

Aceri a prova di calore

Alessio Fini, DISAA, Università degli Studi di Milano

Francesco Ferrini, DAGRI, Università degli Studi di Firenze

Articolo originale: Percival, G.C., Percival, C.D., 2024. Evaluation of heat tolerance in foliar tissue of *Acer* genotypes. *Arboriculture and Urban Forestry*, 50: 157-168.

Introduzione

Il genere *Acer*, uno dei più rilevanti per il verde urbano (Cowett and Bassuk, 2017; Fini et al., 2023; Rogers et al., 2023), include circa 150 specie native di Europa, Nord Africa, Asia e America Centrale e Settentrionale (Fig. 1). Le ragioni della grande popolarità di questo genere sono molteplici e diversificate. Tra queste, è certamente rilevante il fatto che molte specie del genere *Acer* posseggono caratteristiche bio-ecologiche (tolleranza all'inquinamento, adattabilità ai suoli urbani, rapidità di crescita), funzionali (ottima tolleranza al trapianto e capacità di rispondere alle potature) ed estetiche (colorazione autunnale, portamento, grande varietà di forme e dimensioni) che ne hanno favorito l'ampia diffusione nelle città europee e nord-americane. Esistono anche motivazioni più folkloristiche: si dice che l'uso eccessivo di *Acer platanoides* nelle città americane derivi dal fatto che l'acero riccio fosse la prima specie arborea in ordine alfabetico nei cataloghi dei vivai caratterizzata da crescita elevata e caratteristiche di rusticità. È peculiare come alcune specie di acero, tra cui *A. platanoides* e *A. negundo* abbiano trovato ampissima diffusione anche in areali in cui esse non sono autoctone, anzi manifestano una spiccata invasività. Per esempio, tra il 15 e il 20% delle alberature stradali degli Stati del New Jersey, New York e Pennsylvania è costituito da *A. platanoides*, pur essendo l'acero riccio una specie invasiva negli Stati Uniti (Cowett and Bassuk, 2017). Analogamente, una specie come *A. negundo*, di origine nord-americana e invasiva in Italia, ha trovato ampia diffusione nelle città europee (Fini et al., 2023).

È interessante notare come le specie appartenenti al genere *Acer* differiscano per requisiti ecologici ed edafici (Sjoman et al., 2015). Per esempio, tra le specie autoctone europee che hanno trovato maggior diffusione nel verde urbano in Italia, *A. campestre* è ritenuto più termofilo, xerofilo ed eliofilo rispetto a *A. platanoides* e *A. pseudoplatanus*. Anche all'interno della stessa specie, sono state evidenziate differenze tra le cultivar in termini di tolleranza nei confronti di stress abiotici quali la siccità (Fini et al., 2009; Banks et al., 2019).

Oggi, a causa del cambiamento climatico, una delle principali sfide per i pianificatori e progettisti del verde urbano è quello di selezionare piante tolleranti alle alte temperature dell'aria. Ciò è fondamentale in ambiente urbano, ove le piante già oggi risentono dell'aumento della temperatura dell'aria generato dal fenomeno dell'isola di calore e la capacità di alcune specie e cultivar di adattarsi a un ulteriore riscaldamento può essere limitata. La temperatura è uno dei parametri chiave che regola direttamente molti processi fisiologici delle piante, tra cui l'uscita dalla dormienza, la fotosintesi e la respirazione cellulare (Percival, 2023). Inoltre, indirettamente, determina il VPD, quindi è una delle variabili che può determinare ed esacerbare lo stress idrico. Le foglie sono l'organo della pianta che maggiormente risente negativamente dell'esposizione alle alte temperature che, in particolare, possono danneggiare il fotosistema II (quello responsabile della produzione di ossigeno) dell'apparato fotosintetico. Tuttavia, esistono ancora pochi lavori nella letteratura scientifica che descrivano la tolleranza alle alte temperature delle diverse specie e cultivar. Per iniziare a colmare questa lacuna, la ricerca di Percival e Percival (2024) ha valutato la tolleranza al calore di diverse specie e cultivar appartenenti al genere *Acer*.

