

Program LIFE instrument je Evropske 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, povećavajući otpornost i izdržljivost šumskog sustava.



Handbook for Sustainable Forest Management

Priručnik za održivo gospodarenje šumama



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DAGRI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE
AGRICOLE, ALBERGHE E FORESTALI



CASENTINO
UNIONE DEI COMUNI MONTANI



Zavod za gozdove Slovenije
Slovenia Forest Service



Priručnik za održivo gospodarenje šumama

B. Provedbene aktivnosti
Akcija B3 - Šumsko-uzgojne mjere
Isporučivi rezultat: Priručnik za održivo gospodarenje
šumama (SFM) za sve projektne vrste



Projektni 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 Damjanić, Natalija Dovč, Tine Grebenc, Tijana Martinović, Tanja Mrak, Tina Unuk Nahberger, Nataša Šibanc, Katja Kavčič Sonnenschein, 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

Projektni 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>



The LIFE SySTEMiC - LIFE18ENV/IT/000124 project has received funding from the LIFE program of the EU.

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 Handbook for Sustainable Forest Management, but acknowledgements to LIFE SySTEMiC project must be provided reporting the link to website of the project in the case of presentation and reports/publications, and cited as Handbook for Sustainable Forest Management, pages 128, (<https://www.lifesystemic.eu>). ISBN 9788889578872.



Graphical plan, pagination Arts & altro Grafica



LIFESystemic © 2020 | All Rights Reserved

Sadržaj

	Opis projekta life systemi	4
1	Uvod	5
2	Održivo gospodarenje šumama za <i>Abies alba</i> Mill.	9
2.1	Uvod	9
2.2	Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana sa stablima	11
2.3	Krajobrazna genomika	15
2.4	Bioraznolikost tla	19
2.5	Pretraživanje	20
2.6	GenBioSilvi model	23
2.7	Preporuke za održivo gospodarenje šumama	29
3	Održivo gospodarenje šumama za <i>Fagus sylvatica</i> L.	37
3.1	Uvod	37
3.2	Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana sa stablima	40
3.3	Krajobrazna genomika	47
3.4	Bioraznolikost tla	50
3.4.1	Eksperiment sakupljanj	
3.4.2	Dugoročni učinak šumarskih mjera	
3.5	GenBioSilvi model	57
3.6	Preporuke za održivo gospodarenje šumama	63
4	Održivo gospodarenje šumama za <i>Pinus</i> spp. (<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold, <i>Pinus pinea</i> L., <i>Pinus pinaster</i> Aiton)	69
4.1	Uvod	69
4.2	Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa vezana uz drveće	73
4.3	Krajobrazna genomika	79
4.4	GenBioSilvi model	83
4.5	Preporuke za održivo gospodarenje šumama	85
5	Održivo gospodarenje šumama za <i>Quercus</i> spp. (<i>Quercus robur</i> L., <i>Quercus pubescens</i> Willd., <i>Quercus ilex</i> L.)	91
5.1	Uvod	91
5.2	Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana sa stablima	95
5.3	Krajobrazna genomika	100
5.4	Pepelnica hrasta	104
5.5	Genbiosilvi model	106
5.6	Preporuke za održivo gospodarenje šumama	111
	References	116

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, 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-stranici projekta LIFE SySTEMiC, uključujući detaljne protokole, može se pristupiti putem poveznice <https://www.lifesystemic.eu/>



1. UVOD

Hojka Kraigher¹, Kristina Sever², Andrej Breznikar², Davide Travaglini³

¹ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

² Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

³ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNIFI), Italy

Održivo, prirodi blisko i multifunkcionalno gospodarenje šumama

Održivo, prirodi blisko i multifunkcionalno gospodarenje šumama planirano je tako da očuva šume i sve šumske funkcije i funkcije šumskih ekosustava, a istovremeno osigura profit vlasnicima šuma. Može se definirati prema načelima „Slovenske šumarske škole”, kako je opisano u Kraigher i sur. (2019):

- Gospodarenje šumama prilagođeno je karakteristikama staništa i prirodnom razvoju šuma;
- Aktivna zaštita prirodnih populacija šumskih stabala;
- Zaštita i očuvanje bioraznolikosti u šumama (uključujući genetsku raznolikost);
- Podrška bio-ekološkoj i ekonomskoj stabilnosti šuma povećanjem drvne zalihe;
- Njega svih razvojnih stadija i svih oblika šuma za podršku vitalnim i visokokvalitetnim šumskim stablima, koja mogu optimalno ispuniti sve funkcije šuma;
- Prirodna obnova podržana je u svim šumama;
- Ako se koriste sjeme ili sadnice, trebaju potjecati iz prihvatljivih izvora/provenijencija, a mogu se koristiti samo prihvatljive vrste.

Prirodi blisko šumarstvo koristi metode gospodarenja šumama koje promiču očuvanje prirode i šuma, dok istovremeno ostvaruju opipljive i neopipljive koristi šuma na način da je očuvaju kao prirodni ekosustav sa svim njezinim raznolikim oblicima života i odnosima unutar njih. Temelji se na detaljnom planiranju gospodarenja šumama, prilagođenom individualnim staništima i uvjetima staništa kao i funkcijama šuma te uzima u obzir prirodne procese i strukture specifične za prirodne šumske ekosustave te kontinuiranom učenju iz procesa u negospodarenim šumskim rezervatima. Prirodni procesi mijenjaju se što je manje moguće, dok se istovremeno održavaju financijska profitabilnost i društvena održivost gospodarenja šumama (Forest Management by Mimicking Nature, 2014).

Prirodi blisko šumarstvo oponaša prirodne procese i strukture što je više moguće. Šumske sastojine trebale bi se obnavljati prirodnim putem i trebale bi oponašati mješavinu vrsta drveća i šumskih sastojina prirodnih šuma. Gospodarenje šumama može izravno utjecati na sastojine drveća u šumskom ekosustavu. Kroz prirodnu obnovu šumskih sastojina čuva se prilagodljivost stabala uvjetima specifičnih staništa i prirodnoj dinamici. Šumsko uzgojne mjere trebale bi biti pažljivo odabrane kako bi promicale prirodi bliske pristupe i oponašale prirodne procese u šumskim sastojinama. Šumama bi trebalo gospodariti na način da se očuva njihova multifunkcionalna uloga (ekološke, društvene i proizvodne funkcije šuma). To se može postići samo održavanjem zdravih šuma i njihove bioraznolikosti, zaštitom njihove prirodne plodnosti i izvora vode kao i drugih korisnih funkcija šuma u vodenom i ugljičnom ciklusu, održivom opskrbbom drvetom i drugim proizvodima iz šuma, profitom i zapošljavanjem te sredstvima za rekreaciju i druge društvene koristi povezane sa šumama. Prilagodba karakteristikama pojedinih staništa glavni je smjer razvoja prirodi bliskih šuma, koji je proučavan unutar projekta LIFE SySTEMiC kroz razne demonstracijske plohe. Usmjereni razvoj šumskih sastojina prilagođenih individualnim uvjetima staništa i sastojina te funkcijama šuma zahtijeva veliku fleksibilnost u odabiru odgovarajućeg sustava (metode) gospodarenja šumama i pažljivo planiranje mjera.

Glavne mjere za prilagodbu gospodarenja šumama klimatskim promjenama usmjerene su na prilagodbu sastava drveća u šumskim sastojinama, povećanje otpornosti šuma raznovrsnim strukturama šumskih

sastojina na svim razinama, posebno genetskoj, kroz napredne mjere obnove šuma i pošumljavanja, te povećanje njihove stabilnosti pravovremenim mjerama njege (npr. prorjeđivanjem), formiranje višeslojnih i selektivnih struktura šuma u pogodnim sastojinama te, posljednje, ali ne manje važno, praćenje i očuvanje bioraznolikosti šuma, počevši od genetske raznolikosti (Bajc i sur., 2020).

Tablica 1.1. Pregled različitih načina gospodarenja šumama

Intensity of forest management	Silvicultural system	Description of silvicultural system
Unmanaged	Forest reserve	No intervention, access only permitted for research purposes after authorisation by the regional forestry and nature conservation authority, IUCN protection category I.
Low intensity management	Irregular shelterwood	Rejuvenation in openings and gaps (regeneration cores), in which young trees emerge under the shelter and protection of the mature stand in a mosaic distribution. Later these cores are merged, and each forest stand takes on a new form with a multidimensional structure (adapted after Čater and Diaci, 2020); can be considered IUCN conservation category IV or VI.
	Individual tree selection system	Trees of all dimensions are presented in a small surface area. The regeneration is continuous, and the growth and development of trees are more individualized. The canopy cover is not continuous, but variable, multi-layered and following a stepwise structure. Three main stand positions can be defined in the selection stands: suppressed, waiting individuals in the bottom layer, runners in the middle layer and winners (carriers) in canopy layer (Čater and Diaci, 2020); can be considered IUCN conservation category IV or VI.
Medium intensity management	Replanting after large-scale disturbances	In cases when natural regeneration is not possible or very slow (especially after large-scale disturbances) it is recommended to use artificial regeneration, using seeds or seedlings that are derived from adequate sources/provenances. Only adequate tree species and provenances can be used.

	Uniform shelterwood	The old stand is removed in a series of cuttings (two or three depending on the species to be managed) to promote the establishment of a new even-aged stand under the shelter of the old one. The aim is to protect and shelter the developing regeneration (natural regeneration). The overstory seed-trees are left on site to provide seeds and protect the regenerating understory until the understory no longer needs the protection.
High intensity management	Clear-cutting followed by planting	Regeneration system for even-aged forest. Clear-cutting can also be used when converting monocultures (e.g., spruce) to more diverse stands. The conversion can be done gradually or by clear-cutting followed by planting.
	Outside forest plantations	Planting of tree seedlings outside the forest area.



2. ODRŽIVO GOSPODARENJE ŠUMAMA OBIČNE JELE *ABIES ALBA* MILL.

2.1 Uvod

Hojka Kraigher, Marjana Westergren

Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Obična jela (*Abies alba* Mill.) jednodomno je drvo koje se oprašuje vjetrom te je obično alogamna vrsta, koja raste u umjerenim (uključujući mediteranske i kontinentalne) europskim planinskim šumama (vidi kartu rasprostranjenosti na Slici 2.1.1., EUFORGEN 2009 (www.euforgen.org)).



Slika 2.1.1. Rasprostranjenost obične jele (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Može rasti na širokom rasponu tipova tla, osim na hidromorfnim i zbijenim tlima. Vrlo je tolerantna na sjenu i može preživjeti pod zastorom krošnja drveća desetljećima. Raste do visine od 50 (60) metara u čistim sastojinama i uglavnom se miješa sa smrekom i/ili borom na višim nadmorskim visinama te s bukvom na nižim. Reproductivnu fazu može doseći s 20 godina, ali obično ju dosegne tek nakon 60 godina. Ženski cvjetovi uglavnom se nalaze na najgornjim granama, dok se muški cvjetovi pojavljuju nešto niže u krošnji. Smatra se slabim proizvođačem sjemena jer malo češera dopijje do zrelosti zbog insekata i kasnih mrazova. Cvate od travnja do lipnja, ovisno o nadmorskoj visini, a češeri dozrijevaju za 90 do 120 dana. Zreli češeri su žućkasto-smeđi, rastu uspravno na granama i raspadaju se kad sjeme sazrije tako da ostaje samo glavna os češera (vreteno). Ovisno o uvjetima staništa, češeri se raspadaju, a sjeme se raspršuje vjetrom tokom rujna

i listopada. Sakupljanje sjemena treba biti dobro vremenski određeno kako bi se zreli češeri mogli prikupiti (penjanjem na stabla ili sa srušenih stabala) prije nego što se raspadnu (u Sloveniji sredinom rujna). Obilne godine češera obično se pojavljuju periodično (svakih 4-6 godina), ali neka stabla, također ovisno o staništu, mogu nositi češere svake godine (Kavaliauskas i sur., 2020).

