



MANFRED ANTRANIAS ZIMMER DA PIXABAY

# Gli ultimi giganti?

Gli alberi che raggiungono un'altezza contenuta e sono caratterizzati da foglie relativamente piccole hanno dimostrato una maggiore capacità di adattamento al clima in ambito urbano rispetto ai cambiamenti climatici. Lo dimostrano i risultati di uno studio che ha indagato la capacità degli alberi di adeguare la struttura dello xilema al variare della crescita

Trees that grow only to a moderate height and which have relatively small leaves have proved to be more adaptable to the climate of an urban environment as regards climate change. This is shown by the results of a study that investigated the ability of trees to adjust the structure of their xylem as they grow

Testo di **Tommaso Anfodillo**, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università di Padova; **Mark E. Olson**, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Tercer Circuito sn de Ciudad Universitaria

**R**ecentemente sono state messe in atto iniziative molto importanti affinché le città del futuro possano diventare molto più verdi rispetto a quanto si vede attualmente. Una su tutte l'istituzione, nell'aprile del 2023, della Facility sulle Biocittà del European Forest Institute (Efi) ospitata dal Crea a Roma. La struttura propone un ambizioso, ma necessario, cambia-

**Le piante di maggiore altezza sono più suscettibili al deficit idrico.**  
**Taller trees are more susceptible to water stress.**

mento di prospettiva dell'attuale ruolo del verde urbano: si deve transitare dall'idea che le città possano "ospitare" le zone verdi a quella che, invece, siano le città a essere ospitate dalla Natura. ►

◀ Questo radicale processo trasformativo degli spazi urbani potrà avvenire solo se, oltre all'impegno degli architetti e urbanisti, saranno disponibili specialisti in alberi e foreste in grado di proporre le soluzioni tecniche per realizzare tale bio-trasformazione. Una progettazione così ambiziosa si dovrà basare, *in primis*, sulle più avanzate conoscenze circa il funzionamento degli alberi e delle foreste e sulle possibili riposte nelle specifiche condizioni.

Questo breve contributo ha l'obiettivo di proporre alcuni aspetti relativi al funzionamento degli alberi con particolare attenzione alle modalità con le quali gli alberi adeguano la struttura del sistema di trasporto dell'acqua (xilema) con la variazione di dimensione, ossia con la crescita. In aggiunta si propone un'ipotesi su un altro fondamentale processo di adeguamento che consentirebbe alle piante di mantenere costante anche il "costo" complessivo per sostenere una unità fogliare. L'analisi di tali adeguamenti rende palese la ragione per cui alcune strutture vengono favorite dalla selezione naturale e aiuta a comprendere come mai si osservano strutture simili in tutte le piante (strutture universali). Queste riflessioni aiutano anche ad acquisire una visione della natura meno "idiosincratca" (ossia senza la convinzione che ogni individuo/specie si comporti in modo particolare e unico) tipica di una parte del mondo dei biologi e dei forestali.

## Gli alberi: organismi a crescita perpetua

Gli alberi sono in qualche modo degli organismi eccezionali: con l'ontogenesi le loro dimensioni aumentano potenzialmente indefinitamente. Questa particolare caratteristica ha delle ripercussioni molto critiche, particolarmente in ambiente urbano dove molto di frequente vengono prescritte potature "necessarie" proprio perché non è stata presa in debita considerazione la capacità di crescita degli alberi nel tempo. La competizione tra alberi posti troppo vicini o la mancanza di spazio per la presenza di vari manufatti portano a parziali disseccamenti della

chioma che possono determinare rischi di caduta di rami o di parti più rilevanti.

