

## IL DECLINO DEI SOPRASSUOLI DI QUERCE NEL SUD ITALIA: IL CASO DI STUDIO DEL BOSCO DI GORGOGLIONE

Tiziana Gentilesca<sup>1</sup>, Ippolito Camele<sup>1</sup>, Michele Colangelo<sup>1</sup>, Marco Lauteri<sup>2</sup>  
Antonio Lapolla<sup>1</sup>, Francesco Ripullone<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli studi della Basilicata, Potenza; francesco.ripullone@unibas.it

<sup>2</sup>Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, CNR, Porano (TR)

Il declino delle foreste indotto dai cambiamenti climatici è un fenomeno che interessa diverse specie in Italia, tra cui anche quelle del genere *Quercus*. Recentemente è iniziato in Basilicata uno studio su un soprassuolo misto di *Q. cerris* e *Q. pubescens* che presenta evidenti sintomi di deperimento. Dopo aver censito le piante secondo una classificazione sintomatologica basata su scala visuale, sono state selezionate 15 coppie di piante sane e deperienti, da cui sono state prelevate carote legnose e campioni fogliari. L'obiettivo è stato delineare, tramite indagini dendrocronologica, dendro-anatomica e isotopica, il profilo delle piante in deperimento identificando il periodo in cui si è verificato il declino, gli effetti sui parametri dendro-anatomici strettamente legati alla vulnerabilità xilematica e la risposta ecofisiologica.

I pattern di accrescimento evidenziano una riduzione del tasso di crescita nelle piante deperienti rispetto a quelle sane, a partire dal 2000, coinciso con il susseguirsi di una serie di annate particolarmente siccitose (meno di 400 mm di pioggia annuale). In tale periodo si evidenzia anche, nelle piante deperienti, un forte calo di produzione del legno tardivo ed una riduzione nella produzione di vasi di conduzione nel legno primaverile che, con molta probabilità, ne ha compromesso la funzionalità idraulica predisponendole al declino. Contrariamente a quanto atteso, le analisi isotopiche del carbonio e dell'azoto a livello fogliare, non evidenziano particolari differenze nella risposta ecofisiologica tra piante sane e deperienti. In conclusione, i primi risultati di questo studio confermerebbero l'ipotesi che gravi episodi di siccità contribuiscono ad innescare fenomeni di deperimento nel genere *Quercus* spp., che possono manifestarsi anche dopo alcuni anni, accentuati da attacchi di insetti e patogeni di debolezza.

*Parole chiave:* declino delle foreste, dendroecologia, isotopi, *Quercus* spp., siccità.

*Keywords:* dendroecology, drought, forest decline, isotopes, quantitative wood-anatomy, *Quercus* spp.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-tg-dec>

### 1. Introduzione

Il dibattito scientifico corrente è incentrato sullo studio dei fenomeni di deperimento e mortalità forestale, ormai largamente diffusi intorno al globo terrestre (Allen *et al.*, 2010; New Phytologist, 2015). L'aumento sostanziale degli episodi di siccità contribuisce indirettamente alla diffusione di fenomeni di declino degli alberi e delle foreste (Penuelas *et al.*, 2001; Bréda *et al.*, 2006) che, se prolungati, possono portare a disfunzioni idrauliche irreversibili fino a determinare estesi fenomeni di mortalità (Anderegg *et al.*, 2012). Le conseguenze possono essere gravi: accanto alle recenti segnalazioni in USA, tra le altre specie, di *Pinus edulis* (Adams *et al.*, 2013), *Populus* spp. (Anderegg *et al.*, 2013; Galvez *et al.*, 2013), diversi studi hanno documentato riduzioni di crescita diffusa ed episodi di mortalità anche su importanti specie dell'ambiente mediterraneo tra cui *Quercus ilex* (Peñuelas *et al.*, 2001; Lloret *et al.*, 2004), *Pinus brutia* (Sarris *et al.*,

