

The logo consists of the word "LIFE" in a bold, green, sans-serif font above the word "SYSTEMiC" in a smaller, green, sans-serif font. The letter "i" in "SYSTEMiC" is lowercase. On either side of the text are stylized green tree icons with three branches.

LIFE  
SYSTEMiC



# *Smjernice za održivo gospodarenje hrastovim šumama*

*(Quercus robur L.,  
Quercus pubescens Willd., Quercus ilex L.)*



# Smjernice za održivo gospodarenje hrastovim šumama (*Q. robur* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. ilex* L.)

B. Provedbene aktivnosti  
Akcija B3 - Šumsko-uzgojne mjere

Isporuka: Smjernice o šumsko-uzgojnim aktivnostima  
u područjima očuvanja šuma u kontekstu klimatskih promjena  
za svaku od 4 ciljne vrste



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
DAGRI  
DIPARTIMENTO DI AGRICOLTURA,  
ALIMENTAZIONE E FORESTE



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
CASERTINO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNICHE  
AGRICOLE



CRISTINA IRENE BIANCHI  
SERVIZIO REGIONALE  
DIPARTIMENTO DI AGRICOLTURA,  
ALIMENTAZIONE E FORESTE



Zavod za gozdove Slovenije  
Slovenia Forest Service



## OPIS PROJEKTA LIFE SySTEMiC

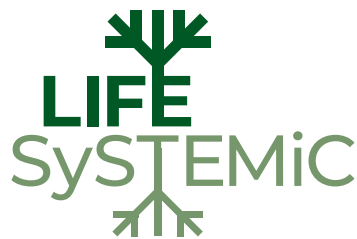
Program LIFE instrument je Europske unije za financiranje projekata očuvanja okoliša, bioraznolikosti i borbe protiv klimatskih promjena.

Cilj projekta LIFE SySTEMiC (Održivo gospodarenje šumama u skladu s prirodom u uvjetima klimatskih promjena) je korištenje „alata za modeliranje” temeljenog na genetskoj raznolikosti kako bi se odredile najbolje šumarske prakse za zaštitu naših šuma u doba klimatskih promjena. Osnovna ideja je jednostavna: što je veća genetska raznolikost drveća u šumi, veća je vjerojatnost da neka stabla imaju genetske karakteristike koje ih čine prilagodljivijima na klimatske promjene, time povećavajući otpornost i izdržljivost šumskog sustava.

**Na temelju tih premisa, glavni ciljevi projekta su:**

- Istražiti odnose između gospodarenja šumama i genetske raznolikosti za osam vrsta šumskog drveća u tri europske zemlje (Hrvatska, Italija, Slovenija) kako bi se identificirali šumarski sustavi koji održavaju visoku razinu genetske raznolikosti.
- Razviti inovativni model Genetske bioraznolikosti i šumarstva (GenBioSilvi) temeljen na kombinaciji napredne krajobrazne genomike, primijenjene genetike i šumarskih modela za podršku održivom gospodarenju šumama.
- Proširiti znanje o metodi diljem Europe i prenijeti njezinu uporabu u šumarsku praksu uključivanjem različitih vrsta dionika.

Web-stranica projekta LIFE SySTEMiC, uključujući detaljne protokole, dostupna je na poveznici: <https://www.lifesystemic.eu/>



## 1. UVOD

Miran Lanščak; Anđelina Gavranović Markić; Sanja Bogunović; Zvonimir Vujnović, Barbara Škiljan, Mladen Ivanković

Croatian Forest Research Institute (CFRI), Croatia

### Quercus spp.

Hrastovi su rod drveća i grmlja iz porodice Fagaceae. Ekološki gledano, hrastovi su ključne vrste prisutne u područjima od kontinentalnih dijelova sjeverne polutke preko mediteranskih polupustinja, do suptropskih kišnih šuma. Postoji preko 600 različitih vrsta hrastova. Hrastovi su jednodomni i mogu biti listopadni ili zimzeleni. Hrast simbolizira čvrstoću, snagu i otpornost te se često naziva „kraljem šume”. Često se odlikuju velikim i sporim rastom. Hrastovi proizvode plod zvan žir, koji je smješten u čašici, sazrijeva iste godine i sadrži taninske kiseline koje ga štite od određenih gljiva i insekata.

### Quercus robur L. - Biologija i rasprostranjenost

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) jedna je od najraširenijih i najvrjednijih vrsta drveća u Europi, koja je povijesno imala značajnu ekonomsku, socijalnu i ekološku ulogu (Morić i sur., 2018). Prema Klepcu (1996.), procjenjuje se da je ekološki učinak šuma hrasta lužnjaka nekoliko puta veći od njihovog ekonomskog učinka, s posebnim naglaskom na njihove protuerozijske i hidrološke regulatorne funkcije.

Hrast lužnjak raste diljem gotovo cijele Europe, od Norveške, Švedske i Škotske na sjeveru do Pirinej-



Slika 1.1. Rasprostranjenost hrasta lužnjaka (EUFORGEN 2009, (EUFORGEN 2009, [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org)).

skog, Apeninskog i Balkanskog poluotoka te Turske na jugu (Pasta i sur., 2016). Također se proteže do Kavkaza i Male Azije, pokrivajući područja sjeverno i istočno od rasprostranjenosti hrasta kitnjaka. Tla na kojima hrast lužnjak uspijeva uglavnom su plodna glinovita ili pjeskovita tla, obično vlažna s visokim razinama podzemne vode. Hrast lužnjak često raste u zajednicama s grabom i poljskim jasenom (Franjić i Škvorc, 2010). Dobro podnosi zimu, iako kasni proljetni mrazovi mogu uzrokovati značajnu štetu mladim listovima, što u konačnici utječe na rast i prirast. Osim toga, budući da se hranjive tvari iz korijenskog sustava koriste za razvoj novih listova, očekuje se da će u godini s mrazom biti znatno manji prinos žira.

Uz to, u svom staništu, hrast lužnjak sprječava preplavlivanje terena i pozitivno utječe na vodeni sustav tla održavajući ravnotežu vodnog statusa kroz proces transpiracije.

### Quercus pubescens Willd. - Biologija i rasprostranjenost

Hrast medunac (*Quercus pubescens* Willd.) jedna je od najraširenijih vrsta drveća u Europi južno od Dunava. Prostire se od atlantske obale Francuske do Crnog mora i Krima te dalje do Kavkaza i Male Azije (Tutin i sur., 1993). To je visoko polimorfna vrsta s brojnim taksonima koji se prvenstveno razlikuju po određenim morfološkim karakteristikama (Franjić i Škvorc, 2010). Pretežno nastanjuje toplija područja s mediteranskom i submediteranskom klimom. Hrast medunac proteže se širokim rasponom nadmorskih visina i dominantna je vrsta drveća u termofilnim i submediteranskim šumama jugoistočne Europe (Horváth i sur., 1974). Raste na suhim i skeletnim tlima, a u unutrašnjim područjima na toplijim ekspozicijama. Može se naći pojedinačno ili u raspršenim skupinama, šikarama i drugim termofilnim skupinama (Franjić i Škvorc, 2010).

