e traspirazione, dipendenti dalla specie vegetale. Il bagolaro ha mostrato WUE simile in ogni tipo di

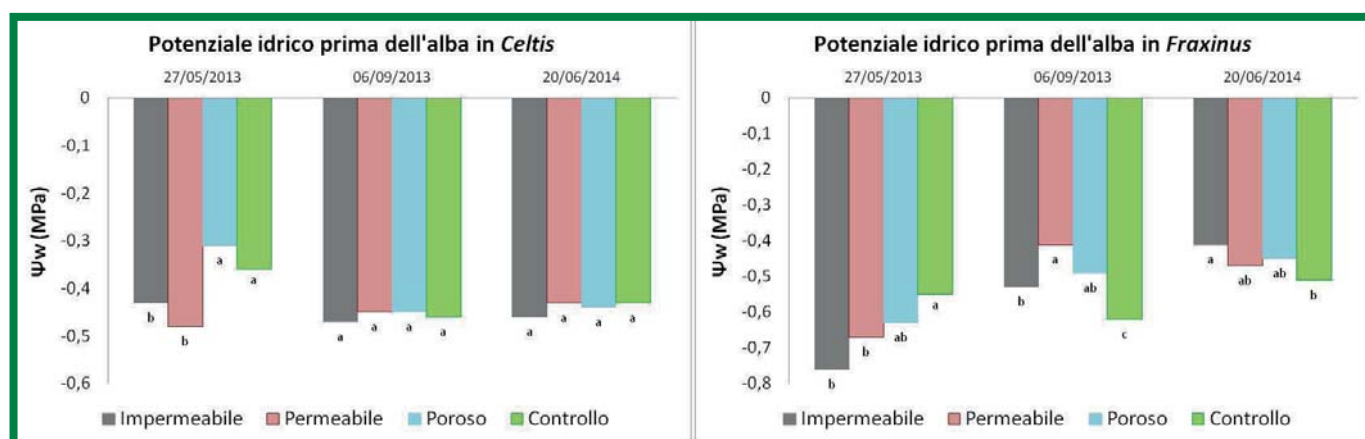
pavimentazione e sul suolo nudo. In orniello, non sono state osservate differenze significative tra le tesi fino all'estate 2013 (16 mesi dall'impianto); successivamente le piante a dimora su terreno impermeabilizzato hanno mostrato minore WUE rispetto al controllo e a quelli a dimora in pavimenti porosi. Come già accennato, la diminuzione più che proporzionale della fotosintesi, rispetto alla traspirazione, occorsa nelle tesi "impermeabile" nelle ultime misurazioni, è responsabile della diminuzione dell'efficienza d'uso dell'acqua.



Fluorescenza della clorofilla (Fv/Fm) in piante di bagolaro e orniello a dimora in parcelle coperte da diverse pavimentazioni. Lettere diverse nella stessa data di misurazione indicano differenze significative tra le tesi con $P < 0,05$.

Uno dei modi per verificare se la copertura del suolo con pavimentazioni impermeabili ha determinato stress fotoinibitori ai fotosistemi tali da compromettere la fotosintesi è la misurazione dell'efficienza quantica massima del fotosistema II (F_v/F_m). Tale parametro, in piante in buona salute, è generalmente superiore a 0,80-0,82. I valori di F_v/F_m mostrano come, lo shock da trapianto fosse ancora evidente, in entrambe le specie, in

