

SilvaCuore: un'App per monitorare lo stato di salute delle foreste italiane

Maria Castellaneta ⁽¹⁾,
Marco Borghetti ⁽¹⁾,
Michele Colangelo ⁽¹⁻²⁾,
Antonio Lapolla ⁽¹⁾,
Angelo Rita ⁽¹⁻³⁾,
Francesco Ripullone ⁽¹⁾

SilvaCuore: an App for monitoring the health status of Italian forests

Several forest dieback and mortality phenomena reported across the Italian Peninsula over the last years underline an enhanced forest vulnerability in response to climate extremes, mainly heat waves and dry spells. Hundreds or even thousands hectares of forests completely die out over few years, causing considerable negative impacts on ecosystem services such as carbon sequestration and biodiversity. Thus, there is a compelling need to monitor these phenomena for understanding the future dynamics of forest stands: these crucial assumptions have led to SilvaCuore's development, the first App designed in Italy to report the forests health status. The support of an active users' community can not only allow researchers to survey declining forest sites, but also to better plan research activities and management measures. SilvaCuore is an App designed with the willingness to strengthen the link between the citizens and the scientific community, contributing to the development of a valuable scientific database, available on a website and linked to the App. Through a user-friendly interface, the App leads the users throughout a simplified reporting procedure. SilvaCuore may therefore be perceived by a dual aspect: a resource for the scientific community and a unique opportunity for citizens to play an active role in research activities.

Keywords: Active Citizenship, Census, Climate Change, Forest Disturbance, Mediterranean Forests, Scientific Database

Fenomeno del deperimento e mortalità nel mondo e in Italia

Il cambiamento climatico è un processo di portata mondiale ormai ben documentato che comporta eventi climatici estremi sempre più frequenti ed intensi (IPCC 2014), soprattutto in area mediterranea (Giorgi & Lionello 2008). Tali fenomeni possono alterare rapidamente la composizione, la struttura e il funzionamento degli ecosistemi forestali (McDowell et al. 2020, Rita et al. 2020), innescando talvolta processi di declino della vegetazione arborea. Le variabili climatiche sono tra i principali fattori che influenzano le specie forestali e le dinamiche delle comunità da loro dipendenti sia nel breve termine, ad esempio influenzando la crescita e il ciclo riproduttivo degli alberi (Babst et al. 2019), che nel lungo termine inducendone modifiche dell'areale di distribuzione (Batllori et al. 2020). Sebbene le foreste mediterranee siano più adattate a sopportare periodi siccitosi stagionali e/o a regimi pluviometrici ir-

regolari (Gazol et al. 2018a), l'accentuazione di tali fenomeni potrebbe impattare pesantemente sugli ecosistemi forestali (Gazol et al. 2018b). Negli ultimi decenni i fenomeni di deperimento e mortalità forestale sono stati riportati in tutto il pianeta, sia a scala regionale che locale (Hartmann et al. 2018, Anderegg et al. 2020, Senf et al. 2020), causati soprattutto dall'aumento della frequenza ed intensità di ondate di siccità e calore (Borghetti et al. 2021). Il fenomeno appare preoccupante: i casi segnalati nel mondo sono in continuo aumento. Ne danno testimonianza, ad esempio, alcuni studi condotti nella Penisola Iberica, che coinvolgono sia latifoglie che conifere: abete bianco e pino silvestre (Pellizzari et al. 2016), pino marittimo (Moreno-Fernández et al. 2021), farnia, roverella e faggio (Camarero et al. 2021), quercia dell'Algeria (Sánchez-Salguero et al. 2020), pino nero (González De Andrés & Camarero 2020). Anche diverse specie di ginepro hanno mostrato negli ultimi anni diffusi fenomeni di deperimento, nonostante si supponga siano meglio adattate a sopportare periodi con ridotta disponibilità idrica rispetto alle specie arboree coesistenti come i pini (Camarero et al. 2020, Gazol et al. 2017, Sánchez-Salguero & Camarero 2020). Un quadro esemplificativo della diffusione del fenomeno per i popolamenti quercini è invece presentato in Gentilesca et al. (2017). Anche la sintomatologia è molto variabile: defogliazione e disseccamento della chioma, riduzione delle dimensioni e ritardata emissione delle foglie, fessurazione e necrosi della corteccia e in molti casi la morte della pianta. I casi di deperimento sono osservabili anche nella nostra Penisola (Fig. 1). Si osservano effetti marcati del fenomeno in alcuni popolamenti di specie quercine ricadenti nel territorio dell'Appennino Meridionale, per i quali sono già in atto attività di ricerca da diversi anni: nel dettaglio, si tratta di boschi di farnetto nei comuni di San Paolo Al-