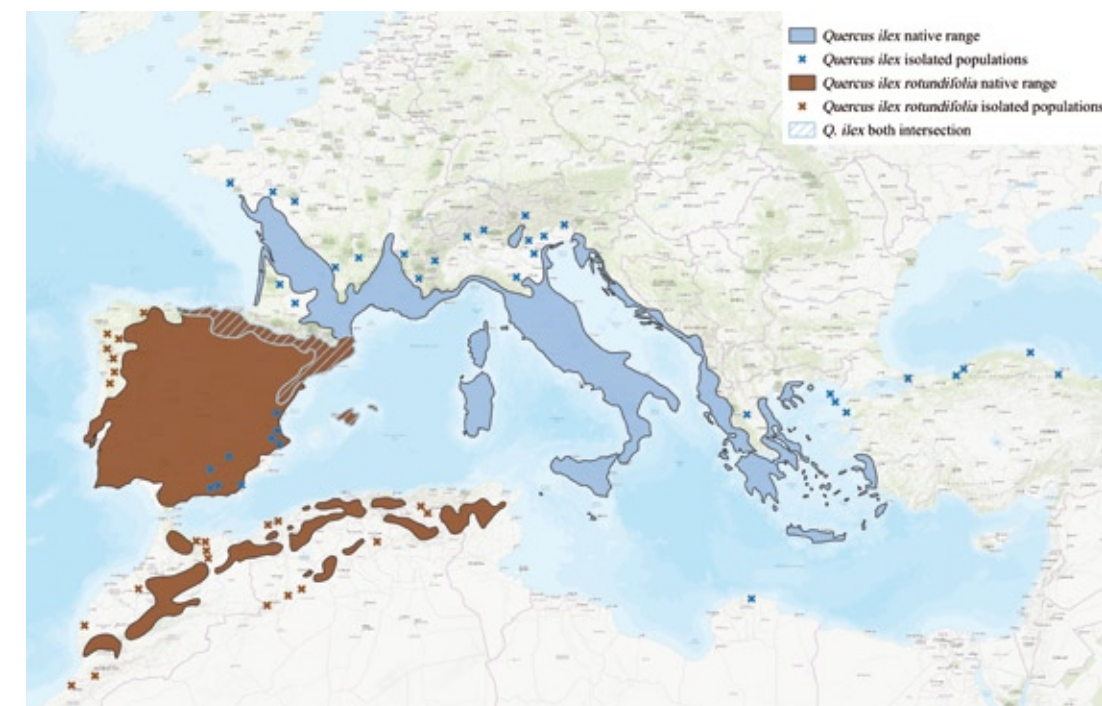


Slika 1.2. Rasprostranjenost hrasta medunca (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

### Quercus ilex L. - Biologija i rasprostranjenost

Prirodna rasprostranjenost crnike obuhvaća mediteranski bazen. Unutar svog područja rasprostranjenosti identificirane su dvije podvrste, prvenstveno prema varijacijama u morfologiji listova: *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* (ponekad nazivana *Quercus ilex* subsp. *ballota* ili kao zasebna vrsta *Quercus rotundifolia*) ima više eliptične listove s 6-8 žila i raste se u Portugalu, južnoj i jugoistočnoj Španjolskoj te Maroku, dok *Quercus ilex* subsp. *ilex* ima više jajaste listove s 8-9 žila i pojavljuje se u preostalim područjima (Schwarz, 1993; Praciak i sur., 2013). U zapadnim područjima (Pirinejski poluotok, atlantska i mediteranska obala Francuske, Apeninski poluotok, glavna mediteranska otočja), crnika stvara velike čiste sastojine, dok se u istočnim područjima (obale Balkana, Grčka, Kreta, Crno more i sjeverni Libanon) češće nalazi u mješovitim sastojinama (Schirone i sur., 2019). Raspon nadmorskih visina je varijabilan, raste od 100 do 140 m nadmorske visine u području Crnog mora te do 400 do 600 m u mediteranskom području, dok u Maroku raste na visinama od 2000 do 2600 m (Schirone i sur., 2019).

Crnika je stablo koje može rasti na različitim tipovima tla i u raznolikim mediteranskim klimama, od polusušnih do vrlo vlažnih uvjeta s obzirom na količinu padalina te od toplih do vrlo hladnih temperatura na visokim nadmorskim visinama, pod uvjetom da količina padalina ostane niska (Barbero i sur., 1992). Međutim, unatoč svojoj sposobnosti da uspijeva u različitim okolišima, čiste sastojine šuma crnike postaju sve rjeđe zbog ljudskih aktivnosti poput krčenja šuma, urbanizacije i širenja poljoprivrednih površina tijekom stoljeća.



Slika 1.3. Rasprostranjenost hrasta crnike (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Među 13 europskih vrsta hrasta, hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) i hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) ekonomski i ekološki najvažnije su listopadne šumske vrste drveća u Europi (Diaci, 2006), dok druge vrste hrasta, poput hrasta medunca (*Quercus pubescens* Willd.) i hrasta crnike (*Quercus ilex* L.), koje su također proučavane u okviru LIFE SySTEMiC projekta, sve više dobivaju na važnosti zbog svoje otpornosti na klimatske promjene (Tablica 1.1.).

Tablica 1.1. Popis demonstracijskih ploha za vrste *Quercus* spp.

Id	Site name	Country	Species	EFT*	Structure	Silvicultural system
10	Culatta	Italy	<i>Q. robur</i>	5.1	Uneven-aged/Unmanaged	Unmanaged
13	Nova Gradiška	Croatia	<i>Q. robur</i>	5.1	Even-aged	Uniform shelterwood
20	Pula	Croatia	<i>Q. ilex</i>	9.1	Even-aged	Uniform shelterwood
21	Črni kal	Slovenia	<i>Q. pubescens</i>	8.1	Even-aged	Irregular shelterwood
28A	Krakovo (Managed)	Slovenia	<i>Q. robur</i>	5.1	Even-aged	Uniform shelterwood
28B	Krakovo (Reserve)	Slovenia	<i>Q. robur</i>	5.1	Uneven-aged/Unmanaged	Unmanaged

\* EFT = Europski tip šuma: 5.1 Šuma hrasta lužnjaka i graba; 8.1 Šuma hrasta medunca; 9.1 Mediteranska zimzelena hrastova šuma.

## 2. Opće smjernice za održivo gospodarenje šumama i prilagodbu šuma na klimatske promjene

Andrej Breznikar<sup>1</sup>, Cesare Garosi<sup>2</sup>, Davide Travaglini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovenia Forest Service, Slovenia

<sup>2</sup> Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNIFI), Italy

Hrastovi su široko rasprostranjeni u cijeloj Europi. Također, blisko su povezani, mogu se križati, natjecati i međusobno prirodno hibridizirati. Hrastovi su stoga među najraznovrsnijim vrstama šumskog drveća. Visoke razine raznolikosti najvjerojatnije su rezultat održavanja velikih populacija, preklapanja ekoloških niša, genetskog toka na velikim udaljenostima i njihove međusobne oplodnje (Ducouso i Bordacs, 2004). Istraživanja hrastovih staništa u okviru projekta LIFE SySTEMiC većinom su uključivala jednodobne šume, negospodarene ili gospodarene pomoću oplodnih sječa na velikim i malim površinama. Šumsko-uzgojne metode najprikladnije za šume hrasta lužnjaka su oplodne sječe na malim površinama (0,5-2 ha) ili oplodne sječe na velikim površinama, a koje zadovoljavaju potrebu hrasta za svjetlom. Šumsko-uzgojne metode koje se rijetko koriste na područjima gdje raste hrast su intenzivno gospodarenje jednodobnim šumama, dok su panjače uobičajene u Italiji, posebno u šumama hrasta medunca i hrasta crnike (Ciancio i Nocentini, 2004). Također, napuštanje bilo kakvog gospodarenja šumama na staništima mediteranskih hrastova na strmim padinama s ograničenim pristupom također se može primjenjivati.

Karakteristike hrastovih staništa mogu se mijenjati na malim udaljenostima. Ako želimo očuvati te karakteristike i maksimalno iskoristiti njihove specifičnosti, treba koristiti odgovarajuće mješovite strukture šuma. Usmjereni razvoj hrastovih staništa prilagođenih pojedinim uvjetima staništa i šuma zahtijeva veliku fleksibilnost u odabiru odgovarajućeg sustava gospodarenja šumom i pažljivo planiranje šumsko-uzgojnih mjera. Vrste hrastova razlikuju se morfološki i u pogledu zahtjeva za uvjetima staništa (Diaci, 2006). Svi hrastovi vrste su koje zahtijevaju svjetlo, a u prvim godinama rasta brzo rastu u visinu. Na boljim staništima bez utjecaja drveća nadstojne etaže, dosežu vrhunac prirasta već između 30 i 45 godina starosti. Nakon toga, prirast volumena opada, ali ne brzo, tako da je prosječni prirast volumena kod 200-godišnjih staništa još uvijek gotovo najviši (Diaci, 2006). Posebno u mladim fazama hrastovi izvrsno reagiraju na šumsko-uzgojne mjere koje imaju važan utjecaj na oblik stabala i strukturu šume.