Češeri se mogu sakupljati u komercijalne svrhe ako je najmanje 50 % punih sjemenki vidljivo na uzdužnom presjeku. Volumen jedne litre svježeg sjemena obično teži oko 400 g te sjeme sadrži 8-11 % sadržaja vlage. U 1 kg češera može biti 15-30 češera, a u 1 kg sjemena oko 14.000-23.000 sjemenki bez krilaca. Svaki češer može nositi 260-290 sjemenki. Sjeme s oko 8 % sadržaja vlage moguće je skladištiti 3 do 5 godina u hermetički zatvorenim posudama na temperaturama od -10 °C do -15 °C. Embrij obične jele je uspavan te je potrebna hladna stratifikacija od 3 do 7 tjedana prije sjetve (Kraigher 2024; Regent, 1980; USDA 2008).

Obična jela, posebno njezin pomladak, osjetljiva je na temperaturne uvjete, kasne mrazove i dugotrajne suše. Njeno pomlađenje također je vrlo ugroženo ispašom, a klimatske promjene utječu na njenu nižu otpornost na štetočine i bolesti, posebno u blizini mediteranskih područja. Među štetočinama i bolestima, Kavaliauskas i sur. (2020) posebno spominju da oštećenja kore i pupova uzrokuju *Ips typographus* L., *Cinara pectinata* Nördlinger i *Epinotia nigricans* Herrich-Schäffer te *Armillaria mellea* P. Kumm agg. i *Heterobasidium annosum* Bref. koji su odgovorni za trulež korijena i donjeg dijela debla, što dovodi do veće mogućnosti stradavanja od vjetroizvala kod zaraženih jela.

Genetski bazeni obične jele dobro su strukturirani latitudinalno na Balkansko-južno talijanski, Srednjoeuropsko-sjeverno talijanski, Alpski te Južno francuski i Pirenejski genetski bazen (GenTree 2020), koji se kasnije dijeli na istočni i zapadni (Scotti-Santaigine i sur., 2021). Međutim, obrazac raspodjele genetske raznolikosti razlikuje se ovisno o korištenim molekularnim markerima (FORGENIUS 2023; GenTree 2020; Piotti i sur., 2017; Teodosiu i sur., 2019). Tablica 2.1.1. prikazuje popis demonstracijskih ploha *Abies alba* Mill. iz projekta LIFE SySTEMiC.

Tablica 2.1.1. Popis demonstracijskih ploha *Abies alba* Mill. projekta LIFE SySTEMiC.

Id	Site name	Country	Species	EFT*	Structure	Silvicultural system
06	Faltelli	Italy	<i>A. alba</i>	10.6	Even-aged	Uniform shelterwood
07	Tre Termini	Italy	<i>A. alba</i>	7.3	Uneven-aged	Individual tree selection
16	Gorski kotar, Skrad	Croatia	<i>A. alba</i>	3.2	Uneven-aged	Individual tree selection
26	Smolarjevo	Slovenia	<i>A. alba</i>	3.2	Uneven-aged	Individual tree selection
27	Leskova dolina	Slovenia	<i>A. alba</i>	7.4	Even-aged	Irregular shelterwood
30	La Verna	Italy	<i>A. alba</i>	10.6	Uneven-aged/ Old-growth	Unmanaged

*EFT = Europski tip šuma: 3.2 Subalpske i planinske šume smreke te planinske mješovite šume smreke i obične jele; 7.3 Apeninsko-korzikanske planinske bukove šume; 7.4 Ilirske planinske bukove šume; 10.6 Mediteranske i anatolske šume jele; 14.1 Plantaže autohtonih vrsta.

2.2 Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa vezana uz drveće

Davide Travaglini¹, Cesare Garosi¹, Francesco Parisi^{2,3}, Natalija Dovč⁴, Rok Damjanič⁴, Kristina Sever⁵

¹ Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNFI), Italy

² University of Molise, Department of Bioscience and Territory, Italy

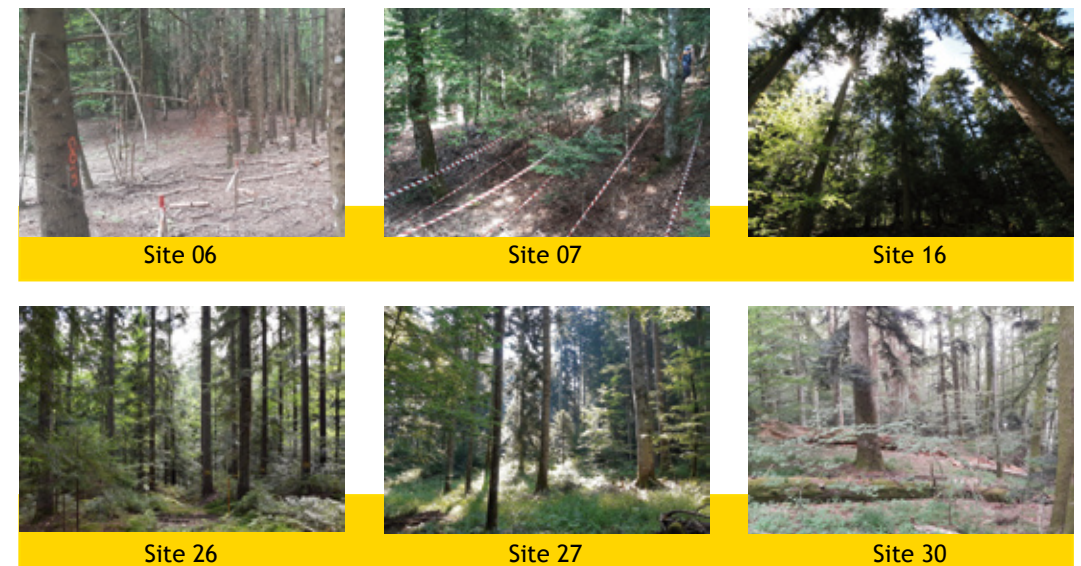
³ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

⁵ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa vezana uz drveće popisani su na šest demonstracijskih ploha (Slika 2.2.1.).

Na svakoj lokaciji odabrana je trajna ploha s reprezentativnom strukturom gospodarenja šumama. Ploha ima pravokutni oblik, a svaka strana duga je 50 m (površina od 2500 m²). Ukoliko je broj stabala istraživane vrste (*Abies alba* Mill. s prsnim promjerom > 2,5 cm) bio manji od 30 stabala, u nastavku plohe uspostavljena je još jedna demonstracijska ploha sve dok se nije postigao minimalan broj od 30 stabala istraživane vrste. Detaljni protokoli za terensko istraživanje i obradu podataka dostupni su na LIFE SySTEMiC web stranici: www.lifesystemic.eu/.



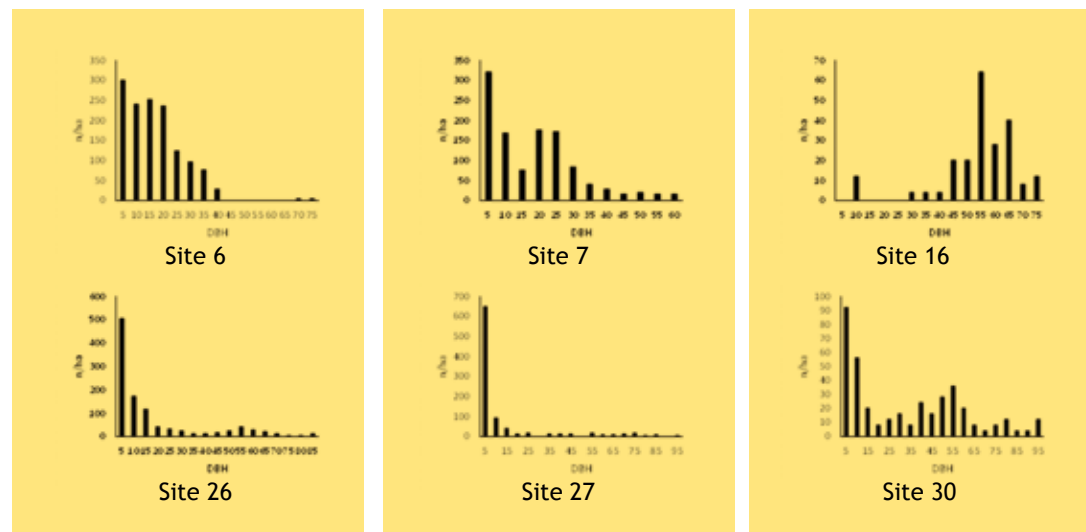
Slika 2.2.1. Demonstracijske plohe *Abies alba* Mill.

Abies alba Mill. bila je prevladavajuća vrsta drveća (temeljnica > 75 %) na demonstracijskim ploham 16 i 27; na preostalim demonstracijskim ploham *A. alba* najčešće je rasla zajedno s *Fagus sylvatica* L. (demonstracijske plohe 6, 7, 30), *Acer pseudoplatanus* L. (demonstracijska ploha 6), *Picea abies* (L.) H.Karst. (demonstracijska ploha 26) i drugim sekundarnim vrstama drveća.

Prostorna distribucija drveća na demonstracijskim ploham prikazana je na slici 2.2.2. Slika 2.2.3. prikazuje distribuciju broja stabala prema promjeru na svakoj lokaciji.



Slika 2.2.2. Prostorna distribucija stabala na demonstracijskim ploham.



Slika 2.2.3. Broj stabala - distribucija promjera na demonstracijskim ploham.

Struktura šume prikazana je u Tablici 2.2.1. U istraživanim sastojinama *A. alba*, temeljnica varirala je između 38 m²/ha i 58 m²/ha, a drvena zaliha između 440 m³/ha i 998 m³/ha. U gospodarenim jednodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 6, 27) prosječne vrijednosti temeljnice bile su 40 m²/ha, a drvena zaliha 496 m³/ha. U gospodarenim raznodobnim sastojinama (demonstracijske plohe

7, 16, 26) prosječne vrijednosti temeljnice bile su 52 m²/ha, a drvene zalihe 722 m³/ha. U prašumi (demonstracijska ploha 30), koja ima raznodobnu strukturu, temeljnica je bila 56 m²/ha, a drvena zaliha 998 m³/ha.

Raznolikost strukture šume, predstavljena dimenzionalnom raznolikošću stabala (standardna devijacija i koeficijent varijacije prsnog promjera i visina), bila je najveća u prašumi (SDDBH = 26,9 %, SDH = 14,4 %), a slijede je raznodobne (SDDBH = 15,7 %, SDH = 9,1 %) i jednodobne (SDDBH = 14,8 %, SDH = 8,6 %) sastojine.