□ (1) Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali - SAFE, Università della Basilicata, v.le dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza (Italy); (2) Instituto Pirenaico de Ecología - IPE-CSIC, Avda. Montañana 1005, 50192, Zaragoza (Spain); (3) Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli "Federico II", v. Università 96, 80055 Portici, NA (Italy)

@ Maria Castellaneta (maria.castellaneta@unibas.it)

Citazione: Castellaneta M, Borghetti M, Colangelo M, Lapolla A, Rita A, Ripullone F (2021). SilvaCuore: un'App per monitorare lo stato di salute delle foreste italiane. *Forest@* 18: 74-78. - doi: [10.3832/efor3993-018](https://doi.org/10.3832/efor3993-018) [online 2021-10-14]

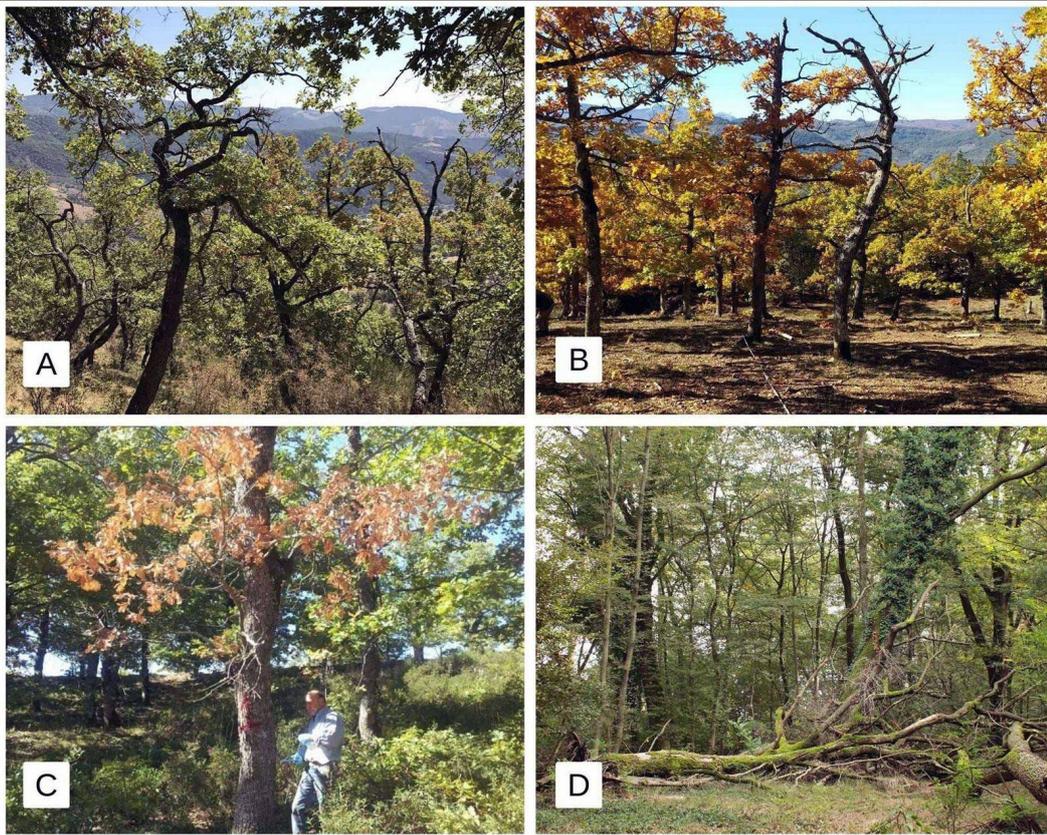


Fig. 1 - Siti forestali in deperimento in Italia. (A): Comune di Gorgoglione (Matera), popolamento misto di cerro (*Quercus cerris* L.) e roverella (*Quercus pubescens* Willd.); (B): Comune di San Paolo Albanese (Potenza), popolamento di farnetto (*Quercus frainetto* Ten.); (C): Comune di Oriolo (Cosenza), popolamento di farnetto (*Quercus frainetto* Ten.); (D): Parco del Ticino (Milano), popolamento di farnia (*Quercus robur* L.).

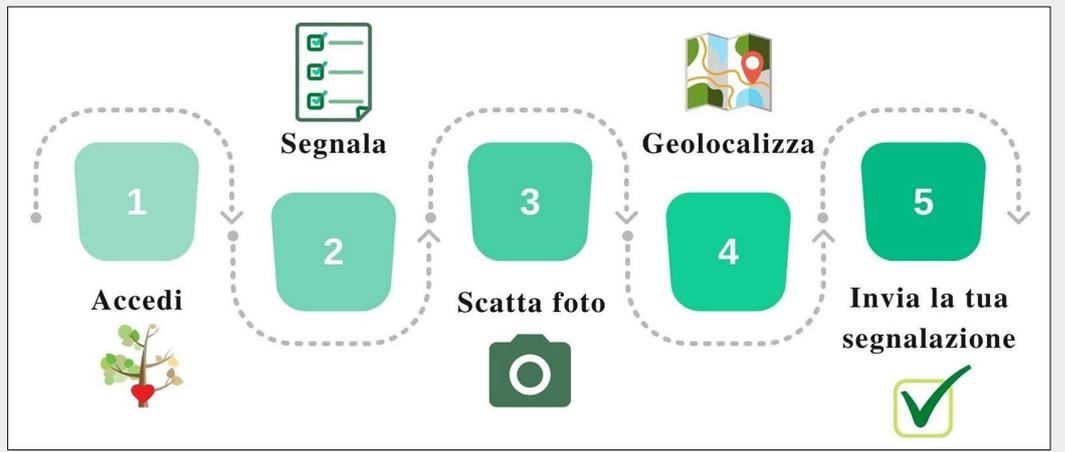
banese ed Oriolo (Colangelo et al. 2017a, 2017b, Ripullone et al. 2020) e di cerro e roverella nel comune di Gorgoglione (Colangelo et al. 2018). Ad oggi, il bosco di San Paolo Albanese, nel Parco Nazionale del Pollino, è oggetto di studio nell'ambito del progetto PON OT4CLIMA al fine di comprendere i fattori di stress che stanno mettendo a rischio la sopravvivenza del bosco stesso attraverso un approccio congiunto da remoto e a terra altamente