È anche vero che la capacità di crescita degli alberi può essere sorprendente. Nelle specie con gli individui più grandi (per esempio *Sequoia sempervirens*) si può osservare come la massa degli individui aumenti da pochi grammi (i semenzali) a oltre 400 Mg (circa 900 m<sup>3</sup>) degli alberi di oltre 2000 anni <sup>(21)</sup>, nonostante l'altezza si stabilizzi attorno ai 100 m dopo circa 600-700 anni <sup>(21)</sup>. L'area fogliare totale di un individuo può raggiungere i 6.000-7.000 m<sup>2</sup> e non è lontano dalla realtà pensare che la traspirazione giornaliera possa attestarsi in oltre 5000 litri.

Desto meraviglia il fatto che non si osserva alcuna alterazione della funzionalità complessiva con la dimensione o con l'età, tanto che proprio gli individui più grandi dimostrano il maggior incremento corrente: circa 600 kg di sostanza secca (fusto e rami) per anno, che corrispondono a circa 1,5 m<sup>3</sup>/anno <sup>(21)</sup>. Il mantenimento dell'efficienza nel tempo spiega come mai gli alberi possano sopravvivere, crescere e riprodur-

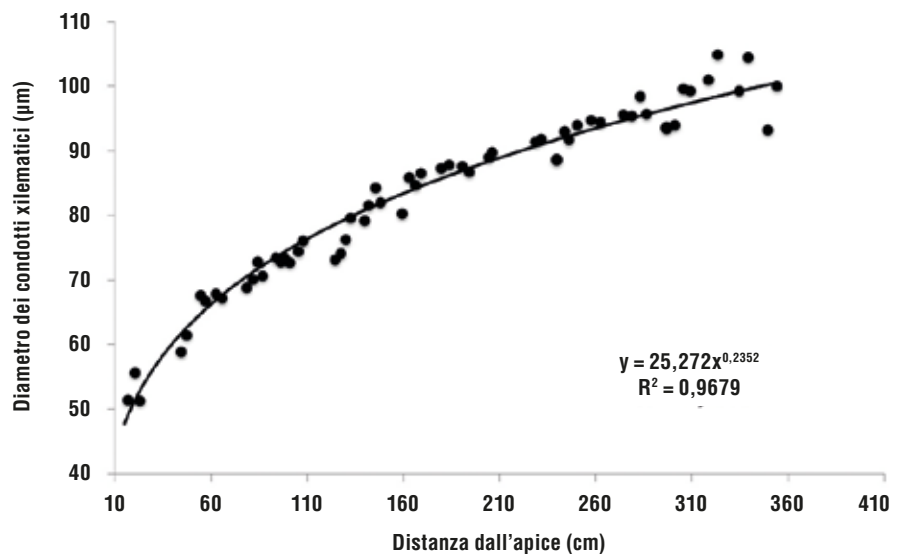
si per diversi millenni. Il mantenimento della funzionalità complessiva viene raggiunto quando si realizzano in contemporanea due tipi di adeguamenti:

- quello del sistema di conduzione dell'acqua (xilema) in modo tale che sia mantenuto costante il rifornimento d'acqua verso le foglie e si garantisca così una relativa invarianza nella fissazione del carbonio per unità fogliare;
- quello relativo all'ammontare complessivo della respirazione dei tessuti non verdi (rami, fusto, radici) che dovrebbe rappresentare una frazione costante del carbonio fissato dalle foglie; così da garantire anche l'invarianza del "costo" (in termini di energia utilizzata) che le piante devono complessivamente investire per mantenere funzionale una unità fogliare.

## Adeguamento dell'architettura idraulica

Dal punto di vista pratico è utile immaginare il sistema di conduzione di un albero come costituito da un in-

**FIGURA 1 - VARIAZIONE ASSIALE (DALL'APICE DELLA PIANTA VERSO LA BASE) DEI CONDOTTI XILEMATICI IN UN FUSTO DI FRASSINO MAGGIORE DI CIRCA 4 M DI ALTEZZA**



