

Influenza dell'ambiente urbano sulla fisiologia e la crescita degli alberi

Alessio Fini e Francesco Ferrini*

Dipartimento di Ortoflorofruitticoltura, Università di Firenze, viale delle idee 30, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

Ricevuto: 20 dicembre 2006; accettato: 24 gennaio 2007

Urban environment effects on physiology and growth of ornamental trees

Abstract. Benefits of trees in the urban environment include reduction of pollution and atmospheric carbon, shading and reduction of temperature, better visual impact and an increase in human health and well-being. Despite the short life-span of city trees, still not enough research has been dedicated to the major aspects of growing trees in urban environment. Urban conditions differ very much from natural habitat, where trees have evolved and adapted. A better understanding of the physiology of urban trees and of the interaction between the urban environment and the physiological processes in trees is a key feature to increase the health of plants, their value and their life span. Drought, soil compaction and waterlogging are among the main causes of death in urban environment. They limit root growth and nutrient absorption and, by consequence, leaf gas exchange. This makes trees more sensitive to pathogens, especially those affecting the root system. Increase in soil and air temperature, due to wide use of asphalt and concrete, is another cause of death for trees. High soil temperature limits root growth and causes high fine-roots mortality, loss of turgor, cell membrane denaturation while high air temperature causes a reduction of whole plant gas exchange. In this review, the tree physiology as influenced by typical environmental constraints of urban stands is described.

Key words: urban arboriculture, compaction, water stress, temperature, photosynthesis

La specificità dell'ambiente urbano

Il XX secolo è stato caratterizzato da fenomeni di urbanizzazione spinta e incontrollata che hanno causato il degrado, se non addirittura la scomparsa, di quella che era la componente vegetale della maggior parte delle aree a verde preesistenti nelle città o del tessuto agricolo-paesaggistico proprio dell'immediato contor-

no peri-urbano, portando alla costruzione di vere e proprie *compact cities* (Jim, 2004), caratterizzate da un'ininterrotta superficie costruita e cementificata e dalla ridotta presenza di verde urbano. Solo in tempi recenti, anche grazie alla ricerca scientifica, sono stati riaffermati i benefici sociali, ecologici, culturali ed economici delle aree verdi e degli alberi in particolare. Modelli utilizzati per stimare la riduzione dell'inquinamento atmosferico, della CO₂ e dei costi di condizionamento delle abitazioni hanno valutato da circa 30 \$ fino a 200 \$ per pianta il beneficio economico determinato dalla presenza di alberi e dal *feedback* positivo che essa innesca (Mc Pherson *et al.*, 1998; Akbari, 2002; Brack 2002).

Un recente studio (Thompson *et al.*, 2004) ha confermato che, mediamente, ogni albero sequestra 0,68 kg/anno di carbonio atmosferico, 0,024 kg/anno di inquinanti quali ozono, diossidi di azoto e di zolfo e monossido di carbonio ed abbatta il particolato. Le conifere, a questo proposito, risultano particolarmente efficienti poiché, a causa della ridotta dimensione ed elevata persistenza delle foglie, presentano maggiore efficienza e velocità nel fissare gli inquinanti (Beckett *et al.*, 2000; Freer-Smith *et al.*, 2005). Allo scopo di massimizzare i benefici sopra citati e la sostenibilità delle città è necessario che gli elementi "verdi" siano diffusi omogeneamente all'interno del costruito e concorrano a creare una rete ecologica che li metta in comunicazione tra loro (Jim, 2004).

È necessario, però, sottolineare che l'ambiente urbano non è omogeneo, ma presenta diverse tipologie di microambienti più o meno favorevoli alla vita vegetale che possono essere così classificate (Boselli, 1989; Noè, 1996):

- *parchi urbani e luoghi di ricreazione*: questi ambienti non presentano microclimi sfavorevoli alla vita delle piante, seppure possano manifestare fenomeni di compattazione del suolo, erosione ed eutrofizzazione delle acque, specie se sottoposti ad elevata frequentazione (fig. 1);
- *quartieri residenziali densamente costruiti*: caratterizzati da riscaldamento dell'aria e presenza di inquinanti nel suolo e nell'acqua (fig. 2);

* francesco.ferrini@unifi.it



Fig. 1 - Parco urbano.
Fig. 1 - Urban park.



Fig. 2 - Zone residenziali e densamente costruite.
Fig. 2 - Residential and densely built area.

- *zone di traffico di autoveicoli*: caratterizzate da forte riscaldamento dell'aria, bassa umidità relativa, alta presenza di polveri e contaminanti, compattamento ed occlusione del suolo, possibile presenza di metalli pesanti (es. Pb, Cd, Zn), combustibili, lubrificanti e sali per eventi accidentali (fig. 3).

In generale, l'ambiente urbano si presenta estremamente diverso dall'ambiente naturale d'origine, in cui



Fig. 3 - Zone caratterizzate da alto traffico veicolare.
Fig. 3 - Streets with traffic and car congestions.

le specie vegetali si sono evolute ed adattate. Le principali differenze climatiche tra l'ambiente urbano e zone circostanti sono riassunte in tabella 1 e figura 4.

Numerose sono le problematiche legate alla scarsa qualità del suolo urbano (fig. 5), definito da Craul (1992) come "suolo non agricolo, con una superficie

Tab. 1 - Variazioni medie dei parametri climatici delle aree urbane rispetto alle zone circostanti (da Horbert *et al.*, 1982).
Tab. 1 - Mean variations in climatic parameters in urban than surrounding areas (from Horbert *et al.*, 1982).

Parametro climatico	Variazioni rispetto alle zone circostanti
Inquinamento aria	5-25 volte superiore
Radiazione solare	15-20 % in meno
Temperatura aria (media annua)	0,5-1,5 °C in più
Velocità vento (media annua)	10-20% in meno
Calme di vento	5-20 % in più
Umidità relativa (estate)	8-10 % in meno
Umidità relativa (inverno)	2 % in meno
Copertura nubi	5-10 % in meno
Nebbie invernali	100 % in più
Precipitazioni totali	5-10 % in più

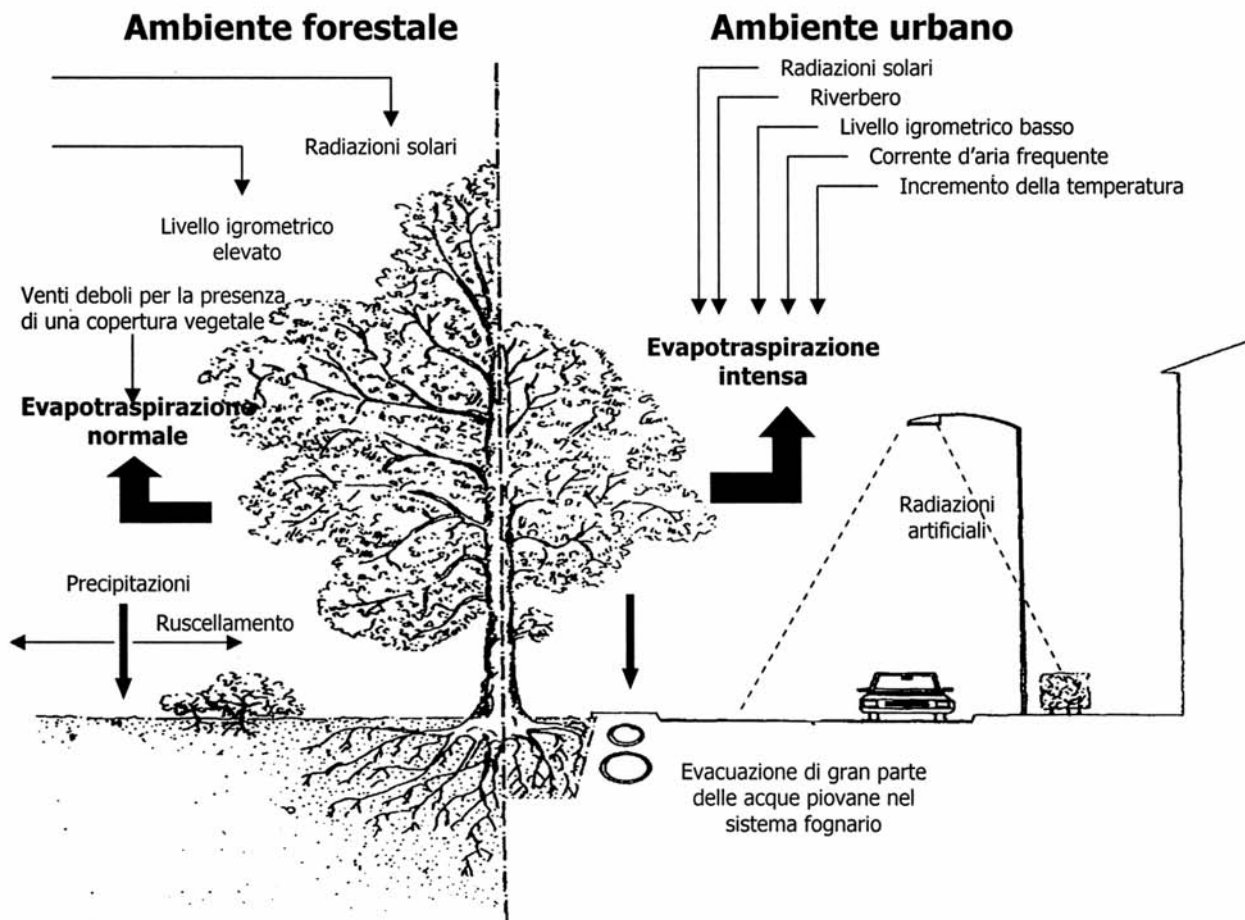


Fig. 4 - Influenza del microclima urbano sullo sviluppo degli alberi (modificato da Ballarin Denti e Rabotti, 1996).
 Fig. 4 - Influence of urban environment on tree growth (modified from Ballarin Denti and Rabotti, 1996).

arabile profonda più di 50 cm, prodotto dalla mescolanza e dal riporto di terreno, soggetto a processi di contaminazione specifici, situato in aree urbane e periurbane”. I suoli urbani sono, infatti, il risultato dell’attività antropica, dell’accumulo incontrollato di detriti, materiali di riporto e resti di scavi per i nuovi

insediamenti (Fig. 5) (Bretzel, 1998; Jim, 1998). Ne consegue una struttura ridotta o assente, anche a causa della carenza di sostanza organica, con conseguente formazione di crosta, ridotta aerazione e drenaggio, scarsa ritenzione idrica, pH alcalino e possibile presenza di ioni tossici o sostanze contaminanti (Karnosky, 1985; Couenberg, 1998).