innovativo. Un caso emblematico è poi rappresentato dai querceti planiziali, in termini di diffusione del fenomeno di declino e mortalità. Nonostante il molteplice valore dei querceti planiziali sia attualmente riconosciuto, si tratta di formazioni che in passato sono state oggetto di sfruttamento intensivo che ne ha spesso ridotto l'estensione e frammentato la distribuzione, rendendo il sistema estremamente fragile. Ne è un esempio la Riserva Regionale Orientata "Bosco Pantano" di Policoro, probabilmente uno dei pochissimi lembi rimasti di foresta planiziale nel sud-Europa; l'obiettivo delle attività scientifiche messe in campo negli ultimi anni è proprio quello di salvare il bosco igrofilo e la farnia, sua specie simbolo. Dalle indagini svolte da Università degli Studi della Basilicata e Consiglio Nazionale delle Ricerche, è emerso infatti come i pochi esemplari rimasti di farnia risultino caratterizzati da un notevole stato di sofferenza. Nel Parco del Ticino, il fenomeno del deperimento della farnia è presente già da diversi anni e le ricerche in corso mirano proprio a studiare e comprendere il ruolo della diversità genetica nel determinare la risposta delle piante agli eventi climatici estremi. Diversi casi di deperimento e mortalità sono stati segnalati anche per il pino silvestre presente nelle valli alpine, come testimoniano gli studi condotti in alcuni popolamenti in Valle d'Aosta (Vacchiano et al. 2012, Castagneri et al. 2015). Lo studio svolto da Pollastrini et al. (2019) mette invece in luce l'impatto della siccità estiva del 2017 su popolamenti di alcune specie rappresentative presenti nell'Italia centrale (faggio, roverella, cerro, leccio e fillirea),