L'esponente b della funzione potenza ( $y=a \cdot x^b$ ) interpolatrice è 0,23 e definisce il tasso di catadiastole dei condotti. Quanto più grande tanto maggiore sarà il valore di diametro alla base del fusto a parità di altezza della pianta (dati Conati *et al.*, non pubblicati). Nel caso specifico se l'esponente fosse 0,3 alla base i condotti avrebbero un diametro di circa 140 µm (contro i circa 100 µm del caso riportato).

sieme di “tubicini” (le cellule xilematiche) giustapposti che costituiscono un percorso continuo dalla radice alle foglie. Il percorso è molto breve (pochi cm) quando la pianta è piccola, ma può diventare di oltre 100 m nelle piante più grandi se comprendiamo anche le radici. Se la sezione dei condotti nel percorso radice-foglia fosse costante (quindi il condotto fosse perfettamente cilindrico come una lunga cannuccia) la resistenza idraulica aumenterebbe linearmente con la lunghezza, determinando una diminuzione di portata complessiva alle foglie.

Nelle piante alte, quindi, si dovrebbe osservare una riduzione del rifornimento idrico con l'altezza che, in realtà non si verifica. Il fatto che la portata possa rimanere relativamente costante con l'altezza viene realizzato con una semplicissima modifica anatomica dei condotti: man mano che la pianta cresce in altezza vengo formati condotti alla base sempre più grandi in diametro, grazie al cosiddetto fenomeno della “catadiastole”<sup>(1)</sup> o *tip-to-base widening*<sup>(16)</sup>. Questo comporta una variazione assiale (lungo lo stesso anello legnoso) del diametro dei condotti. Essa può essere abbastanza correttamente interpolata con una funzione potenza (si tratta di una potenza con base un numero reale  $x$  e per esponente un numero naturale  $b$ , ndr) rispetto alla distanza dall'apice (Figura 1, a pag. 40). L'esponente della potenza definisce quanto rapidamente le cellule si ingrandiscono man mano che ci si sposta verso la base del fusto. Da analisi compiute in diversissimi ambienti e specie<sup>(2, 17, 18, 14, 10)</sup> risulta che il tasso di catadiastole nel fusto (esponente  $b$ ) converga verso un valore di circa 0,2 (con variazioni tra circa 0,1 e 0,3) in tutte le specie legnose (sia latifoglie sia conifere) e anche nelle monocotiledoni<sup>(20)</sup>. Nelle foglie, invece, si osserva una differenza significativa tra latifoglie, in cui il tasso è addirittura doppio rispetto al fusto ( $b=0,4$ )<sup>(12, 15)</sup>, mentre negli aghi delle conifere sembra molto inferiore rispetto al fusto (circa  $b=0,1$ )<sup>(13)</sup> ma mancano ancora dati sufficienti per avere un quadro completo. Nelle latifoglie vi è una relazione molto strin-

gente tra dimensione fogliare e anatomia delle cellule del fusticino dove la foglia si inserisce: quanto più grande è la foglia tanto maggiore sarà la cellula dello xilema nel fusto. Quindi le cellule all'apice del fusto (ossia all'inizio della catena dei condotti) dipendono sostanzialmente dalla dimensione fogliare<sup>(5)</sup>.