2007), *Abies Alba* (Linares *et al.*, 2009) e *Pinus sylvestris* (Heres *et al.*, 2014; Camarero *et al.*, 2011). L'ambiente mediterraneo è uno dei più preziosi sistemi ecologici della terra, ricchissimo in termini di biodiversità ma anche con molti elementi di fragilità e quindi altamente suscettibile alle conseguenze dei cambiamenti climatici (Sitch *et al.*, 2008). In Italia la perdita di biomassa derivante da mortalità, su stima da dati di letteratura, varia tra il 31% e il 36% dell'incremento corrente annuo (Magnani e Raddi, 2014). Tra le specie segnalate particolare rilievo assume il genere *Quercus* spp, particolarmente diffuso lungo l'Appennino sia in formazioni di ceduo, sia di alto fusto. Il termine 'declino della quercia' ha identificato, dal secolo scorso, isolati fenomeni di morte di esemplari appartenenti al genere *Quercus*, il cui quadro sintomatologico presenta una certa variabilità di sintomi, quali:

- i) microfillia e ritardata fogliazione;
- ii) rarefazione e disseccamento dei rami fino all'avvizzimento della chioma;

iii) emissione di getti epicormici;  
iv) fessurazione longitudinale della corteccia e colatura mucillaginosa lungo il fusto;  
v) riduzione della biomassa, lesioni necrotiche e necrosi delle radici assorbenti, a livello radicale. Diversi studi hanno posto l'accento sul ruolo delle determinanti ambientali, quali la siccità (Vannini e Valentini, 1994; Amorini *et al.*, 1996; Ragazzi *et al.*, 2002), nel declino della quercia in Italia (Di Filippo *et al.*, 2010).

Inizialmente rilevato nei boschi dell'Italia nord-orientale, in cui la farnia (*Q. robur*) risultava la specie quercina maggiormente colpita, il fenomeno si è poi diffuso nelle zone centrali e meridionali colpendo principalmente il cerro (*Q. cerris*) e, in misura minore, farnetto (*Q. frainetto*) e roverella (*Q. pubescens*). Lo scenario attuale non è meramente attribuibile a fenomeni di declino a livello di singola pianta; recenti studi e segnalazioni riportano di interi soprassuoli interessati da un generale declino. Il fenomeno è presente su tutto il territorio nazionale, con differenze nei sintomi, nella velocità di evoluzione e nei fattori coinvolti. Ad esempio, in Piemonte sono interessati dal fenomeno circa 90.000 ettari di quercio-carpineti di pianura (De Ferrari *et al.*, 2011); mentre in Sicilia è il cerro di Gussone (*Quercus gussonei*), forma meridionale termofila del cerro presente sui monti Nebrodi ad essere interessato dal deperimento (Sala *et al.*, 2011). Nonostante le diverse segnalazioni registrate nelle ultime decadi, il fenomeno risulta ancora poco studiato in Italia. Comprenderne gli effetti e predirne le conseguenze su tali ecosistemi emerge come una delle più grandi sfide della ricerca scientifica, se si vuole definire opportune strategie di intervento per contenere il fenomeno e mitigare gli effetti negativi soprattutto in aree di particolare pregio ambientale. La direttrice della gestione selvicolturale applicata a seguito di monitoraggi e ricerche in ambito forestale sembra essere l'iter più diffuso per lo studio di casi simili (*i.e.* il deperimento dei quercio-carpineti della pianura piemontese e padana) e il risultato di queste sinergie ha una notevole importanza per la conservazione e lo sviluppo dei sistemi forestali (*i.e.* Sturrock *et al.*, 2011).

## 2. Obiettivi e sito di studio

Recentemente è iniziato uno studio multidisciplinare finanziato dal comune di Gorgoglione (Basilicata), con l'obiettivo principale di indagare sul fenomeno del deperimento, che sta interessando un bosco di querce, e per definire opportune strategie di intervento al fine di migliorare l'adattamento e la resilienza del soprassuolo.