S porastom prosječnih godišnjih temperatura, staništa hrasta postupno će postati suša, što će dovesti do smanjenja prikladnih područja za njihov rast (ZGS, 2021). Zbog složenog djelovanja biotičkih (bolesti, štetnici) i abiotičkih čimbenika (suša), udio rasta u starijim fazama razvoja također je djelomično u

opasnosti. S povećanom sušom, rizik od požara u hrastovim šumama također će se povećati. Prisustvo četinjača s visokim potencijalom propadanja i odumiranja (obični i crni bor) također povećava ranjivost tih šuma. Zbog degradacije, promjena u sastavu drvenastih vrsta i promjena u temperaturi i vodnom režimu hrast lužnjak suočava se s nedostatkom pogodnih staništa za sjetvu ili s nedostatkom punog uroda sjemena (ZGS, 2021). Velika prijetnja genetskoj raznolikosti hrastova je uvođenje egzotičnih genotipova putem plantaža. Hrastovi imaju vrlo velike ekološke niše i ponekad zauzimaju ekstremna staništa (stjenovite padine u planinama, dine, slana tla, močvare, garige). Te populacije su u velikom riziku od izumiranja jer je broj jedinki nizak, staništa su nestabilna i ljudski utjecaj često je značajan (Bajc i sur., 2020). Štetnici i patogeni organizmi predstavljaju ozbiljnu prijetnju. Hrastova pepelnica (*Microspora alphitoides*) pojavljuje se kao jedan od najčešćih patogena hrastova. Mediteranski hrastovi suočavaju se s dodatnim prijetnjama zbog prekomjernog iskorištavanja, klimatskih promjena, nekontroliranih sječa, neodgovarajućeg gospodarenja (čišćenje ili krčenje velikih površina gdje pomladak ne može uspjeti) i intenzivne ispaše divljači.

Prirodni pomladak također može biti problem za hrastove. Zbog neuravnoteženog omjera razvojnih faza, prekomjerne prisutnosti divljači ili promjena u režimu podzemnih voda, prirodna obnova je ograničena (ZGS, 2021).

Pomlađenje očuvanih staništa hrasta lužnjaka trebala bi se obaviti nakon godine punog uroda. Sastojine se pomlađuju prvenstveno prirodno, a gdje je potrebno, također sadnjom i sjetvom. Prilikom pripreme staništa hrasta za obnovu (Slika 2.1.), sloj drveća u podstojnoj etaži ne smije se potpuno ukloniti zbog povoljnog učinka na mikroklimu, zaštitu pomlatka i prevenciju intenzivnog rasta korova i grmlja (ZGS, 2021). Obnova se zatim nastavlja nizom od dva ili tri sjeka: pripremni sjek s 30 % intenziteta, naplodni sjek s 50 % i dovršni sjek. Sjekove treba obaviti prilično brzo u intervalu od 3 do 5 godina. Sloj drveća u podstojnoj etaži treba biti potpuno uklonjen unutar dvije do tri godine nakon razvoja pomlatka.



Slika 2.1. Priprema hrastovih sastojina za pomlađenje provodi se nakon godine punog uroda.

Pomlađenje sadnjom ili sjetvom nužno je u slučajevima kada su sjemenska stabla rijetka, ne postoje ili su nedostatne kvalitete, kada konkurentna vegetacija pokazuje vrlo izraženu tendenciju razvoja, u šumama oštećenim prirodnim katastrofama ili u slučajevima konverzija prezrelih šuma te kada u pogledu strukture, sastava i drugih svojstava staništa (mikroklima) prirodno pomlađenije uspješno. Gustoća sadnje trebala bi biti između 3.000 i 5.000 sadnica/ha. Uz sadnju, može se koristiti i sjetva. Optimalan broj žirova za sjetvu trebao bi biti između 400 i 800 kg/ha, ovisno o metodi sjetve (sjetva omaške, sjetva sjemena pod motiku...). Najprikladnije njege prema smjernicama za održivo gospodarenje šumama u Sloveniji (ZGS, 2021) i rezultatima projekta LIFE SySTEMiC uključuje prvenstveno intenzivnu njegu mladih stabala, što je potrebno za strukturu buduće šume. U prirodnom mladiku prioritet je ravnoteža smjese vrsta drveća. U početnoj fazi, najveći problem predstavlja brzorastući sloj u podstojnoj etaži koji se mora uklanjati svake godine (Slika 2.2.) dok hrast više nije ugrožen. U slučaju umjetnog pomlađenja hrastovih sastojina, nužna je redovita i pravovremena njega, dva puta godišnje, ovisno o uvjetima na terenu. Ako mortalitet sadnica prelazi 30 %, provodimo dodatnu sadnju hrasta i plemenitih listača (javor, divlja trešnja) (ZGS, 2021). U fazi mladika negativni učinak hrastove pepelnice mora se kontrolirati jer predstavlja jedan od ograničavajućih faktora prirodnog pomlađenja.

Genetski resursi hrastovih sastojina ugroženi su ne samo gubitkom prirodnih ekosustava i ograničenjem izvora sjemena, nego i utjecajem onečišćenja zraka tijekom nekoliko desetljeća te dugoročnim klimatskim promjenama (Bajc i sur., 2020). Sustav obnove šuma na hrastovim staništima treba prilagoditi sve učestalijim prirodnim katastrofama i odrediti prioritete za djelovanje nakon prirodnih katastrofa te modele obnove oštećenih šuma. Obnova se mora provoditi na manjim površinama jer to osigurava mozaičnu strukturu budućih staništa i povećava njihovu otpornost. Ipak, ne smijemo zanemariti zahtjeve za svjetlom/rastom pojedinih vrsta drveća i suziti raznolikost vrsta budućeg mladog pomlatka.

Odnosi između prirodnog pomlađenja i obnove sadnjom moraju slijediti druge strategije, posebno u pogledu osiguravanja stalne pokrivenosti šumskih površina i očuvanja genetske raznolikosti mladih



Slika 2.2. Redovita njega nakon pomlađenja u hrastovim sastojinama nužna je zbog konkurencije biljne i grmolike vegetacije.

šuma. Gdje je moguće, koristi se prirodni pomladak jer na taj način evolucijski proces ostaje manje poremećen. Problem nastaje kad se okoliš mijenja brže nego što se stabla mogu prilagoditi. To može dovesti do smanjene vitalnosti i čak do kritične točke kad populacija više ne može obnavljati samu sebe. Glavna orijentacija ostaje pomlađenje pod zastorom krošanja i neizravna njega uz pomoć zrelih sastojina. Opće pomladno razdoblje treba kritički preispitati i skratiti gdje god je to moguće ili produžiti na određenim šumskim staništima.

Prikladnom, dovoljno čestom i dovoljno intenzivnom njegom hrastovih staništa možemo utjecati na poboljšanje strukture šumske sastojine i tako smanjiti osjetljivost na prirodne poremećaje te smanjiti utjecaj negativnih biotičkih i abiotičkih čimbenika. Također je potrebno prilagoditi (pretežno smanjiti) gustoću šumskih sastojina kako bi se osigurala veća heterogenost strukture sastojina (više vertikalnih slojeva) i održala raznolika vertikalna, horizontalna i dobna struktura (Breznikar, 2021). Klasične selektivne prorede u prikladnim stanišnim uvjetima zamijenjeno je prorjeđivanjem odabranih stabala na malim površinama, koje je značajno manje rizičan način njege rastućih sastojina. S povećanjem učestalosti i ozbiljnosti ozljeda, rizik od šteta u šumskim sastojinama također se povećava, čime se devaloriziraju velika ulaganja u mjere njege (ZGS, 2021).