Cenni metodologici

La ricerca di Percival e Percival (2024) è stata effettuata utilizzando 40 piante delle seguenti specie e cultivar (Fig. 2): *Acer pseudoplatanus* 'Negenia', *A. pseudoplatanus* 'Spaethii', *A. platanoides* 'Royal Red', *A. platanoides* 'Princeton Gold', *A. platanoides* 'Emerald Queen', *A. platanoides* 'Drummondii', *A. campestre*, *A. campestre* 'Louisa Red Shine'. Le piante sono state propagate per innesto nel 2013 su portinnesto franco e sono state allevate presso il vivaio Barcham in contenitori da 45 L riempiti di un substrato (pH = 7,7) costituito da ammendante compostato verde e compost di corteccia di pino (50:50). Nel marzo 2017, le piante sono state trapiantate presso il Bartlett Tree Research Laboratory (Shinfield, Regno Unito). L'impianto è stato effettuato in 3 file, ponendo a dimora le cultivar con un ordine diverso (randomizzato) in ciascuna fila. La ricerca è iniziata nel 2022, quando le piante avevano un diametro del fusto di circa 5 cm e si erano pienamente affrancate nel sito d'impianto sperimentale. In Europa, il 2022 è stato un anno caratterizzato da ondate di calore associate a carenza idrica severa, soprattutto nel periodo primaverile-estivo, che hanno reso questo anno perfetto per studiare gli effetti delle alte temperature sulle piante (Ibebuchi e Abu, 2023). In luglio e agosto 2022, tra le 8.00 e le 8.30, Percival e Percival (2024) hanno raccolto foglie sane da ciascuna cultivar e, dopo averle sigillate in buste di plastica Ziploc®, le hanno trasportate in laboratorio e preparate per le analisi entro 60-90 minuti. In laboratorio, dalle foglie raccolte sono stati preparati 50 dischi fogliari (piccola porzione di foglia a sezione circolare), su cui sono state effettuate misurazioni di fluorescenza della clorofilla (per maggiori dettagli, consultare Bussotti et al. 2011) e di contenuto di clorofilla. La fluorescenza della clorofilla è stata misurata con un fluorimetro portatile Pocket PEA (Hansatech Instruments, King's Lynn, Regno Unito) su dischi fogliari acclimatati al buio per 20 minuti. In particolare, è stata misurata l'efficienza quantica massima del fotosistema II (Fv/Fm), un indice normalizzato il cui valore è pari o superiore a 0,8 in foglie in salute, è compreso tra 0,7 e 0,8 per stress lievi o moderati, fino ad arrivare a valori di circa 0,5 che indicano uno stress molto severo. Il contenuto di clorofilla è stato misurato con un lettore ottico SPAD-502 (Marunouchi, Chiyoda, Giappone). Le misurazioni sono state effettuate sui dischi fogliari appena preparati, per valutarne Fv/Fm e contenuto di clorofilla prima dello stress termico. Successivamente, i dischi fogliari sono stati posizionati in un bagno termico a 44 °C per 4 ore, prima di ripetere le misurazioni per valutare l'effetto dello stress termico sull'apparato fotosintetico (Percival e Percival, 2022). Infine, per valutarne la capacità di recupero, i dischi sono stati riposizionati nel bagno termico a 18-21 °C per 72 ore, misurando Fv/Fm e contenuto di clorofilla ogni 24 ore.

La fluorescenza della clorofilla come indice della tolleranza al calore

Il lavoro di Percival e Percival (2024) conferma che l'efficienza quantica massima del fotosistema II (Fv/Fm) è sensibile, anche su foglie separate dalla pianta, e può essere utilizzata come indicatore del danno causato dagli eccessi termici ai tessuti fogliari (Húdoková et al., 2022). Utilizzando questo indicatore, Percival e Percival (2024) mostrano come la tolleranza alle alte temperature differisca tra le diverse specie e cultivar studiate. In risposta allo stress termico, *A. pseudoplatanus* 'Negenia' (-7,3%) e *A. pseudoplatanus* 'Spaethii' (-11,2%) hanno mostrato la minor riduzione di Fv/Fm, mentre *A. platanoides* 'Drummondii' (-47,9%) ha mostrato il maggior calo (Fig. 3). È anche possibile osservare come *A. platanoides* 'Drummondii' abbia un Fv/Fm inferiore alle altre cultivar anche prima dell'imposizione dello stress termico. La variegatura delle foglie è un fenomeno legato alla mutazione di geni coinvolti nella formazione e nello sviluppo dei cloroplasti, di cui ancora non è chiaro il ruolo evolutivo (es. confusione dei predatori o fotoprotezione, Chen et al., 2018; Zhang et al., 2018). Tuttavia, oltre a essere poco efficienti nel fare fotosintesi, perché la clorofilla è scarsa o assente nelle aree varieghe, piante con foglie varieghe mostrano anche un'elevata suscettibilità agli stress, come