Bisogna, inoltre, aggiungere che la maggior parte degli alberi presenti in zone assimilabili alle tipologie 2 e 3 prima descritte sono, generalmente, messi a dimora in buche d’impianto estremamente piccole in termini di superficie libera (< 4 m²), assediate da pavimentazioni in asfalto o cemento, incapaci di fornire sufficiente spazio per la crescita, anche conservativa, dell’albero (Grabosky *et al.*, 1998). Si genera così un “effetto vaso” per cui le radici, occupato tutto lo spazio a loro disposizione, tendono a risalire ed interagire col costruito (Duryea e Malavasi, 2003). L’ampliamento dell’area non pavimentata intorno al tronco delle piante esercita, d’altra parte, effetti positivi sulla crescita e sulla fisiologia, come evidenziato da recenti lavori su specie arboree di larga diffusione (Coder, 1996b; Trowbridge e Bassuk, 2004; Baietto e Ferrini, 2007).



Fig 5 - Il profilo di un tipico suolo urbano di riporto è caratterizzato dall’assenza di orizzonti.
 Fig 5 - Urban soil typical profile show the complete absence of horizons.

Sulla base di queste premesse, non è difficile immaginare come la percentuale di alberi morti durante il primo anno dall'impianto in ambiente urbano sia molto elevata e variabile dal 10% fino al 50% (Gilbertson e Bradshaw, 1990; Percival *et al.*, 2006) e che, anche per questo, la vita media degli alberi, in questo contesto, si attesti intorno ai 10-13 anni (Foster e Blaine, 1978; Dureya e Malavasi, 2003) (figg. 6 e 7).

Partendo da queste considerazioni introduttive, questa review si propone di valutare come le situazioni ambientali peculiari dell'ambiente urbano possano influenzare, spesso negativamente, i processi ecofisiologici della pianta e spiegare quali siano le cause ed i meccanismi che portano al fallimento di molti impianti nelle nostre città. Bisogna, infine, premettere che l'alta mortalità in ambiente urbano non deriva da un singolo fattore di stress, ma dalla combinazione di più fattori che agiscono sinergicamente sullo stato di salute della pianta. Esistono infatti fattori predisponenti (es. clima sfavorevole, inquinamento, caratteristiche chimico-fisiche del suolo inadeguate) che agiscono nel lungo periodo e alterano le difese naturali dell'albero; fattori scatenanti (es. siccità, danni da freddo) che nel breve termine riducono le riserve di carboidrati e causano, soprattutto su alberi già predisposti, seccumi e altre evidenti alterazioni; fattori complementari (es. insetti, funghi) che invadono opportunisticamente la pianta portandola, eventualmente, anche alla morte.

I benefici del verde urbano

Prima di affrontare in dettaglio gli effetti dell'ambiente urbano sulla fisiologia degli alberi ornamentali, si ritiene opportuno sottolineare come la componente "verde" eserciti, a sua volta, influenze sull'ambiente urbano e che queste possano innescare *feedback* positivi in grado di migliorarne l'abitabilità in termini climatici, ecologici e sociologici. Su questo argomento esiste un'ampissima bibliografia non facilmente riassumibile in poche righe, ma i principali risultati dei lavori condotti meritano comunque di essere menzionati.

Ruolo sanitario ed ecologico

Include la capacità intrinseca degli alberi di fissare polveri e gas tossici, di ridurre l'inquinamento acustico e di mitigare la temperatura. Il biossido di carbonio è il dominante tra i gas-serra: i boschi periurbani, i parchi cittadini e i giardini, fungendo da accumulatori di CO₂, giocano un ruolo fondamentale nel combattere i livelli crescenti di anidride carbonica atmosferica.



Fig. 6-7 - Se la modalità di impianto e le cure successive non sono adeguate, nel giro di pochi mesi si può assistere alla morte degli alberi. La foto 6 illustra l'impianto (primavera), la foto 7 mostra che, nell'estate successiva, molti alberi erano già morti.

Fig. 6-7 - Without adequate planting techniques and cares, trees can die within few months. Trees were planted in early spring and, in the following summer, many trees were already died.

A titolo indicativo, si può ritenere che un albero di dimensioni medie riesca ad assorbire, durante il proprio ciclo vitale, circa 2,5 tonnellate di CO₂ (Giordano, 1989). Inoltre, le foglie degli alberi, spe-

cialmente quelle con determinate caratteristiche, hanno la capacità di fungere da *sink* per il particolato sospeso, ovvero di catturare le particelle inquinanti che si depositano sulla superficie fogliare; tali particelle, poi, seguiranno due destini alternativi: in alcuni casi, verranno assorbite dalle cellule fogliari ed entreranno, a vario titolo, nel metabolismo dell'albero; in altri casi, e più semplicemente, vi si accumuleranno fino a quando le precipitazioni non le convoglieranno a terra. Alberi con chiome fitte e foglie pennate (es. frassino) oppure con foglie tomentose e rugose (es. olmo) sono particolarmente efficaci nello svolgere questa azione "sequestrante". Le piante sempreverdi meritano un discorso a parte: sono in grado di immobilizzare inquinanti anche durante l'inverno, la stagione in cui l'aria è, generalmente, maggiormente inquinata; tuttavia, la costante presenza di inquinanti e tossine sulle foglie persistenti può portare a prolungati e severi danni fisiologici.

Un'ulteriore azione miglioratrice della qualità dell'aria è generata dalla produzione di ossigeno. Sebbene la quantità di O₂ prodotta sia funzione della dimensione delle piante, mediamente un ettaro di alberi può produrre in un anno 6,2 t di O₂, ovvero la quantità respirata nello stesso periodo di tempo da 35 persone.

Oltre a questo, gli alberi sono in grado di attutire i rumori generati dalle varie attività antropiche, apportando un contributo non trascurabile anche alla salute acustica. Le piante, infine, esercitano un'imprescindibile influenza sul microclima: attraverso la traspirazione l'acqua liquida assorbita dalle radici fuoriesce dalle foglie sotto forma di vapore e, conseguentemente all'assorbimento di energia termica necessaria per il processo, determina un abbassamento della temperatura dell'aria (Abram, 2006).

Ruolo economico

I benefici economici sono di natura diretta e indiretta. I primi, direttamente collegati al miglioramento del microclima e del mesoclima, determinano una riduzione dei costi di condizionamento e riscaldamento, quest'ultima determinata dall'azione schermante delle abitazioni nei confronti del vento. Va inoltre menzionato come la presenza di aree verdi determini un sostanziale incremento di valore degli immobili. I benefici indiretti, che interessano intere comunità, si traducono nel risparmio di energia elettrica e combustibili fossili.

Non va sottovalutato l'effetto della copertura vegetale sul controllo degli eventi meteorici, soprattutto in relazione ad eccezionali eventi idrici.

Mantenimento della biodiversità

La diversità biologica o biodiversità è la sorgente da cui sgorga l'evoluzione e l'essenza stessa degli ecosistemi, dunque la sua salvaguardia e mantenimento devono essere alla base di qualsiasi forma di pianificazione del territorio. La progettazione oculata di giardini, arboreti, parchi urbani e periurbani risulta quindi imprescindibile per il mantenimento di sufficiente biodiversità non esclusivamente vegetale (si pensi per esempio alla fauna avicola) e per la salvaguardia di specie rare o in via d'estinzione.

Ruolo estetico-paesaggistico

Gli alberi possono divenire elementi distintivi di un paese, di una via o di una piazza, fino a determinarne il nome. Gli elementi arborei vanno considerati come veri e propri "elementi architettonici", indispensabili nel disegno della città: forniscono privacy, valorizzano panorami, nascondono visioni sgradevoli, mitigano la durezza degli edifici e ne valorizzano le linee architettoniche e, nelle aree del cosiddetto "territorio aperto", costituiscono veri e propri "landmarks del paesaggio".

Ruolo culturale e sociale

Fin dalla sua nascita, agli inizi del '900, il parco pubblico ha sempre costituito un luogo preferenziale di aggregazione e vita sociale. Arboreti, parchi urbani e periurbani dotati di supporti informativi recanti notizie botaniche e curiosità del passato e del presente rappresentano anche un importante elemento ludico ed educativo in cui anche i più piccoli possano sviluppare le proprie capacità cognitive e sensoriali nei confronti del mondo vegetale.