Il bosco, esteso circa 450 ettari, di proprietà comunale, è caratterizzato da una fustaia coetaneiforme (90-100 anni), costituita prevalentemente da *Q. cerris* e *Q. pubescens* di origine agamica, su soprassuolo prevalentemente arenaceo posta a circa 800 mt s.l.m. Le prime segnalazioni sullo stato di sofferenza del bosco risalgono al 2003, quando circa il 20% delle piante dell'intera superficie forestale mostrava rilevanti sintomi di deperienza che si manifestavano con segni

di seccume apicale, distacco della corteccia, marciume radicale, instabilità delle piante (troncatura a 2/3) etc. Tale situazione aveva preoccupato notevolmente l'allora amministrazione comunale di Gorgoglione che, in considerazione del notevole valore attribuito al bosco, sede di attività sportive, turistico-ricreative, nonché per motivi di sicurezza e di incolumità dei turisti che soprattutto durante i mesi estivi utilizzano l'area e le sue strutture, decise di richiamare l'attenzione del Corpo Forestale dello Stato e degli enti di ricerca.

L'evoluzione del fenomeno ha portato alla situazione odierna, dove in alcune aree, soprattutto quelle con terreno più superficiale, poco evoluto e con scarsa fertilità, la percentuale dei soggetti coinvolti è aumentata in modo considerevole, raggiungendo percentuali superiori al 50%. Gli effetti negativi riscontrati sono principalmente a carico del cerro, che mostra una maggiore sensibilità rispetto alla roverella.

All'interno del sito sono state identificate tre aree sperimentali di circa 2000 m<sup>2</sup> ognuna e nell'estate del 2013 sono iniziati i rilievi di campo. All'interno di tali aree sono state censite tutte le piante, seguendo la normativa internazionale EEC N° 3528, che prevede una classificazione sintomatologica basata su scala visuale di deperimento e che considera 5 classi di defogliazione e decolorazione (*e.g.* 1, pianta sana; 2, danno leggero; 3, danno medio (pianta deperiente); 4, danno grave (pianta molto deperiente); 5, pianta morta).

Sono stati poi effettuati campionamenti con prelievo di carote legnose e campioni fogliari da 15 coppie di piante sane (classe I e II) e malate (classe III e IV). Le coppie campionate avevano più o meno la stessa età, le stesse dimensioni e appartenevano alla stessa classe sociale (piante dominanti).

Su tali campioni è stato condotto:

- i) uno studio dendrocronologico di lungo periodo, tramite il quale identificare il periodo di divergenza nei pattern di crescita tra piante sane e deperienti;
- ii) una caratterizzazione dendro-anatomica di breve periodo, per delineare le differenze nei tratti anatomici tra piante sane e deperienti;
- iii) un'indagine ecofisiologica intrannuale, tramite l'utilizzo degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto a scala fogliare.

Infine si è proceduto ad un'indagine fitopatologica, prelevando campioni legnosi e fogliari da 7 piante abbattute classificate nelle classi IV e V di defogliazione, per caratterizzare la natura degli attacchi biotici in atto.

## 3. Principali risultati

Osservando le curve di accrescimento di piante sane e deperienti, si nota un andamento sincrono nel tempo, ed in generale una progressiva riduzione della crescita radiale, da 0,7-0,8 mm in media registrati all'inizio degli anni ottanta, a circa 0,4-0,5 mm allo stato attuale (Fig. 3). Tale riduzione progressiva è, in parte, legata al graduale invecchiamento delle piante che hanno, allo stato attuale, quasi tutte un'età compresa tra i 90 e 100 anni. Pur disponendo di cronologie che risalgono al

1920, in questo studio sono stati analizzati gli ultimi 30-40 anni, durante i quali si è manifestato il declino.