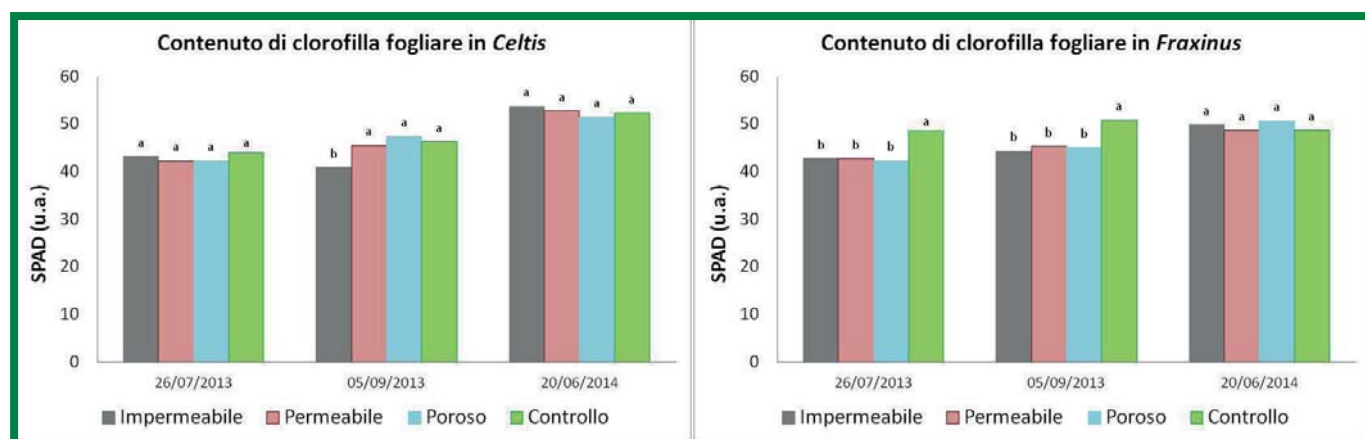
maggio-giugno 2013 e come successivamente i valori aumentino, approssimandosi a quelli ottimali. Analogamente a quanto osservato per la fotosintesi, la copertura del suolo non ha avuto effetti significativi su F_v/F_m in bagolaro. Al contrario, significative, seppur di lieve entità, diminuzioni di F_v/F_m sono state osservate in orniello in corrispondenza al declino della fotosintesi (estate 2014).



Potenziale idrico prima dell'alba (Ψ_w) in piante di bagolaro e orniello a dimora in parcelle coperte da diverse pavimentazioni. Lettere diverse nella stessa data di misurazione indicano differenze significative tra le tesi con $P < 0,05$.

Il potenziale idrico prima dell'alba riflette lo stato di idratazione della pianta (viene appunto misurato prima dell'alba perché, in assenza di traspirazione, gradiente di potenziale tra i diversi organi della pianta e del suolo tendono a andare in equilibrio). Valori di potenziale idrico più negativi evidenziano una minor disponibilità di acqua nel suolo o una minore capacità della pianta di reidratarsi durante le ore notturne. In maggio 2013, piante di entrambe le specie a dimora in suoli impermeabilizzati o coperti da pavimentazione permeabili (ma non porose)

hanno mostrato un potenziale idrico più negativo rispetto a quelle a dimora in suolo non pavimentato. Tali risultati, inaspettati visto il maggior contenuto idrico dei suoli pavimentati rispetto al controllo, fanno ipotizzare a una minor capacità delle radici di assorbire acqua, a causa di minor esplorazione del suolo o di una ridotta attività. Tuttavia, questi risultati non sono stati confermati nei rilievi successivi, quando le differenze tra le tesi non sono risultate significative (bagolaro) o si sono conformate all'umidità del terreno (orniello).



Contenuto di clorofilla fogliare, misurato con un lettore ottico SPAD, in piante di bagolaro e orniello a dimora in parcelle coperte da diverse pavimentazioni. Lettere diverse nella stessa data di misurazione indicano differenze significative tra le tesi con $P < 0,05$.

In bagolaro, non sono state rilevate variazioni significative nel contenuto di clorofilla fogliare a causa della copertura del suolo, ad eccezione che in settembre 2013.

In orniello, tutte le piante a dimora in suoli

pavimentati hanno mostrato un minor contenuto di clorofilla rispetto al controllo nel 2013, forse per maggiori difficoltà nel superare lo shock da trapianto, ma le differenze non sono state confermate nel 2014.



Conclusioni

La sperimentazione ha comparato gli effetti di alcune stratigrafie a diverso grado di permeabilità per la realizzazione di marciapiedi e parcheggi. In dettaglio, sono state confrontate stratigrafie drenanti (pavimentazione permeabile o porosa su sottofondo drenante) e impermeabili (asfalto su sottofondo in calcestruzzo) con il suolo non pavimentato. I risultati hanno mostrato che l'uso di coperture impermeabili altera in modo significativo le caratteristiche chimico-fisiche del suolo, determinando l'aumento della temperatura e dell'umidità del terreno, la riduzione dell'ossigeno e l'accumulo di anidride carbonica nel suolo, rispetto al controllo non pavimentato. Mentre la pavimentazione permeabile ha avuto un'influenza, sui parametri relativi al suolo misurati, simile a quella dell'asfalto (nonostante fosse posata su un sottofondo completamente diverso), la pavimentazione porosa ha mostrato risultati promettenti nel limitare gli effetti negativi dell'impermeabilizzazione del suolo. Tra questi, la capacità di coperture porose nel mantenere la temperatura, la concentrazione di anidride carbonica e di ossigeno simile al controllo non pavimentato possono essere determinanti per ridurre l'impatto dell'urbanizzazione sul clima e

sui cicli dell'acqua e del carbonio.