confermato da Percival e Percival (2024). Sulla base della riduzione di Fv/Fm causata dallo stress termico, *A. pseudoplatanus* 'Negenia', *A. pseudoplatanus* 'Spaethii', *A. campestre* e *A. platanoides* 'Royal Red' hanno mostrato buona tolleranza alle alte temperature, mentre *A. campestre* 'Louisa Red Shine' e *A. platanoides* 'Princeton Gold' hanno mostrato una media tolleranza. Infine, *A. platanoides* 'Emerald Queen' and *A. platanoides* 'Drummondii' sono risultate sensibili allo stress termico (Fig. 3).

La sopravvivenza di fronte a uno stress si basa, da un lato, sulla capacità di tollerarlo, dall'altro, sulla capacità di recuperare rapidamente i normali processi fisiologici dopo che lo stress è terminato. Le cultivar che hanno mostrato una maggior capacità di recupero di Fv/Fm nelle 72 ore successive al termine dello stress termico sono state, in ordine decrescente: *A. platanoides* 'Royal Red' > *A. pseudoplatanus* 'Spaethii' > *A. campestre* > *A. platanoides* 'Princeton Gold' > *A. pseudoplatanus* 'Negenia'. Al contrario, Fv/Fm ha continuato a diminuire, anche al termine dello stress, in foglie di *A. platanoides* 'Drummondii', *A. campestre* 'Louisa Red Shine' e *A. platanoides* 'Emerald Queen', a indicare come lo stress termico abbia causato danni permanenti all'apparato fotosintetico di queste cultivar (Fig. 3). La diversa tolleranza e resilienza mostrata dalle cultivar può essere spiegata da una diversa capacità di attivare rapidamente i meccanismi di acclimatazione alle alte temperature, quando esposte allo stress termico. Tra questi, la sintesi di Heat Shock Proteins, che proteggono le proteine essenziali per la pianta dalla denaturazione; l'aumento della biosintesi di carboidrati solubili, prolina e glicina-betaina, che favoriscono l'aggiustamento osmotico, essenziale per mantenere gli stomi aperti durante lo stress termico e permettere la traspirazione che, a sua volta, è fondamentale per raffreddare la foglia; la sintesi di composti volatili biogenici (VOC) per mantenere l'integrità delle membrane cellulari e sequestrare le specie ossigeno reattive (Tattini et al., 2015; Tian et al., 2021).

Il contenuto di clorofilla come indice della tolleranza al calore

Le misurazioni effettuate da Percival e Percival (2024) con il lettore SPAD hanno evidenziato differenze significative tra le cultivar nel contenuto di clorofilla fogliare (Fig. 4). Come era possibile prevedere, le cultivar di *A. platanoides* a foglia gialla ('Princeton Gold') e quella variegata ('Drummondii') mostravano meno clorofilla rispetto alle altre cultivar, anche prima dell'imposizione dello stress termico. Il colore giallo delle foglie si manifesta quando il contenuto di clorofilla, in analogia a quanto avviene in autunno durante la senescenza fogliare, è troppo basso per mascherare i pigmenti accessori, in particolare i carotenoidi (Renner e Zohner, 2019). Il basso contenuto di clorofilla nella cultivar 'Drummondii' è legato all'assenza del pigmento nelle aree variegata della foglia. Non stupisce neanche che la cultivar a foglia rossa di *Acer campestre* mostri il maggior contenuto di clorofilla. La colorazione rossa è dovuta all'accumulo di antociani, spesso nell'epidermide fogliare. Gli antociani filtrano la luce e ombreggiano in mesofillo sottostante, rendendolo simile per caratteristiche a quello di foglie verdi sviluppatesi all'ombra (Tattini et al., 2017). È infatti noto che il mesofillo di foglie d'ombra di specie arboree presenti un maggior contenuto di clorofilla rispetto a quello di foglie sviluppatesi in pieno sole (Poorter et al., 2019).