Tablica 2.2.1. Varijable strukture šume na demonstracijskim ploham. N = broj stabala; BA = temeljnica; V = drvena zaliha; QMD = srednje plošno stablo; MH = prosječna visina (visina stabla s prosječnom temeljnicom); DH = dominantna visina (prosječna visina 100 stabala po hektaru s najvećim promjerima u slučaju jednodobne sastojine te prosječna visina tri najviša stabla po hektaru u slučaju raznodobne sastojine); SDDBH = standardna devijacija prsnog promjera; SDH = standardna devijacija ukupnih visina stabala; CVDBH = koeficijent varijacije prsnog promjera; CVH = koeficijent varijacije ukupnih visina stabala.

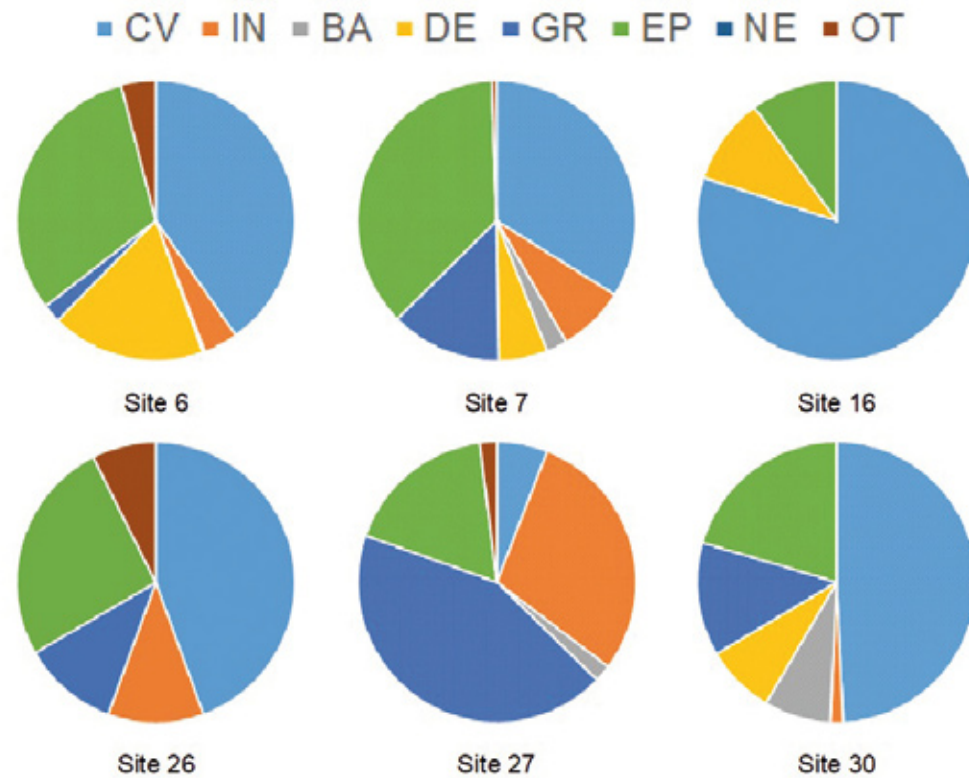
Id	N	BA	V	QMD	MH	DH	SDDBH	SDH	CVDBH	CVH
	n/ha	m ² /ha	m ³ /ha	cm	m	m	cm	m	%	%
06	1360	41.4	440.3	19.7	19.2	26.0	10.3	6.6	61.8	41.4
07	1132	44.6	504.7	22.4	19.3	27.2	13.1	8.5	72.3	59.2
16	216	53.5	882.6	56.2	33.5	39.5	14.1	7.2	26.0	22.4
26	1072	57.6	779.4	26.2	24.0	45.0	19.8	11.6	115.2	88.6
27	920	38.2	550.6	23.0	21.6	37.0	19.3	10.5	154.3	118.1
30	388	56.0	997.8	42.9	30.6	45.8	26.9	14.4	80.1	66.5

Količina mrtvog drva za svaku demonstracijsku plohu prikazana je u Tablici 2.2.2. Na demonstracijskim ploham, ukupni volumen mrtvog drva varirao je između 14 m³/ha i 426 m³/ha. U gospodarenim jednodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 6, 27), prosječna vrijednost ukupnog volumena mrtvog drva iznosila je 24 m³/ha, pri čemu su većinu činili panjevi (59 %) i mrtva stabla (22 %). U gospodarenim raznodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 7, 16, 26), prosječna vrijednost ukupnog volumena mrtvog drva iznosila je 48 m³/ha, pri čemu su većinu činili mrtva stabla (43 %) i panjevi (32 %). Prašuma (demonstracijska ploha 30) imala je najveću količinu mrtvog drva (426 m³/ha), pri čemu su većinu činila mrtva stabla (39 %), oborena mrtva stabla (31 %) i ostali ležeći komadi mrtvog drva (29 %).

Tablica 2.2.2. Volumen mrtvog drva na demonstracijskim lokacijama.

Id	Standing dead trees (including snags)	Downed dead trees	Other lying dead wood pieces	Stumps	Total
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
06	10.0	0.0	3.8	2.3	16.1
07	17.2	0.0	0.4	14.0	31.6
16	44.0	23.7	8.7	23.1	99.5
26	1.2	1.5	2.0	9.1	13.8
27	0.6	0.4	4.9	25.9	31.8
30	168.0	129.8	122.5	5.7	426.0

Učestalost mikrostaništa povezanih s drvećem na svakoj demonstracijskoj plohi, prikazana kao postotak oblika mikrostaništa, prikazana je na slici 2.2.4. Šupljine i epifiti bili su najčešći oblici mikrostaništa na svim demonstracijskim ploham, osim na demonstracijskoj plohi 27, gdje su najčešći oblici bili deformacije/oblici rasta te ozljede i rane.



Slika 2.2.4. Mikrostaništa povezana s drvećem na demonstracijskim ploham (postotak oblika mikrostaništa) (CV = Šupljine; IN = Ozljede i rane; BA = Kora; DE = Mrtvo drvo; GR = Deformacije/oblici rasta; EP = Epifiti; NE = Gnijezda; OT = Ostalo).



Slika 2.2.5. Demonstracijska ploha 30, stara šuma.



Slika 2.2.5. Demonstracijska ploha 30, stara šuma.

2.3 Krajobrazna genomika

Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,2}, Marko Bajc³, Katja Kavčič Sonnenschein³, Donatella Paffetti^{1,4}

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

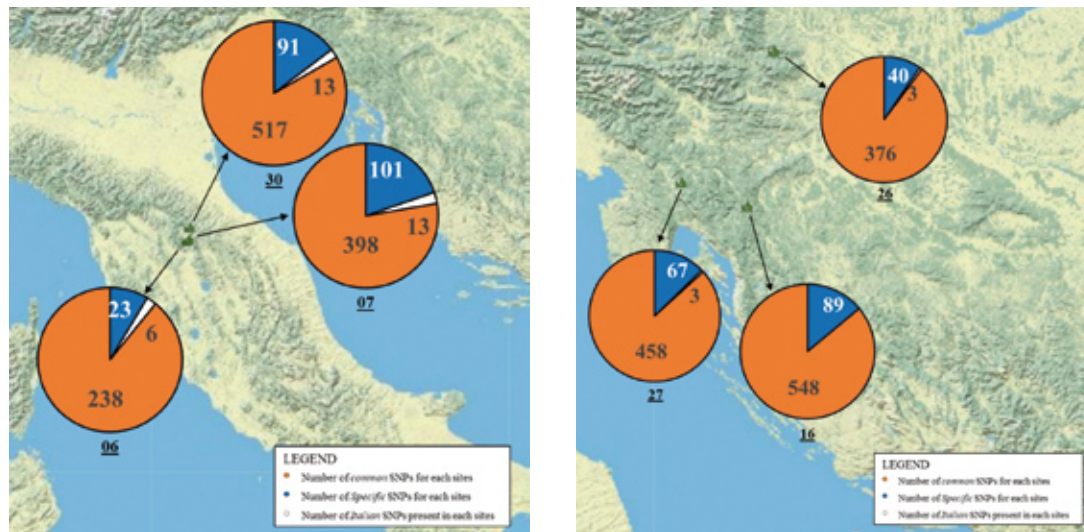
² Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

³ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

⁴ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

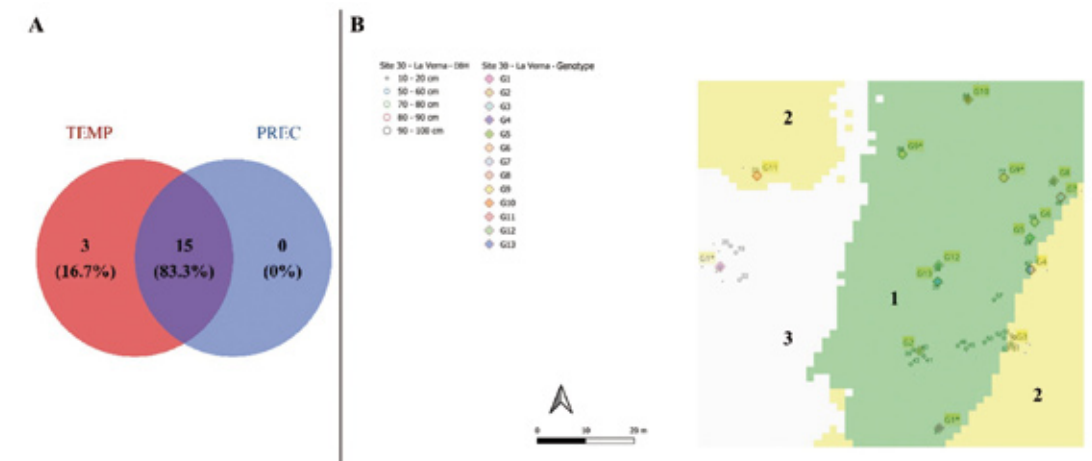
Populacije drveća mogu slijediti dvije glavne strategije za suočavanje s velikim promjenama klimatskih uvjeta: migraciju i prilagodbu (Aitken i sur., 2008). Stope migracije vjerojatno će biti premašene trenutnim tempom klimatskih promjena (Davis i sur., 2001) i mogu biti ograničene prirodnim barijerama i promjenama staništa uzrokovanim ljudskim djelovanjem (Hoegh-Guldberg i sur., 2008). S druge strane, genetska raznolikost populacija mogla bi biti ključna za ublažavanje učinaka klimatskih promjena (Mosca i sur., 2012) i postizanje prilagodbe kroz selekciju potencijalno korisnih alela prisutnih u populacijama (Barret i sur., 2008). Genetska varijacija ključna je za prilagodbu i preživljavanje jedinki unutar populacije i izravno je povezana sa sposobnošću vrste da se prilagodi različitim okolišima (Balkenhol i sur., 2016). Unutar svake populacije, genetske promjene, plastičnost i sposobnost razvoja rezultat su kombinacije slučajnih i selektivno orijentiranih procesa, koji mogu biti pod utjecajem šumarskih praksi (Lefèvre i sur., 2014). Razumijevanje dinamike i mehanizama lokalne prilagodbe u prirodnim populacijama pruža osnovu za predviđanje odgovora na promjene u okolišu, uključujući one povezane s globalnim klimatskim promjenama. Očekuje se da će lokalna prilagodba promijeniti frekvencije alela gena koji utječu na prilagodbu u određenim staništima (Lefèvre i sur., 2014). Stoga, razumijevanje odnosa između genoma i adaptivnih fenotipskih karakteristika te određivanje u kojoj su mjeri one pod utjecajem okoliša može biti ključno za predviđanje sudbine vrsta drveća koje se suočavaju s klimatskim promjenama (Babst i sur., 2019; Alberto i sur., 2013).