analizzando le diverse risposte e soprattutto la capacità di recupero dopo tale fenomeno di disturbo.

Il deperimento forestale è dunque ampiamente diffuso anche in Italia, ma allo stato attuale non è stata ancora ben determinata l'entità e la distribuzione completa del fenomeno. Il monitoraggio è fondamentale al fine di comprendere la portata del fenomeno e programmare gli interventi futuri. Molteplici sono gli sforzi messi in atto da diverse istituzioni nel mondo con l'obiettivo non solo di mappare e monitorare il fenomeno del deperimento forestale ma di metterlo anche in relazione con i diversi fattori ambientali. Ne sono un esempio le attività introdotte dalla Task Force IUFRO (*International Union of Forest Research Organizations*) al fine di creare una rete di monitoraggio multidisciplinare globale. *AlertaForestal* è, invece, l'applicazione promossa dal CREAM (*Ecological and Forestry Applications Research Centre*) con l'obiettivo non solo di valutare lo stato di salute attuale delle foreste della Catalogna ma di prevedere anche, attraverso modelli di simulazione, quali saranno le dinamiche future. Sviluppato in Gran Bretagna dalla *Forestry Research*, l'Istituto per la Ricerca Forestale, l'applicativo *Tree Alert* punta a raggiungere i medesimi risultati.

Data l'importanza di avere maggiore contezza delle superfici interessate dal fenomeno a livello italiano, e vista la mancanza di un dato ufficiale, l'obiettivo è quello di creare un network che, attraverso collaborazioni internazionali ed interdisciplinari, possa fungere da strumento di supporto al monitoraggio delle foreste italiane. Presupposto necessario per poter attuare tutto ciò è censire i siti forestali in deperimento, al fine di costruire una banca dati a livello nazionale. L'idea è stata dunque quella di creare una *web-application* che potesse coinvolgere una comunità attiva di utenti, rappresentata non solo da professionisti del settore ma anche da appassionati, che vogliono contribuire attivamente al monitoraggio della salute dei nostri boschi. Si tratta perciò di un progetto di Citi-

Fig. 2 - Schema di funzionamento dell'applicazione SilvaCuore.



zen Science (letteralmente, scienza dei cittadini o scienza partecipata in inglese), che punta al coinvolgimento diretto dei cittadini, permettendo loro di divenire i veri protagonisti della ricerca scientifica (Silvertown 2009). L'obiettivo è quello di valutare l'estensione del fenomeno a livello nazionale, per poter capire quali siano state le cause del declino delle foreste ed identificarne sia la vulnerabilità che la capacità di recuperare dopo eventi climatici estremi. Tutto questo consentirà di predisporre interventi di gestione volti alla salvaguardia dei popolamenti forestali più suscettibili.