Nonostante le diverse coperture abbiano avuto un'influenza estremamente significativa sulle caratteristiche chimico-fisiche del suolo, l'effetto sulla crescita e la fisiologia delle due specie arboree saggiate è stato molto meno rilevante e dipendente dalla specie analizzata. Le diverse coperture del suolo non hanno alterato i principali parametri eco-fisiologici studiati in bagolaro, mentre in orniello è emerso, particolarmente nelle ultime campagne di misurazione, un calo nella fotosintesi delle piante a dimora nel suolo asfaltato, rispetto a quelle a dimora in suoli coperti da pavimenti permeabili, porosi o non pavimentato. Tale calo non sembra correlato alla disponibilità idrica, sempre superiore nei suoli pavimentati rispetto al controllo, ma piuttosto alla funzionalità delle radici o a stimoli ormonali prodotti dalle radici stesse.

Dai dati ottenuti è possibile ipotizzare che l'accumulo di CO_2 che si verifica al di sotto di pavimenti impermeabili, più che la carenza di ossigeno o di acqua, sia responsabile di tale alterazione fisiologica. Bisogna considerare che, a causa del ridotto tempo trascorso dall'impianto, le piante studiate

avessero ancora la maggior parte delle radici assorbenti all'interno della buca d'impianto non pavimentata. Dai risultati ottenuti, si può quindi affermare che l'effetto delle diverse coperture del suolo è trascurabile sui nuovi impianti. Tuttavia, a causa della migrazione radicale, le radici tendono a svilupparsi sempre

più esternamente, nel tempo, e ulteriori anni di misurazione sono necessari per quantificare l'effetto dell'impermeabilizzazione del suolo su soggetti arborei completamente affrancati che, debbano contare prevalentemente su radici cresciute, al di fuori della buca, nel suolo coperto dalla pavimentazione.

5 Effetto di substrati contenenti compost e microrganismi e della tipologia di contenitore sul contenimento di patogeni terricoli

Diverse sono le alterazioni che possono causare danni a livello basale e radicale nella produzione in vivaio di piante ornamentali. In particolare, vista la particolare adattabilità di tali colture alla coltivazione in contenitore, i parassiti zoosporici risultano essere estremamente dannosi potendo facilmente diffondersi da infetti ad individui sani semplicemente grazie all'acqua di irrigazione drenata dai vasi successivamente agli interventi irrigui. In particolare, sono emersi recentemente numerosi attacchi su piante ornamentali allevate in contenitore causate da *Phytophthora* spp., quali: *Phytophthora nicotianae* su *Daphne odora*, *Phytophthora palmivora* su *Grevillea* spp., *Phytophthora tropicalis* su *Cuphea ignea*, *Phytophthora tentaculata* su *Edgeworthia papyrifera* e

su *Aeonium*, *Phytophthora palmivora* e *Phytophthora nicotianae* su *Trachycarpus fortunei*.

Durante il 2011, è stato rinvenuto un nuovo agente causale, identificato quale appartenente alla specie *P. cinnamomi*, su *Kalmia latifolia*.

Il contenimento delle infezioni di patogeni terricoli può essere effettuato mediante ricorso a diverse metodologie di lotta tra cui mezzi chimici, fisici, biologici e agronomici (impiego di substrati repressivi, riduzione degli eccessi idrici e nutrizionali, utilizzo di appositi contenitori, ecc.). Ad esempio l'allevamento di piante in contenitore con l'aggiunta al substrato di compost repressivi può ridurre l'incidenza di alcuni patogeni. Tuttavia occorre validare ulteriormente questo tipo di strategia, anche attraverso l'integrazione con altri mezzi e alternative, quali nuove tipologie di contenitori (antispiralizzanti, biodegradabili...) e/o nuove tipologie di substrati. Inoltre, essendo il costo di alcune soluzioni quali i contenitori biodegradabili e antispiralizzanti, più elevato rispetto alle tecniche tradizionali, è necessario stabilire se i costi di produzione possono essere ridotti a seguito dell'utilizzo integrato delle diverse strategie.