Abies alba Mill., jedna je od najvažnijih vrsta četinjača u planinskim regijama mediteranske Europe. S aktualnim klimatskim promjenama, obična jela postala je ponovo zanimljiva za istraživanje zbog svoje iznenađujuće otpornosti na sušu zapažene u središnjoj i južnoj Europi (Carrer i sur., 2010; Tinner i sur., 2013; Vitali i sur., 2017; Vitasse i sur., 2019). Iako je općenito prihvaćeno da je ta četinjača prilično otporna na sušu (Bouriaud i sur., 2009; Elling i sur., 2009), vodeni stres povezan je s usporenim rastom, defolijacijom krošnje i nepravilnim obrascima raspršivanja sjemena i regeneracije u posljednjim desetljećima (González de Andrés i sur., 2014, 2022). Predviđanja ukazuju na češće i intenzivnije suše u mediteranskom području uz istovremeno globalno zagrijavanje, što će dodatno utjecati na sposobnost vrste da se nosi s novim okolišnim uvjetima (Ozturk i sur., 2014). U ovom kontekstu, okolišna genomika pojavila se kao fleksibilan analitički okvir za razumijevanje interakcija između okolišne heterogenosti i adaptivne genetske varijacije u prirodnim populacijama (Balkenhol i sur., 2016). Koristili smo pristupe okolišne genomike za analizu neutralne i adaptivne komponente genetske raznolikosti kako bismo istaknuli moguće obrasce lokalne prilagodbe u populacijama. Iz tog smo razloga korelirali adaptivne molekularne markere (SNP-ove) s bioklimatskim pokazateljima. Nuklearni mikrosatelitni markeri (nSSR-ovi) analizirani su kao mjera neutralne genetske varijacije i strukture proučavanih populacija. Jednonukleotidni polimorfizmi (SNP-ovi), genotipizirani pomoću pristupa ciljanog resekvenciranja kandidatskih genomskih regija, analizirani su kao mjera adaptivne genetske varijacije proučavanih populacija (Slika 1.3.1.). Kao rezultat ciljanog resekvenciranja *A. alba*, oko 1500 SNP-ova opaženo je u 24 genomskih regija relevantnih za odgovor na jedan ili više abiotičkih stresova (rezultati prijavljeni u Action B1: SNP road-map svake demonstracijske plohe). Osim toga, istražili smo distribuciju navedenih SNP-ova na razini populacije te dizajnirali *road-map* za svaku istraživanu vrstu kako bismo promatrali njihovu prostornu distribuciju među svim analiziranim populacijama (Slika 2.3.1.).



Slika 2.3.1. Karta distribucije SNP-ova *A. alba* na LIFE SySTEMiC plohamu u Italiji (A) i Hrvatskoj i Sloveniji (B) prikazana je na slici. Slika prikazuje broj određenih specifičnih podskupina SNP-ova za svaku plohu. Legenda prikazuje vrste podataka podijeljene prema bojama. Boje predstavljaju sljedeće podskupine SNP-ova: skup SNP-ova prisutan na toj lokaciji koji su zajednički za najmanje dvije istraživane plohe (narančasta), broj jedinstvenih SNP-ova specifičnih za tu plohu (bijela) i broj SNP-ova prisutnih na toj plohi, koji su specifični za zemlju podrijetla (plava). Ispod svakog grafa prikazan je identifikacijski broj odgovarajuće plohe (podebljano i podcrtano).

Primijećen je veći broj lokalno-specifičnih i regionalno-specifičnih SNP-ova (polimorfizama pojedinačnih nukleotida) na plohamu smještenim u Italiji (Slika 2.3.1.). Ova prevalencija SNP-ova mogla bi se interpretirati kao znak prilagodbe na mediteranski bioklimatski režim koji karakterizira Italiju i razlikuje je od kontinentalne klime u Sloveniji i Hrvatskoj. Kao što je navedeno u literaturi, analiza za otkrivanje dokaza lokalne adaptacije u prirodnim populacijama zahtijeva mnogo analitičkih koraka (Blanquart i sur., 2013). Za svaku plohu odabrano je dvanaest bioklimatskih pokazatelja iz postojeće literature (Flint i sur., 2013; Gugger i sur., 2016, 2021; Pluess i sur., 2016). Da bi se identificirali obrasci lokalne adaptacije istraživane vrste, proveli smo GEA analize na dvije razine: globalnoj i lokalno-specifičnoj. Globalna analiza omogućila nam je identificiranje mogućih obrazaca adaptacije na bioklimatske uvjete koji karakteriziraju raspon obične jele. Rezultati analize pokazali su postojanje četiri različita klastera prisutna u Italiji, Hrvatskoj i Sloveniji. Dodatno, još zanimljiviji nalaz je prisutnost povezanosti između 78 alelnih varijanti i srednjih vrijednosti 12 razmatranih bioklimatskih pokazatelja (kako je navedeno u Action B1: Izrada karata prostorne raspodjele genetske raznolikosti i korelacije između raspodjele alela i varijacije okoliša). Prisutnost ovih povezanosti mogla bi se interpretirati kao temeljni adaptivni genotip jele rasprostranjen u srednjoeuropskom području. Od posebnog interesa bilo je pronalaženje određenih lokalno-specifičnih povezanih alelnih varijanti. Prisutnost ovih alelnih varijanti mogla bi biti povezana s lokalnim, a ne regionalnim obrascem adaptacije. U analizi povezanosti s okolišem (EAA) važno je uzeti u obzir neutralnu genetsku strukturu (Rellstab i sur., 2015), budući da neutralna genetska struktura može proizvesti obrasce slične onima očekivanim pod utjecajem ne-neutralnih procesa (Excoffier i Ray, 2008; Excoffier i sur., 2009; Sillanpää 2011). Nadalje, genetska struktura populacija analizirana je koristeći dva različita pristupa: Bayesovo grupiranje pomoću STRUCTURE softvera (Pritchard i sur., 2000) i prostorno Bayesovo grupiranje pomoću GENELAND softvera.



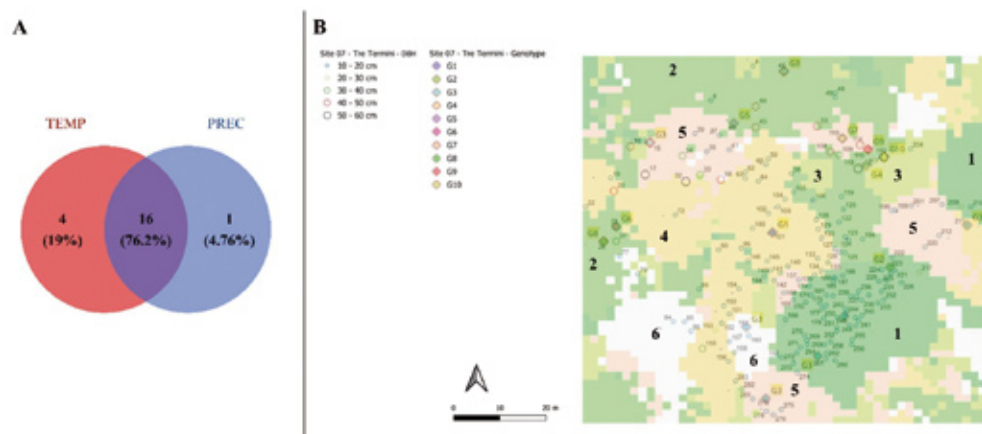
Slika 2.3.2. Rezultati LFMM analize i karta raspodjele genotipova za demonstracijsku plohu 30 - La Verna.

(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 3 klastera (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinice prisutne unutar područja istraživanja (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinice. Potonje su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

Općenito, pronašli smo umjeren do visok broj specifičnih alelnih varijanti na negospodarenim ploham (demonstracijska ploha 30 - La Verna; Slika 2.3.2.). Prisutnost velikog broja SNP-ova povezanih s prilagodbom na bioklimatske pokazatelje na ovim ploham mogla bi biti povezana s neutralnom genetskom strukturom opaženom za te plohe (Aravanopoulos, 2018; Paffetti i sur., 2012; Stiers i sur., 2018). Neke studije uočile su da su ove plohe obilježene složenom neutralnom genetskom strukturom, s velikim brojem familijskih klastera. Ova velika varijabilnost može omogućiti veću vjerojatnost pojave novih alelnih varijanti koje bi osnažile adaptivni potencijal vrste za trenutne i buduće klimatske promjene.

Slična situacija uočena je u sastojinama kojima se gospodari uz primjenu manje intenzivnih načina gospodarenja (preborno gospodarenje). Također, broj alelnih varijanti specifičnih za svaku lokaciju bio je visok. Analizirajući obrazac raspodjele genetske raznolikosti na temelju podataka o SSR-ovima, uočili smo da sastojine jele kojima se gospodari preborno imaju složenu i heterogenu prostornu genetsku strukturu. To se može pripisati ne-slučajnom parenju između usko srodnih jedinki. Zanimljiv nalaz bio je broj alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji karakteriziraju lokalno okruženje na plohi 07 - Tre Termini (Slika 2.3.3.).

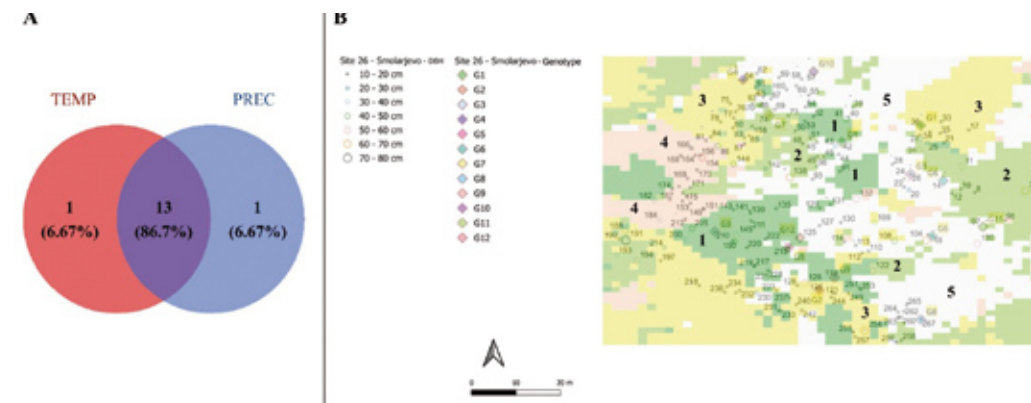


Slika 2.3.3. prikazuje rezultate LFMM analize i kartu raspodjele genotipova za demonstracijsku plohu 07 - Tre Termini.