Influenza dell'ambiente urbano sulla fisiologia e la crescita degli alberi

Carenza di ossigeno ed ipossia del sistema radicale

Nel suolo l'ossigeno è presente in concentrazione minore rispetto a quella atmosferica e si attesta attorno al 16%; quando il contenuto di O₂ nel suolo scende al di sotto del 10% possono manifestarsi sintomi di stress da per la maggior parte delle specie arboree (Kozłowski e Davies, 1975). Le piante utilizzano l'energia rilasciata dalla respirazione delle radici per l'assorbimento di sostanze minerali, la sintesi di nuovo protoplasto ed il mantenimento dell'integrità del plasmalemma (Kozłowski, 1985). La carenza di ossigeno alle radici diminuisce la capacità di assorbimento di acqua, a causa della minore permeabilità delle radici e di una riduzione o arresto della crescita dell'apparato radicale (Kozłowski e Davies, 1975; Kozłowski, 1987); diminuisce l'assorbimento di

sostanze minerali, riduce, inoltre, la capacità delle radici di sintetizzare regolatori endogeni di crescita e composti azotati (Kozłowski, 1985). Il grave problema della scarsa aerazione del suolo è causato, principalmente, da alcune situazioni, facilmente riscontrabili in ambiente urbano:

- suoli compattati, in cui gli scambi gassosi suolo-atmosfera non sono sufficienti a rimpiazzare l'ossigeno consumato e a smaltire l'anidride carbonica prodotta con la respirazione (Kozłowski e Davies, 1975);
- suoli periodicamente saturi, in cui la concentrazione di ossigeno è scarsa o del tutto assente (Kozłowski e Davies, 1975);
- suoli ricoperti da pavimentazioni impermeabili come asfalto o cemento, che riducono drasticamente la diffusione dell'ossigeno atmosferico verso il suolo (Tusler *et al.*, 1998).

La compattazione del suolo, definita come "compressione di suoli non saturi", è la più grave limitazione per la sopravvivenza e la crescita di alberi in ambiente urbano (Pfeiffer *et al.*, 1987). È causata dalla risultante delle forze di taglio e compressione provocate dall'eccessivo traffico pedonale e veicolare e provoca un'alterazione della struttura del suolo, soprattutto nei primi 15-30 cm, mediante la riduzione della porosità e della macroporosità in particolare, essenziale per la circolazione dell'aria nel terreno (Hodge e Boswell, 1993). Tessitura e umidità del suolo possono essere considerati come fattori passivi più o meno predisponenti alla compattazione (Kelsey, 1998): questa è, infatti, favorita da alta umidità e tessiture fini, mentre suoli tendenzialmente sabbiosi o asciutti offrono maggiore resistenza alla compattazione. Bisogna, inoltre, aggiungere che una volta che il suolo è compattato, tale alterazione può essere considerata permanente ed il ripristino della struttura originaria è quasi impossibile (Randrup, 1998) e che gli effetti benefici dei cicli naturali di gelo e disgelo, idratazione e disseccamento sulla struttura sono stati, in passato, probabilmente sopravvalutati (Håkansson e Reeder, 1994).

Secondo Patterson *et al.* (1976) la densità (massa/unità di volume) può considerarsi il principale parametro per valutare le condizioni del suolo. Se la densità media di un suolo di tessitura franca è circa $1,3 \text{ g/cm}^3$, è stato rilevato da alcuni autori come a valori di circa $1,5 \text{ g/cm}^3$ la crescita radicale sia ridotta e a valori di circa $1,7 \text{ g/cm}^3$ sia completamente inibita (Ruark *et al.*, 1982). Ricerche condotte su *Ailanthus altissima* (Pan e Bassuk, 1985), *Acer saccharinum*, *Betula papyrifera*, *Gleditsia triacanthos*, *Liriodendron tulipifera* (Kozłowski, 1985),

Pseudotsuga menziesii (Youngberg, 1959), *Pinus halepensis* (Sena Gomes e Kozłowski, 1980a), *P. rigida*, *P. nigra* e *Picea abies* (Zisa *et al.*, 1980) hanno dimostrato che la compattazione del suolo influisce negativamente sulla crescita radicale e, conseguentemente, anche se in misura minore, sull'accrescimento della parte aerea. In passato si pensava che, come riporta Patterson (1976), la crescita radicale fosse limitata dalla compattazione a causa dell'impossibilità delle radici di attraversare pori di diametro minore rispetto a quello radicale. Studi più recenti (Veen, 1982; Clark *et al.*, 2003) hanno dimostrato che quando incontrano impedimenti meccanici, le radici subiscono modificazioni morfologiche quali l'aumento diametrico nella zona post-apicale, causato dal cambio di orientamento delle microfibrille di cellulosa nella parete cellulare e la produzione di numerose radici laterali di diametro ridotto, in grado di penetrare nei pori. Questa risposta morfologica sembra essere dettata da un aumento della biosintesi di etilene in risposta all'impedimento meccanico, mentre la pressione di turgore della cellula non sembra avere un ruolo determinante (Clark *et al.*, 2003).

In definitiva la compattazione del suolo inibisce la crescita del sistema radicale e della pianta intera non solo per l'impedimento meccanico alla penetrazione radicale ma, soprattutto, per una serie di modificazioni fisiologiche indotte sulle radici dalla scarsa permeabilità ai gas e dal ridotto contenuto di ossigeno tipici dei suoli compattati. In particolare, viene ridotto l'assorbimento minerale, anche a causa della ridotta mineralizzazione da parte dei microrganismi del suolo in condizioni di carenza di ossigeno, con conseguenze dirette sulla fotosintesi e gli scambi gassosi (Kozłowski, 1985). Tutto questo determina una riduzione dell'assimilazione del carbonio e della crescita ed una maggiore predisposizione per parassiti opportunistici, sebbene questi effetti possano non rendersi manifesti per svariati anni (Yingling *et al.*, 1979).

Così come la compattazione, anche il ristagno idrico (peraltro queste due caratteristiche sono direttamente correlate) porta a condizioni di anossia del suolo, ma, se nel primo caso la scomparsa dell'ossigeno è graduale, gli effetti del ristagno sono immediati (Kozłowski, 1985). Infatti, in suoli inondati a seguito della rapida scomparsa dell' O_2 si osservano il repentino calo del potenziale redox da $+300 \text{ mV}$, tipico di suoli ben drenati, fino a -300 mV e la rapida disgregazione della struttura del suolo e l'accumulo di ioni e composti tossici (metano, solfiti, ferro e manganese allo stato ridotto); inoltre, i microrganismi aerobi, tra cui le micorrize, sono prontamente rimpiazzati da quelli anaerobi. Il ristagno può essere causato dal ridotto drenaggio, per

esempio in suoli compattati o caratterizzati da crosta superficiale, oppure dalla presenza di strati impermeabili sottosuperficiali che impediscono la percolazione profonda e causano la risalita nella buca d'impianto delle acque in eccesso, dando luogo al cosiddetto "effetto bicchiere" (fig. 8). Il ristagno idrico causa una rapida diminuzione della fotosintesi, apprezzabile già dopo poche ore dal suo inizio (Sena Gomez e Kozlowski, 1980b; Beckman *et al.*, 1992). Nel breve periodo, questa diminuzione è spiegata dalla rapida chiusura degli stomi (Larson *et al.*, 1989). Tale chiusura è, secondo alcuni autori, connessa con un calo della conduttività idraulica delle radici (Davies e Flore, 1986), mentre altri hanno rilevato come non vi sia alcuna riduzione del potenziale idrico fogliare a seguito del ristagno e collegano la chiusura degli stomi a meccanismi ormonali, particolarmente ad un aumento della concentrazione fogliare di ABA (Zhang *et al.*, 1987; Else *et al.*, 1996). Un più recente studio (Johnson *et al.*, 2001) su cinque specie arboree ha concluso che entrambe le variabili sono connesse al meccanismo di chiusura degli stomi, in quanto la diminuzione della conduttività idraulica e dell'idratazione della foglia aumenterebbe la sensibilità stomatica all'acido abscissico.

Ristagni idrici di più lunga durata non solo limitano la conduttanza stomatica, ma causano limitazioni non stomatiche, come la diminuzione dell'efficienza degli enzimi per la carbossilazione, la perdita di clorofilla e la diminuzione del punto di saturazione luminoso dei fotosistemi, che divengono sempre più limitanti col passare del tempo (Beckman *et al.*, 1992). La presenza di ristagno idrico comporta anche importanti effetti sul metabolismo energetico delle piante. Viene bloccata la fosforilazione ossidativa, con conseguente diminuzione della concentrazione di ATP e del rapporto ATP/ADP, inoltre vengono alterati i rapporti



Fig. 8 - Un esempio di "effetto bicchiere".
Fig. 8 - The planting hole can hold water like a bucket.

source-sink e la redistribuzione ed utilizzo dei fotosintetati all'interno della pianta (Kozlowski, 1997).