L'app SilvaCuore

SilvaCuore è il risultato della missione e dell'impegno di alcuni ricercatori dell'Università degli Studi della Basilicata con l'obiettivo di offrire uno strumento che potesse consentire l'identificazione dei siti forestali in deperimento presenti sul territorio italiano. SilvaCuore nasce come applicazione sviluppata per essere un compagno quotidiano per tutti coloro che, individuata una possibile situazione di cattivo stato di salute di un bosco, vorranno fornire il loro supporto. Tutto quello che occorre fare è accedere all'App, disponibile all'indirizzo <https://silvacuore.web.app/menu/home>; una volta effettuato l'accesso, l'utente viene guidato nella segnalazione passo dopo passo, grazie ad una veste grafica pensata per garantire una funzionalità semplice e intuitiva.

L'App SilvaCuore è utilizzabile da smartphone, tablet e pc, ed il suo uso è limitato a pochi semplici passaggi: inserire alcuni dati relativi alla segnalazione, scattare o caricare una o più foto e tenere la geo-localizzazione attiva durante il processo per consentire all'App di localizzare la segnalazione stessa (Fig. 2).

SilvaCuore include due funzionalità per l'inserimento delle informazioni necessarie alla segnalazione (come riportato in Tab. 1):

Tab. 1 - I dati relativi al sito in deperimento richiesti all'utente per procedere alla segnalazione.

Informazioni base	Informazioni avanzate
Località	Specie forestale
Data di osservazione	Nome scientifico
Tipologia	Natura dei sintomi
Identificazione	Percentuale di diffusione del fenomeno
Nome specie comune	Presenza di alberi morti
Localizzazione del problema	-
Commenti	-

- Step base: pensato per l'utente non-esperto, richiede poche semplici informazioni, facilmente rinvenibili.
- Step avanzato: concepito per l'utente esperto del settore, richiede un maggior grado di dettaglio delle informazioni fornite.

Le segnalazioni raccolte e validate dal team SilvaCuore, saranno visibili sulla homepage dell'App e potranno consentire ad altri utenti di conoscere lo stato di salute degli ambienti forestali italiani. L'interazione con il mondo della ricerca diventa quindi ancora più dinamica ed immediata, con la possibilità di ottenere informazioni cruciali per il monitoraggio dello stato di salute delle foreste sfruttando tutte le potenzialità delle nuove tecnologie. La partecipazione al network di SilvaCuore costituisce un contributo prezioso, che favorisce la crescita del livello di conoscenze fino ad oggi raggiunto.

Il sito web

Il sito web di SilvaCuore, accessibile all'indirizzo <https://www.silvacuore.org>, è organizzato in quattro sezioni principali (Fig. 3), accessibili dal banner posto nella parte superiore della homepage. L'interfaccia user-friendly consente una navigazione semplice ed intuitiva. La homepage fornisce innanzitutto una breve panoramica sulle motivazioni che hanno spinto alla creazione di SilvaCuore, partendo dalla problematica del deperimento forestale fino ad arrivare a mettere in risalto quanto sia cruciale mappare e monitorare tale fenomeno. Viene poi riportata una sorta di carta d'identità dell'applicazione, consentendo all'utente di comprenderne l'importanza e soprattutto il meccanismo di funzionamento; un pulsante interattivo permette inoltre all'utente di accedere in maniera diretta all'applicativo. Le sezioni "Chi siamo" e "Credits" fornisc



Fig. 3 - Mappa del sito web SilvaCuore.

scono ulteriori informazioni sui componenti del team SilvaCuore, sugli enti/istituzioni con cui collaborano e soprattutto sulle attività di ricerca messe in campo negli ultimi anni.