Confrontando le curve di crescita, è possibile notare come tra piante sane e deperienti vi siano solo lievissime differenze sino al 2000, anno in cui inizia una differenziazione degli accrescimenti e che viene individuato verosimilmente come inizio della fase del declino, in quanto le piante deperienti cominciano a mostrare tassi di crescita costantemente più bassi rispetto alle piante sane. In diversi studi di dendrocronologia, tale periodo viene indicato come inizio del declino per numerose specie in Europa e nel mediterraneo (Rozas *et al.*, 2009; Linares e Camarero, 2009; Heres, 2014). Infatti, tra la fine degli anni novanta ed inizi del 2000 si sono succedute una serie di annate siccitose ravvicinate, in particolare il 2000 e 2001, in cui diversi ecosistemi forestali nel mediterraneo sono passati da *sink* a *source* di CO<sub>2</sub>. Valori di precipitazioni intorno ai 350-400 mm per anno e 40 mm nel periodo estivo, hanno probabilmente di fatto indebolito le piante in maniera irreversibile, impedendone il loro "recovery" nonostante si siano verificate condizioni climatiche più favorevoli in alcune annate successive. Infatti nello studio di Di Filippo *et al.*, (2010), viene evidenziato chiaramente come la crescita radiale del cerro nell'Italia centrale aumenti in maniera progressiva fino agli inizi del 2000, per poi cominciare a decrescere dopo tale data. È stato dimostrato in più studi che nelle regioni mediterranee le querce esibiscono una risposta della crescita proporzionale soprattutto alle precipitazioni della tarda primavera o inizi d'estate (Tessier *et al.*, 1994; Di Filippo *et al.*, 2010). Coerentemente con quanto mostrato in altri studi su querce (Corcuera *et al.*, 2006), anche nel nostro caso negli anni con ridotta disponibilità idrica estiva, è stata riscontrata una forte riduzione di produzione del legno tardivo, che nella maggior parte delle piante deperienti campionate era quasi del tutto assente (Fig. 4).

Parallelamente, si è riscontrato anche un notevole calo nella produzione di vasi di conduzione nel legno primaverile delle piante deperienti rispetto alle sane (dati non mostrati). La riduzione, sia della densità che del diametro dei vasi, è indicata come sintomo di perdita di conduttività idraulica, che contribuisce in sostanza alla riduzione del vigore delle piante e con molta probabilità alla loro morte (Tulik, 2014). La notevole presenza di tulle riscontrata nel lume dei vasi negli anni siccitosi (i.e. 1999, 2000 e 2001) (Fig. 4), conferma l'aumentata vulnerabilità idraulica in piante deperienti rispetto alle piante sane.

Contrariamente a quanto atteso, le analisi isotopiche del carbonio e dell'azoto a livello fogliare, non hanno evidenziato differenze significative nella risposta fotosintetica tra piante sane e deperienti. Questo è un risultato inaspettato perché, in genere piante più

sollecitate da stress abiotici, come quelle deperienti, dovrebbero mostrare una minore discriminazione isotopica in confronto a quelle sane, particolarmente in condizioni di stress idrico, come evidenziato in alcuni lavori (i.e. Ferrio *et al.*, 2003). Alcuni autori di recente hanno addirittura riscontrato una riduzione di discriminazione isotopica in piante deperienti rispetto a quelle sane su pino silvestre (Voltas *et al.*, 2013), che è un'altra specie interessata da fenomeni accentuati di declino e mortalità in Europa.

Risultati così contrastanti richiedono sicuramente ulteriori approfondimenti per definire i meccanismi fisiologici messi in atto dalle piante in fase di declino. Dall'indagine fitopatologica eseguita, non sono stati identificati fattori biotici come causa scatenante il deperimento del bosco oggetto di studio.

Gli attacchi parassitari osservati sono ascrivibili per la maggior parte a patogeni di debolezza, che si insediano in piante generalmente già sofferenti.

#### 4. Considerazioni conclusive

I risultati ottenuti evidenziano come annate particolarmente siccitose verificatesi intorno al 2000 possano aver innescato fenomeni di declino, e che il riscontro visivo della deperienza si è reso evidente solo a partire dal 2003. In generale, la riduzione di crescita radiale è stata accompagnata da una riduzione del numero dei vasi di conduzione nel legno primaverile ed, in modo particolarmente marcato, dalla riduzione nella produzione di legno tardivo che, nel 90% delle piante in deperimento, arriva ad essere anche completamente assente. Ne consegue un aumento di vulnerabilità idraulica, con successivo intristimento di chioma, cui si accompagna il precoce avvizzimento fogliare. Il suolo superficiale e prevalentemente sabbioso, caratterizzato da scarsa ritenzione idrica, potrebbe aver influito sicuramente ad esacerbare il fenomeno del declino, così come anche gli agenti biotici rilevati nel soprassuolo che sono da considerare patogeni secondari.