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

(B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 6 klastera (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinke prisutne unutar područja istraživanja (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinke. Potonje su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

Zbog svoje izvanredne sposobnosti rasprostiranja i zakorjenjivanja, obična jela lako se obnavlja, što omogućuje gospodarenje u skladu s prirodom; šume jele dobro se prirodno obnavljaju bez unosa sadnica. Problemi s obnovom javljaju se samo u previše iskorištanim sastojinama (obično u šumama koje nemaju kontrolirani sustav gospodarenja). Iz rezultata dobivenih za svaku proučavanu plohu, uočena je pojednostavljena prostorna genetska struktura u negospodarenim/starim šumama u odnosu na te plohe. Razlog tomu može biti smanjena prirodna obnova u odnosu na gospodarene plohe. Demonstracijske plohe 07 - Tre Termini i 26 - Smolarjevo (Slika 2.3.4.), gospodarene preborno, imaju najslabiju prostornu genetsku strukturu među gospodarenim ploham (6, odnosno 5 genetskih klastera), kao i najveći broj SNP-ova povezanih s okolišnim varijablama. Složenost na tim ploham implicira dinamičan i prilagodljiv ekosustav sposoban reagirati na promjene okoliša generiranjem nove genetske varijabilnosti kroz rekombinaciju i protok gena između subpopulacija. Osim toga, uočili smo velik broj SNP-ova koji su u korelaciji s bioklimatskim pokazateljima na svim ploham. Prisutnost ovih alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje važna je za prilagodbu.



Slika 2.3.4. Rezultati LFMM analize i karta raspodjele genotipova za demonstracijsku plohu 26 - Smolarjevo

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

(B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 6 genetskih klastera (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinke prisutne unutar područja istraživanja (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinke. Potonje su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

Otvaranje šumskog sklopa i složenost strukture ovih sastojina mogu biti povezani s većom vjerojatnošću rekombinacije gena između genotipova koji pripadaju različitim familijskim klasterima. Potencijal manje invazivnih uzgojnih zahvata za očuvanje adaptivne genetske raznolikosti djeluje obećavajuće. Zanimljivo zapažanje bila je prisutnost velikog broja povezanih SNP-ova i složene prostorne genetske strukture (4 klastera) na demonstracijskoj plohi 06 - Faltelli. Ova ploha gospodari se metodom oplodnih sječa.

Manje invazivni načini gospodarenja, poput prebornog načina gospodarenja, čini se da rezultiraju populacijama s velikim brojem alelnih varijanti povezanih s odgovorom na okolišne varijable. Slični rezultati uočeni su i u negospodarenim sastojinama i starim šumama. Rezultati ove studije mogu odigrati ključnu ulogu u planiranju uzgojnih zahvata u šumarstvu, gdje poznavanje adaptivne genetske raznolikosti može pomoći u procesu donošenja odluka. To je važno za očuvanje postojećih šumskih genetskih resursa, ali i za obogaćivanje postojećih sastojina potencijalno povoljnim genotipovima.

2.4 Biološka raznolikost tla

Tanja Mrak, Tina Unuk Nahberger, Tine Grebenc, Hojka Kraigher

Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Bioraznolikost na svim razinama (npr. genetska, bioraznolikost vrsta, ekosustava) podržava održivu dinamiku šuma, uključujući različite funkcije i biologiju vrsta šumskog drveća i njihovu genetsku raznolikost. U šumama umjerenog pojasa Europe, većina dominantnih vrsta drveća stvara simbiotske odnose s ektomikoriznim gljivama (Kraigher i sur., 2013). Ove gljive proširuju svoj ekstrapatrikalni micelij, koji se sastoji od hifa i/ili rizomorfa (snopova hifa) koje izlaze u okolni supstrat. Taj micelij olakšava unos hranjivih tvari i vode iz dijelova tla nedostupnih korijenju drveća (Finlay, 2008). Funkcionalnost ove simbioze ovisi o vrsti i populaciji šumskog drveća te o vrsti i soju simbiotskih gljiva (Gianinazzi-Pearson, 1984; Hazard i sur., 2017). Stoga je identifikacija mikoriznih gljiva ključna za razumijevanje funkcija šumskih ekosustava.

Raznolikost ektomikoriza obične jele istraživana je na demonstracijskoj plohi 26 od ožujka 2016.

do listopada 2017. godine, u razmacima od četiri tjedna, koristeći kombinaciju morfo-anatomskih pristupa i Sangerove metode sekvenciranja (Unuk Nahberger, 2020). U istraživanje je uključeno pet stabala, razmaknutih 5-7 metara jedno od drugog, a pregledano je ukupno 500 vršnih korijena po stablu u svakom uzorkovanju (uključujući vitalne i nevitale vrške). Sveukupno su identificirana 42 taksona, s deset najzastupljenijih: *Thelephora wakefieldiae*, *Russula ochroleuca*, *Elaphomyces granulatus*, *Xerocomellus pruinosus*, *Lactarius subdulcis*, *Neoboletus erythropus*, *Cenococcum geophilum*, *Tomentella stiposa*, *Russula badia* i *Tylospora fibrillosa*. Visoka relativna zastupljenost *Thelephora*, *Tylospora* i *Lactarius* na demonstracijskoj plohi 26 objašnjena je relativno visokim sadržajem dušika u tlu (0.62 %) na toj plohi, što bi također moglo rezultirati odsutnošću ili niskom relativnom zastupljenošću vrsta osjetljivih na dušik, kao što su *Cortinarius*, *Tricholoma* i *Piloderma*.

Mjesec kad se obavljalo uzorkovanje bio je značajan čimbenik vitalnosti ektomikoriza ($p = 0,0419$), bogatstva vrsta ($p = 0,0012$), ravnomjernosti ($p = 0,0018$) i dominacije ($p = 0,0102$) na demonstracijskoj plohi 26. U 2016. godini, najveći udio vitalnih ektomikoriza ($p < 0,05$) zabilježen je u srpnju i kolovozu, a najniži u ožujku i svibnju. U 2017. godini, najveća vitalnost zabilježena je u svibnju, a najniža u lipnju. Najveća vitalnost ektomikoriza slijedila je ili se poklapala s vremenom početka otvaranja pupova kod *Abies alba* Mill. Ljetno razdoblje općenito je obilježeno smanjenjem bogatstva vrsta, ravnomjernosti i nižom zastupljenošću najzastupljenijih i rijetkih taksona. Ove promjene objašnjene su dinamikom rasta finog korijena, gdje su dva vrhunca rasta finog korijena u proljeće i jesen prekinuta razdobljem relativne neaktivnosti finog korijena ljeti (Unuk Nahberger, 2020).

2.5 Oštećenja od divljači

Natalija Dovč¹, Rok Damjanič¹, Marjana Westergren¹, Marko Bajc¹, Davide Travaglini², Andrej Breznikar³, Hojka Kraigher¹

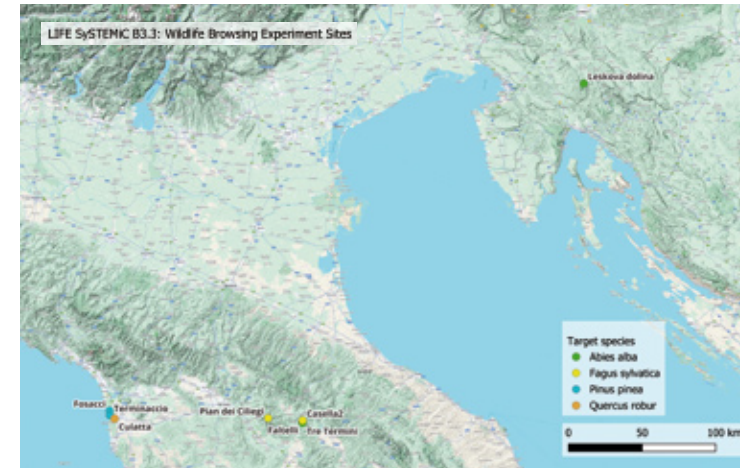
¹ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

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

³ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

U posljednjem stoljeću, gustoća i prostorna distribucija velikih biljojeda, posebno srne (*Capreolus capreolus* L.) i jelena (*Cervus elaphus* L.) značajno su se povećali u većini europskih zemalja, uključujući Sloveniju (Hafner i sur., 2020). Poznato je da preživanje parnoprstaša ima značajan utjecaj na šumske ekosustave. Divljač selektivno bira određene vrste drveća ili jedinke, dajući prednost drugim vrstama koje su manje privlačne za ispašu. Stoga, preživanje može snažno utjecati na strukturu, sastav, rast i sukcesiju šume. Dugoročno gledano, to može dovesti do smanjenja raznolikosti vrsta i ugroziti otpornost šume na buduće poremećaje.

Kao dio aktivnosti B3 u projektu LIFE SySTEMiC, cilj nam je bio istražiti može li se utjecaj prehranjivanja biljojeda u područjima s visokom gustoćom divljači, a samim time i visokim pritiskom prehranjivanja, također otkriti u genetskoj raznolikosti prirodnog pomlađenja. Ovo istraživanje uključivalo je opsežno eksperimentalno planiranje, osnivanje demonstracijskih ploha (ograđenih i neograđenih) za četiri ciljane vrste - običnu jele (*Abies alba* Mill.), običnu bukvu (*Fagus sylvatica* L.), piniju (*Pinus pinea* L.) i hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) - u Sloveniji i Italiji (Slika 2.5.1.) te opsežnu inventarizaciju prirodnog pomlatka šumskih vrsta drveća (Slika 2.5.2.). Važnost utjecaja prehranjivanja biljojeda i opis našeg istraživanja opisani su u poglavlju o običnoj jeli u ovoj knjizi jer je za tu vrstu provedena opsežnija studija koja je također uključivala genetske analize.



Slika 2.5.1. Demonstracijske plohe za praćenje oštećenja od divljači

Uspostavljanje ploha provedeno je prema protokolu po nazivom „Eksperimentalni protokol za praćenje oštećenja od divljači“. Četiri para ploha - jedna ograđena i jedna neograđena - predstavljala su četiri ponavljanja. Svaka ploha imala je veličinu od 12,5 x 12,5 m. Kutovi ploha označeni su drvenim kolcima i obojeni trajnom bojom. Plohe, koje su odabrane za zaštitu od divljači, bile su ograđene oko kolaca.

Uspoređujući sastav vrsta prirodnog pomlatka i odraslog drveća nastojali smo kvantificirati intenzitet oštećenja od divljači. Na jednoj od ploha, u Leskova dolini u Sloveniji, proveli smo drugu inventarizaciju prirodnog pomlatka obične jele dvije godine nakon početnog istraživanja. Ova naknadna inventarizacija imala je za cilj utvrditi mogu li se otkriti promjene u količini prirodnog pomlatka tijekom tako kratkog razdoblja. Inventarizacija je praćena uzorkovanjem: proveli smo uzorkovanje sadnica obične jele i ostalih zrelih stabala. Cilj nam je bio usporediti pokazatelje genetske raznolikosti, temeljene na nSSR markerima, između sadnica na neograđenim i ograđenim ploham te ih usporediti sa zrelim (potencijalno roditeljskim) stablima. Konkretno, bili smo zainteresirani za potencijalno smanjenje genetske raznolikosti sadnica na neograđenim ploham koje su bile podložne oštećenjima od divljači, u usporedbi s ograđenim ploham i zrelim stablima, dvije godine nakon ograđivanja.



Slika 2.5.2. Mjerenje visine pomlatka (lijevo), procjena oštećenja od divljači (sredina) i demonstracija inventarizacije (desno).