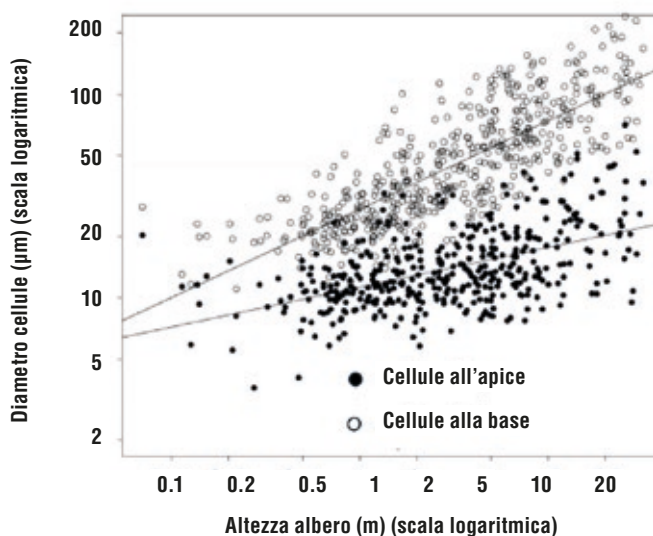
È lecito domandarsi come mai tutte le piante convergano verso strutture del sistema di conduzione nel fusto con tasso di catadiastole relativamente simile. Evidentemente la selezione agisce contro varianti (individui) che hanno catadiastole molto bassa ( $b<0,1$ ) oppure troppo alta ( $b>0,3$ ). Nel primo caso gli individui sarebbero sfavoriti perché con la crescita in altezza le foglie avrebbero un rifornimento in acqua minore rispetto a una pianta con catadiastole “normale” e quindi con minori capacità fotosintetiche e competitive. Gli individui con catadiastole “eccessiva” avrebbero una bassa resistenza complessiva (il che le favorirebbe in termini di produttività) ma sarebbero maggiormente suscettibili a fenomeni di embolizzazione del sistema di conduzione. Infatti è dimostrato che

la probabilità di cavitazione (formazione di bolle di aria nei vasi dello xilema, ndr) sia correlato alla dimensione delle cellule<sup>(12)</sup> perché cellule più grandi hanno anche punteggiature più grandi<sup>(11)</sup> e pori della membrana delle punteggiature più grandi<sup>(6)</sup> dato che tutti i tratti anatomici delle cellule xilematiche sono autocorrelate. Quindi la selezione sfavorisce nel lungo periodo un tasso di catadiastole molto grande perché gli individui con cellule più grandi sono particolarmente suscettibili alla cavitazione dei condotti e dimostrano una minore generale sopravvivenza rispetto alle piante con catadiastole “normale”. Gli alberi con una struttura di compromesso “meno peggio” con un rifornimento adeguato alle foglie e accompagnato da un basso rischio di embolizzazione sono state favorite dall'evoluzione ed è per quello che l'architettura idraulica degli alberi converge verso una struttura universale.

## Costanza del “costo” metabolico complessivo

Una cosa che è emersa quando si sono misurate molte specie diverse di ►

**FIGURA 2 - VARIAZIONE DEL DIAMETRO DELLE CELLULE XILEMATICHE ALLA BASE (SIMBOLI VUOTI) E ALL'APICE (SIMBOLI PIENI) DEL FUSTO IN DIVERSE SPECIE DI LATIFOGIE IN FUNZIONE DELL'ALTEZZA**



In genere le piante più alte hanno sia cellule all'apice sia cellule alla base molto più grandi dei conspecifici con minore altezza (da Olson et al., 2021 modificato). La variazione del diametro delle cellule in funzione dell'altezza è simile a quello di Figura 1: ma solo se gli assi vengo trasformati in scala logaritmica l'andamento risulta lineare.

◀ angiosperme è che le piante più alte sono in genere caratterizzate da dimensioni più grandi delle cellule all'apice del fusto (Figura 2, pag. 41). Quale può essere il vantaggio selettivo di un aumento delle dimensioni all'apice del fusto con l'altezza? La risposta è legata al fatto che la portata di questi "tubi" continui dalla radice al fusto dipende tantissimo dal diametro del condotto (la portata varia con la quarta potenza del diametro). Quindi un condotto con diametro apicale più grande avrà anche una base più grande per cui la portata sarà di conseguenza maggiore. Questo potrebbe essere un meccanismo per ridurre il numero di condotti necessari per fornire adeguatamente una foglia con l'aumento in altezza. Infatti, se il numero di condotti fosse sempre lo stesso (per esempio nei pioppi si hanno circa 70-80 vasi per foglia in piante di 4-5 m di altezza) allora il costo di costruzione della catena diventerebbe sempre più gravoso con l'aumentare dell'altezza. Quindi dovrebbero essere favorite le piante che riducono il numero di condotti ma mantengono la portata complessiva costante grazie a un aumento della dimensione media di ciascun condotto. In questo modo il costo complessivo del sistema idraulico (nella costruzione e nel mantenimento) è minore e quindi il carbonio può essere utilizzato per altre funzioni (per esempio fioritura, produzione di semi).