Conclusioni

SilvaCuore rappresenta un'opportunità di rilievo che punta ad integrare e coniugare le attività messe in campo negli anni da diversi enti, con l'obiettivo di avere contezza della diffusione del fenomeno del deperimento forestale in Italia, per poter pianificare azioni di monitoraggio e gestione che migliorino la resistenza e la resilienza delle nostre foreste. Il coinvolgimento diretto dei cittadini nel censimento e nella salvaguardia delle foreste rappresenta una prospettiva avvincente, in quanto l'uso innovativo della tecnologia può aiutare a sfruttare il crescente entusiasmo dei cittadini verso le tematiche ambientali consentendoci di raccogliere e analizzare informazioni basilari. Negli ultimi anni, infatti, la *Citizen Science* ha guadagnato sempre maggiore attenzione come modalità integrativa per poter affrontare diverse problematiche scientifiche, legata alla volontà dei cittadini di partecipare e contribuire attivamente alla salvaguardia degli ambienti naturali. Compito della comunità accademica è quello di divulgare e far conoscere le attività scientifiche condotte in campo, puntando a fare in modo che la ricerca scientifica diventi anche fattore di inclusione e partecipazione. Crediamo fermamente che questo virtuoso incrocio tra ricerca scientifica, cittadini e nuove tecnologie possa giocare un ruolo chiave nella gestione dei molteplici aspetti che caratterizzano il monitoraggio e la gestione dei nostri boschi.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con il contributo del progetto: "Advanced EO Technologies for studying Climate Change impacts on the environment - OT4CLIMA" finanziato dal MIUR, D.D. 2261 del 6.9.2018, PON R&I 2014-2020 & FSC.

Lavoro svolto con la collaborazione di: Società Spin-off Effetresezero di Trento che ha sviluppato il sito web e l'Applicazione SilvaCuore.

Lavoro svolto con il supporto di: Gruppo di lavoro "Foreste, tra Mitigazione ed Adattamento" della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale; Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali; Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Bibliografia

Anderegg WR, Trugman AT, Badgley G, Konings AG, Shaw J (2020). Divergent forest sensitivity to repeated extreme droughts. *Nature Climate Change* 10 (12): 1091-1095. - doi: [10.1038/s41558-020-00919-1](https://doi.org/10.1038/s41558-020-00919-1)

Babst F, Bouriaud O, Poulter B, Trouet V, Girardin MP, Frank DC (2019). Twentieth century redistribution in climatic drivers of global tree growth. *Science Advances* 5 (1): eaat4313. - doi: [10.1126/sciadv.aat4313](https://doi.org/10.1126/sciadv.aat4313)

Batllori E, Lloret F, Aakala T, Anderegg WR, Aynekulu E, Bendixsen DP, Bentouati A, Bigler C, Burk CJ, Camarero JJ, Colangelo M, Coop JD, Fensham R, Floyd ML, Galiano L, Ganey JL, Gonzalez P, Jacobsen AL, Kane JM, Kitzberger T, Linares JC, Marchetti SB, Matusick G, Michaelian M, Navarro-Cerrillo RM, Pratt RB, Redmond MD, Rigling A, Ripullone F, Sangüesa-Barreda G, Sasal Y, Saura-Mas S, Suarez ML, Veblen TT, Vilà-Cabrera A, Vincke C, Zeeman B (2020). Forest and woodland replacement patterns following drought-related mortality. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 117 (47): 29720-29729. - doi: [10.1073/pnas.2002314117](https://doi.org/10.1073/pnas.2002314117)

Borghetti M, Colangelo M, Ripullone F, Rita A (2021). Ondate di siccità e calore, spunti per una selvicoltura adattativa. *Forest@* 18: 49-57. - doi: [10.3832/efor0054-018](https://doi.org/10.3832/efor0054-018)

Camarero JJ, Colangelo M, Gazol A, Azorín-Molina C (2021).