L'assorbimento della maggior parte dei macro- e microelementi viene limitato in presenza di ristagno idrico (Kozlowski, 1997). L'azoto, in particolare, è soggetto a denitrificazione e perso come N_2 nell'atmosfera. L'assorbimento attivo del potassio e quello di fosforo, calcio e magnesio si arrestano completamente appena l'azoto elementare ha sostituito tutto l' O_2 nella zona radicale. Lo ione K^+ è inoltre soggetto a fenomeni di lisciviazione quando il contenuto di O_2 in soluzione scende sotto l'1%. Fe^{3+} e Mn^{3+} vengono ridotti a Fe^{2+} e Mn^{2+} , maggiormente solubili. Tuttavia, la loro concentrazione nella pianta diminuisce a causa della diminuzione del gradiente di potenziale suolo-radice. A livello ormonale si assiste ad un incremento della produzione di ABA ed etilene, con conseguente filloptosi anticipata.

Le turbe fisiologiche fin qui descritte riducono in maniera consistente l'accrescimento dei germogli e delle radici, soggette a fenomeni di marcescenza con gravi conseguenze sulla stabilità futura dell'albero, predispongono ad attacchi di patogeni fungini (es. *Phytophthora* spp.), diminuiscono la vita delle foglie sulla chioma e rallentano o inibiscono la produzione e l'espansione della lamina delle nuove foglie. L'attività cambiale e la crescita diametrica risultano ridotte nelle specie intolleranti, mentre esistono alcune evidenze di incrementi diametrici maggiori rispetto al controllo per alcune specie tolleranti sottoposte a ristagno idrico (Kozlowski, 1997). La tolleranza al ristagno idrico (tab. 2) si basa sulla capacità di mettere in atto meccanismi di adattamento morfologici, anatomici e fisiologici, tra cui la produzione di radici avventizie, lenticelle e aerenchimi ed il controllo del metabolismo energetico (Crawford 1993). In generale, comunque, le latifoglie sono più tolleranti rispetto alle conifere.

Alte temperature del suolo

Asfalto e cemento sono superfici che presentano albedo elevato ed alta conduttività termica. Questo significa che in presenza di irraggiamento solare tendono a scaldarsi molto, a scaldare il suolo sottostante e re-irraggiare il calore verso l'atmosfera. L'uso massiccio di questi materiali nelle città fa sì che vengano a determinarsi delle vere e proprie "isole di calore" nei centri urbani con incrementi della temperatura dell'aria e del suolo. L'incremento della temperatura dell'aria ha riflessi a livello degli scambi gassosi fogliari, come sarà trattato in seguito. A livello del suolo, le temperature massime e medie dei primi 50 cm misurate in una strada del centro cittadino risultano superiori di circa 3 e 2 °C rispettivamente, a confronto con

Tab. 2 - Tolleranza alla sommersione di alcune specie legnose di interesse ornamentale (Rielaborata da Bernatzky 1978, Kozłowski *et al.* 1991, Coder 1997, Bassuk *et al.*, 1998).

Tab. 2 - *Flooding tolerance of shade trees (modified from Bernatzky 1978; Kozłowski et al. 1991, Coder 1997; Bassuk et al., 1998).*

Specie	
Tolleranti	Intolleranti
<i>Acer saccharinum</i>	<i>Fagus yelvetica</i>
<i>Acer negundo</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>
<i>Platanus x acerifolia</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>
<i>Platanus occidentalis</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Quercus petraea</i>	<i>Acer platanoides</i>
<i>Quercus palustris</i>	<i>Acer saccharum</i>
<i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Quercus robur</i>
<i>Populus spp.</i>	<i>Larix decidua</i>
<i>Salix spp.</i>	<i>Cedrus deodara</i>
<i>Alnus spp.</i>	<i>Cedrus atlantica</i>
<i>Prunus padus</i>	<i>Ilex aquifolium</i>
<i>Acer rubrum</i>	<i>Betula papyrifera</i>
<i>Morus alba</i>	<i>Cornus florida</i>
<i>Taxodium distichum</i>	<i>Crataegus spp.</i>
<i>Tilia cordata</i>	<i>Magnolia xoulangeana</i>
<i>Diospyrus spp.</i>	<i>Quercus rubra</i>
<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
	<i>Picea abies</i>
	<i>Picea pungens</i>
	<i>Thuja occidentalis</i>
	<i>Juglans nigra</i>

quelle misurate in una strada di periferia e fino a 7-8 °C superiori rispetto a quelle misurate in un'area boscata (Graves e Dana, 1987). Tali incrementi termici si traducono nella riduzione della crescita e della fotosintesi, nella comparsa di sintomi visibili come necrosi fogliari e contribuiscono all'alta mortalità degli alberi in ambiente urbano. Bisogna sottolineare come molte volte le cause di tali fallimenti vengano ricercate esclusivamente a livello di chioma; in questo paragrafo, invece, si è cercato di riassumere gli effetti delle alte temperature del suolo sulla crescita e fisiologia dell'apparato radicale.

L'aumento della temperatura del suolo incrementa la respirazione e l'assorbimento minerale da parte delle radici (BassiriRad, 2000). Bisogna però sottolineare come, quando la temperatura sale al di sopra di quella ottimale per la crescita delle radici, queste rallentano il loro accrescimento. Uno studio su *Ailanthus altissima* (Graves, 1998) ha messo in luce che con temperature del suolo superiori a 35 °C per alcuni giorni si sono riscontrati effetti rilevanti quali riduzione della biomassa radicale, della conduttività idraulica e del LAI (*Leaf Area Index*), prematura senescenza delle foglie, clorosi fogliare, carenza di ferro e manganese e perdita di turgore. Secondo alcuni autori 35 °C sono la soglia oltre la quale alcuni processi fisiolo-

gici essenziali per la pianta vengono rallentati o inibiti, soprattutto se allo stress termico se ne sommano altri, come per esempio siccità (Coder, 1996; Graves, 1998). La riduzione di biomassa radicale è spiegata dalla riduzione dell'accrescimento medio delle radici esposte a temperature sovra-ottimali e dal contemporaneo aumento della mortalità delle radici all'aumentare della temperatura (Pregitzer *et al.*, 2000). L'aumento di mortalità interessa per prime le radici assorbenti, più sottili, determinando una rapida diminuzione dell'assorbimento di acqua e sostanze minerali.

Coder (1996a) ha riassunto le 10 fasi che determinano lo stress da calore nelle piante:

- calo della fotosintesi;
- aumento della respirazione;
- chiusura degli stomi, arresto dei processi assimilatori della CO₂ ed aumento della fotorespirazione;
- calo della traspirazione, con conseguente aumento della temperatura interna delle foglie;
- denaturazione della membrana cellulare;
- continua perdita di acqua;
- inibizione della crescita;
- rapido utilizzo delle riserve, generalmente in modo poco efficiente e perdita del potere *sink* da parte di alcuni organi;
- accumulo di tossine;
- perdita dell'integrità di membrana e denaturazione delle proteine.

Uno studio recente (Montague e Kjelgren, 2004) ha evidenziato come la pacciamatura e l'inerbimento siano due tecniche di gestione del suolo capaci di ridurre o prevenire i danni da calore. Gli autori hanno confrontato pavimentazioni in asfalto e cemento con materiali inerti (ghiaia), pacciamanti organici (corteccia di pino) e inerbimento. La ricerca ha rivelato che asfalto e cemento hanno il massimo albedo e conduttività termica, ovvero tendono ad accumulare calore, scaldarsi e trasmetterlo per conduzione agli strati sottostanti del suolo e per irraggiamento all'aria. Ne deriva che le radici coperte da pavimentazioni non permeabili saranno quelle che maggiormente risentiranno dell'eccessivo calore dell'ambiente di crescita. La corteccia di pino accumula anch'essa molto calore, ma la bassa conduttività fa sì che questo non venga trasmesso al suolo ma re-irraggiato nell'atmosfera come radiazione a lunghezza d'onda lunga. Ne consegue che, seppur la chioma risente di un limitato aumento termico, le radici trovano comunque un ambiente più adatto alla loro crescita. L'inerbimento si è dimostrato estremamente efficace nella regolazione termica a causa del flusso traspirazionale e del limitato reirraggiamento di calore.

Bisogna però sottolineare come le essenze erbacee possano limitare la crescita degli esemplari arborei mediante competizione per acqua e nutrienti (Hodge e Boswell, 1993), per cui potrebbe essere saggio, anche in virtù dei minori costi di manutenzione, l'utilizzo di specie arbustive tappezzanti meno competitive o di materiali pacciamanti. A tale proposito, sono in corso alcune sperimentazioni che sembrano confermare come l'inerbimento possa ridurre gli scambi gassosi fogliari rispetto ad altre tecniche colturali quali la lavorazione e la pacciamatura. Questo effetto è particolarmente evidente su specie meno competitive, come il carpino bianco (*Carpinus betulus* L.), mentre altre estremamente rustiche, come l'acero campestre (*Acer campestre* L.), non manifestano riduzioni di accrescimento dei germogli e della fotosintesi netta a causa della competizione con le piante erbacee.

Stress idrico

Come è noto, lo stress idrico è una delle maggiori cause di mortalità degli alberi in ambiente urbano. Come già anticipato nel paragrafo precedente, le "isole di calore" urbane causano un aumento della temperatura media dell'aria e il calo dell'umidità relativa, concorrono ad aumentare il deficit di vapore acqueo (VPD = *Vapour Pressure Deficit*) e, in definitiva, la traspirazione (Kjelgren e Clark, 1993a; Kjelgren e Montagne, 1998; Cregg e Dix, 2001). Il ristretto volume a disposizione delle radici (fig. 9) e la copertura di vaste superfici di suolo con pavimentazioni impermeabili aumenta il deflusso superficiale ed impedisce l'infiltrazione dell'acqua nella zona interessata dalle radici (Whitlow *et al.*, 1992). A questo proposito, uno studio su frassino americano (*Fraxinus pennsylvanica* 'Marshall Seedless') ha confrontato lo status idrico di piante in un campus universitario con altre allevate in buche d'impianto di area 5,1 m² e 1,8 m², circondate da asfalto. Come era prevedibile, i frassini cresciuti nel campus hanno mostrato le migliori performances, ma anche quelli allevati nelle buche grandi (5,1 m²) hanno avuto un maggior accrescimento rispetto a quelli in buca piccola, a causa del maggiore potenziale idrico *pre-dawn* e fotosintesi netta.