Scopo di questo lavoro è stato quello di saggiare l'effetto di repressività di compost, tal quali e arricchiti con microrganismi antagonisti, e di alcune tipologie di vasi nei confronti dei marciumi radicali e del colletto e dell'avvizzimento basale causati da *Phytophthora nicotianae* su *Skimmia japonica* e da *Phytophthora cinnamomi* su *kalmia* e *azalea*, valutando vantaggi e svantaggi



Appassimenti fogliari causati da attacchi di *Phytophthora cinnamomi* su foglie di *Kalmia latifolia* 'Olympic Fire' allevata in vaso

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 e in un tunnel presso la Fondazione Minoprio. Un ammendante compostato misto (ACM) e uno verde (ACV), sono stati impiegati in miscela con un substrato torboso professionale, utilizzato inoltre come riferimento.

I substrati sono stati inoculati artificialmente con i patogeni prima di essere utilizzati per la coltura. Una tesi è stata sottoposta a un trattamento a base di Metalaxil-M a dosi di etichetta e utilizzata come testimone chimico di riferimento.

Sperimentazione su skimmia

Materiali e metodi	
Anno	2011-2012 (2 cicli di prova)
Specie utilizzata	<i>Skimmia japonica</i> 'Rubella'
Vaso e substrato	Vaso diametro 14 cm (volume 2 litri); substrato TS3 (TS substrati)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno 2. Substrato professionale con aggiunta di 40% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno 3. Substrato professionale con aggiunta di 5% (v/v) di ammendante compostato misto, addizionato con <i>Trichoderma</i> (0,25 g/l), inoculato con il patogeno 4. Testimone sano: substrato professionale 5. Testimone inoculato: substrato professionale, inoculato con il patogeno 6. Testimone chimico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con Metalaxil-M (25 ml/m³)
Metodologia di inoculazione	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 replicazioni di 3 piante ciascuna)
Rilievi effettuati nel corso della sperimentazione	A partire da 10 giorni dopo il trapianto: rilievi settimanali sul numero di piante colpite dalla malattia

Risultati su skimmia

In entrambe le prove su skimmia, il substrato contenente ammendante compostato misto, arricchito con *Trichoderma* e applicato in miscela al 5% con il substrato erboso e il fungicida Metalaxil-M hanno ridotto significativamente la malattia, rispetto al testimone inoculato.

Nella seconda prova, il substrato contenente ammendante compostato misto in miscela al 10% ha ridotto la malattia, anche se a livello statisticamente non significativamente diverso rispetto al testimone inoculato.

Effetto di compost sul contenimento di <i>Phytophthora nicotianae</i> su skimmia (2011-2012)		
Tesi confrontate	Indice di malattia (0 = sana, ottimo sviluppo radicale; 4 = morta, elevata presenza di marciumi radicali)	
	Prima prova	Seconda prova
10% ACM	3,0 c	2,1 bc
40% ACM	3,2 c	3,4 c
5% ACM + <i>Trichoderma</i>	1,4 b	1,6 b
Metalaxil-M	1,0 b	1,4 b
Testimone sano	0,0 a	0,2 a
Testimone inoculato	2,4 c	2,8 c
Significatività	*	*