Questa complessa interazione tra catadiastole assiale, variazione della dimensione delle cellule all'apice e mantenimento della portata complessiva per unità fogliare è stata dimostrata in una specie di *Moringa* da Echeverría *et al.* (2022) <sup>(7)</sup> (Figura 3).

Nelle conifere è sempre evidente la catadiastole assiale ma non sembra che vi sia una variazione significativa delle cellule all'apice con la crescita in altezza, ossia le piante di grandi dimensioni non sembrano avere tracheidi di diametro maggiore all'apice. È quindi possibile ipotizzare (ma vi sono solo pochi riferimenti empirici pubblicati) che la permeabilità dello xilema possa aumentare con l'altezza della pianta a causa di altre modifiche anatomiche co-

**FIGURA 3 - RAPPRESENTAZIONE DEL COMPLESSO ADEGUAMENTO TRA NUMERO DI CONDOTTI E CONDUCIBILITÀ DELLO XILEMA PER UNITÀ DI AREA FOGLIARE CHE SI OSSERVA NELLE ANGIOSPERME**



La riduzione del numero di condotti con l'altezza può avvenire solo se la portata di ciascuno dei condotti aumenta in modo che la portata per unità fogliare resti invariata. La modalità utilizzata dalle angiosperme sembra essere quella dell'aumento dell'apice dei condotti (dove è concentrata la maggior percentuale di resistenza) che si riverbera anche in un aumento proporzionale alla base. Nelle conifere, invece, si sta testando l'ipotesi che la variazione della permeabilità dello xilema avvenga attraverso una maggiore conduttanza delle punteggiature. Da Echeverría *et al.* (2019) modificato.

me, per esempio, una maggiore porosità delle punteggiature che determinano una notevole resistenza al trasporto dell'acqua, a cui si stima possa essere attribuito il 50% della resistenza complessiva dello xilema <sup>(22)</sup>. Comunque, sia nelle conifere sia nelle angiosperme con la crescita sembra avvenire un processo di adeguamento per cui, con diversi accorgimenti anatomici, il tessuto xilematico risulta più permeabile. Tale aumento di permeabilità dovrebbe essere funzionale al mantenimento di una relazione isometrica (ossia di proporzionalità diretta) tra la fotosintesi netta (al netto della respirazione delle foglie) e la respirazione di tutti gli altri organi della pianta come radici, fusto, rami (che vengono raggruppati nel termine "alburno") (Figura 4, pag. 43) <sup>(4)</sup>.