Tuttavia, la misurazione del contenuto di clorofilla non è risultato un indicatore sensibile per identificare la risposta allo stress di calore. Nonostante lo stress termico possa indurre la degradazione della clorofilla, che si manifesta con sintomi quali scottature, necrosi e ingiallimenti fogliari (O'Sullivan et al., 2017), uno stress di breve durata come quello applicato da Percival e Percival (2024) non è stato sufficiente per innescare il fenomeno (Fig. 4). La degradazione della clorofilla è un processo "estremo" per le piante, che si verifica quando esse non riescono a combattere lo stress ossidativo con metodi più ortodossi (es. enzimi antiossidanti, carotenoidi, flavonoidi, emissione di VOC).

Conclusione

Il lavoro di Percival e Percival (2024) supporta l'idea che non solo le specie, ma anche le cultivar all'interno di ciascuna specie, possano differire nella tolleranza a stress abiotici. La maggior parte delle cultivar è stata selezionata per fini estetici, ma il processo di selezione influenza altre caratteristiche, spesso meno manifeste, tra cui la tolleranza agli stress. Sarebbe necessaria ulteriore ricerca per conoscere meglio queste caratteristiche "occulte" dei diversi genotipi, realizzando campi di confronto varietale che permettano di capire quali di essi sono più idonei per tollerare il cambiamento climatico.

Il lavoro di Percival e Percival (2024) suggerisce che *A. campestre* e le cultivar di *A. pseudoplatanus* 'Negenia' e 'Spaethii' abbiano una maggior tolleranza al calore rispetto a *A. platanoides*. All'interno di quest'ultima specie, la cultivar a foglia rossa 'Royal Red' è quella che ha mostrato la maggior tolleranza alle alte temperature.

BIBLIOGRAFIA

- Banks, J.M., Percival, G.C., Rose, G., 2019. Variations in seasonal drought tolerance rankings. *Trees*, 33:1063-1072.
- Bussotti, F., Desotgiu, R., Pollastrini, M., Cascio, C., 2011. Perdere per crescere. *Acer*, 2:37-40.
- Chen, L., Lai, J., He, T., Rong, J., Tarin, M.W.K., Zheng, Y., 2018. Differences in photosynthesis of variegated temple bamboo leaves with various levels of variegation are related to chlorophyll biosynthesis and chloroplast development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 143:144-153.
- Cowett, F.D., Bassuk, N.L., 2017. Street Tree Diversity in Three Northeastern U.S. States. *Arboriculture and Urban Forestry*, 43:1-14.
- Fini, A., Ferrini, F., Frangi, P., Amoroso, G., Piatti, R., 2009. Withholding irrigation during the establishment phase affected growth and physiology of Norway maple (*Acer platanoides* L.) and linden (*Tilia* spp.). *Arboriculture and Urban Forestry*, 35:241-251.
- Fini A., Vigevani I., Corsini, D., Wężyk P., Bajorek-Zydroń, K., Failla, O., Cagnolati E., Mielczarek, L., Comin, S., Gibin, M., Pasquinelli, A., Ferrini, F., Viskanic, P., 2023. CO₂-assimilation, sequestration, and storage by urban woody species growing in parks and along streets in two climatic zones. *Science of the Total Environment*, 903:166198.
- Húdoková, H., Petrik, P., Petek-Petrik, A., Konôpková, A., Lestianška, A., Střelcová, K., Kmeť, J., Kurjak, D., 2022. Heat-stress response of photosystem II in five ecologically important tree species of European temperate forests. *Biologia*, 77:671-680.
- Ibebuchi, C.C., Abu, I.O., 2023. Characterization of temperature regimes in Western Europe, as regards the summer 2022 Western European heat wave. *Climate Dynamics*, 61: 3707-3720.
- Percival, G.C., Percival, C.D., 2022. When selecting trees for heat tolerance keep a cool mind. *ARB Magazine*, 197:41-45.
- Percival, G., 2023. Heat tolerance of urban trees – A review. *Urban Forestry and Urban Greening*, 86:128021.
- Poorter, H., Niinemets, U., Ntagkas, N., Siebenkas, A., Maenpaa, M., Matsubara, S., Pons, T.L., 2019. A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*, 223:1073-1105.

Renner, S.S., Zohner, C.M., 2019. The occurrence of red and yellow autumn leaves explained by regional differences in insolation and temperature. *New Phytologist*, 224:1464–1471.