Drought and cold spells trigger dieback of temperate oak and beech forests in northern Spain. *Dendrochronologia* 66: 125812. - doi: [10.1016/j.dendro.2021.125812](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125812)

Camarero JJ, Gazol A, Sánchez-Salguero R, Sangüesa-Barreda G, Díaz-Delgado R, Casals P (2020). Dieback and mortality of junipers caused by drought: Dissimilar growth and wood isotope patterns preceding shrub death. *Agricultural and Forest Meteorology* 291: 108078. - doi: [10.1016/j.agrformet.2020.108078](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108078)

Castagneri D, Bottero A, Motta R, Vacchiano G (2015). Repeated spring precipitation shortage alters individual growth patterns in Scots pine forests in the Western Alps. *Trees* 29 (6): 1699-1712. - doi: [10.1007/s00468-015-1250-z](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1250-z)

Colangelo M, Camarero JJ, Battipaglia G, Borghetti M, De Micco V, Gentilesca T, Ripullone F (2017a). A multi-proxy assessment of dieback causes in a Mediterranean oak species. *Tree Physiology* 37 (5): 617-631. - doi: [10.1093/treephys/tpx002](https://doi.org/10.1093/treephys/tpx002)

Colangelo M, Camarero JJ, Borghetti M, Gazol A, Gentilesca T, Ripullone F (2017b). Size matters a lot: drought-affected Italian oaks are smaller and show lower growth prior to tree death. *Frontiers in Plant Sciences* 8: 135. - doi: [10.3389/fpls.2017.00135](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00135)

Colangelo M, Camarero JJ, Borghetti M, Gentilesca T, Oliva J, Redondo MA, Ripullone F (2018). Drought and *Phytophthora* are associated with the decline of oak species in southern Italy. *Frontiers in Plant Science* 9: 1595. - doi: [10.3389/fpls.2018.01595](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01595)

Gazol A, Sangüesa-Barreda G, Granda E, Camarero JJ (2017). Tracking the impact of drought on functionally woody plants in a Mediterranean shrubland ecosystem. *Plant Ecology* 218 (8): 1009-1020. - doi: [10.1007/s11258-017-0749-3](https://doi.org/10.1007/s11258-017-0749-3)

Gazol A, Camarero JJ, Sangüesa-Barreda G, Vicente-Serrano SM (2018a). Post-drought resilience after forest die-off: shifts in regeneration, composition, growth and productivity. *Frontiers in Plant Science* 9: 1546. - doi: [10.3389/fpls.2018.01546](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01546)

Gazol A, Camarero JJ, Vicente-Serrano SM, Sánchez-Salguero R, Gutiérrez E, De Luis M, Sangüesa-Barreda G, Novak K, Rozas V, Tíscar PA, Linares JC, Martínez Del Castillo E, Ribas M, García-González I, Silla F, Camisón A, Génova M, Olano JM, Longares LA, Hevia A, Tomás-Burguera M, Galván JD (2018b). Forest resilience to drought varies across biomes. *Global Change Biology* 24 (5): 2143-2158. - doi: [10.1111/gcb.14082](https://doi.org/10.1111/gcb.14082)

Gentilesca T, Camarero JJ, Colangelo M, Nolè A, Ripullone F (2017). Drought-induced oak decline in the western Mediterranean region: an overview on current evidences, mechanisms and management options to improve forest resilience. *iForest* 10: 796-806. - doi: [10.3832/ifor2317-010](https://doi.org/10.3832/ifor2317-010)

González De Andrés E, Camarero JJ (2020). Disentangling mechanisms of drought-induced dieback in *Pinus nigra* Arn. from growth and wood isotope patterns. *Forests* 11 (12): 1339. - doi: [10.3390/f11121339](https://doi.org/10.3390/f11121339)

Giorgi F, Lionello P (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63: 90-104. - doi: [10.1016/j.gloplacha.2007.09.005](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005)

Hartmann H, Moura CF, Anderegg WRL, Ruehr NK, Salmon Y, Allen CD, Arndt SK, Breshears DD, Davi H, Galbraith D, Ruthrof KX, Wunder J, Adams HD, Bloemen J, Cailleret M, Cobb R, Gessler A, Grams TEE, Jansen S, Kautz M, Lloret F, O'Brien M (2018). Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality. *New Phytologist* 218: 15-28. - doi: [10.1111/nph.15048](https://doi.org/10.1111/nph.15048)