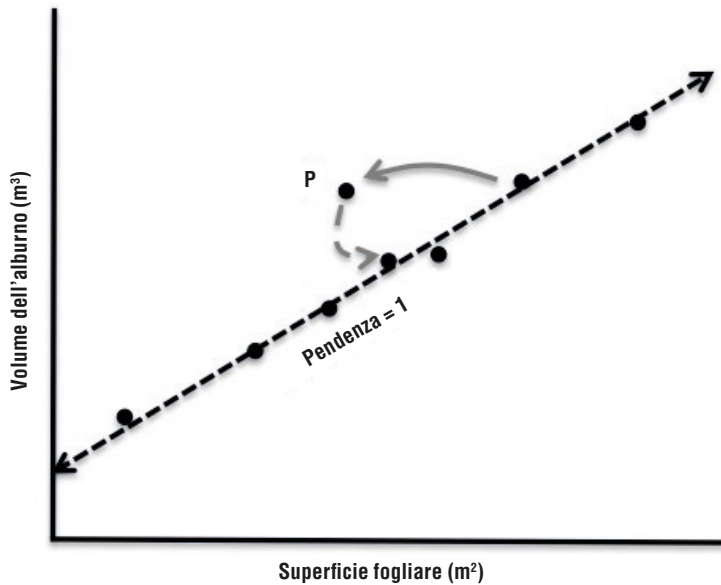
## Conseguenze gestionali

Con i cambiamenti climatici in atto si stanno verificando condizioni sempre più severe per gli alberi in città. Le precipitazioni sono diventate più irregolari con periodi di siccità più prolungati seguiti da eventi di maggiore intensità; le ondate di calore sono sempre più intense e si susseguono con maggiore frequenza; sono più accentuati gli aumenti di temperatura determinati dall'isola di calore delle città e di conseguenza è sempre più alto il deficit di pressione di vapore quindi il potere evaporante dell'atmosfera.

Le condizioni di maggiore deficit idrico (attuale e futuro) impongono di riflettere su possibili azioni di mitigazione e/o adattamento. In linea di massima, se è vero che la probabilità di cavitazione dei condotti xilematici è maggiore in quelli più grandi <sup>(8, 3, 19)</sup> si può predire che le piante di maggiore altezza siano maggiormente suscettibili al deficit idrico perché, in media, hanno un sistema di conduzione con condotti di maggiore dimensione per l'ineludibilità della catadiastole. Dove si possano prevedere severi deficit sono quindi da preferire alberi che non hanno la capacità di raggiungere altezze considerevoli. Per lo stesso motivo meglio privilegiare angiosperme con foglie relativamente piccole che, di conseguenza, hanno nelle parti apicali del fusto condotti xilematici più piccoli e quindi meno suscettibili alla cavitazione. Una valutazione a parte potrebbe essere fatta per specie con foglie grandi che, durante la stagione siccitosa, perdono le foglie come meccanismo adattativo di resistenza.

Gli alberi che per qualsiasi motivo (potature, compattazione del suolo, inquinamento, minore disponibilità idrica ecc.) si trovano in una condizione di stress tendono a formare un sistema di conduzione con condotti xilematici più grandi (e non più piccoli come comunemente si pensa) come è stato ben dimostrato <sup>(9, 8)</sup>. Questa risposta è coerente con il mantenimento di un "costo" del sistema di conduzione

**FIGURA 4 - RELAZIONE TRA VOLUME DELL'ALBURNO E MASSA/SUPERFICIE FOGLIARE FAVORITA DALLA SELEZIONE NATURALE**



In questo modo il “costo” (in termini di uso dei fotosintetati) complessivo di mantenimento dell’intero apparato fogliare dovrebbe rimanere una frazione costante. Questo aiuta a spiegare quanto negative siano certe pratiche diffuse nella “gestione” del verde urbano come, ad esempio, le potature. Con questa pratica si modifica sostanzialmente la relazione funzionale tra foglie e alburno “spingendo” gli individui in condizioni di inefficienza (punto P) (Anfodillo & Olson 2021). Dopo la potatura vi sono troppe poche foglie per sostenere il metabolismo complessivo dell’alburno. La probabile risposta della pianta è quella di “sacrificare” delle zone di consumo (ad esempio con la morte di parte della radice e del fusto) in modo da recuperare una nuova condizione di “equilibrio” tra produzione e consumo.



HANS DA PIXABAY

**Le pratiche di gestione condizionano la struttura dello xilema degli alberi e quindi la loro resilienza alle mutevoli condizioni climatiche delle città.**

**Management practices affect the structure of xylem in trees, and therefore their resilience to the changed climate situation in cities.**

costante rispetto alla fotosintesi netta perché in caso di deficit idrico la disponibilità di fotosintetati diminuisce e quindi è più efficiente per la pianta formare pochi condotti ma di diametro maggiore, mantenendo così la capacità di rifornimento alle foglie con un investimento minore.