Infine, la ricerca offre spunti interessanti per future indagini. Uno degli aspetti su cui val la pena approfondire gli studi riguarda nello specifico l'individuazione dei parametri anatomici del legno che segnano l'inizio del declino. In particolare i raggi parenchimatici e le variazioni dei flussi di densità sono indicati in recentissimi studi in ambiente Mediterraneo (vedi Olano *et al.*, 2012; Battipaglia *et al.*, 2013) come utili proxy delle variazioni climatiche.

#### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Amministrazione Comunale di Gorgoglione per aver finanziato il progetto di ricerca.

Tabella 1. Composizione isotopica del carbonio ( $\delta^{13}C$ ) e dell'azoto ( $\delta^{15}N$ ) in funzione delle classi di defogliazione (CD) da 1 (piante sane) a 4 (piante notevolmente deperienti). Nella tabella sono rappresentati i valori medi  $\pm$  errore standard.

Table 1. Carbon ( $\delta^{13}C$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}N$ ) isotope composition at different defoliation classes (CD) from 1 (healthy) to 4 (highly declining) trees. Mean values  $\pm$  standard error.

C.D.	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
I	-28,41 $\pm$ 0,23	-1,99 $\pm$ 0,15
II	-28,41 $\pm$ 0,95	-2,21 $\pm$ 0,37
III	-27,66 $\pm$ 0,29	-1,01 $\pm$ 0,24
IV	-28,01 $\pm$ 0,21	-2,10 $\pm$ 0,24

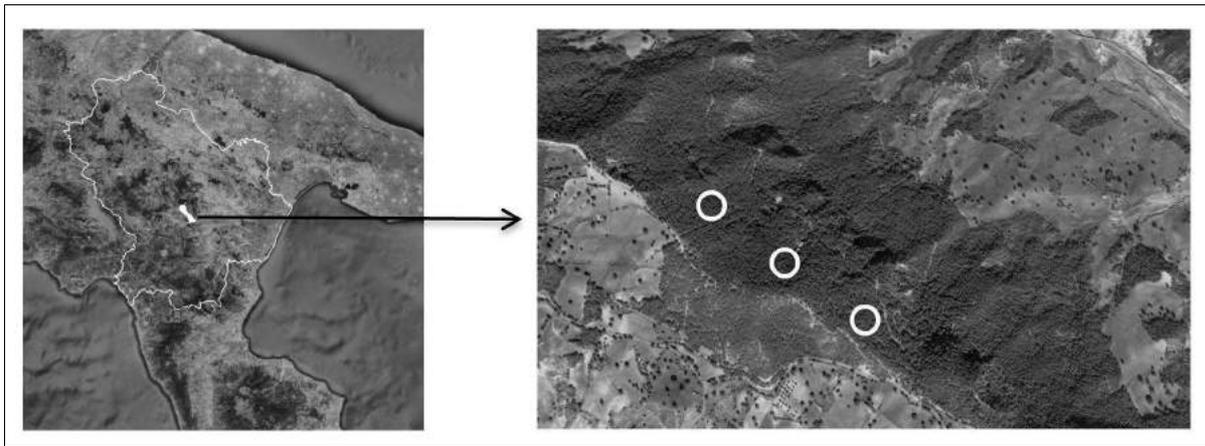


Figura 1. Localizzazione dell'area boscata in declino nel comune di Gorgoglione (Basilicata) e delle aree sperimentali in cui sono stati effettuati i campionamenti.

Figure 1. Left panel, the geographical location of decaying forest in Gorgoglione municipality territory; right panel, the three experimental (white circle) areas where sampling has been performed.



Figura 2. Querce deperienti nel bosco comunale di Gorgoglione.

Figure 2. Oak decaying trees within Gorgoglione forest.

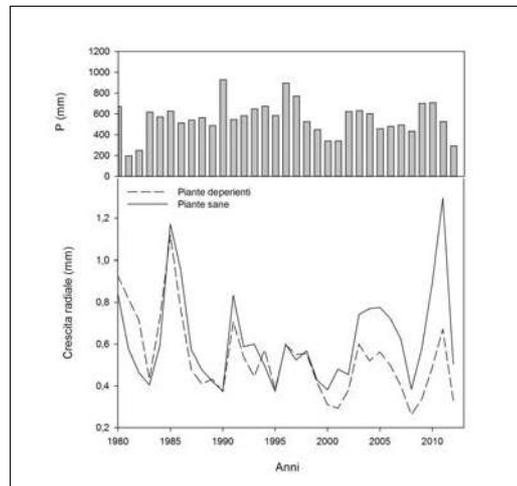


Figura 3. Variazione temporale della crescita radiale in piante deperienti e sane nel bosco di Gorgoglione comparata alle precipitazioni annuali nel periodo 1980-2013 rilevate nella stazione metereologica più vicina al sito di studio (Guardia Perticara).