Rogers, E.C., Ries, P.D., Buckler, D.C., 2023. Examining species diversity and urban forest resilience in the Milwaukee, Wisconsin (USA) Metropolitan Area. *Arboriculture and Urban Forestry*, 49:230–246.

Sjoman, H., Hirons, A.D., Bassuk, N.L., 2015. Urban forest resilience through tree selection—Variation in drought tolerance in *Acer*. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14: 858–865.

Tattini M., Loreto F., Fini A., Guidi L., Brunetti C., Velikova V., Gori A., Ferrini F., 2015. Isoprenoids and phenylpropanoids are part of the antioxidant defense orchestrated daily by drought stressed *Platanus x acerifolia* plants during Mediterranean summers. *New Phytologist*, 207:613–626.

Tattini, M., Sebastiani, F., Brunetti, C., Fini, A., Torre, S., Gori, A. et al., 2017. Dissecting molecular and physiological response mechanisms to high solar radiation in cyanic and acyanic leaves: a case study on red and green basil. *Journal of Experimental Botany*, 68:2425–2437.

Tian, F., Hu, X.L., Yao, T., Yang, X., Chen, J.G., Lu, M.Z., Zhang, J., 2021. Recent advances in the roles of HSFs and HSPs in heat stress response in woody plants. *Frontiers in Plant Science*, 12:704905.

Zhang, Q., Zhang, M., Ding, Y., Zhou, P., Fang, Y., 2018. Composition of photosynthetic pigments and photosynthetic characteristics in green and yellow sectors of the variegated *Aucuba japonica* ‘Variegata’ leaves. *Flora*, 240:25–33.