Da ciò si evince che gli effetti negativi esercitati dall'isola di calore urbana possono essere almeno parzialmente mitigati con un corretto dimensionamento della buca d'impianto (Cregg 1995). Infatti, oltre all'elevata traspirazione causata da alto VPD, è la ridotta disponibilità idrica nella zona radicale che conduce frequentemente all'instaurarsi di stati di carenza idrica nelle piante in ambiente urbano (Close *et al.*, 1996). Inizialmente, lo stress idrico determina una tensione elastica che causa una temporanea riduzione



Fig. 9 - Insufficiente dimensionamento della buca d'impianto
Fig. 9 - Planting pit size was clearly too small

della fotosintesi e degli scambi gassosi, un abbassamento della quantità di carboidrati prodotti e della quantità di amido di riserva nelle radici e nella parte legnosa della chioma, valori che possono tornare alla normalità se nel corso della stagione la siccità si riduce (Rajendrudu e Naidu, 1997-1998).

Qualora, invece, lo stress idrico sia prolungato o estremamente severo viene ad instaurarsi una tensione plastica che determina alterazioni permanenti e non reversibili, quali disidratazione delle cellule, calo dell'attività enzimatica, alterazione della concentrazione di zuccheri e amminoacidi e di tutti i cicli biologici, con conseguente riduzione della vigoria, delle difese naturali della pianta (Leininger, 1998) e maggiore suscettibilità ad attacchi di insetti (Cregg e Dix, 2001) e di patogeni secondari; si verifica inoltre senescenza precoce delle foglie e minor produzione di fiori (Fernandez *et al.*, 2002).

Secondo Améglio *et al.* (1999) il potenziale idrico fogliare *pre-dawn* (Ψ) può essere considerato un buon indicatore dello stato idrico della pianta poiché in assenza di traspirazione non vi è alcun gradiente di potenziale interno alla pianta, quindi Ψ coincide con il potenziale idrico delle radici. Come è noto, nel corso della giornata, il potenziale idrico fogliare diviene sempre più negativo fino ad un minimo (Ψ_{\min}), che generalmente si verifica tra le 12.00 e le 14.00, in risposta all'aumento del VPD, per poi

aumentare nuovamente verso sera. Al contrario è stato osservato che, in presenza di stress idrico severo, Ψ diviene sempre più negativo, sintomo che nemmeno nelle ore più fresche serali e notturne la pianta è in grado di reidratarsi e ripristinare il potenziale idrico *pre-dawn* (Tinus, 1996). Tuttavia, in ambiente urbano, ove la variabilità dello stato di idratazione del suolo è molto elevata, oltre al potenziale idrico *pre-dawn* è raccomandabile utilizzare alcuni indicatori complementari, come il potenziale idrico minimo (Ψ_{\min}), misurato a mezzogiorno, ed il flusso xilematico e traspirazionale (Améglia *et al.*, 1999). Queste variabili sono estremamente correlate tra loro (Stöhr e Lösh, 2004): alberi stressati presentano minor conduttanza stomatica, minor flusso xilematico e potenziale idrico più negativo rispetto ad altri non stressati. In alberi fortemente stressati dalla siccità, il flusso xilematico può aumentare da 2 a 5 volte nel giro di pochi minuti in risposta ad interventi irrigui che ripristinino il contenuto idrico del suolo (Čermák *et al.*, 1993).

L'insorgenza dello stress idrico è un problema estremamente grave soprattutto nei 2-3 anni successivi al trapianto. In queste condizioni l'albero si viene a trovare con un rapporto chioma/radici squilibrato in favore della parte aerea, soprattutto se non sono stati effettuati interventi di zollatura e potatura delle radici pre-trapianto. Ne consegue che la domanda di acqua per la traspirazione eccede la capacità assorbente delle radici, determinando l'instaurarsi del deficit idrico. La taglia della pianta influenza le possibilità di stress idrico post-trapianto: in uno studio su acero rosso (*Acer rubrum* 'October Glory'), piante con diametro 7,6 cm hanno mostrato, rispetto a piante più piccole (diametro 3,8 cm), maggior incidenza di disseccamenti della chioma, insieme ad una riduzione della crescita dei germogli, dell'accrescimento secondario, della fotosintesi netta, della conduttanza stomatica, insieme a Ψ più negativi (Lauderdale *et al.*, 1995).

Le piante possono adattarsi alla siccità mediante modificazioni morfologiche e fisiologiche a livello fogliare e radicale, che consentano di mantenere un sufficiente livello di fotosintesi netta anche a potenziali idrici molto negativi. La capacità di espandere in profondità l'apparato radicale è indubbiamente vantaggiosa, ma non sempre possibile in ambiente urbano a causa dell'interazione con infrastrutture e costruito. A livello della chioma, la pubescenza, l'incremento di spessore della foglia, della cuticola e delle cere epicutcolari e la riduzione dell'area fogliare media sono i principali adattamenti morfologici alla siccità. Il confronto e la selezione di specie e varietà/cultivar resistenti alla siccità, fatta per frassino (*Fraxinus* spp.) (Percival *et al.*, 2006), quercia (*Quercus* spp.)

(Drunasky e Struve, 2005) ed eucalipto (*Eucalyptus globosus*) (Costa *et al.*, 2004), è uno strumento utile per ridurre la mortalità ed incrementare il vigore degli alberi in ambiente urbano (Balok e St. Hilaire, 2002).

Un'ulteriore strada da percorrere è l'acclimatazione delle piante in vivaio mediante stress idrici controllati in vivaio. Questa pratica, testata su leccio (*Quercus ilex*) da Villar-Salvador *et al.* (2004), ha incrementato la resistenza alla siccità mediante modificazioni fisiologiche, come l'aggiustamento del tono osmotico, mentre non sono state osservate rilevanti modificazioni morfologiche. L'accumulo di soluti organici e inorganici che aiutino a mantenere il turgore e prevenire la disidratazione cellulare mediante abbassamento del potenziale osmotico è stato riscontrato in diverse specie di acero (Zwack *et al.*, 1998). In casi estremi, l'acqua intracellulare può contenere dosi di soluti tanto elevate da far arrivare il potenziale osmotico a -5MPa (Mattii *et al.*, 2005).

Nutrienti

Le condizioni trofiche dei suoli urbani sono estremamente variabili. Il fosforo è generalmente presente, ma spesso non disponibile a causa di fenomeni di insolubilizzazione. Il potassio è presente in quantità soddisfacente (>80 ppm) e difficilmente si manifestano sintomi di carenza. L'azoto è invece l'elemento che più frequentemente limita la crescita in ambiente urbano. È presente in quantità variabili da 0 a 2.000 ppm, mediamente 500 ppm, cioè circa un quinto di quello disponibile in suoli agricoli; inoltre, periodi anche brevi di sommersione possono ridurre ulteriormente la quantità di N presente a seguito di denitrificazione. Anche in presenza di sostanza organica l'azoto può essere carente quando essa ha un rapporto C/N elevato (>30), poiché per la sua decomposizione i microrganismi richiedono più azoto di quanto ne viene rilasciato conseguentemente alla loro attività di mineralizzazione (fig. 10).

Nonostante queste considerazioni, la fertilizzazione in ambiente urbano è una pratica che suscita dubbi e perplessità sulla sua reale efficacia. Secondo alcuni autori l'applicazione di fertilizzanti spesso non incrementa la crescita post-trapianto di molte specie ornamentali, mentre di maggior importanza è la corretta concimazione in vivaio, che permette alla pianta di sviluppare un buon apparato radicale e accumulare riserve utili per l'attecchimento e la crescita in condizioni ambientali limitanti quali quelle post-trapianto (Withcomb, 1979; Gilman *et al.*, 2000). Altre evidenze sperimentali, tuttavia, suggeriscono che la concimazione azotata all'impianto influenza positivamente la crescita nel primo anno (Rao *et al.*, 2003; Smith, 2003).



Fig. 10 - La carenza di azoto può verificarsi anche in presenza di sostanza organica, quando questa ha elevato rapporto C/N
 Fig 10 - Lack of nitrogen can happen even when soil is rich in organic matter, but this has high C/N ratio.

Tali divergenze possono essere spiegate considerando tre fattori. Primo, specie diverse possono reagire in modo diverso alla concimazione. Secondo, il periodo in cui essa è effettuata comporta effetti diversi sulla pianta. Per esempio è noto che fertilizzazioni azotate in autunno possono ritardare la lignificazione dei germogli, la caduta delle foglie e diminuire la resistenza al gelo. Il periodo ottimale per la concimazione, secondo la maggior parte degli autori, è alla schiusura delle gemme in primavera, poiché è in questo periodo che si verifica il massimo assorbimento dei nutrienti. Terzo, il micro-ambiente in cui gli alberi sono messi a dimora può influenzare la risposta alla concimazione. Per esempio, Ferrini *et al.* (2005) hanno osservato che la crescita dei germogli, l'area fogliare, il contenuto di clorofilla e gli scambi gassosi fogliari di esemplari di farnia (*Quercus robur*) situati in un parco urbano risultano maggiori negli esemplari concimati. In aree fortemente urbanizzate, invece, tali benefici derivanti dalla concimazione non sono apparsi evidenti (Ferrini e Baietto, 2006).