Figure 3. Temporal variability of tree rings width in decaying (broken line) and non decaying (solid line) trees at the Gorgoglione forest as compared with annual precipitation in the study area from 1980 to 2013 (the histograms represent the mean annual precipitation at the nearest Guardia Perticara weather station).

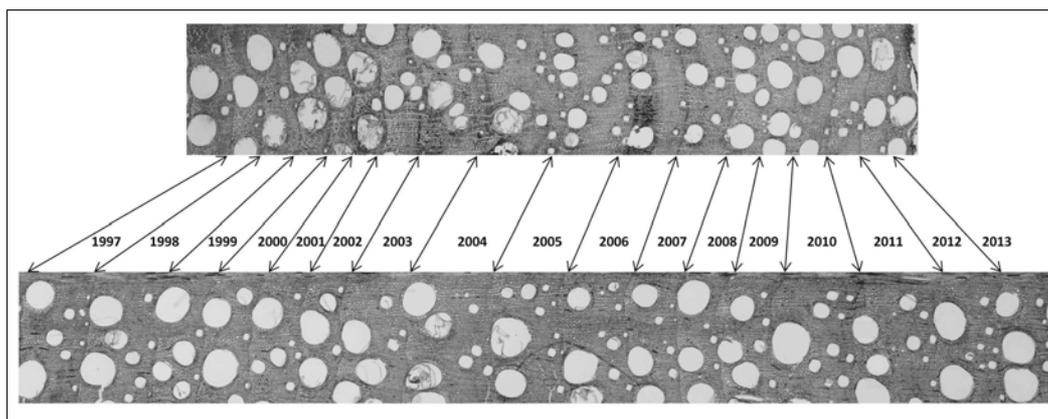


Figura 4. Immagine di una sezione trasversale anatomica di pianta deperiente (in alto) e sana (in basso) dal 1997 al 2013. Le freccette indicano la chiusura dell'anello di crescita annuale. Dall'immagine si può notare una crescita ridotta in piante deperienti rispetto a quelle sane, una ridottissima crescita del legno tardivo negli anni siccitosi del 2000 e 2001. Inoltre si può notare come il lume dei vasi del legno primaverile in piante deperienti sia pieno di tulle sempre negli anni 1999, 2000 e 2001 che indica una riduzione di conduttività idraulica e come conseguenza un' aumentata vulnerabilità xilematica.

Figure 4. The image shows a typical transverse section of decaying (above panel) and non decaying (below panel) trees from 1997 to 2013. The arrows indicate the boundary between two successive years. In general it is noticeable a reduced growth rate in decaying trees compared to non decaying trees, a very narrow increment of latewood in the driest years (especially 2000 and 2001). In addition, the lumen vessels filled with tyloses in 1999, 2000 and 2001 in decaying trees indicates a decreased xylem conductivity and an increased hydraulic vulnerability.

## SUMMARY

### Oak forest decline in southern Italy: the study case of Gorgoglione forest

The forests decline caused by climate change is a phenomenon which affects several species in Italy, including *Quercus* spp. Recently, studies on a mixed *Q. cerris* and *Q. pubescens* stand which is undergoing a serious decline have been carrying out in Basilicata region. Fifteen decaying and non-decaying couples of trees have been selected following a symptoms classification visual scale; leaves and wood core have been sampled from these couples. The aim is to outline, through dendrochronological, dendro-anatomical and isotopic investigations, the period in which decline occurred, the decaying effects on dendro-anatomical parameters closely related to xylem vulnerability and on ecophysiological response.