FIGURE

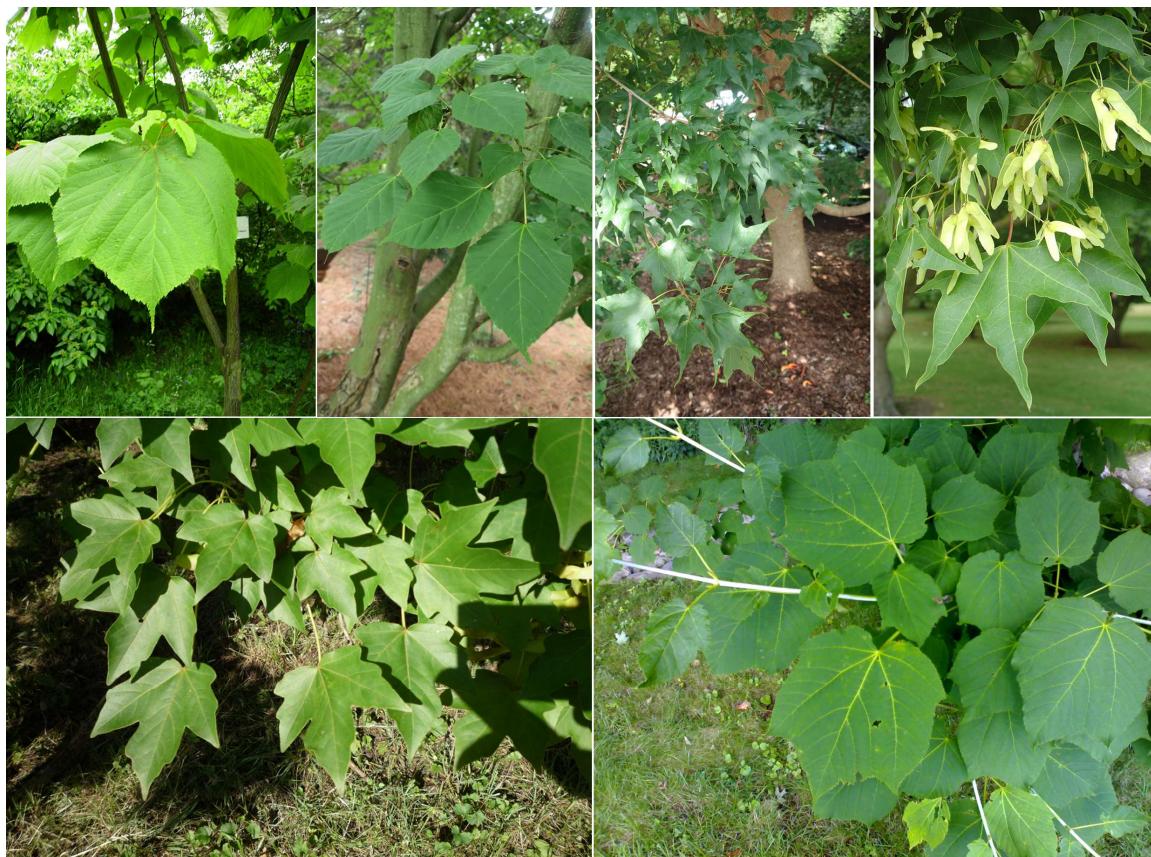


Figura 1: esempi di aceri poco conosciuti e poco diffusi in Italia. Partendo in alto a sinistra e procedendo in senso orario: *Acer capillipes*, *A. davidii*, *A. mono*, *A. truncatum*, *A. tegmentosum*, *A. miyabei*. Fonte: Alessio Fini.



Figura 2: le specie e le cultivar di acero utilizzate da Percival e Percival (2024). Partendo in alto a sinistra e procedendo in senso orario: *Acer pseudoplatanus* 'Negenia', *A. pseudoplatanus* 'Spaethii', *A. platanoides* 'Royal Red', *A. platanoides* 'Drummondii', *A. campestre* 'Louisa Red Shine', *A. platanoides* 'Emerald Queen', *A. platanoides* 'Princeton Gold'. Fonte: modificato da fonti varie reperite nel web.

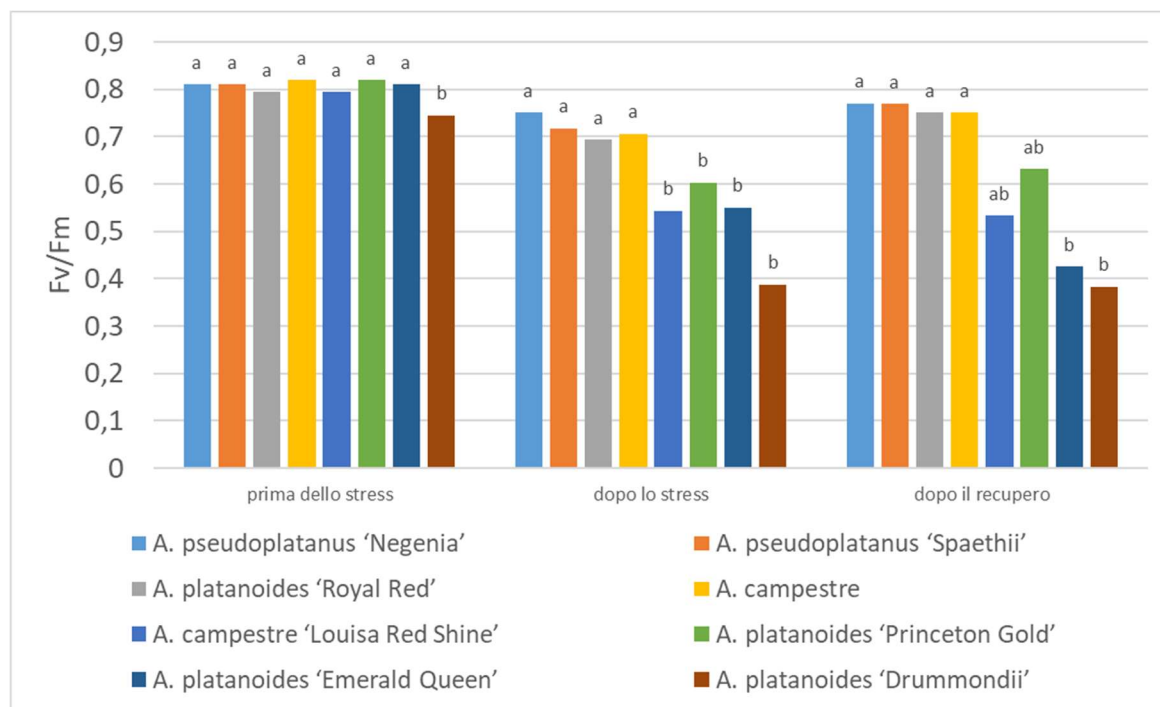


Figura 3: efficienza quantica massima del fotosistema II (F_v/F_m) misurata in agosto nelle diverse specie e cultivar prima dell'imposizione dello stress di calore, dopo la sua imposizione e dopo la fase di recupero. Lettere diverse entro lo stesso momento di misurazione indicano differenze statisticamente significative ($p < 0,05$). Fonte: modificato da Percival e Percival (2024).