### 3. Krajobrazna genomika

Cesare Garosi<sup>1</sup>, Cristina Vettori<sup>1,2</sup>, Marko Bajc<sup>3</sup>, Donatella Paffetti<sup>1</sup>

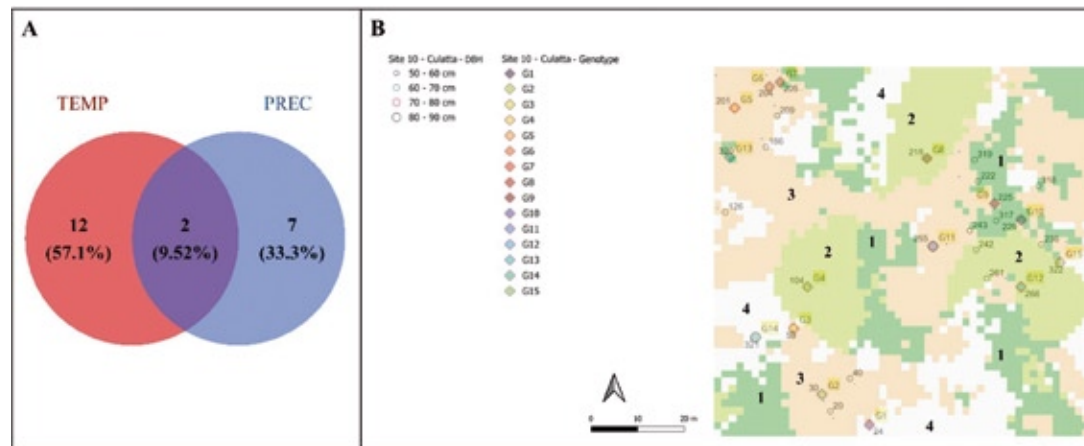
<sup>1</sup> Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNI-FI), Italy

<sup>2</sup> Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

<sup>3</sup> Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Kako bi se istaknuli mogući obrasci lokalne adaptacije u populacijama, za analizu neutralnih i adaptivnih komponenti genetske raznolikosti koristili smo pristupe krajobrazne genomike. Za proučavanje mogućih obrazaca adaptacije na lokalno okruženje koristili smo neutralne i adaptivne molekularne markere u kombinaciji s prostornim podacima i bioklimatskim pokazateljima. Nuklearni mikrosatelitski markeri (nSSR) analizirani su kao mjera neutralne genetske varijacije i strukture proučavanih populacija. Polimorfizmi pojedinih nukleotida (SNP-ovi) genotipizirani su korištenjem pristupa ciljanog re-sekvenciranja kandidatskih genskih regija i analizirani su kao mjera adaptivne genetske varijacije proučavane populacije. Kao rezultat ciljanog re-sekvenciranja hrasta lužnjaka, zabilježeno je oko 1600 SNP-ova u 27 genetskih regija relevantnih za odgovor na jedan ili više abiotičkih stresora (rezultati su navedeni u rezultatima Akcije B1: SNP karta svake demonstracijske plohe). Kroz prostornu distribuciju SNP-ova (rezultati su navedeni u rezultatima Akcije B3: Priručnik za održivo gospodarenje šumama) mogao se uočiti veliki broj specifičnih SNP-ova za svako od analiziranih hrastovih staništa. To se može smatrati ranim pokazateljima adaptacije na lokalno okruženje. Također je zanimljivo bilo prisustvo specifičnog skupa nacionalnih SNP-ova u staništima smještenim u Sloveniji. Ova prevlast SNP-ova mogla bi se interpretirati kao znak adaptacije na srednje europski/kontinentalni bio-klimatski režim koji karakterizira slovensku regiju i razlikuje je od mediteranske klime koja se nalazi u Italiji. Za identifikiranje lokalnih potpisa adaptacije na hrastovim staništima, proveli smo GEA analize. Rezultati analiza pokazali su postojanje četiri različita genotipa prisutna u Italiji, Hrvatskoj i Sloveniji. Dodatno, još zanimljivije otkriće bila je prisutnost povezanosti između 42 alelnih varijante i srednjih vrijednosti 12 okolišnih varijabli odabranih za analize. Navedena povezanost mogla bi se interpretirati kao osnovni adaptacijski genotip hrasta rasprostranjen u srednjeeuropskoj regiji. Posebno zanimljivo bilo je otkriće nekih specifičnih alelnih varijanti povezanih s određenom zemljom (Italija ili Slovenija/Hrvatska) i pojedinačnim lokacijama. Prisustvo alelnih varijanti povezanih s pojedinačnim lokacijama moglo bi biti povezano s lokalnim, a ne regionalnim obrascem adaptacije. U analizi okolišnih udruga (EAA) važno je uzeti u obzir neutralnu genetsku strukturu (Rellstab i sur., 2015) jer neutralna genetska struktura može proizvoditi obrasce slične onima očekivanim pod ne-neutralnim procesima (Excoffier i Ray, 2008; Excoffier i sur., 2009; Sillanpää, 2011). Nadalje, genetska struktura populacija analizirana je korištenjem dvaju različitih pristupa: Bayesovog klasteriranja

pomoću STRUCTURE softvera (Pritchard i sur., 2000) i prostornog Bayesovog klasteriranja pomoću GENELAND softvera. Promatrajući svaku demonstracijsku plohu zasebno, pronašli smo najveći broj alelnih varijanti (21 SNP) na negospodarenim ploham (demonstracijska ploha 10 - Culatta; Slika 3.1.). Prisustvo velikog broja SNP-ova povezanih s adaptacijom na okolišne varijable na tim ploham moglo bi biti povezano s neutralnom genetskom strukturom koja je opažena za te plohe (Aravanopoulos, 2018; Paffetti i sur., 2012; Stiers i sur., 2018).



Slika 3.1. Rezultati LFMM analize i karta raspodjele genotipova za demonstracijsku plohu 10 - Culatta:

(A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s temperaturno-povezanim i oborinsko-povezanim bioklimatskim pokazateljima, kao rezultat LFMM analize.

(B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 4 klastera prema rezultatima GENELAND analize. Karta prikazuje jedinice prisutne unutar područja istraživanja (krug s crnim rubom) i sekvencirane jedinice. Potonje su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

Slična situacija opažena je i za demonstracijsku plohu 13 - Nova Gradiška. U toj sastojini izuzetno je regularnog gospodarenja (šumski sjemenski objekt) uočena je složena prostorna genetska struktura uz najmanji broj povezanih SNP-ova. Međutim, rezultati za demonstracijsku plohu 28 - Krakovo (kojom se gospodari pod zastorom krošanja) prikazali su pojednostavljenu prostornu genetsku strukturu s jednim od najvećih brojeva povezanih SNP-ova. Gospodarenje staništima hrasta dovodi do pojednostavljene prostorne genetske strukture u odgovoru na one opažene na negospodarenim ploham i u zrelim šumama. Rezultati prikazani u ovom istraživanju mogli bi imati ključnu ulogu u planiranju gospodarenja šumama, pri čemu bi znanje o genetskoj varijabilnosti iz adaptivne perspektive moglo pomoći u procesu donošenja odluka. Osim toga, to znanje moglo bi se koristiti i u predviđanju radova na asistiranom migriranju. To je važno za očuvanje trenutnih genetskih resursa šume (FGR), ali i za obogaćivanje postojećih staništa potencijalno povoljnim genotipovima.

## 4. Hrastova pepelnica

Natalija Dovč, Rok Damjanić, Hojka Kraigher

Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.), ključna vrsta drveća u Europi, suočava se s neizvjesnom budućnošću u prirodnim i prirodni bliskim šumama zbog izazova u prirodnoj obnovi. Jedan od glavnih faktora koji doprinose toj neizvjesnosti jest gljivična bolest poznata kao hrastova pepelnica (*Erysiphe alphitoides*) (Slika 4.1.). Gljivice značajno utječu na toleranciju na sjenu i visinski rast sadnica i pomlatka, što dovodi do značajnog smanjenja njihove vitalnosti i konkurentnosti. Kao rezultat, prirodna obnova pod zastorom krošanja hrasta često je ometana infekcijama pepelnicom (Demeter i sur., 2021).

Kada hrastova pepelnica inficira nezrele listove, pepeljasta prevlaka širi se po cijeloj površini lista, što dovodi do neujednačenog razvoja ili potencijalnog sušenja. Ova pojava posebno je štetna za pomladak jer ograničava njegov rast i uzrokuje visoku smrtnost. Nasuprot tome, pepeljasta prevlaka na odraslim listovima ostaje lokalizirana, uzrokujući umjerenu štetu zrelim stablima (Thomas i sur., 2002; Marçais i Breda, 2006). Gljivice proizvode spore (konidije) koje se lako raspršuju vjetrom, insektima i vodom. Te spore kličaju i inficiraju nova biljna tkiva, posebno u uvjetima visoke vlažnosti i umjerenih temperatura.