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



Prova sperimentale su skimmia condotta presso Agroinnova

Sperimentazione su kalmia

Materiali e metodi	
Anno	2012-2013 (2 cicli di prova)
Specie utilizzata	<i>Kalmia latifolia</i> 'Olympic Fire'
Vaso e substrato	Vaso diametro 14 cm (volume 2 litri); substrato Twinmix Cyclamen (TS substrati)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno 2. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno 3. Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno 4. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno 5. Trattamento chimico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con Metalaxil-M (25 ml/m³) 6. Trattamento biologico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con formulato commerciale a base di <i>Trichoderma</i> (0,25 g/l di substrato) 7. Vaso biodegradabile: substrato professionale, inoculato con il patogeno 8. Testimone sano: substrato professionale 9. Testimone inoculato: substrato professionale, inoculato con il patogeno
Metodologia di inoculazione	I substrati sono stati inoculati alla dose di 2,5g/l con cariossidi di grano e canapa infestate da <i>Phytophthora cinnamomi</i> . Una settimana dopo l'inoculazione le talee sono state trapiantate in vaso e riposte in serra su bancali sopraelevati a una temperatura intorno ai 24°C, favorevole alla manifestazione dei sintomi della malattia.
Numero di piante per tesi	10 piante (suddivise in cinque repliche di 2 piante ciascuna)
Rilievi effettuati nel corso della sperimentazione	A partire da 10 giorni dopo il trapianto rilievi settimanali sul numero di piante colpite; rilievo a fine prova su porzione epigea e sviluppo radicale sul peso della porzione.