IPCC (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectorial aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Yohe GV eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 1132. [online] URL: <http://www.ipcc.ch/report/>

McDowell NG, Allen CD, Anderson-Teixeira K, Aukema BH, Bond-Lamberty B, Chini L, Clark JS, Dietze M, Grossiord C, Hanbury-Brown A, Hurtt GC, Jackson RB, Johnson DJ, Kueppers L, Lichtenstein JW, Ogle K, Poulter B, Pugh TA, Seidl R, Turner MG, Uriarte M, Walker AP, Xu C (2020). Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science* 368 (6494): eaaz9463. -

doi: [10.1126/science.aaz9463](https://doi.org/10.1126/science.aaz9463)

- Moreno-Fernández D, Viana-Soto A, Camarero JJ, Zavala MA, Tijerín J, García M (2021). Using spectral indices as early warning signals of forest dieback: the case of drought-prone *Pinus pinaster* forests. *Science of The Total Environment* 148578. - doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.148578](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148578)
- Pellizzari E, Camarero JJ, Gazol A, Sangüesa-Barreda G, Carrer M (2016). Wood anatomy and carbon-isotope discrimination support long-term hydraulic deterioration as a major cause of drought-induced dieback. *Global Change Biology* 22 (6): 2125-2137. - doi: [10.1111/gcb.13227](https://doi.org/10.1111/gcb.13227)
- Pollastrini M, Puletti N, Selvi F, Iacopetti G, Bussotti F (2019). Widespread crown defoliation after a drought and heat wave in the forests of Tuscany (Central Italy) and their recovery - A case study from summer 2017. *Frontiers in Forests and Global Change* 2: 74. - doi: [10.3389/ffgc.2019.00074](https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00074)
- Ripullone F, Camarero JJ, Colangelo M, Voltas J (2020). Variation in the access to deep soil water pools explains tree-to-tree differences in drought-triggered dieback of Mediterranean oaks. *Tree Physiology* 40 (5): 591-604. - doi: [10.1093/treephys/tpaa026](https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa026)
- Rita A, Camarero JJ, Nolè A, Borghetti M, Brunetti M, Pergola N, Serio C, Vicente-Serrano SM, Tramutoli V, Ripullone F (2020). The impact of drought spells on forests depends on site condi-

- tions: the case of 2017 summer heat wave in southern Europe. *Global Change Biology* 26 (2): 851-863. - doi: [10.1111/gcb.14825](https://doi.org/10.1111/gcb.14825)
- Sánchez-Salguero R, Colangelo M, Matías L, Ripullone F, Camarero JJ (2020). Shifts in growth responses to climate and exceeded drought-vulnerability thresholds characterize dieback in two Mediterranean deciduous oaks. *Forests* 11 (7): 714. - doi: [10.3390/f11070714](https://doi.org/10.3390/f11070714)
- Sánchez-Salguero R, Camarero JJ (2020). Greater sensitivity to hotter droughts underlies juniper dieback and mortality in Mediterranean shrublands. *Science of the Total Environment* 721: 137599. - doi: [10.1016/j.scitotenv.2020.137599](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137599)
- Senf C, Buras A, Zang CS, Rammig A, Seidl R (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications* 11 (1): 1-8. - doi: [10.1038/s41467-020-19924-1](https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1)
- Silvertown J (2009). A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution* 24 (9): 467-471. - doi: [10.1016/j.tree.2009.03.017](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017)
- Vacchiano G, Garbarino M, Mondino EB, Motta R (2012). Evidences of drought stress as a predisposing factor to Scots pine decline in Valle d'Aosta (Italy). *European Journal of Forest Research* 131 (4): 989-1000. - doi: [10.1007/s10342-011-0570-9](https://doi.org/10.1007/s10342-011-0570-9)