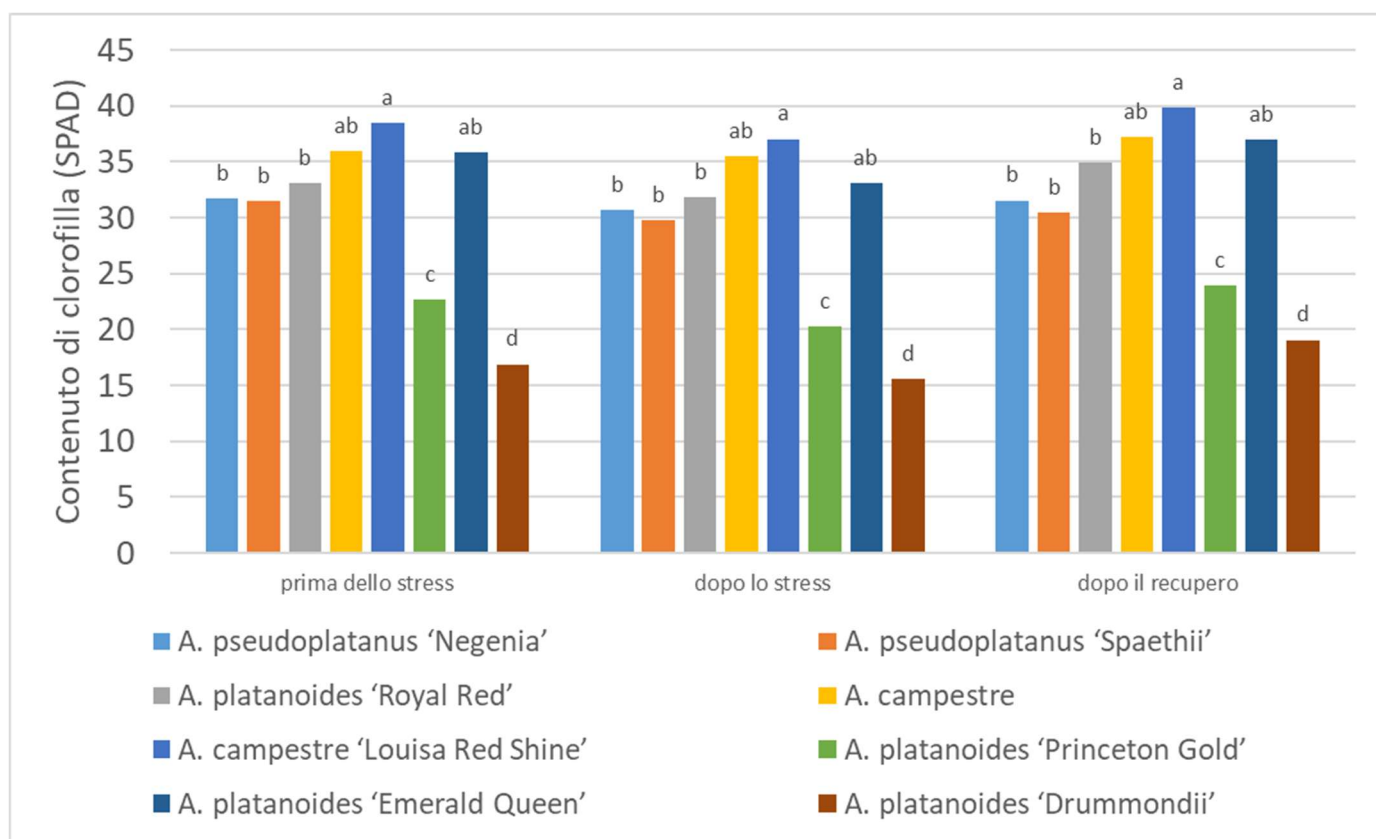


Figura 4: contenuto di clorofilla nelle foglie, stimato con un lettore SPAD nel mese di agosto nelle diverse specie e cultivar prima dell'imposizione dello stress di calore, dopo la sua imposizione e dopo la fase di recupero. Lettere diverse entro lo stesso momento di misurazione indicano differenze statisticamente significative ($p < 0,05$). Fonte: modificato da Percival e Percival (2024).