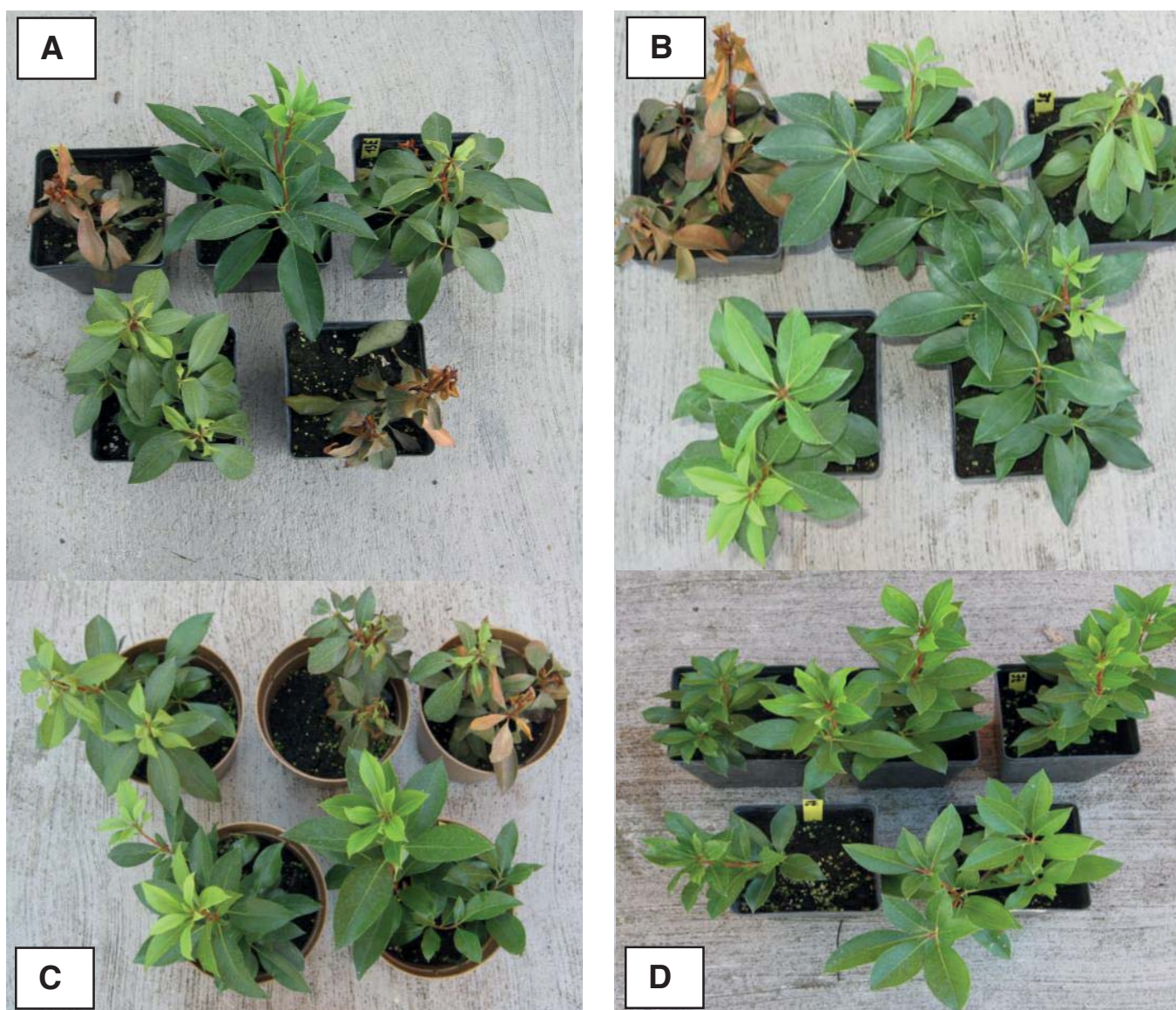
Risultati su kalmia

Nella prima prova di questa sperimentazione il fungicida Metalaxil-M, il formulato a base di *Trichoderma* e il vaso biodegradabile hanno ridotto significativamente la malattia, rispetto al testimone inoculato. I risultati sono stati confermati nella seconda prova, tranne che per il vaso biodegradabile. Il substrato

contenente ammendante compostato verde non ha evidenziato effetti sul contenimento del patogeno, mentre quello misto ha ridotto significativamente la malattia, applicato in miscela sia al 10% sia al 20%, nella seconda prova.

Effetto di compost sul contenimento di <i>Phytophthora cinnamomi</i> su kalmia (2012-2013)		
Tesi confrontate	Indice di malattia (0 = sana; 4 = morta)	
	Prima prova	Seconda prova
10% ACV	2,6 d	3,2 c
20% ACV	2,9 d	3,4 c
10% ACM	2,2 cd	1,6 b
20% ACM	3,0 d	1,4 b
Metalaxil-M	0,6 ab	0,8 ab
<i>Trichoderma</i>	1,6 bc	1,8 b
Vaso biodegradabile	1,8 bc	2,4 bc
Testimone sano	0,0 a	0,0 a
Testimone inoculato	2,6 d	3,0 c
Significatività	*	*

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



Effetto di compost e tipologia di vasi sul contenimento di *Phytophthora cinnamomi* su kalmia: (A) testimone inoculato; (B) ammendante compostato miscelato al 10% al substrato; (C) vaso biodegradabile; (D) trattamento chimico con Metalaxyl-M.

Sperimentazione su azalea: prove in serra

Materiali e metodi	
Anno	2012-2013
Specie utilizzata	Azalea (<i>Rhododendron</i> hybr.) 'Blaauw's Pink'
Vaso e substrato	Vaso diametro 14 cm (volume 2 litri); substrato Twinmix Cyclamen (TS substrati)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno 2. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno 3. Substrato professionale con aggiunta di 10% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno 4. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto, inoculato con il patogeno 5. Trattamento chimico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con Metalaxil-M (25 ml/m³) 6. Trattamento biologico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con formulato commerciale a base di <i>Trichoderma</i> (0,25 g/l di substrato) 7. Vaso biodegradabile: substrato professionale, inoculato con il patogeno 8. Testimone sano: substrato professionale 9. Testimone inoculato: substrato professionale, inoculato con il patogeno
Metodologia di inoculazione	I substrati sono stati inoculati alla dose di 2,5g/l con cariossidi di grano e canapa infestate da <i>Phytophthora cinnamomi</i> . Una settimana dopo l'inoculazione le talee sono state trapiantate in vaso e riposte in serra su bancali sopraelevati a una temperatura intorno ai 24°C, favorevole alla manifestazione dei sintomi della malattia.
Numero di piante per tesi	10 piante (suddivise in cinque repliche di 2 piante ciascuna)
Rilievi effettuati nel corso della sperimentazione	A partire da 10 giorni dopo il trapianto rilievi settimanali sul numero di piante colpite; rilievo a fine prova sul peso della porzione epigea e sviluppo radicale.

Risultati prove in serra su azalea

Nella prima prova il substrato contenente ammendante compostato verde in miscela al 20%, quello contenente ammendante compostato misto in miscela al 20%, il fungicida Metalaxil-M e il formulato a base di *Trichoderma* hanno ridotto significativamente la malattia, rispetto al testimone inoculato. Nella seconda prova il substrato contenente

ammendante compostato verde in miscela al 20% e il fungicida hanno confermato i risultati ottenuti precedentemente.

L'ammendante compostato misto e il formulato a base di *Trichoderma* hanno ridotto la malattia, ma a livello statisticamente non significativo diverso rispetto al testimone inoculato.