Results showed a decreasing trend in growth for decaying compared to non-decaying trees, starting from 2000, that was a particularly dry year (i.e. less than 400 mm of annual precipitation). As latewood thickness reduced, a general decrease in the number of vessels has been also observed in decaying trees, mainly in correspondence to dry years, that likely compromised the hydraulic functionality predisposing them to decline. Contrary to expectation, carbon and nitrogen isotopic analysis at leaf level, did not show any ecophysiological difference between decaying and non decaying trees. In conclusion, these first results support the hypothesis that severe drought episodes might have triggered decaying phenomena as environmental constraints; while secondary insects or pathogens acted in this site as a contributing factor.

## BIBLIOGRAFIA

- Adams H.D., Germino M.J., Breshears D.D., Barron-Gafford G.A., Guardiola-Claramonte M., Zou C.B., Huxman T.E., 2013 – *Nonstructural leaf carbohydrate dynamics of Pinus edulis during drought-induced tree mortality reveal role for carbon metabolism in mortality mechanism*. New Phytologist, 197: 1142-1151. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12102>
- Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kizberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N., 2010 – *A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests*. Forest Ecology and Management, 259: 660-684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Amorini E., Biocca M., Manetti M.C., Motta E., 1996 – *A dendroecological study in a declining oak coppice stand*. Annals of Forest Science, 53: 731-742. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19960249>
- Anderegg W.R.L., Berry J.A., Field C.B., 2012 – *Linking definitions, mechanisms, and modeling of drought-induced tree death*. Trends in Plant Sciences, 17: 693-700. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.006>
- Anderegg W.R.L., Plavcova L., Anderegg L.D.L., Hacke U.G., Berry J.A., Field C.B., 2013 – *Drought's legacy: multiyear hydraulic deterioration underlies widespread aspen forest die-off and portends increased future risk*. Global Change Biology, 19: 1188-1196. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12100>