U sklopu projekta LIFE SySTEMiC testirane su različite metode kontroliranja hrastove pepelnice na jednom od naših demonstracijskih područja u šumi Krakovo. Šuma Krakovo najveća je nizinska poplavna šuma u Sloveniji gdje dominira hrast lužnjak. Prisustvo hrastove pepelnice toliko je rasprostranjeno da predstavlja jedan od ograničavajućih faktora prirodne obnove.



Slika 4.1. Sadnica hrasta lužnjaka zaražena hrastovom pepelnicom

Cilj istraživanja bio je procijeniti utjecaj gustoće sadnje i različitih koncentracija biopesticida AQ-10 na infekciju hrastovom pepelnicom u mladim sastojinama. Istraživanje je uključivalo sadnju u ograđenom području, prema „Protokolu za istraživanje sadnje: protokol za kontrolu hrastove pepelnice“.

Naši rezultati nisu pokazali razlike između različitih tretmana, ni u visinskom prirastu ni u smrtnosti, koji su se kretali između 29,2 % i 31,9 % u svim tretmanima nakon dvije godine. Intenzitet infekcije pokazao se neprikladnim mjerom u našem slučaju jer je na početku vegetacijske sezone, tijekom prskanja biokontrolne, veliki dio lisne površine već bio oštećen ili nedostajao zbog defolijatora (Slika 4.2., desno), što je otežalo pouzdanu procjenu. Kasnije tijekom vegetacijske sezone, drugi i treći izbojci u vegetaciji zamijenili su većinu lisne površine koja se razvila u proljeće te je navedena lisna površina ostala netretirana. Na temelju naših rezultata, biološki fungicid AQ-10 nije pokazao željene učinke protiv hrastove pepelnice, a gustoća sadnje također nije imala utjecaja.



Slika 4.2. Pokusna ploha u šumi Krakovo (lijevo) i hrastov gubar (*Lymantria dispar* L.; desno).

Unatoč našim obeshrabrujućim rezultatima, ostaje ključno istražiti različite metode za zaštitu od hrastove pepelnice, koje se uglavnom primjenjuju u šumskim rasadnicima. Učinkovita kontrola pepelnice na sadnicama hrasta lužnjaka ključna je za pomladna područja tijekom oplodnih sječa. Dobro razvijene jednogodišnje i dvogodišnje sadnice hrasta dobro podnose pepelnicu i gljiva više ne ometa njihov rast (Pap i sur., 2012).

### 5. GenBioSilvi model

Roberta Ferrante<sup>1,2</sup>, Cesare Garosi<sup>1</sup>, Cristina Vettori<sup>1,3</sup>, Davide Travaglini<sup>1</sup>, Donatella Paffetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNIFI), Italy

<sup>2</sup> NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

<sup>3</sup> Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

Kako bismo istražili bioraznolikost u šumskim ekosustavima, analizirali smo indikatore koji su uključivali genetsku raznolikost, strukturu šume, mrtvo drvo, raznolikost tla i uvjete mikrostaništa koristeći prikupljene podatke iz drugih dijelova projekta. U sastojinama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) primijetili smo da su negospodarene ili zrele šume očuvale i povećale bioraznolikost. Na temelju naše analize koristeći nSSR podatke, primijetili smo da su demonstracijske plohe 10 - Culatta i 13 - Nova Gradiška, obje negospodarene (ploha 13 - Nova Gradiška izuzeta je iz regularnog gospodarenja jer je registrirana kao šumski sjemenski objekt i šuma posebne namjene), imale složenu i heterogenu prostornu genetsku strukturu. Identificirano je mnogo SNP-ova povezanih s okolišnim uvjetima, posebno na demonstracijskoj plohi 10 - Culatta (negospodarena), gdje je zabilježen veći broj SNP-ova povezanih s bioklimatskim indikatorima. Dendrometrijski podaci pokazali su da je najbolja struktura višeslojna raznodobna šuma, uzimajući u obzir sve prisutne vrste. Naime, sva analizirana područja koja su miješana sastojine hrasta lužnjaka trebale bi biti očuvane. Demonstracijska ploha 28B - Krakovo (negospodareno područje) imala je najveći volumen mrtvog drva i mnogo saproksilnih mikrostaništa, posebno oko starih stabala. Na temelju dobivenih rezultata, tipovi gospodarenja koji omogućuju kompleksne šumske strukture karakteristične za raznodobne i višeslojne sastojine povećavaju vjerojatnost opažanja različitih oblika mikrostaništa. Naš model fokusira se na ključne indikatore poput mrtvog drveta, mikrostaništa i raznolikosti vrsta, usmjeravajući održive prakse gospodarenja bez potrebe za prikupljanjem podataka o genetskoj raznolikosti i raznolikosti tla (Tablica 5.1.).

Tablica 5.1. Opis odabranih pokazatelja koji pomažu korisnicima opisati stanje sastojine

Categories	Indicators	Description
Forest structure	DBH standard deviation	Variability in tree DBH within the stand
	Percentage of trees in regeneration layer	Presence of the target species natural regeneration
	DBH class distribution curve	Complexity of horizontal and vertical forest structure
Deadwood	No. of population strata	
	Standing deadwood presence	Description the presence of deadwood functioning as microhabitat
Species diversity	Coarse woody debris	
	Species richness	Number of all species present in the stand regarding both the presence of adults' individuals and regeneration
	Percentage of non-target individuals regeneration	
Microhabitat	Percentage of individuals with cavities	Presence of key microhabitat form for biodiversity
	Percentage of individuals with Injuries and wounds	
	Percentage of individuals with Deformation	

Niže se nalazi primjer obrasca koji prikazuje sastavljeni obrazac temeljen na stvarnim podacima dobivenim s demonstracijske plohe 10 - Culatta (Slika 5.1.).

Scheda di valutazione della popolazione forestale - Simulation Site 10 (Culatta)				
Forest management	Real Data	Indicator-specific score	Implication for Management	
Forests should be managed in a way to preserve their multifunctional role (ecological, social and productive forest functions). This can be achieved only through maintenance of healthy forests and their biodiversity, protection of its natural fertility and water sources as well as other beneficial functions of forests in the water and carbon cycle, sustainable supply of wood and other products from forest, profit and employment.	Unmanaged			
Forest structure indicator	Real Data	Indicator-specific score	Implication for Horizontal and Vertical Forest structure	
Forest structure is both a product and driver of ecosystem processes and biological diversity. Changes in forest structure as a result of management for timber production have undesirable consequences for other components of forest ecosystems	Structural indicator			
	DBH Standard deviation	14,8	<input type="checkbox"/> Score 1 (DBH SD < 10) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (10 ≤ DBH SD < 20) <input type="checkbox"/> Score 3 (DBH SD > 20)	<b>Results from simulated parameters</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Simplified forest structure without micro-cavities) - From 4 to 6  <input type="checkbox"/> Score 2 (Simplified forest structure with micro-cavities or Complex forest structure without micro-cavities) - From 7 to 8  <input type="checkbox"/> Score 3 (Complex forest structure with micro-cavities) - From 9 to 11  <input type="checkbox"/> Score 4 (Complex forest structure with micro-cavities present in the total area) - From 12 to 15
	Refers to % of trees in regeneration layer (considering DBH less than 10 cm)	0	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Reg < 10) <input type="checkbox"/> Score 2 (10 ≤ % Reg < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Reg < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Reg > 50)	
	Curve of DBH class distribution	Bell-shaped	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Bell-shaped) <input type="checkbox"/> Score 2 (Multi-modal) <input type="checkbox"/> Score 3 (J-shaped)	
	N° of strata (stratification of population)	Bi-stratified	<input type="checkbox"/> Score 1 (Mono-stratified) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Bi-stratified) <input type="checkbox"/> Score 3 (Tri or Multi-stratified)	
Productivity indicators	Real data	Implication for population biodiversity		
Forest site productivity is the production that can be realized at a certain site with a given genotype and a specified management regime. Site productivity depends both on natural factors inherent to the site and on management-related factors.	Growing stock (m³/ha)	367,5 m³/ha	In managed stands, the minimum growing stock should be around 250-300 m³/ha.	