Effetto di compost sul contenimento di <i>Phytophthora cinnamomi</i> su azalea (2012-2013)		
Tesi confrontate	Indice di malattia (0 = sana, ottimo sviluppo radicale; 4 = morta, elevata presenza di marciumi radicali)	
	Prima prova	Seconda prova
10% ACV	2,4 c	1,8 b
20% ACV	0,3 ab	0,2 a
10% ACM	2,9 c	0,9 ab
20% ACM	1,9 b	0,4 ab
Metalaxil-M	0,0 a	0,2 a
<i>Trichoderma</i>	1,2 b	0,5 ab
Vaso biodegradabile	2,9 c	1,6 b
Testimone sano	0,0 a	0,0 a
Testimone inoculato	2,8 c	1,6 b
Significatività	*	*

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

Sperimentazione su azalea: prova in tunnel

Materiali e metodi	
Anno	2014
Specie utilizzata	Azalea (<i>Rhododendron</i> hybr.) 'Blaauw's Pink'
Vaso e substrato	Vaso diametro 14 cm (volume 2 litri); substrato Fiber 4 (Terflor)
Tesi a confronto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato verde, inoculato con il patogeno 2. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato verde, vaso biodegradabile, inoculato con il patogeno 3. Substrato professionale con aggiunta di 20% (v/v) di ammendante compostato misto arricchito con formulato commerciale a base di <i>Trichoderma</i> (0,25 g/l di substrato), inoculato con il patogeno 4. Trattamento chimico: substrato professionale, inoculato con il patogeno, trattato con Metalaxil-M (25 ml/m³) 5. Testimone sano: substrato professionale 6. Testimone inoculato: substrato professionale, inoculato con il patogeno
Metodologia di inoculazione	I substrati sono stati inoculati alla dose di 2g/l con cariossidi di grano e canapa infestate da <i>Phytophthora cinnamomi</i> . Una settimana dopo l'inoculazione le talee sono state trapiantate in vaso e riposte in tunnel.
Numero di piante per tesi	50 piante (suddivise in cinque repliche di 10 piante ciascuna)
Rilievi effettuati nel corso della sperimentazione	A partire da 10 giorni dopo il trapianto rilievi mensili sul numero di piante colpite; rilievo a fine prova sul peso della porzione epigea e sviluppo radicale

Risultati prove in tunnel su azalea

Nella prova effettuata in tunnel nel 2014, solamente il fungicida Metalaxil-M ha ridotto significativamente la malattia, rispetto al testimone inoculato. Il substrato contenente ammendante compostato verde in miscela al 20%, anche quando applicato in combinazione con il formulato a base di *Trichoderma*, ha

ridotto la malattia a livelli simili al fungicida, ma non significativi rispetto al testimone inoculato. Il substrato contenente ammendante compostato verde in miscela al 20% utilizzato in vasi biodegradabili non ha avuto effetti sulla malattia.

Effetto di compost sul contenimento di <i>Phytophthora cinnamomi</i> su azalea (2014)		
Tesi confrontate	Indice di malattia (0 = sana; 4 = morta)	Biomassa (g)
20% ACV	1,6 bc	34 bc
20% ACV + vaso biodegradabile	2,2 c	33 c
20% ACV + <i>Trichoderma</i>	1,2 bc	33 c
Metalaxil-M	0,3 ab	37 ab
Testimone sano	0,0 a	39 a
Testimone inoculato	1,9 c	36 ac
Significatività	*	*

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



Effetto di compost e tipologia di vasi sul contenimento di *Phytophthora cinnamomi* su azalea. Da sinistra a destra: 20% ACV; vaso biodegradabile; *Trichoderma*; trattamento chimico con metalaxyl; testimone sano; testimone inoculato.

Conclusioni

La presente sperimentazione contribuisce a evidenziare alcune possibilità di applicazione di compost, microrganismi e tipologie diverse di contenitori in un settore particolarmente esigente quale quello ornamentale. L'utilizzo di ammendanti compostati può essere una strategia utile al contenimento di patogeni zoosporici, quali *Phytophthora*, su piante ornamentali, specialmente se arricchito con microrganismi antagonisti.

Tuttavia gli effetti possono essere diversi a seconda della pianta ospite. Su kalmia infatti i risultati migliori sono stati ottenuti, oltre che

con fungicida Metalaxil-M, con l'applicazione di microrganismi antagonisti e in alcuni casi con l'impiego di vasi biodegradabili.