Le potature, che potrebbero apparire idonee per ridurre l’altezza della pianta, invece hanno sempre effetti negativi. Per prima cosa, come detto, allontanano la pianta da una condizione di “ottimale” compromesso produzione-costi di mantenimento (Figura 4) e poi inducono, di norma, la successiva formazione di ricacci da cui si formano foglie di dimensioni maggiori rispetto a quelle normali. Quindi siccome nelle angiosperme il tasso di catadiastole nelle foglie è molto grande (b circa 0,4) questo porta comunque alla formazione di condotti nel fusto di dimensione maggiore rispetto a una condizione di chioma integra. La scelta delle specie, le condizioni di allevamento e le pratiche di gestione hanno un effetto predicibile sulla struttura del sistema di trasporto xilematico: è quindi possibile indirizzare la gestione in modo da diminuire il più possibile la suscettibilità degli alberi alle condizioni climatiche sempre più severe degli ambienti urbani. ■ ►

◀ .....  
**Bibliografia**

- 1) Anfodillo T., 2019. *Il sistema vascolare degli alberi sotto una nuova luce: comprenderne la funzione per migliorare gli interventi gestionali*. Arbor. 2: 4–13.
- 2) Anfodillo T., Carraro V., Carrer M., Fior C., Rossi S., 2006. *Convergent tapering of xylem conduits in different woody species*. New Phytologist. 169: 279–290. - doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01587.x
- 3) Anfodillo T., Olson M.E., 2021. *Tree Mortality: Testing the Link Between Drought, Embolism Vulnerability, and Xylem Conduit Diameter Remains a Priority*. Frontiers in Forests and Global Change. 4: 704670. - doi: 10.3389/ffgc.2021.704670
- 4) Anfodillo T., Olson M.E., 2024. *Stretched sapwood, ultra-widening permeability, and ditching da Vinci: revising models of plant form and function*. Annals of Botany. mcae054. - doi: 10.1093/aob/mcae054
- 5) Cao X., Li Y., Zheng X.J., Xie J.B., Wang Z.Y., 2022. *An Inherent Coordination between the Leaf Size and the Hydraulic Architecture of Angiosperm Trees*. Forests. 13: 1287. - doi: 10.3390/f13081287
- 6) Domec J., Lachenbruch B., Meinzer F.C., 2006. *Bordered pit structure and function determine spatial patterns of air-seeding thresholds in xylem of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii; Pinaceae) trees*. American Journal of Botany. 93: 1588–1600.
- 7) Echeverría A., Petrone-Mendoza E., Segovia-Rivas A., Figueroa-Abundiz V.A., Olson M.E., 2022. *The Vessel Wall Thickness-Vessel Diameter Relationship Across Woody Angiosperms*. American Journal of Botany. - doi: 10.1002/ajb2.1854
- 8) Kiorapostolou N., Camarero J.J., Carrer M., Sterck F., Brigita B., Sangüesa-Barreda G., Petit G., 2020. *Scots pine trees react to drought by increasing xylem and phloem conductivities*. Tree Physiology. 40: 774–781. - doi: 10.1093/treephys/tpaa033
- 9) Kiorapostolou N., Galiano-Pérez L., Von Arx G., Gessler A., Petit G., 2018. *Structural and anatomical responses of Pinus sylvestris and Tilia platyphyllos seedlings exposed to water shortage*. Trees. 32: 1211–1218. - doi: 10.1007/s00468-018-1703-2
- 10) Koçillari L., Olson M.E., Suweis S., Rocha R.P., Lovison A., Cardin F., Dawson T.E., Echeverría A., Fajardo A., Lechthaler S., Martínez-Pérez C., Marcati C.R., Chung K.F., Rosell J.A., Segovia-Rivas A., Williams C.B., Petrone-Mendoza E., Rinaldo A., Anfodillo T., Banavar J.R., Maritan A., 2021. *The Widened Pipe Model of plant hydraulic evolution*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 118: e2100314118. - doi: 10.1073/pnas.2100314118