Biodiversity indicators		Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity
<b>Deadwood indicators</b>				
Standing deadwood (including snags) presence	Presence		<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of standing deadwood)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Total absence of deadwood) - 2 point
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood)	
Coarse woody debris	Presence		<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of Coarse woody debris)	<input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood or Coarse woody debris) - 3 point <input checked="" type="checkbox"/> Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of Coarse woody debris)	
<b>Species diversity indicators</b>				
Species richness (presence of individual of non-target species)	Presence		<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of other species)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Monospecific site) - 2 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Sparse species with none or low representation) - 3 point <input checked="" type="checkbox"/> Score 3 (Sparse species with high representation) - 4 to 6 point
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of other species)	
% of non-target individuals in the smallest diameter class (10 cm)	N/A		<input type="checkbox"/> Score 1 (% Non = 15)	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Non < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Non < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Non ≥ 50)	
<b>Microhabitat indicators</b>				
% of individuals with cavities	N/A		<input type="checkbox"/> Score 1 (0 Ind. ≤ 15%)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Sparse to consistent presence of microhabitat) - 4 to 6 point <input type="checkbox"/> Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15% ≤ % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (50% Ind. > 50%)	
% of individuals with injuries and wounds	N/A		<input type="checkbox"/> Score 1 (0 Ind. ≤ 15%)	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15% ≤ % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (50% Ind. > 50%)	
% of individuals with deformations	N/A		<input type="checkbox"/> Score 1 (0 Ind. ≤ 15%)	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15% ≤ % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (50% Ind. > 50%)	
			<b>Final Score: 9</b>	

Slika 5.1. Popunjeni obrazac na temelju stvarnih podataka s demonstracijske plohe 10 - Culatta.

## 6 Preporuke za održivo gospodarenje šumama

Andrej Breznikar<sup>1</sup>, Kristina Sever<sup>1</sup>, Cesare Garosi<sup>2</sup>, Cristina Vettori<sup>2,3</sup>, Donatella Paffetti<sup>2</sup>, Roberta Ferrante<sup>2,4</sup>, Hojka Kraigher<sup>5</sup>, Natalija Dovč<sup>5</sup>, Rok Damjanič<sup>5</sup>, Davide Travaglini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

<sup>2</sup> Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNIFI), Italy

<sup>3</sup> Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

<sup>4</sup> NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

<sup>5</sup> Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

- Hrastovi su među najraznovrsnijim vrstama šumskog drveća, usko su povezani, mogu se križati, natjecati i prirodno hibridizirati jedni s drugima.
- Šumsko-uzgojne metode najprikladnije za šume hrasta lužnjaka su oplodne sječe na malim površinama (0,5 - 2 ha) ili oplodne sječe na velikim površinama koje zadovoljavaju potrebu hrasta za svjetlom.
- Šumsko-uzgojne metode koje se rijetko koriste na područjima gdje raste hrast su intenzivno gospodarenje jednodobnim šumama, dok su panjače uobičajene u Italiji, posebno u šumama hrasta medunca i hrasta crnike.
- Karakteristike hrastovih staništa mogu se mijenjati na malim udaljenostima. Ako želimo očuvati te karakteristike i maksimalno iskoristiti njihove specifičnosti, treba koristiti odgovarajuće mješovite strukture drveća i šuma.
- Svi hrastovi su vrste koje zahtijevaju svjetlo, a u prvim godinama brzo rastu u visinu.

- S porastom prosječnih godišnjih temperatura, staništa hrasta će postupno postati suša, što će dovesti do smanjenja prikladnih područja za njihov rast.
- Velika prijetnja genetskoj raznolikosti hrastova je uvođenje egzotičnih genotipova putem plantaža. Hrastovi imaju vrlo velike ekološke niše i ponekad zauzimaju ekstremna staništa (stjenovite padine u planinama, dine, slana tla, močvare, garige). Te populacije su u velikom su riziku od izumiranja jer je broj jedinki nizak, staništa su nestabilna i ljudski utjecaj često je značajan.
- Štetnici i patogeni organizmi predstavljaju ozbiljnu prijetnju. Hrastova pepelnica (*Microspora alphioides*) pojavljuje se kao jedan od najčešćih patogena hrastova. Mediteranski hrastovi suočavaju se s dodatnim prijetnjama zbog prekomjernog iskorištavanja, klimatskih promjena, nekontroliranih sječa, neodgovarajućeg gospodarenja (čišćenje ili krčenje velikih površina gdje pomladak ne može uspjeti) i intenzivne ispaše divljači.
- Budući da prirodno pomlađenje može biti problematično za hrastove, pomlađenje sačuvanih sastojina hrasta lužnjaka trebalo bi se provoditi nakon godine punog uroda, uz seriju sječa i intenzivnu njegu pomlatka.
- Šumske sastojine hrasta obnavljaju se gdje je potrebno i sadnjom i sjetvom, pri čemu se javljaju problemi s prirodnom obnovom (nedostatak sjemenskih stabala, obilna konkurentna vegetacija, oštećenja zbog prirodnih katastrofa, ...).
- Intenzivna njega mladih sastojina nužna je za osiguranje pravilne strukture sastojine i omjera drvenastih vrsta buduće šume, kao i za smanjenje konkurencije brzorastućeg sloja podstoje etaze.
- Genetski resursi hrastovih sastojina ugroženi su, ne samo gubitkom prirodnih ekosustava i ograničenjem izvora sjemena, nego i dugoročnim klimatskim promjenama.
- Krajobrazna genomika ključna je za procjenu neutralne i adaptivne genetske raznolikosti te za razumijevanje utjecaja lokalne adaptacije u populacijama kako bi se odabrali odgovarajući šumsko-uzgojni modeli.
- Poznavanje genetske varijabilnosti iz adaptivne perspektive može pomoći u procesu donošenja odluka. Osim toga, to znanje moglo bi se koristiti i u anticipaciji radova na asistiranom migriranju. To je važno za očuvanje trenutnih genetskih resursa šume (FGR), ali i za obogaćivanje postojećih staništa potencijalno povoljnim genotipovima osiguravajući otpornost šuma i genetsku raznolikost.
- U sastojinama hrasta lužnjaka primijetili smo da gospodarenje staništima hrasta dovodi do pojednostavljene prostorne genetske strukture u odgovoru na one opažene na negospodarenim ploham i u zrelih šumama.
- Praćenje i proučavanje biološke raznolikosti te svih njenih komponenata ključno je za razumijevanje otpornosti šumskog ekosustava. Zbog toga je važno prikupiti informacije o genetskoj raznolikosti, strukturi šume, mrtvom drvetu, raznolikosti tla i uvjetima mikrostanja.
- Za sastojine hrasta lužnjaka, koje su pokazale slične karakteristike kao one uključene u naše istraživanje, predlažemo korištenje šumsko-uzgojnih metoda koje povećavaju složenost šumskih sastojina s višeslojnom strukturom koja olakšava raspršivanje peludi, promiče genetsku raznolikost i povećava nove alelne varijante ključne za prilagodbu na klimatske promjene.
- Korištenje GenBioSilvi modela moglo bi pomoći krajnjim korisnicima šuma u provjeri statusa biološke raznolikosti sastojine i pružiti smjernice za održivo gospodarenje. Naime, identificirali smo ključne indikatore koji neizravno opisuju genetsku raznolikost i predstavljaju biološku raznolikost, fokusirajući se na mrtvo drvo, mikrostanja i raznolikost vrsta. Usmjerali smo se na vidljive ključne indikatore za opis statusa istraživane sastojine.
- Sustav obnove šuma u sastojinama hrasta treba se prilagoditi sve češćim prirodnim katastrofama, uglavnom prilagodbom veličine područja za obnovu jer to osigurava mozaičnu strukturu budućih sastojina i povećava njihovu otpornost.
- Gdje je moguće, koristi se prirodno pomlađenje, jer tako evolucijski proces ostaje manje poremećen, a glavni cilj ostaje pomlađenje pod zastorom krošnja i neizravna njega uz pomoć zrele sastojine.
- S odgovarajućim pomlađenjem, dovoljno čestim i intenzivnom njegovom sastojina hrasta, možemo olakšati poboljšanje i prilagodbu strukture sastojina, smanjiti osjetljivost na prirodne poremećaje i negativne utjecaje biotičkih i abiotičkih čimbenika, kao i očuvanje i povećanje genetske raznolikosti sastojina hrasta, što značajno smanjuje rizike upravljanja hrastom u klimatski nestabilnom okruženju.