INa plohama obične jele s visokom gustoćom divljih životinja, utjecaj oštećenja od divljači na prirodni pomladak dobro je poznat među šumarima. U našem istraživanju, to se prvenstveno odnosi na demonstracijske plohe Leskova dolina i Faltelli, gdje smo uočili različite učinke oštećenja od divljači:

- Mala brojnost pomlatka obične jele u višim visinskim razredima, posebno u visinskom razredu iznad 150 cm, kojeg ponekad nema na našim demonstracijskim plohama. Ovaj prag visine ključan je jer označava točku u kojoj utjecaj oštećenja od divljači na sastav šume postaje zanemariv. Ovaj visinski razred temelj je za oblikovanje budućih šumskih sastojina (Hafner i sur., 2020). Odsutnost pomlatka u ovom visinskom razredu sugerira da oštećenja od divljači mogu ometati uspješno obnavljanje određenih vrsta. Idealno bi bilo da prirodni pomladak bude zastupljen u svim visinskim razredima. Prisutnost pomlatka u najnižem visinskom razredu ukazuje na dovoljnu količinu proizvedenog sjemena i stvara temelj za uspješnu obnovu. Međutim, uspješan rast u više visinske razrede označava sposobnost pomlatka da izdrži okolišne poremećaje i ostane konkurentan.
- Niži udio obične jele u prirodnoj obnovi u usporedbi sa zreloom populacijom. Ova razlika najizraženija je u Leskovoju dolini i može se barem dijelom pripisati oštećenjima od divljači. Preferirane vrste gube svoju konkurentnost prvenstveno zbog oštećenja terminalnih pupova. Jaka oštećenja od strane biljojeda rezultira smanjenjem visine ovih istraživanih vrsta u sloju pomlađenja te značajno utječu na njihovu konkurentsku sposobnost (Horsley i sur., 2003; Tremblay i sur., 2007). Oštećenja od divljači jako utječu na „ukusne” vrste, dovodeći do dominacije manje „ukusnih” vrsta kao što je obična smreka (*Picea abies* (L.) H. Karst.). Ova promjena može smanjiti ukupnu bioraznolikost i utjecati na procese obnove šume (D'Aprile i sur., 2020).
- Velika oštećenja pomlatka. Najveći udio oštećenog pomlatka uočili smo kod obične jele, s najviše oštećenja od divljači u visinskim razredima 11-50 cm i 51-150 cm. Među listopadnim stablima, gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.), jarebika (*Sorbus aucuparia* L.) i crnika (*Quercus ilex* L.) bile su najoštećenije vrste na našim demonstracijskim plohama, dok je obična bukva bila uglavnom neoštećena od divljači. Studije iz srednje i jugoistočne Europe (Shulze i sur., 2014) pokazale su da jeleni, koji preferiraju određene vrste, doprinose homogenizaciji podstojne etaže, što može utjecati na dugoročnu strukturu šume i bioraznolikost.

Unatoč primjetnim učincima oštećenjima od divljači na strukturu i sastav prirodnog pomlađivanja, nisu otkriveni značajni učinci na genetsku strukturu. Genetska raznolikost nije se značajno razlikovala između zrelih stabala obične jele i njihovog pomlatka, bilo na ograđenim ili neograđenim plohama.

Utjecaj oštećenja od divljači na različite vrste i faze rasta šumskog drveća značajno se razlikuje. Mlade šumske sastojine, posebno tijekom ranih faza rasta, često se suočavaju s pojačanim oštećenjima, što ozbiljno utječe na stope preživljavanja i rasta pomlatka. Vrste poput hrasta i bukve, otpornije na oštećenja, mogu bolje podnijeti ovaj pritisak nego obična jela i bor, koje su osjetljivije. Diferencirani utjecaji oštećenja mogu dovesti do promjena u sastavu šume tijekom vremena, favorizirajući otpornije vrste i potencijalno mijenjajući šumski ekosustav (Hafner i sur., 2020).

Učinkovite strategije upravljanja šumama moraju uzeti u obzir ove dinamike kako bi podržale raznolike i otporne šumske ekosustave. Šumari mogu implementirati kontrolirano pretraživanje, zaštitne mjere poput ograđivanja i promovirati miješani sastav vrsta koji uključuje drveće otpornije na oštećenja (Hafner i sur., 2020). Alternativne strategije upravljanja populacijama divljači mogu pružiti „prostora prilike” za obnovu šuma u vremenu i/ili prostoru (Didion i sur., 2009). Osim toga, integriranje upravljanjem divljači kako bi se regulirale populacije biljojeda može smanjiti negativne učinke, čime se osigurava da šumski ekosustavi ostanu otporni i produktivni. Takve strategije ključne su za uravnoteženje ciljeva očuvanja s trenutnim ekološkim stanjem interakcija divljih biljojeda (Hafner i sur., 2020).

2.6 GenBioSilvi model

Roberta Ferrante^{1,2}, Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,3}, Davide Travaglini¹, Katja Kavčič Sonnenschein⁴, Donatella Paffetti¹

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

² NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

³ Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Razvoj modela GenBioSilvi temelji se na očuvanju bioraznolikosti šumskih ekosustava i održivom gospodarenju šumama kao odgovoru na abiotički stres. Stoga se model GenBioSilvi fokusira na definiranje pokazatelja genetske raznolikosti i drugih pokazatelja bioraznolikosti šumskih ekosustava u različitim europskim šumskim tipovima (EFT) kako bi se identificirale optimalne šumarske prakse za očuvanje/povećanje genetske raznolikosti koja omogućava odgovor na klimatske promjene.

Mjerenje genetske raznolikosti ključno je za razumijevanje statusa otpornosti šumskih ekosustava. Analizom raspodjele genetske raznolikosti temeljem SSR podataka primijetili smo da šumske sastojine obične jele kojima se gospodari prorjeđivanjem pojedinačnih stabala imaju složenu i heterogenu prostornu genetsku strukturu. Ova posljednja karakteristika povećava mogućnost spolne rekombinacije među jedinkama nadzemne populacije i njihovu mogućnost odgovora na klimatske promjene.

Iz dobivenih rezultata za svaku proučavanu sastojinu bilo je moguće uočiti pojednostavljenu prostornu genetsku strukturu u negospodarenim/starim šumama. To može biti posljedica smanjene prirodne obnove u usporedbi s gospodarenim šumama. Demonstracijske plohe 07 - Tre Termini i 26 - Smolarjevo, kojima se gospodari preborno, imaju najsloženiju prostornu genetsku strukturu među svim demonstracijskim plohama (6 i 5 genetskih skupina). Kompleksnost na demonstracijskoj plohi 07 - Tre Termini implicira dinamičan i prilagodljiv ekosustav sposoban odgovoriti na promjene u okolišu generiranjem nove genetske varijabilnosti kroz rekombinaciju i protok gena između podpopulacija. Osim toga, uočili smo veliki broj SNP-a povezanih s trenutnim okolišnim uvjetima na različitim mjestima. Otkrili smo da su demonstracijske plohe 16 - Skrad (preborno gospodarenje) i 07 - Tre Termini (preborno gospodarenje) pokazale veći broj SNP-a povezanih s bioklimatskim pokazateljima.

Na temelju rezultata, pretpostavili smo da se bolji uvjeti nalaze na plohama kojima se gospodari preborno.

Da bismo opisali strukturu šumske raznolikosti, promatrali smo dendrometrijske podatke. U prebornim sastojinama, prirodno pomlađenje je češće zbog otvorenosti sklopa koji stvara idealne uvjete za uspostavu prirodnog pomlatka. Nadalje, preborna šuma povećava vjerojatnost pojave rijetkih šumskih svojti te je prisutna visoka razina raspršene peludi, čime se promiče genetska raznolikost. Stoga smo, temeljem parametara korištenih za definiranje strukture šume, primijetili da sastojine kojima se preborno gospodari također pokazuju složenu prostornu genetsku strukturu i visoku genetsku raznolikost. Demonstracijska ploha 16 - Skrad, kojom se gospodari preborno, pokazalo je zvonoliku jednoslojnu strukturu šume, što implicira odsutnost prirodnog pomlatka. Nasuprot tome, demonstracijska ploha 30 - La Verna, negospodarena šuma, pokazala je j-oblikovanu dvoslojnu šumsku strukturu.

Prisutnost mrtvog drveta može potaknuti klijanje i razvoj sadnica drveća, oponašajući rasadnike, čime pridonosi obnovi šume. Što se tiče količine mrtvog drveta, najbolja situacija zabilježena je na negospodarenim plohama koje su imale veću količinu mrtvog drveta.

Mrtvo drvo pruža važno mikrostanište za razvoj i očuvanje vrsta važnih za šumski ekosustav. Uz mrtvo drvo, primijetili smo i druge pokazatelje povezane sa saproksilnim mikrostaništima. Najveći broj

mikrostaništa zabilježen je na plohama gdje postoje stoljetna stabla s deformacijama i šupljinama. Učestalost epiksilnih mikrostaništa manja je od saproksilnih u svim promatranim populacijama. Epiksilna mikrostaništa koriste se kao pokazatelji za procjenu stanja ekosustava i njihova prisutnost važan je izvor bioraznolikosti. Na temelju dobivenih rezultata, tipovi gospodarenja u složenim šumskim strukturama karakterističnim za preborne i raznodobne sastojine povećavaju vjerojatnost pojave različitih oblika mikrostaništa.

Sve demonstracijske plohe mješovite su sastojine obične jele. Naime, obična jela osjetljiva je na sječu te rijetko formira čiste sastojine. Umjesto toga, važna je komponenta mješovitih šuma u planinskim i subalpskim ravninama, a može rasti primjerice s bukvom (*Fagus sylvatica* L.), koja pridolazi na staništima slične klime i strukture tla, dok na subalpskim visinama može rasti s arišem (*Larix decidua* Mill.) i smrekom (*Picea abies* (L.) H.Karst.).

Analizirajući dobivene rezultate, primijetili smo da je očuvanje i/ili povećanje raznolikosti na demonstracijskim plohama uzrokovano gospodarenjem proredom. Ova vrsta gospodarenja ima manji utjecaj na šumsku sastojinu, a uz to oponaša uvjete koji se prirodno nalaze u zrelih i negospodarenim šumama. Uklanjanje nekoliko jedinki na temelju fenotipa i položaja rezultira otvaranjem sklopa, što pozitivno utječe na rast prirodnog pomlatka. U usporedbi s negospodarenim sastojinama jele gdje nema prirodnog pomlatka ili je prisutan samo na rubnim područjima, sastojine kojima se gospodari proredama, otvara se sklop te se pružaju optimalni uvjeti za razvoj prirodnog pomlatka.

Preborno gospodarenje povećava složenost šumske strukture predstavljajući višeslojni uzorak, tipičnu karakteristiku raznodobnih šuma. To omogućuje bolje raspršivanje peludi, kao i visoki protok gena, budući da je prisutno manje barijera. Time se potiče genetska raznolikost i povećava prostorna genetska složenost, što dovodi do veće vjerojatnosti pojave novih alelnih varijanti koje su ključne za odgovor na klimatske promjene. Osim toga, ključni aspekt otpornosti šumskih sastojina je prisutnost visoke bioraznolikosti. Analizom rezultata ovog istraživanja, primijetili smo da sastojine koje pokazuju veću genetsku raznolikost također pokazuju veću bioraznolikost na razini ekosustava i vrsta.