- 11) Lazzarin M., Crivellaro A., Williams C.B., Dawson T.E., Mozzi G., Anfodillo T., 2016. *Tracheid and pit anatomy vary in tandem in a tall sequoiadendron giganteum tree*. Iawa Journal. 37: 172–185. - doi: 10.1163/22941932-20160129
- 12) Lechthaler S., Colangeli P., Gazzabin M., Anfodillo T., 2019a. *Axial anatomy of the leaf midrib provides new insights into the hydraulic architecture and cavitation patterns of Acer pseudoplatanus leaves*. Journal of Experimental Botany. 70: 6195–6201. - doi: 10.1093/jxb/erz347
- 13) Lechthaler S., Kiorapostolou N., Pitacco A., Anfodillo T., Petit G., 2020. *The total path length hydraulic resistance according to known anatomical patterns: What is the shape of the root-to-leaf tension gradient along the plant longitudinal axis?* Journal of Theoretical Biology. 502: 110369.
- 14) Lechthaler S., Turnbull T.L., Gelmini Y., Pirotti F., Anfodillo T., Adams M.A., Petit G., 2019b. *A standardization method to disentangle environmental information from axial trends of xylem anatomical traits*. Tree Physiology. 39: 495–502. - doi: 10.1093/treephys/tpy110
- 15) Levionnois S., Coste S., Nicolini E., Stahl C., Morel H., Heuret P., 2020. *Scaling of petiole anatomies, mechanics and vasculatures with leaf size in the widespread Neotropical pioneer tree species Cecropia obtusa Trécul (Urticaceae)*. Tree Physiology. 40: 245–258. - doi: 10.1093/treephys/tpz136
- 16) Olson M.E., Anfodillo T., Gleason S.M., McCulloh K.A., 2021. *Tip-to-base xylem conduit widening as an adaptation: causes, consequences, and empirical priorities*. New Phytologist. 229: 1877–1893. - doi: 10.1111/nph.16961
- 17) Olson M.E., Anfodillo T., Rosell J.A., Petit G., Crivellaro A., Isnard S., León-Gómez C., Alvarado-Cárdenas L.O., Castorena M., 2014. *Universal hydraulics of the flowering plants: vessel diameter scales with stem length across angiosperm lineages, habits and climates*. Ecology Letters. 17: 988–997. - doi: 10.1111/ele.12302
- 18) Olson M.E., Soriano D., Rosell J.A., Anfodillo T., Donoghue M.J., Edwards E.J., 2018. *Plant height and hydraulic vulnerability to drought and cold*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 115: 7551–7556. - doi: 10.1073/pnas.1721728115
- 19) Petit G., Blevé G., Gallo A., Mita G., Montanaro G., Nuzzo V., Zambonini D., Pitacco A., 2021. *Susceptibility to Xylella fastidiosa and functional xylem anatomy in Olea europaea: revisiting a tale of plant-pathogen interaction*. AoB Plants. 13: plab027. - doi: 10.1093/aobpla/plab027
- 20) Petit G., DeClerck F.A.J., Carrer M., Anfodillo T., Phillips N., 2014. *Axial vessel widening in arborescent monocots*. Tree Physiology. 34. - doi: 10.1093/treephys/tpt118
- 21) Sillett S.C., Van Pelt R., Koch G.W., Ambrose A.R., Carroll A.L., Antoine M.E., Mifsud B.M., 2010. *Increasing wood production through old age in tall trees*. Forest Ecology and Management. 259: 976–994. - doi: 10.1016/j.foreco.2009.12.003
- 22) Sperry J.S., Hacke U.G., Pittermann J., 2006. *Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels*. American Journal of Botany. 93: 1490–1500.