## Reference

- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T. and Curtis-McLane, S. (2008), Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1: 95-111. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>.
- Alberto FJ, Derory J, Boury C. (2013), Imprints of natural selection along environmental gradients in phenology-related genes of *Quercus petraea*. *Genetics*, Volume 195, Issue 2, Pages 495-512, <https://doi.org/10.1534/genetics.113.153783>.
- Aravanopoulos, FA. (2018), Do Silviculture and Forest Management Affect the Genetic Diversity and Structure of Long-Impacted Forest Tree Populations? *Forests*. 9(6):355. <https://doi.org/10.3390/f9060355>.
- 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*. doi:10.1126/sciadv.aat4313.
- Blanquart, F., Kaltz, O., Nuismer, S.L., Gandon, S., (2013), A practical guide to measuring local adaptation. *Ecol. Lett.* 16, 1195-1205. <https://doi.org/10.1111/ele.12150>.
- Bajc M., Aravanopoulos F., Westergren M., Fussi B., Kavaliauskas D., Alizoti P., Kiourtsis F., Kraigher H. (eds.) (2020). Manual for Forest Genetic Monitoring. Slovenian Forestry Institute: Silva Slovenica Publishing Centre, Ljubljana.
- Balkenhol, et al., 2016. Landscape Genetics: Concepts, Methods, Applications. ISBN 978-1-118-52528-9 2.
- Barbero M., Loisel R., Quézel P. (1992). *Quercus ilex* L. ecosystems: function, dynamics and management. In: Romane F., Terradas J. (eds.), Springer Netherlands, *Advances in vegetation science*, 13: 19-34.
- Barrett LW, Fletcher S, Wilton SD. (2012), Regulation of eukaryotic gene expression by the untranslated gene regions and other non-coding elements. *Cell Mol Life Sci.* 69(21):3613-34. doi: 10.1007/s00018-012-0990-9.
- Bouriaud, O., Popa, I. (2009), Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce, and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian Mountains. *Trees* 23, 95-106. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0258-z>
- Breznikar A. (2019). Podnebne spremembe postajajo glavni izziv javne gozdarske službe na področju gojenja in varstva gozdov. *Gozdarski vestnik, letnik 77, No. 9, Ljubljana*, p. 332-337.
- Chambel, M. R., Climent, J., Alia, R., & Valladares, F. (2005), Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. *Forest Systems*, 14(3), 334-344. <https://doi.org/10.5424/srf/2005143-00924>.
- Ciancio O., Nocentini S. (2004). The coppice forest. Silviculture, regulation, management. In: "Il bosco ceduo. Selvicoltura, assestamento, gestione". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 679-701.
- Ciancio O., Nocentini S. (2004). The coppice forest. Silviculture, regulation, management. In: "Il bosco ceduo. Selvicoltura, assestamento, gestione". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 679-701.
- Carrasquinho, I., Gonçalves, E. (2013), Genetic variability among *Pinus pinea* L. provenances for survival and growth traits in Portugal. *Tree Genetics & Genomes* 9, 855-866. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0603-2>.
- Carrer, M., Nola, P., Motta, R. and Urbinati, C. (2010), Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos*, 119: 1515-1525. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18293.x>.
- Degen, B., Blanc-Jolivet, C., Bakhtina, S. (2021), Applying targeted genotyping by sequencing with a new set of nuclear and plastid SNP and indel loci for *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *Conservation Genet Resour* 13, 345-347). <https://doi.org/10.1007/s12686-021-01207-6>.
- Demeter L., Molnár A. P., Öllerer P., Csóka G., Kiš A., Vadász C., Horváth F., Molnár Z. (2021). Rethinking the natural regeneration failure of pedunculate oak: The pathogen mildew hypothesis. *Biological Conservation*, 253. doi: 10.1016/j.biocon.2020.108928.
- Diaci J. (2006). Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 348 p.
- Ducouso A., Bordacs S. (2004). EUFORGEN - Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italia, 6 p.
- Ducouso A., Bordacs S. (2004). EUFORGEN - Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6 p.
- Ducouso, A., Bordacs, S. (2004). EUFORGEN [European Forest Genetic Resources Programme] technical guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use.
- Elling, W., Dittmar, C., Pfaffelmoser, K., Rötzer, T. (2009), Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany, *Forest Ecology and Management*, Volume 257, Issue 4, Pages 1175-1187, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.014>.
- Eckert A.J., Hall B.D. (2006), Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (Pinaceae): phylogenetic tests of fossil-based hypotheses. *Mol Phylogenet Evol* 40:166-182. doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.009.
- Excoffier L, Ray N. (2008). Surfing during population expansions promotes genetic revolutions and structuration. *Trends Ecol Evol.* Jul;23(7):347-51. doi: 10.1016/j.tree.2008.04.004. PMID: 18502536.
- Excoffier, L., Hofer, T. & Foll, M. (2009), Detecting loci under selection in a hierarchically structured population. *Heredity* 103, 285-298. <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.74>.
- Fady, B. and Conord, C. (2010), Macroecological patterns of species and genetic diversity in vascular plants of the Mediterranean basin. *Diversity and Distributions*, 16: 53-64. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00621.x>.
- Flint, L.E., Flint, A.L., Thorne, J.H. (2013), Fine-scale hydrologic modeling for regional landscape applications: the California Basin Characterization Model development and performance. *Ecol Process* 2. 1030 <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-25>.
- Franjić, J.; Škvorc, Ž.; Šumsko drveće i grmlje Hrvatske. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet, 2010. 432.
- Gausen H., Heywood V.H., CHATER A.O., (1964), *Pinus* L. In: Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. O., Edmondson, J. R., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A. (Eds.), "Flora Europaea" 1: 32-35. Cambridge.
- González de Andrés, E., Camarero, J., Martínez, I., Coll, L. (2014), Uncoupled spatiotemporal patterns of seed dispersal and regeneration in Pyrenean silver fir populations, *Forest Ecology and Management*, Volume 319, Pages 18-28, ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.050>.
- González de Andrés, E., Gazol, A., Querejeta, J. I., Igual, J. M., Colangelo, M., Sánchez-Salguero, R., Linares, J. C., & Camarero, J. J. (2022), The role of nutritional impairment in carbon-water balance of silver fir drought-induced dieback. *Global Change Biology*, 28, 4439-4458. <https://doi.org/10.1111/gcb.16170>.
- Gugger, P.F., Fitz-Gibbon, S., Pell'Egrini, M. and Sork, V.L. (2016), Species-wide patterns of DNA methylation variation in *Quercus lobata* and their association with climate gradients. *Mol Ecol*, 25: 1665-1680. <https://doi.org/10.1111/mec.13563>.
- Guillot G., Mortier F., Estoup A. (2008). Analysing georeferenced population genetics data with Geneland: a new algorithm to deal with null alleles and a friendly graphical user interface. *Bioinformatics* 24:1406-1407. <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btn136>.
- Hoegh-Guldberg O, Hughes L, McIntyre S, Lindenmayer DB, Parmesan C, Possingham HP, Thomas CD. (2008), Assisted colonization and rapid climate change. *Science*. Jul 18;321(5887):345-6. doi: 10.1126/science.1157897. PMID: 18635780.
- Kesić, L., Cseke, K., Orlović, S., Stojanović, D. B., Kostić, S., Benke, A., Avramidou, E. V. (2021), Genetic diversity and differentiation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) populations at the southern margin of its distribution range—implications for conservation. *Diversity*, 13(8), 371. doi.org/10.3390/d13080371.
- Klepac D. (1996). Uvod. U: D. Klepac (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU i »Hrvatske šume« p.o., Vinkovci - Zagreb*: 9-12.
- Kramer, K., Vreugdenhil, S.J., Van der Werf, DC. (2008), Effects of flooding on the recruitment, damage and mortality of riparian tree species: A field and simulation study on the Rhine floodplain, *Forest Ecology and Management*, Volume 255, Issue 11, Pages 3893-3903, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.044>.
- Kremer A, Ronce O, Robledo-Arnuncio JJ, Guillaume F, Bohrer G, Nathan R, Bridle JR, Gomulkiewicz R, Klein EK, Ritland K, Kuparinen A, Gerber S, Schueler S. (2012), Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecol Lett.* 15(4):378-92. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x
- Lefèvre, F., Boivin, T., Bontemps, A. (2014), Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science* 71, 723-739. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>.
- Marçais B. and Bréda N. (2006). Role of an opportunistic pathogen in the decline of stressed oak