Su azalea invece, in prove in serra i risultati migliori sono stati ottenuti a seguito dell'aggiunta di compost miscelato al 20% al substrato, mentre in prove in tunnel la riduzione dei marciumi è risultata meno evidente rispetto al testimone. In futuro potrà essere utile anche l'impiego di altre componenti di substrati, provenienti da filiere di recupero di scarti agricoli e agroalimentari, oppure derivanti da processi di valorizzazione termica o biochimica di biomasse.

Pubblicazioni nell'ambito del Progetto

Amoroso G., Frangi P., Piatti R., Fini A., Ferrini F., 2012. **Allevamento in contenitore**. Il Vivaista 15: 10-12.

Bertetti D., Gullino M. L., Poli A., Bizioli L., Garibaldi A., 2012. **Marciumi radicali causati da *Phytophthora cinnamomi* su *Kalmia latifolia* L. coltivata in Italia**. Protezione delle Colture 5(4): 65-67.

Bertetti D., Pensa P., Poli A., Gullino M. L., Garibaldi A., 2013. **Presenza di una tracheomicosi causata da *Fusarium oxysporum* su *Echeveria agavoides* coltivata in Italia**. Protezione delle Colture 6(1): 30-33.

Bertetti D., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A., 2013. **Malattie in fase di diffusione in ortofloricoltura nell'Italia nord-occidentale**. Protezione delle Colture 6(2): 25-30.

Bertetti D., Gilardi G., Gullino M. L., Garibaldi A., 2013. **Metodi alternativi nella lotta ai parassiti delle colture ornamentali**. Protezione delle Colture 6(5): 11-22.

Bertetti D., Ortu G., Pensa P., Gullino M. L., Garibaldi A., 2014. **Presenza di *Fusarium oxysporum* su *Cereus marginatus* var. *crinata* in Italia**. Protezione delle Colture 7(4): 24-27.

Bertetti D., Ortu G., Gullino M. L., Garibaldi A., 2014. **Attacchi di *Verticillium dahliae* Kleb. su *Phlox paniculata* L. in Italia**. Protezione delle Colture 7(4): 28-29.

Ferrini F., Fini A., 2012. **Effect of mycorrhizal inoculation in the nursery and at planting on tree growth and physiology after transplanting in the urban environment**. Proceedings ISA Annual Conference, Portland, August 11-15, 2012, <http://www.isa-arbor.com/events/conference/proceedings/2012/2012.aspx>.

Ferrini F., Fini A., 2012. **Per i più esigenti**. Acer 28(4): 26-32.

Ferrini F., Fini A., Frangi P., Amoroso G., Piatti R., 2013. **Risposta alla micorrizzazione di specie arboree allevate in contenitore in funzione dell'apporto idrico e della fertilizzazione**. Italus Hortus 12: 148.

Fini A., Ferrini F., Seri M., Amoroso G., Piatti R., Robbiani E., Frangi P., 2014. **Effect of fertilization and mycorrhizal inoculation in the nursery on post-transplant growth and physiology in three ornamental woody species**. Abstracts 29th International Horticultural Congress, Brisbane, 17-22 August 2013 (in corso di pubblicazione su Acta Horticulturae).

Frangi P., 2012. **Il progetto Metaverde per il miglioramento della qualità del verde ornamentale**. Minoprio@informa 2: 3 (newsletter scaricabile dal sito www.fondazioneminoprio.it).

Frangi P., Amoroso G., Piatti R., Fini A., Ferrini F., 2013. **Effetto della conformazione radicale sullo sviluppo in fase post-trapianto di due specie arboree ornamentali**. Italus Hortus 12: 136.

Frangi P., Amoroso G., Piatti R., Robbiani E., Fini A., Ferrini F., 2014. **Effect of the root system structure on the establishment of *Tilia cordata* and *Ulmus minor* plants after transplanting**. Abstracts 29th International Horticultural Congress, Brisbane, 17-22 August 2013 (in corso di pubblicazione su Acta Horticulturae).

Frangi P., Fini A., Amoroso G., Piatti R., Robbiani E., Ferrini F., 2014. **Alberi di città più sani e sicuri, test a Minoprio**. Il Floricoltore 51(7/8): 46-53.

Note

Note

Note



Regione Lombardia

Agricoltura

Ricerca e sperimentazione in agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it