Irraggiamento

La luce solare giunge in modo estremamente eterogeneo e variabile sulle piante presenti in ambiente urbano. Esistono infatti zone, dette in letteratura *urban plazas*, sostanzialmente prive di ostacoli, che sono colpite direttamente dalla luce solare per gran parte della giornata; altre, dette *urban canyons*, dove l'azione schermante degli edifici, legata alla loro altezza e alla loro distanza, può ridurre fino al 90% la radiazione diretta per ore o per giorni interi.

La riduzione dell'intensità luminosa induce una serie di modificazioni morfologiche e fisiologiche a

livello fogliare e di pianta intera. Tra le modificazioni morfologiche si ricordano la diminuzione dello spessore della lamina fogliare, del mesofillo, del numero di stomi per unità di superficie e l'incremento dell'area fogliare media; inoltre viene modificata la ripartizione dei fotosintetati a favore della parte aerea ed a scapito di quella radicale. Tra le modificazioni fisiologiche si ricorda, in risposta a ombreggiamento crescente, la diminuzione dei punti di saturazione e compensazione luminosi e l'abilità di sfruttare efficacemente i *sunflecks*, ovvero la capacità di rapida apertura e chiusura degli stomi in risposta allo stimolo luminoso.

L'adattamento all'ombreggiamento è determinato da fattori ambientali e da una componente genetica. Specie geneticamente non adatte a vivere in condizioni ombreggiate, come per esempio *Liquidambar styraciflua*, se impiantate in un *urban canyon* saranno soggette a stress cronico a causa della scarsa intensità luminosa, con conseguente diminuzione dell'attività fotosintetica, riduzione dell'accrescimento, disseccamento degli apici e predisposizione ad attacchi secondari (Kjelgren e Clark, 1992). Va comunque ricordato come la riduzione dell'irraggiamento determini una sostanziale riduzione della domanda di acqua per l'evapotraspirazione (Kjelgren e Clark, 1993b). Con una corretta pianificazione e selezione di specie idonee a vivere in ambienti ombreggiati la ridotta intensità luminosa può essere sfruttata per ridurre l'incidenza di stress idrico in alberature stradali e altre zone assimilabili ai canyon urbani.

Le *urban plazas*, al contrario, sono caratterizzate dall'assenza di ostacoli di grande sviluppo verticale e dal conseguente irraggiamento continuo della pianta che va a determinare un surriscaldamento dei tessuti corticali, specialmente nelle vicinanze del colletto, e fogliari. Ciò può causare bruciate e scottature alle foglie e alla corteccia, con formazione di lesioni necrotiche estese, generalmente di difficile cicatrizzazione, ed interruzione del flusso linfatico nell'area danneggiata, seccume di parte della chioma e predisposizione ad attacchi di patogeni secondari (fig. 11). Tale danno è particolarmente frequente per piante trapiantate da vivai in cui esse sono coltivate con sesti d'impianto molto fitti, che determinano un mutuo ombreggiamento (Tattar, 1982).

Sostanze tossiche nel suolo e nell'aria

Alcuni problemi riscontrabili in aree urbane possono derivare dalla presenza nel suolo di sostanze tossiche e metalli pesanti, generalmente attribuibili all'attività antropica. I metalli pesanti sono frequentemente presenti in zone industriali o in vicinanza di



Fig. 11 - Giovane tiglio danneggiato da eccessivo irraggiamento.
Fig. 11 - A young linden tree damaged by excessive radiation.

cave o miniere, ma anche in zone limitrofe al margine stradale si possono riscontrare, come conseguenza del traffico veicolare, quantità fino a 400 mg/kg di piombo e 90 mg/kg di zinco, oltre a nichel, mercurio, rame, cadmio e cromo. I metalli pesanti sono presenti entro i reticoli minerali, oppure adsorbiti sui colloidali come ioni idrati scambiabili; la loro concentrazione in soluzione generalmente è molto bassa (1-2% del totale), anche se può aumentare attraverso la complessazione con determinati acidi organici (acidi fulvici e acidi a basso peso molecolare), per l'abbassamento del pH del terreno dovuto alle piogge acide e in ambiente asfittico. I metalli pesanti non provocano, almeno alle concentrazioni comunemente riscontrate nelle strade di lunga percorrenza, effetti fitotossici diretti. Il pericolo maggiore è il loro accumulo nelle piante, che può produrre danni strutturali o inibire attività enzimatiche, con conseguente alterazione del metabolismo è possibile inserire una citazione.

Un ulteriore problema è causato dagli effetti che le piogge acide comportano a livello del suolo abbassando il pH e consentendo la solubilizzazione di notevoli quantità di alluminio (a pH <5). Oltre una certa

soglia, Al^{3+} diventa tossico per le piante in quanto inibisce l'assimilazione di elementi nutritivi quali P, Ca, Mg, K, Zn, Cu e Mn e impedisce una normale divisione delle cellule radicali. L'acidificazione agisce negativamente sulla fertilità del suolo anche riducendo l'attività microbica. Infine, problemi di anaerobiosi possono essere causati da metano, specialmente in piantagioni effettuate per il recupero di discariche, ove, a causa della degradazione delle sostanze presenti, il CH_4 sostituisce l'ossigeno nei macropori.

La piante in ambiente urbano sono costantemente sottoposte a concentrazioni variabili di inquinanti fitotossici dell'aria (IFA) dei quali il traffico veicolare rappresenta la principale fonte. L'entità dei danni provocati dagli IFA, varia in base alla concentrazione dell'inquinante, alla durata dell'esposizione, alla specie ed in alcuni casi anche alla cultivar.

Generalmente le alberature che sono poste lungo i margini stradali sono sottoposte ad una concentrazione di inquinanti puntuale (localizzata) e non tale da provocare danni acuti, ma la loro persistenza può ripercuotersi sulla vegetazione, con effetti a lungo termine di tipo cronico.

Una volta a contatto con la pianta i gas (SO_2 , NO_x , O_3) possono essere adsorbiti o disciolti sulle superfici esterne o assorbiti attraverso gli stomi. La prolungata esposizione a livelli, anche bassi, di queste sostanze influisce sull'aspetto degli alberi, causando riduzioni della superficie fogliare e della crescita, insieme alla compromissione delle funzioni riproduttive. I principali inquinanti a livello atmosferico sono elencati in seguito.

- *Biossido di zolfo (SO_2)*: causa allessamenti inter-nervali e scomparsa della clorofilla dal mesofillo (danno acuto). Se l'esposizione è prolungata si verificano modificazioni cromatiche della foglia e filloptosi anticipata (danno cronico).
- *Ossidi di azoto (NO e NO_2)*: hanno un'azione fitotossica diretta, ma soprattutto sono i precursori per la formazione di inquinanti secondari, come l'ozono. La sintomatologia acuta è difficilmente riscontrabile, mentre i danni cronici sono clorosi e riduzione della crescita.
- *Ozono (O_3)*: inizialmente causa la formazione di aree allessate dall'aspetto ceroso o oleoso su entrambe le pagine fogliari; le zone colpite vanno poi incontro a necrosi e divengono bruno-nerastre.
- *Polveri*: generalmente non causano danni di tipo acuto. Nel lungo periodo, però, formano depositi sulle foglie più o meno compatti che riducono l'area utile per la captazione dell'energia luminosa e che possono ostruire gli stomi, limitando gli scambi gassosi (danno cronico).

Conclusioni

Il problema della gestione delle aree verdi urbane deve essere inquadrato nella prospettiva di combinare risultati soddisfacenti sotto il profilo tecnico ed economico, nel rispetto delle attività umane e dell'ambiente. L'ambiente urbano differisce notevolmente da quello agricolo o naturale, di conseguenza risulta non sempre possibile trasferirvi le conoscenze acquisite dalla ricerca scientifica in ambito, per esempio, frutticolo o forestale. D'altra parte, le conoscenze per costruire impianti urbani gestibili con moderne tecniche colturali, che consentano un'elevata crescita delle piante e un'efficiente difesa sanitaria, sono piuttosto carenti e, per alcuni aspetti, addirittura mancanti. È inoltre doveroso sottolineare come dall'esame della letteratura emergano alcune incoerenze nei risultati, che a volte appaiono contraddittori, probabilmente a causa della disomogeneità dell'ambiente urbano. Sono molte, infatti, le pressioni che questo esercita sulla forme di vita vegetali, pressioni che si traducono generalmente in stress fisiologici, nell'abbattimento degli scambi gassosi ed in turbe metaboliche che condizionano negativamente l'accrescimento e la sopravvivenza delle essenze vegetali.

La riduzione di tali stress può sicuramente essere conseguita applicando su larga scala alcuni criteri agronomici conclamati dalla letteratura scientifica, ma spesso ignorati per ragioni di costo, quali per esempio il corretto dimensionamento della buca d'impianto, l'utilizzo di tappezzanti per ridurre la compattazione del suolo e l'irrigazione, almeno nei due o tre anni successivi alla messa a dimora. Va sottolineato che il costo di questi semplici accorgimenti è di gran lunga inferiore al costo di sostituzione degli alberi morti per la mancata applicazione, nella pratica, di conoscenze note.