- trees. *Journal of Ecology*, 94, 1214-1223. doi:10.1111/j.1365-2745.2006.01173.x.
- Mosca, E., Eckert, A.J., Di Pierro, E.A., Rocchini, D., La Porta, N., Belletti, P. and Neale, D.B. (2012), The geographical and environmental determinants of genetic diversity for four alpine conifers of the European Alps. *Mol Ecol*, 21: 5530-5545. <https://doi.org/10.1111/mec.12043>.
- Paffetti, D., Travaglini, D., Buonamici, A., Nocentini, S., Vendramin, G., Giannini, R., Vettori, C. (2012), The influence of forest management on beech (*Fagus sylvatica* L.) stand structure and genetic diversity, *Forest Ecology and Management*, Volume 284, Pages 34-44, ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.026>.
- Pap P., Ranković B. and Mačirević S. (2012). Significance and need of powdery mildew control (*Microspora alphitoides* Griff. et Maubl.) in the process of regeneration of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in the Ravni Srem area. *Periodicum Biologorum*, 114: 1, 91-102.
- Pasta S., De Rigo D., Caudullo G. (2016). *Quercus pubescens* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of forest tree species*: 156-157.
- Pinzauti, F., Vendramin, G.G., Buonamici, A., Maggini, F., Sebastiani, F., & Vettori, C. (2012), Low genetic diversity but high phenotypic plasticity in *Pinus pinea* L. (Stone pine). *Plant Biology*, 14(6), 944-955.
- Pluess, A.R., Frank, A., Heiri, C., Lalagüe, H., Vendramin, G.G., Oddou-Muratorio, S. (2016), Genome-environment association study suggests local adaptation to climate at the regional scale in *Fagus sylvatica*. *New Phytol.* 210, 589-601. doi.org/10.1111/nph.13809.
- Praciak A., Pasiecznik N., Sheil D., Van Heist M., Sassen M., Correia C.S., Teeling C. (2013). The CABI encyclopedia of forest trees (CABI, Oxfordshire, UK). ISBN: 978178064236.
- Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. (2000), Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. Jun;155(2):945-59. doi: 10.1093/genetics/155.2.945. PMID: 10835412; PMCID: PMC1461096.
- Rellstab, C., Gugerli, F., Eckert, A.J., Hancock, A.M. and Holderegger, R. (2015). A practical guide to environmental association analysis in landscape genomics. *Mol Ecol*, 24: 4348-4370. <https://doi.org/10.1111/mec.13322>.
- Schirone B., Vessella F., Varela M.C. (2019). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Holm oak (*Quercus ilex*). *European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN)*, European Forest Institute, 6 p.
- Scotti-Saintagne, C., Boivin, T., Suez, M., Musch, B., Scotti, I., & Fady, B. (2021), Signature of mid-Pleistocene lineages in the European silver fir (*Abies alba* Mill.) at its geographic distribution margin. *Ecology and Evolution*, 11, 10984-10999. <https://doi.org/10.1002/ece3.7886>.
- Schwarz O. (1993). *Flora Europaea: Psilotaceae to Platanaceae (Vol. 1)*. In: Tutin T. G. *et al.* (eds.), Cambridge University Press, second edn: 72-76.
- Sillanpää, M.J. (2011), On statistical methods for estimating heritability in wild populations. *Molecular Ecology*, 20: 1324-1332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05021.x>
- Stiers, M., Willim, K., Seidel, D., Ehbrecht, M., Kabal, M., Ammer, C., Annighöfer, P. (2018), A quantitative comparison of the structural complexity of managed, lately unmanaged and primary European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests, *Forest Ecology and Management*, Volume 430, Pages 357-365, ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.039>.
- Thomas F. M., Blank R. and Hartmann G. (2002). Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in central Europe. *Forest Pathology*, 32, 277-307. doi:10.1046/j.1439-0329.2002.00291.x.
- Tinner, W., Colombaroli, D., Heiri, O., Henne, P.D., Steinacher, M., Untenecker, J., Vescovi, E., Allen, J.R.M., Carraro, G., Conedera, M., Joos, F., Lotter, A.F., Luterbacher, J., Samartin, S. and Valsecchi, V. (2013), The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83: 419-439. <https://doi.org/10.1890/12-2231.1>.
- Tutin T.G., Burges N.A., Chater A.O., Edmondson J.R. Heywood V.H., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A. (eds.) (1993). *Flora Europaea*, ed. 2, 1. Cambridge.
- ZGS (2021). *Usmeritve za gospodarjenje z gozdovi po skupinah gozdnih rastišnih tipov*. Internal publication. Slovenia Forest Service, Ljubljana, Slovenija, 236 p.
- Vitali V, Büntgen U, Bauhus J. (2017), Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Glob Change Biol.* 2017; 23: 5108-5119. <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>.
- Vitasse, Y., Bottero, A., Rebetez, M., Conedera, M., Augustin, S., Brang, P., Tinner, W. (2019), What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *Eur. J. Forest Res.* 138 (4), 547-560.

## Proječni partneri

Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNIFI), Italy (Coordinator)

Croatian Forest Research Institute (CFRI), Croatia

D.R.E.A.M., Italy

Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli (MSRM), Italy

Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

Unione dei Comuni Montani del Casentino (UCCAS), Italy

## Autori

DAGRI-UNIFI: Cristina Vettori (IBBR-CNR), Roberta Ferrante, Cesare Garosi, Francesco Parisi, Davide Travaglini, Donatella Paffetti

CFRI: Sanja Bogunović, Mladen Ivanković, Anđelina Gavranović Markić, Barbara Škiljan, Zvonimir Vujnović, Miran Lanščak

MSRM: Francesca Logli

SFI: Marko Bajc, Rok Damjanič, Natalija Dovč, Tijana Martinović, Tanja Mrak, Tina Unuk Nahberger, Nataša Šibanc, Marjana Westergren, Hojka Kraigher

SFS: Andrej Breznikar, Kristina Sever

## Trajanje projekta

01/09/2019 - 31/08/2024

## Vrijednost projekta i EU financiranje

Total project budget: 2,976,245 €

LIFE Funding: 1,635,709 € (55% of total eligible budget)

## Kontakt

*Koordinator i znanstveno odgovorna osoba projekta*

Donatella Paffetti - DAGRI-UNIFI

Via Maragliano, 77

50144 Firenze

Italy

donatella.paffetti@unifi.it

## Proječni manager

Cristina Vettori - IBBR-CNR

Via Madonna del Piano, 10

50019 Sesto Fiorentino (FI)

Italy

cristina.vettori@cnr.it

## Komunikacijski manager

Davide Travaglini - DAGRI-UNIFI

Via San Bonaventura, 13

50145 Firenze

Italy

davide.travaglini@unifi.it

## WEB stranica

<https://www.lifesystemic.eu>



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
DAGRI  
DIPARTIMENTO DI AGRICOLTURA,  
ALIMENTAZIONE E FORESTAZIONE



Zavod za gozdove Slovenije  
Slovenia Forest Service



CASENTINO  
UNIONE DEI COMUNI MONTANI



The LIFE SySTEMiC project has received funding from the LIFE program of the European Union.

## Details on how to cite the content

The contents of book is under the Licensed Rights bound by the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International Public License ("Public License") (for details see <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>).

## Text, photos, images, illustrations

You are allowed to use the text, photos, images, and illustration reported within the Guidelines for Sustainable Forest Management of Oaks (*Q. robur* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. ilex* L.), but acknowledgements to LIFE SySTEMiC project must be provided reporting the link to website of the project in the case of presentations/publications, and cited as Guidelines for Sustainable Forest Management of Oaks (*Q. robur* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. ilex* L.), pages 22 ([www.lifesystemic.eu](http://www.lifesystemic.eu)). ISBN: 9788889578858



Graphics Arts & altro Grafica



See details

LIFEsystemic © 2020 | All Rights Reserved