Na temelju rezultata dobivenih tijekom analiza i izračunatih pokazatelja šumskih ekosustava može se simulirati status genetske raznolikosti sastojine i usmjeriti korisnike prema održivom upravljanju kako bi očuvali i/ili povećali prisutnu genetsku raznolikost.

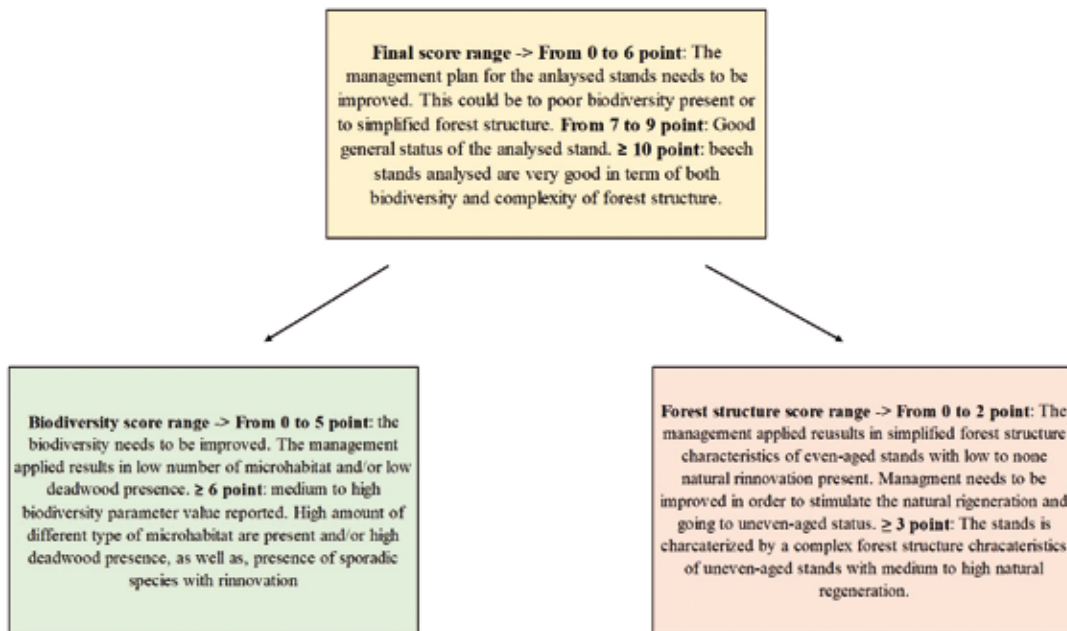
Uzimajući u obzir rezultate dobivene analizom svih pokazatelja bioraznolikosti, razvili smo model koji opisuje trenutni status genetskih resursa demonstracijske plohe. Ovaj model razvijen je kako bi pomogao korisnicima (šumarima) u provjeri trenutnog statusa bioraznolikosti sastojina i pružanju smjernica za održivo gospodarenje. Da bismo razvili prikladan model jednostavan za korisnike, primijetili smo da je moguće identificirati skup ključnih pokazatelja koji su reprezentativniji. Pokazatelji koji su osnova modela mogu neizravno opisati status genetske raznolikosti sastojine, kao što je vidljivo iz dobivenih rezultata. Osim toga, moguće je identificirati određene pokazatelje koji su reprezentativniji za bioraznolikost u smislu mrtvog drveta, mikrostaništa i raznolikosti vrsta. Iz tog razloga, u obrascu za korisnike odlučili smo izostaviti prikupljanje podataka o genetskoj raznolikosti i raznolikosti tla jer je te podatke teško promatrati te smo razvili model koji uključuje promatranje nekih ključnih pokazatelja koji opisuju trenutni status istraživane sastojine. Odabrani pokazatelji prikazani su u Tablici 2.6.1.

Tablica 2.6.1. 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
	Coarse woody debris	
Species diversity	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	
	Percentage of individuals with cavities	Presence of key microhabitat form for biodiversity
Microhabitat	Percentage of individuals with Injuries and wounds	
	Percentage of individuals with Deformation	



Model je uključivao izradu obrasca koji zahtijeva popunjavanje određenih parametara koje korisnici lako mogu zabilježiti na terenu. Na temelju rezultata, odabrali smo granične vrijednosti za svaki odabrani pokazatelj. Bilježenje stvarnih podataka za svaki pokazatelj dovest će do ocjene temeljene na odabranim graničnim vrijednostima. Konačna ocjena povezana je s identifikacijom trenutnog stanja istraživane sastojine. Za svaku konačnu ocjenu daju se smjernice u vezi s mogućim aktivnostima koje treba poduzeti za provedbu održivog gospodarenja sastojinom (Slika 2.6.1.). Ispod je naveden primjer obrasca za popunjavanje (Slika 2.6.2.), te prikaz popunjenog obrasca na temelju stvarnih podataka dobivenih s demonstracijske plohe 07 - Tre Termini (Slika 1.6.3.).



Slika 2.6.1. Proces ocjenjivanja temeljen na odabranim pokazateljima



Forest stand evaluation form				
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 resources 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.				
Forest structure indicators	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 Standar deviation	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (DBH SD ≤ 5) <input type="checkbox"/> Score 2 (7 ≤ DBH SD ≤ 11) <input type="checkbox"/> Score 3 (DBH SD > 15)	Results from associated parameters	
	Refers to % of trees in regeneration layer (including DBH less than 10 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rinn < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rinn < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rinn < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rinn ≥ 50)	<input type="checkbox"/> Score 1 (Simple forest structure without rinnovation) - From 4 to 6 <input type="checkbox"/> Score 2 (Simplified forest structure with rinnovation or Complex forest structure without rinnovation) - From 7 to 8 <input type="checkbox"/> Score 3 (Complex forest structure with rinnovation) - From 9 to 11 <input type="checkbox"/> Score 4 (Complex forest structure with rinnovation present in the stand area) - From 12 to 13	
	Curve of DBH class distribution	<input type="checkbox"/> Score 1 (Bell shaped) <input type="checkbox"/> Score 2 (Shift model) <input type="checkbox"/> Score 3 (J-shaped)		
N° of strata (stratification of population)	<input type="checkbox"/> Score 1 (Mono-stratified) <input type="checkbox"/> Score 2 (Bi-stratified) <input type="checkbox"/> Score 3 (Tri or Multi-stratified)			
Productivity indicators	Real data	Indicator specific score	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)		In managed stands, the minimum growing stock should be around 200-300 m³/ha. This might be applicable for shade tolerant species	
Biodiversity indicators	Real data	Indicator specific score	Implication for stand biodiversity	
Deadwood indicators	Standing deadwood (including snag) presence	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of standing deadwood) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood)	Results from associated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Total absence of deadwood) - 2 point	
	Coarse woody debris	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of Coarse woody debris) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of Coarse woody debris)	<input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood or Coarse woody debris) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point	
	Species diversity indicators	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of other species) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of other species)	Results from associated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Monospecific site) - 2 point	
Biodiversity conservation is a key objective for sustainable forest management, but the multi-dimensional and multi-scale character of biodiversity renders full assessment difficult at large scale. Therefore, indicators are often used to monitor biodiversity. The quantity and quality of deadwood are commonly used in nature conservators as indicators of forest biodiversity. Additionally, the presence of species different from the target species as well as the presence of specific type of microhabitat are also used to monitor biodiversity in forest stand.	% of non-target individuals in the smallest diameter class (10 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rinn < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rinn < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rinn < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rinn ≥ 50)	<input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic species with some or low regeneration) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 3 (Sporadic species with high regeneration) - 4 to 6 point	
	Microhabitat indicators	Real data	Indicator specific score	Implication for stand biodiversity
	% of individuals with cavities	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind ≤ 10%) <input type="checkbox"/> Score 2 (10% < % Ind ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind > 50%)	Results from associated parameters <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point	
	% of individuals with injuries and wound	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind ≤ 10%) <input type="checkbox"/> Score 2 (10% < % Ind ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind > 50%)	<input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic to consistent presence of microhabitat) - 4 to 6 point	
% of individuals with deformation	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind ≤ 10%) <input type="checkbox"/> Score 2 (10% < % Ind ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind > 50%)	<input type="checkbox"/> Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point		
Final Score: 1				

Slika 2.6.2. Primjer obrasca za popunjavanje

Forest population assessment sheet - Simulation Site 07 (Tre Termini)					
Forest management	Real Data		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.	Single tree selection thinning				
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.	DBH Standar deviation	13,1	<input type="checkbox"/> Score 1 (DBH SD < 10)	Results from annotated parameters	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (10 ≤ DBH SD ≤ 20)		
	Refers to % of trees in regeneration layer (considering DBH less than 10 cm)	76,19	<input type="checkbox"/> Score 1 (% Rim < 15)		<input type="checkbox"/> Score 1 (Single forest structure without rinoovation) - From 4 to 6
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rim < 30)		<input type="checkbox"/> Score 2 (Simplified forest structure with rinoovation or Complex forest structure without rinoovation) - From 7 to 8
Curve of DBH class distribution	J-shaped	<input type="checkbox"/> Score 1 (Bell-shaped)	<input type="checkbox"/> Score 3 (Complex forest structure with rinoovation) - From 9 to 11		
		<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Multi-modal)			
N° of strata (stratification of population)	Tri-stratified	<input type="checkbox"/> Score 1 (Mono-stratified)	<input checked="" type="checkbox"/> Score 4 (Complex forest structure with rinoovation present in the total area) - From 12 to 13		
		<input type="checkbox"/> Score 2 (Bi-stratified)			
		<input checked="" 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)	300-400 m³/ha	In managed stands, the minimum growing stock should be around 300-350 m³/ha. This might be applicable for shade tolerant species		
Biodiversity indicators	Real data	Indicator-specific score		Implication for stand biodiversity	
Biodiversity conservation is a key objective for sustainable forest management, but the multi-dimensional and multi-scale character of biodiversity renders full assessment difficult at large scale. Therefore, indicators are often used to monitor biodiversity. The quantity and quality of deadwood are commonly used in nature conservation as indicators of forest biodiversity. Additionally, the presence of species different from the target species as well as the presence of specific type of microhabitat are also used to monitor biodiversity in forest stand.	Standing deadwood (including snags) presence	Presence	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of standing deadwood)	Results from annotated parameters	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood)		
	Coarse woody debris	Absence	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Absence of Coarse woody debris)		<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood Coarse woody debris) - 3 point
			<input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of Coarse woody debris)		<input type="checkbox"/> Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point
Species diversity indicators	Real data	Indicator-specific score		Implication for stand biodiversity	
	Species richness (presence of individual of non-target species)	Presence	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of other species)	Results from annotated parameters	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of other species)		
	% of non-target individuals in the smallest diameter class (10 cm)	2,6	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rim < 15)		<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic species with none or low regeneration) - 3 point
			<input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rim < 30)		<input type="checkbox"/> Score 3 (Sporadic species with high regeneration) - 4 to 6 point
		<input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rim < 50)			
		<input type="checkbox"/> Score 4 (% Rim ≥ 50)			
Microhabitat indicators	Real data	Indicator-specific score		Implication for stand biodiversity	
	% of individuals with cavities	17,9	<input type="checkbox"/> Score 1 (% Ind ≤ 15%)	Results from annotated parameters	
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind ≤ 50%)		
	% of individuals with injuries and wound	9,1	<input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind > 50%)		<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point
			<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind ≤ 15%)		<input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic to consistent presence of microhabita) - 4 to 6 point
% of individuals with deformation	12,5	<input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind ≤ 50%)	<input type="checkbox"/> Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point		
		<input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind > 50%)			
				Final Score: 10	

Slika 2.6.3. Popunjeni obrazac na temelju stvarnih podataka s demonstracijske plohe 07 - Tre Termini

2.7 Preporuke za održivo gospodarenje šumama

Andrej Breznikar¹, Davide Travaglini²

¹ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

² Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNI-FI), Italy

Pregled šumsko-uzgojnih oblika

Šumsko-uzgojne metode koje se trenutno primjenjuju u sastojinama obične jele (*Abies alba* Mill.) na mediteranskom području razlikuju se od oplodnih sječa i prebornog gospodarenja. Na područjima gdje su sastojine obične jele nastale sadnjom, kao što su Apenini u Italiji, koristi se čista sječa sa sadnjom sadnica. Međutim, prevladavaju šumsko-uzgojne metode umjerenog intenziteta. Pomladak je često prirodan, a sastojine se selektivno prorjeđuju, dok su površine koje se sijeku prilikom završne sječe male (< 1 ha). Šumsko-uzgojni oblici koji su najprikladniji za sastojine obične jele su preborno gospodarenje i oplodne sječe na malim površinama. U takvim uvjetima, jela može konkurirati bukvi, smreci, javoru i drugim vrstama drveća u mješovitim šumskim sastojinama (ZGS, 2021).