- Battipaglia G., De Micco V., Brand W.A., Saurer M., Aronne G., Linke P., Cherubini P., 2014 – *Drought impact on water-use efficiency and intra-annual density fluctuations in Erica arborea on Elba (Italy)*. Plant Cell and Environment, 37 (2): 382-391. <http://dx.doi.org/10.1111/pce.12160>
- Bréda N., Huc R., Granier A., Dreyer E., 2006 – *Temperate forests trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptations processes and long-term consequences*. Annals of Forest Sciences, 63: 625-644. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2006042>
- Camarero J.J., Bigler C., Linares J.C., Gil Pelegrin E., 2011 – *Synergistic effects of pas historical joggling and drought on the decline of Pyrenean Silver fir forests*. Forest Ecology and Management, 262: 759-769. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.009>
- Corcuera L., Camarero J.J., Sisò S., Gil-Pelegrin E., 2006 – *Radial-growth and wood-anatomical changes in overaged Quercus pyrenaica coppice stands: functional responses in a new Mediterranean landscape*. Trees, 20: 91-98. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-005-0016-4>
- De Ferrari F., Licini F., Lione G., Gonthier P., Nicolotti G., Ebone A., Terzuolo P., 2011 – *Il deperimento dei querco-carpineti della pianura piemontese*. Agricoltura, 64: 29-31.
- Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F., Blasi S., Portoghesi L., Piovesan G., 2010 – *Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (Quercus cerris L.) old stored coppice in Central Italy*. Annals of Forest Science, 67: 706, p.14. <http://dx.doi.org/10.1051/forest/2010031>
- EEC N° 3528/86 Council Regulation – *On the protection of forests in the Community against atmospheric pollution Brussels 1986*. Official Journal of the European Communities. N L362/2 of Nov. 1986, p. 3.
- Ferrio J.P., Florit A., Vega A., Serrano L., Voltas J., 2003 –  *$\delta^{13}C$  and tree-ring width reflect different drought responses in Quercus ilex and Pinus halepensis*. Oecologia, 137: 512-518. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-003-1372-7>
- Galvez D.A., Landhäusser S.M., Tyree M.T., 2013 – *Low root reserve accumulation during drought may lead to winter mortality in poplar seedlings*. New Phytologist, 198: 139-148. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12129>
- Heres A.M., Voltas J., López B.C., Martínez-Vilalta J., 2014 – *Drought-induced mortality selectively affects Scots pine trees that show limited intrinsic water-use efficiency responsiveness to raising atmospheric CO<sub>2</sub>*. Functional Plant Biology, 41 (3): 244-256. <http://dx.doi.org/10.1071/FP13067>
- Linares J.C., Camarero J.J., Carreira J.A., 2009 – *Interacting effects of climate and forest-cover changes on mortality and growth of the southernmost European fir forests*. Glob Ecol Biogeogr, 18: 485-497. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00465.x>
- Lloret F., Siscart D., Dalmases C., 2004 – *Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain)*. Global Change Biology 10: 2092-2099.
- Magnani F., Raddi S., 2014 – *Verso una stima della mortalità individuale e degli incrementi netti dei boschi italiani. Quale margine di sostenibilità per la gestione forestale in Italia?* Forest@, 11: 138-148. <http://dx.doi.org/10.3832/efor1235-011>
- New Phytologist Meeting, 2015 – *Research frontiers in drought induced tree mortality: crossing scales and disciplines*. New Phytologist, 205: 965-969. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.13246>
- Olano J.M., Arzac A., Garcia-Cervignon A.I., von Arx G., Rozas V., 2012 – *New star on the age: amount of ray parenchyma in tree rings shows a link to climate*. New Phytologist, 198: 486-495. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12113>
- Peñuelas J., Lloret F., Montoya R., 2001 – *Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain*. Forest Science, 47: 214-218.
- Ragazzi A., Moricca S., Turco E., Dellavalle I., 2002 – *Dendroclimatic analysis of Quercus robur infected with Fusarium eumartii*. Phytopathologia Mediterranea, 41: 131-137.
- Rozas V., Lamas S., García-González I., 2009 – *Differential Tree-Growth Responses to Local and Large-Scale Climatic Variation in Two Pinus and Two Quercus Species in Northwest Spain*. Eco-science, 16 (3): 299-310. <http://dx.doi.org/10.2980/16-3-3212>
- Sala G., Giardina G., La Mantia T., 2011 – *I fattori di rischio per la biodiversità forestale in Sicilia: il caso di studio del cerro di Gussone*. L'Italia Forestale e Montana, 66 (1): 71-80.
- Sarris D., Christodoulakis D., Korner C., 2007 – *Recent Decline in Precipitation and Tree Growth in the Eastern Mediterranean*. Global Change Biology, 13, 1187-1200. <http://dx.doi.org/10.1111/j.13652486.2007.01348.x>
- Sitch S., Huntingford C., Gedney N., Levy P.E., Lomas M., Piao S.L., Betts R., Ciais P., Cox P., Friedlingstein P., Jones C.D., Prentice I.C., Woodward F.I., 2008 – *Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs)*. Global Change Biology, 14: 1-25. <http://dx.doi.org/10.1111/j.13652486.2008.01626.x>
- Sturrock R.N., Frankel S.J., Brown A.V., Hennon P.E., Kliejunas J.T., Lewis K.J., Worrall J.J., Woods A.J., 2011 – *Climate change and forest diseases*. Plant Pathology, 60: 133-149. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>
- Tessier L., Nola P., Serrebachet F., 1994 – *Deciduous Quercus in the Mediterranean Region-tree-ring/climate relationships*. New Phytologist, 26: 355-367. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb03955.x>
- Tulik M., 2014 – *The anatomical traits of trunk wood and their relevance to oak (Quercus robur L.) vitality*. European Journal of Forest Research, 133: 845-855. <http://dx.doi.org/10.1007/s10342-014-0801-y>
- Vannini A., Valentini R., 1994 – *Influence of water relations on Quercus cerris-Hypoxylon mediterraneum interaction: a model of drought-induced*

*susceptibility to a weakness parasite*. Tree Physiology, 14: 129-139.

<http://dx.doi.org/10.1093/treephys/14.2.129>

Voltas J., Camarero J.J., Carulla D., Aguilera M., Ortiz A., Ferrio J.P., 2013 – *A retrospective, dual-isotope*

*approach reveals individual predispositions to winter-drought induced tree dieback in the southernmost distribution limit of Scots pine*. Plant Cell and Environment, 36 (8): 1435-1448.

<http://dx.doi.org/10.1111/pce.12072>