Di grande importanza è anche l'ampliamento delle conoscenze riguardanti la selezione di specie sito-specifiche, adatte cioè a vivere nei diversi microclimi riscontrabili in ambiente urbano. A questo proposito sembra imprescindibile la creazione di campi sperimentali per testare e confrontare il comportamento delle diverse specie vegetali e la loro adattabilità alle differenti situazioni urbane. La sperimentazione di tecnologie innovative, capaci di migliorare la resistenza agli stress e l'assorbimento dei nutrienti, quali per esempio inoculi micorrizici specificamente selezionati, sembra un'ulteriore via per incrementare il vigore, lo stato di salute e la vita media degli impianti urbani.

Riassunto

I benefici ecologici, culturali, economici e sociali del verde urbano stanno riaffermandosi negli ultimi anni. L'ambiente urbano è profondamente diverso rispetto a quello naturale, in cui le piante si sono evolute ed adattate e ciò causa una diminuzione del vigore e della durata della vita media degli alberi. Una miglior comprensione dei processi fisiologici che avvengono nelle piante e di come l'ambiente urbano possa influire su di essi è un requisito chiave per incrementare il successo degli impianti in città. In questa review verranno trattati i principali fattori che limitano la crescita degli alberi in ambiente urbano ed i loro riflessi sulla fisiologia vegetale. Tra questi, la compattazione del suolo ed il ristagno idrico, l'eccessiva temperatura del suolo e dell'aria, la siccità, l'eccessivo irraggiamento, la scarsità di nutrienti (azoto), e la presenza di sostanze inquinanti nel suolo e nell'aria.

Parole chiave: arboricoltura urbana, compattazione, stress idrico, temperatura, fotosintesi.

Bibliografia

- ABRAM P., 2006. *Verde pensile in Italia e in Europa*. Il Verde Editoriale, Milano
- AMÉGLIO T., ARCHER P., COHEN M., VALANCOGNE C., DAUDET F.A., DAYAU S., CRUIZIAT P., 1999. *Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation*. Plant and Soil, 207: 155-167.
- BAIETTO M., FERRINI F., 2007. *Effect of compost addition to planting pit and of open soil surface size on Norway maple (Acer platanoides L.) leaf parameters and physiology*. Arb. Urb. For.
- BALLARIN DENTI A., RABOTTI G., 1996. *Agenti inquinanti quali fattori di stress nelle piante*. Acer 2: a12-a17.
- BALOK C.A., ST. HILAIRE R., 2002. *Drought responses among seven southwestern landscape tree taxa*. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 127(2): 211-218.
- BASSIRIRAD H., 2000. *Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change*. New Phytologist, 147: 155-169.
- BASSUK N.L., MARRANCA M., NEAL B., 1998. *Urban Trees: Site assessment selection for stress tolerance planting*. UHI, Cornell University, Ithaca-NY.
- BECKETT K.P., FREER-SMITH P.H., TAYLOR G., 2000. *Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and wind-speed*. Global Change Biology, 6: 995-1003.
- BECKMAN C., PERRY R.L., FLORE J.A., 1992. *Short-term flooding affect gas-exchange characteristics of containerized sour cherry trees*. HortScience, 27: 1297-1301.
- BERNATZKY A., 1978. *Tree ecology and preservation*. Elsevier Scient. Pub., Amsterdam.
- BOSELLI M., 1989. *Ecosistemi urbani ed adattabilità delle specie vegetali*. Acer, 6: 15-19.
- BRACK C.L., 2002. *Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest*. Environmental Pollution, 116: 195-200.
- BRETZEL F., 1998. *Un aspetto trascurato nelle città*. Il giardino fiorito, 11: 12-15.

- ČERMÁK J., MATYSSEK R., KUERA J., 1993. *Rapid response of large, drought-stressed beech trees to irrigation*. *Tree Physiology*, 12: 281-290.
- CLARK L.J., WHALLEY W.R., BARRACLOUGH P.B., 2003. *How do roots penetrate strong soil?* *Plant and Soil* 255: 93-104.
- CLOSE R.E., KIELBASO J.J., NGUYEN P.V., SCHUTZKI R.E., 1996. *Urban vs. natural sugar maple growth: II. Water relations*. *J. of Arboriculture*, 22(4): 187-192.
- CODER K.D., 1996a. *Tree heat stress syndrome*. University of Georgia, School of Forest resources, Athens, Ga, pp. 11.
- CODER K.D., 1996b. *Tree planting area size: futuring resource availability and indentifying constraints*. Univ. of Georgia Coop. Ext. Serv. For. Res. Unit For.: 38-96.
- CODER K.D., 1997. *Flood damaged trees*. *Arborist News*, June: 45-53.
- COSTA E., SILVA F., SHVALEVA A., MAROCO J.P., ALMEIDA M.H., CHAVES M.M., PEREIRA J.S., 2004. *Responses to water stress in two Eucalyptus globosus clones differing in drought tolerance*. *Tree Physiology*, 24: 1165-1172.
- COUENBERG E., 1998. *Urban tree soil and tree-pit design*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II*, proceedings of a second international workshop on tree root development in urban soils, *Int. Soc. Arboriculture*: 189-202.
- CRAUL P.J., 1992. *Urban soils, an overview and their future*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground*, *Int. Soc. Arboriculture*, Savoy, IL.
- CRAWFORD R.M.M., 1993. *Plant survival without oxygen*. *Biologist*, 40: 110-114.
- CREGG B.M., 1995. *Plant moisture stress of green ash trees in contrasting urban sites*. *Journal of Arboriculture*, 21(6): 271-276.
- CREGG B.M., DIX M.E., 2001. *Tree moisture stress and insect damage in urban areas in relation to heat island effects*. *J. of Arboriculture*, 27: 8-17.
- DAVIES F.S., FLORE J.A., 1986. *Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush blueberry*. *Phys. Plant.* 67: 545-551.
- DRUNASKI N., STRUVE D.K., 2005. *Quercus macrocarpa and Q. prinus physiological and morphological responses to drought stress and their potential for urban forestry*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4: 13-22.
- DURYEY M.L., MALAVASI M.M., 2003. *How trees grow in the urban environment*. http://edis.ifas.ufl.edu/TOPI_C_Urban_Landscapes.
- ELSE M.A., TIEKSTRA A.E., CROKER S.J., DAVIES W.J., JACKSON M.B., 1996. *Stomatal closure in flooded tomato plants involves abscisic acid and a chemically unidentified anti-transpirant in xylem sap*. *Plant Physiology*, 112: 239-247.
- FERNANDEZ R.T., SCHUTZKI R.E., PREVETE K.J., 2002. *Influence of spring and fall drought stresses on growth and gas exchange during stress and posttransplant of container-grown Magnolia x soulangiana 'Jane'*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 127(1): 38-44.
- FERRINI F., GIUNTOLI A., NICESE F.P., PELLEGRINI S., VIGNOZZI N., 2005. *Effects of fertilization and backfill amendments on soil characteristics, growth and leaf gas exchanges of English oak (Quercus robur L.)*. *J. of Arboriculture*, 31(4): 182-190.
- FERRINI F., BAIETTO M., 2006. *Response to fertilization of different tree species in the urban environment*. *Arboriculture and Urban Forestry*, 32(3): 93-99.
- FOSTER R.S., BLAINE J., 1978. *Urban tree survivor: Trees in the sidewalk*. *J. of Arboriculture* 4:14-17.
- FREER-SMITH P.H., BECKETT K.P., TAYLOR G., 2005. *Deposition velocities to Sorbus aria, Acer campestre, Populus deltoides x trichocarpa 'Beaupré' and x Cupressocyparis leylandii for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment*. *Environmental Pollution*, 133: 157-167.
- GILBERTSON P., BRADSHAW A.D., 1990. *The survivor of newly planted trees in inner cities*. *J. of Arboriculture*, 14: 287-309.
- GILMAN E.F., YEAGER T.H., KENT D., 2000. *Fertilizer rate and type impacts magnolia and oak growth in sandy landscape soils*. *J. of Arboriculture*, 26(3): 177-182.
- GIORDANO E., 1989. *Verde pubblico e inquinamento*. *L'Italia agricola*, 2: 73-78.
- GRABOSKY J., BASSUK N., IRWIN L., VAN ES H., 1998. *Structural soil investigations at Cornell University*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II*, proceedings of a Second International Workshop on tree root development in urban soils, *Int. Soc. Arboriculture*: 203-209.
- GRAVES W.R., DANA M.N., 1987. *Root-zone temperature monitored at urban sites*. *HortScience*, 22(4): 613-614.
- GRAVES W.R., 1998. *Consequences of high soil temperatures*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II*, proceedings of a second international workshop on tree root development in urban soils, *Int. Soc. Arboriculture*: 27-35.
- HÅKANSSON I., READER R.C., 1994. *Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response*. *Soil Till. Res.*, 29: 277-304.
- HODGE S.J., BOSWELL R., 1993. *A study of the relationship between site conditions and urban tree growth*. *J. Arboriculture*, 19(6): 358-367.
- HORBERT M., BLAUME H.P., ELVERS H., SUKOPP H., 1982. *Ecological contribution to urban planning*. In: R. Bornkamm, J.A. Lee e M.R.D. Seaward ed., *Urban ecology*, 2nd European Ecological Symposium, Blackwell Scientific Publications, Oxford: 255-275.
- JIM C.J., 1998. *Soil compaction at tree-planting sites in urban Hong Kong*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II*, proceedings of a second international workshop on tree root development in urban soils, *International Society of Arboriculture*: 166-178.
- JIM C.J., 2004. *Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities*. *Cities*, 21(4): 311-320.
- JOHNSON T.B., AUGÈ R.M., GREEN C.D., STODOLA A.J.W., OLINICK J.B., SAXTON A.M., 2001. *Correlation of stomatal conductance with hydraulic, chemical and environmental variables in five urban tree species*. *Sci. Hort.* 90:305-320.
- KARNOSKY D.F., 1985. *Abiotic stresses of urban trees*. In: Karnosky D.F. e Karnosky S.L. ed., 1983, *Improving the quality of urban life with plants*, *Proc. International Symposium on Urban Horticulture*, N.Y. Botanic Garden.
- KELSEY P., 1998. *Soil mixes for urban sites*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II*, proceedings of a Second International Workshop on tree root development in urban soils, *Int. Soc. Arboriculture*: 154-165.
- KJELGREN R.K., CLARK J.R., 1992. *Photosynthesis and leaf morphology of Liquidambar styraciflua L. under variable urban radiant-energy conditions*. *Int. J. Biometeorology*, 36: 165-171.
- KJELGREN R.K., CLARK J.R., 1993a. *Growth and water relations of Liquidambar styraciflua L. in an urban park and plaza*. *Trees*, 7: 195-201.
- KJELGREN R.K., CLARK J.R., 1993b. *Water relations of sweetgum in an urban canyon and park*. *Journal of Arboriculture*, 19(5): 266-270.
- KJELGREN R.K., MONTAGUE T., 1998. *Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces*. *Atmospheric Environment*, 32(1): 35-41.
- KOZLOWSKI T.T., 1985. *Soil aeration, flooding and tree growth*. *Journal of Arboriculture*, 11(3): 85-96.
- KOZLOWSKI T.T., 1987. *Soil moisture and absorption of water by tree roots*. *Journal of Arboriculture*, 13(2): 39-46.
- KOZLOWSKI T.T., 1997. *Responses of woody plants to flooding and salinity*. *Tree Physiology Monograph*, 1, pp. 29.
- KOZLOWSKI T.T., DAVIES W.J., 1975. *Control of water balance in transplanted trees*. *Journal of Arboriculture*, 1(1): 1-10.
- KOZLOWSKI T.T., KRAMER P.J., PALLARDY S.C., 1991. *Soil aeration, compaction and flooding*. In: *The physiological ecology of woody plants*, NY, Harcourt Brace Jovanovich: 303-337.
- LARSON K.D., SCHAFFER B., DAVIES F.S., 1989. *Flooding, leaf gas*

- exchange and growth of mango in containers. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 52: 113-124.
- LAUDERDALE D.M., GILLIAM C.H., EAKES D.J., KEEVER G.J., CHAPPELKA A.H., 1995. *Tree transplant size influences post-transplant growth, gas exchange, and leaf water potential of 'October Glory' red maple*. *J. Env. Hort.* 13(4): 178-181.
- LEININGER T.D., 1998. *Effects of temperature and drought stress on physiological processes associated with oak decline*. In: Mickler e Fox ed., *The productivity and sustainability of southern forest ecosystems in a changing environment*, Springer-Verlag, New York: 647-659.
- MATTHI G., FERRINI F., CHIEFFO D., 2005. *Risposte fisiologiche di alcune specie arboree ornamentali sottoposte a regimi idrici differenziati*. Tesi di Laurea, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura, Sesto Fiorentino, FI, A.A. 2004/2005.
- MCPHERSON E.G., SCOTT K.I., SIMPSON J.R., 1998. *Estimating cost effectiveness of residential yard trees for improving air quality in Sacramento, California, using existing models*. *Atmospheric Environment*, 32(1): 75-84.
- MONTAGUE T., KJELGREN R., 2004. *Energy balance of six common landscape surfaces and the influence of surface properties on gas exchange on four containerized tree species*. *Sci. Hort.* 100: 229-249.
- NOÈ N., 1996. *Ambiente urbano e adattabilità della specie*. *Folia di Acer*, 2: a9-a11.
- PAN E., BASSUK N.L., 1985. *Effect of soil type and compaction on the growth of Ailanthus altissima seedlings*. *J. Env. Hort.* 3(4): 158-162.
- PATTERSON J.C., 1976. *Soil compaction and its effects upon urban vegetation*. In: F.S. Santamour, H.D. Gerhold e S. Little ed., *Better trees for metropolitan landscapes*, USDA Forest Service (Upper Darby): 91-101.
- PERCIVAL G.C., KEARY I.P., AL-HABSI S., 2006. *An assesment of the drought tolerance of Fraxinus genotypes for urban landscape plantings*. *Urban Forestry & Urban Greening* 5: 17-27.
- PFEIFFER C.A., WOTT J.A., CLARK J.R., 1987. *Analysis of landscape design and maintenance requirements in parking lots*. *J. Env. Hort.* 5(4): 188-192.
- PREGITZER K.S., KING J.S., BURTON A.J., BROWN S.E., 2000. *Responses of tree fine root to temperature*. *New Phytologist*, 147: 105-115.
- RAJENDRUDU G., NAIDU C.V., 1997/98. *Effects of water stress on leaf growth and photosynthetic and transpiration rates of Tectona grandis*. *Biologia Plantarum*, 40(2): 229-234.
- RANDRUP T.B., 1998. *Soil compaction on construction sites*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II, proceedings of a Second International Workshop on tree root development in urban soils*, Int. Soc. Arboriculture: 146-153.
- RAO B., JEFFERS B., BURKHART L., 2003. *The effect of fertilization and mycorrhizae on newly planted red oaks and sugar maples*. In: A. Siewert, B. Rao e D. Marion ed., *Tree and shrubs fertilization*, Dixon Graphics Publishing, Champaign, IL: 105-111.
- RUARK G.A., MADER D.L., TATTAR T.A., 1982. *The influence of soil compaction and aeration on root growth and vigour of trees-a literature review: part 1*. *J. Arboriculture*, 6(4): 251-265.
- SENA GOMEZ A.R., KOZLOWSKY T.T., 1980a. *Responses of Pinus halepensis seedling to flooding*. *Can. J. For. Res.*, 10: 308-311.
- SENA GOMEZ A.R., KOZLOWSKY T.T., 1980b. *Growth responses and adaptations of Fraxinus pennsylvanica seedlings to floodings*. *Plant Physiology*, 66: 267-271.
- SMITH E., 2003. *Tree growth is influenced by fertilizer treatment*. In: A. Siewert, B. Rao e D. Marion ed., *Tree and shrubs fertilization*, Dixon Graphics Publishing, Champaign, IL: 79-81.
- STÖHR A., LÖSCH R., 2004. *Xylem sap flow and drought stress of Fraxinus excelsior saplings*. *Tree Physiology*, 24: 169-180.
- TATTAR T.A., 1982. *Protecting shade trees from temperature and water stress*. *American Nurseryman*, Aprile: 73-75.
- THOMPSON J.R., NOVAK D.J., CRANE D.A., HUNKINS J.A., 2004. *Iowa, U.S., communities benefit from a tree-planting program: characteristics of recently planted trees*. *J. Arboriculture*, 30(1): 1-10.
- TINUS R.W., 1996. *Root growth potential as an indicator of drought stress history*. *Tree Physiology*, 16: 795-799.
- TROWBRIDGE P.J., BASSUK N.L., 2004. *Tree in the urban landscape*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken: 85-92.
- TUSLER P.E., MACDONALD J.D., COSTELLO L.R., 1998. *Fill-soil effect on soil aeration status*. In: D. Neeley e G. Watson ed., *The landscape below ground II, proceedings of a Second International Workshop on tree root development in urban soils*, Int. Soc. Arboriculture: 97-104.
- VEEN B.W., 1982. *The influence of mechanical impedance on growth of maize roots*. *Plant and Soil*, 66: 101-109.
- VILLAR-SALVADOR P., PLANELLES R., OLIET J., PEÑUELAS-RUBIRA J.L., JACOBS D.F., GONZALES M., 2004. *Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (Quercus ilex) seedlings after drought hardening in the nursery*. *Tree Physiology*, 24: 1147-1155.
- WHITLOW T.H., BASSUK N.L., REICHERT D.L., 1992. *A 3-year study of water relations of urban street trees*. *J. Applied Ecology*, 29: 436-450.
- WITHCOMB C.E., 1979. *Factors affecting the establishment of urban trees*. *J. Arboriculture*, 5(10): 217-219.
- YINGLING E.L., KEELEY C.A., LITTLE S., BRUTIS G.JR., 1979. *Reducing damage to shade and woodland trees from construction activities*. *J. Arboriculture*, 5: 97-104.
- ZHANG J., SCHURR U., DAVIES W.J., 1987. *Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots*. *J. Exp. Botany*, 38: 277-286.
- ZISA R.P., HALVERSON H.G., STOUT B.J., 1980. *Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas*. U.S. Forest Service, Res. paper NE-451.
- ZWACK J.A., GRAVES W.R., TOWNSEND A.M., 1998. *Leaf water relations and plant development of three freeman maple cultivars subjected to drought*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123(3): 371-374.