U prebornom gospodarenju s kontinuiranom sječom u intervalima od 5 do 15 godina održava se optimalna drvena zaliha, a uvjeti staništa povoljni su za obnovu i pomlađenje jelovih sastojina. U takvim šumama, volumen posječenih stabala približno je jednak prirastu stabala (Wolf i sur., 2010).

Kod oplodnih sječa na malim površinama potreban je dulji period obnove (>30 godina) za uspješnu obnovu i rast jelovih stabala. To znači da na mjestima gdje želimo poticati rast jelovih stabala i pomlađenje te regulirati svjetlosne uvjete, potrebno je postupno i dugoročno uklanjati stabla u nadstojnoj etaži. Na područjima gdje su ciljevi pomlađenja različiti, ono je moguće u kraćem periodu i na većoj površini. Takva metoda zahtijeva pažljivo i diferencirano planiranje gospodarenja šumom. Kontinuirana sječa i trajno, ali prostorno ograničeno pomlađenje također su važni kod oplodnih sječa na malim površinama.

S ove točke gledišta, gospodarenje usmjereno na intenzivno povećanje drve zalihe, kao i intenzivno pomlađenje na velikim površinama, nije prikladno za sastojine obične jele. Može pridonijeti pomlađenju obične jele očuvanjem vitalne (mlađe) nadstojne etaže jelovih stabala na područjima obnovljenim bukvom (Wolf i sur., 2010).

Zbog značajnih razlika u rastu jele kao i ekologije prirodnog pomlađenja, smjernice u vezi sa uzgojnim metodama, ciklusima sječe i ciljanim dimenzijama stabala moraju biti prilagođene tipu šume, sastojini i uvjetima u njoj. U usporedbi sa sastojinama bukve, zbog dinamike rasta, proizvodna dob i ciljane dimenzije jelovih sastojinama općenito su veće nego u sastojinama bukve (ZGS, 2021).

U projektu LIFE SySTEMiC proučavala su se 4 glavna šumsko-uzgojna oblika za održivo gospodarenje šumama (SFM), od negospodarenih šuma, šuma kojima se gospodari preborno te oplodnih sječa na velikim i malim površinama kao i šume obične jele koje odgovaraju četirima europskim tipovima šuma.



Slika 2.7.1. Proreda i oplodne sječe na malim površinama najprikladniji su za gospodarenje običnom jelom

Šumsko-uzgojne karakteristike obične jele

Obična jela (*Abies alba* Mill.) uglavnom raste u šumskim sastojinama koje se suočavaju s izazovima poput kasnih mrazova, suše, ljetnih vrućina i zimskih hladnoća. Ključna prednost obične jele u odnosu na druge vrste drveća je u tome što je jela tolerantna na sjenu te bolje uspijeva od konkurenata u nepovoljnim svjetlosnim uvjetima. Pomladak obične jele može podnijeti dulje periode u dubokoj sjeni unutar prebornih šuma. Međutim, vrsta je vrlo osjetljiva na varijacije temperature i vlage te ima uski ekološki raspon. Rane bočne izbojke posebno ugrožavaju kasni mrazovi, budući da se pojavljuju ranije u proljeće (Prpić (ured.), 2001).

Potrebe za vodom obične jele visoke su, što je čini vrlo osjetljivom na sušu, posebno tijekom ranijih faza razvoja. S druge strane, u središnjoj i južnoj Europi zabilježeni su iznenađujući slučajevi otpornosti na sušu (Carrer i sur., 2010). Obična jela uspijeva na različitim tipovima tla, od vapnenca do silikatne stijene (Prpić (ured.), 2001).

Prijetnje

Klimatske promjene predstavljaju značajnu prijetnju običnoj jeli, stavljajući je među ugroženije vrste drveća zbog specifičnih klimatskih zahtjeva i poteškoća prilikom prirodnog i umjetnog pomlađenja zbog oštećenja od divljači. Tijekom proteklih desetljeća došlo je do smanjenja udjela obične jele u šumama što je rezultiralo smanjenjem gustoće populacija i genetske raznolikosti zbog genetskog drifta i samooplodnje u malim ili rijetko zasađenim populacijama (Wolf et al., 2010). Smanjenje udjela obične jele brži je u jelovo-bukovim šumama u usporedbi s jelovo-smrekovim i čistim jelovim sastojinama, gdje je pomlađenje često uspješnije, štete od divljači minimalne, a struktura dobnih razreda obećava bolje izgleda za buduće očuvanje. Prognoze o smanjenju udjela obične jele u šumskim zajednicama pod budućim klimatskim scenarijima koji predviđaju porast temperatura i smanjenje

oborina, posebno su zabrinjavajuće, pogotovo u problematici vezanoj uz prirodno pomlađenje (Wolf et al., 2010).

Tijekom 1970-ih i 1980-ih godina primijećeno je smanjenje udjela i odumiranje obične jele u središnjoj Europi, poznato kao „odumiranje jele”, a koje je bilo uzrokovano raznim čimbenicima, uključujući SO₂ emisije u kompleksnoj interakciji s klimatskim i biotičkim čimbenicima (Abies, 2016).

Klimatske promjene negativno su utjecale na rast autohtonih populacija obične jele u Europi posljednjih desetljeća. Prijetnje uglavnom proizlaze iz povećane vjerojatnosti negativnih učinaka abiotičkih i biotskih čimbenika (štetočine, bolesti). Očekuje se smanjenje udjela obične jele zbog bijele truleži (*Sclerotinia sclerotiorum*), kao rezultat naglog otvaranja velikih površina (masovna sječa zbog prirodnih katastrofa) i brze promjene mikroklima. Postoji i opasnost od pojave korova i neinvazivnih vrsta alohtonih biljaka na područjima koja su otvorena sječama i time ograničavanja mogućnosti prirodnog pomlađenja autohtonih vrsta drveća. Zbog širenja neinvazivnih vrsta alohtonih biljaka promijenit će se i pogoršati svojstva tla, povećati siromaštvo staništa, smanjiti bioraznolikost i povećati oštećenja autohtonog pomlatka uslijed brsta divljači (ZGS, 2021).

Procjena potencijala prilagodbe šuma obične jele na klimatske promjene

Potencijal prilagodbe šuma obične jele ovisi o šumskom staništu, strukturi sastojine i sastavu vrsta drveća. Zbog prikladne strukture šuma, prikladne strukture rubova šume, prisutnosti selektivnih sječa sastojina, provedbe sječa u mlađim sastojinama te visokog stupnja očuvanja sastava drveća i relativno netaknute prirodne obnove, potencijal prilagodbe može biti vrlo visok. Smanjenje potencijala prilagodbe nastaje zbog niskog stupnja provedbe mjera njege u mlađim razvojnim stadijima, uniformne strukture sastojina, promijenjenog sastava vrsta drveća te prekomjernog oštećenja od divljači (ZGS, 2021).

Pomlađenje sastojina obične jele

Zbog dugih pomladnih razdoblja pomlađenje u sastojinama obične jele potrebno je započeti ranije nego u slučaju vrsta drveća s kratkim pomladnim razdobljima. Velike razlike u rastu stabala istih dimenzija ukazuju na potrebu odlučivanja o sječi na razini pojedinačnih stabala (ZGS, 2021).

Pomlađenje sastojina trebalo bi se odvijati na malim površinama jer to omogućuje obnavljanje glavnih vrsta drveća, posebno jele. Potreba za njegom pomlatka smanjuje se primjenom pomlađenja na malim površinama. Veličina otvorenog sklopa regulira sastav pomlatka: manje intenzitete osiguravaju veći udio jele jer je npr. za smreku potrebno više svjetla, a još i više za listopadne vrste s izuzetkom bukve koja je tolerantna na sjenu. Na sušim područjima otvaranje većih površina osigurava prirodno pomlađenje više različitih vrsta otpornih na sušu, poput borova i ariša, koji mogu zamijeniti običnu jelu i bukvu. Istovremeno sa sječom, potrebno je ukloniti nevaltalna stabla u podstojnoj etaži i grmlju.

Problemi mogu nastati kod obnove na velikim površinama nakon prirodnih katastrofa. U tim slučajevima potrebno je pojačati pripremu sastojine za prirodnu obnovu, a u nekim slučajevima i intervenirati putem sadnje i potpomognute obnove.

Sadnja se također koristi tamo gdje nije moguće osigurati prikladan udio listopadnih vrsta na prirodan način.

Na karbonatnim šumskim staništima gdje je obična jela dominantna vrsta, nema problema s pomlađenjem, ali pod uvjetom da se očuva njen prirodni udio u sastavu drveća. Na karbonatnim staništima, primjerice na visokom kršu u Sloveniji, u jelovo-bukovim šumama, bukva ponovno povećava svoj udio u antropogeno modificiranoj strukturi drveća u cikličnom nasljeđivanju. Među svim vrstama drveća na navedenom području, obična jela je najugroženija zbog velikih oštećenja od divljači. U svjetlosnim

uvjetima u kojima jela konkurira drugim vrstama, relativno sporo raste i stoga je izložena oštećenjima od divljači tijekom dužeg razdoblja. U takvim uvjetima, bez posebne pažnje posvećene jeli ne možemo očekivati daljnje povećanje njezinog udjela koji se posljednjih desetljeća stalno smanjuje. Na takvim staništima usmjeravamo razvoj šume kroz prirodno pomlađenje, gdje se jelove sastojine uspješno obnavljaju na ograđenim područjima i/ili sadnjom sadnica. Također su važne i individualne zaštite pomlatka (ZGS, 2021).



Slika 2.7.2. U nekim područjima zaštita od divljači je ključna za obnovu sastojina obične jele

Njega i zaštita sastojina obične jele

Najprikladnije mjere njege i zaštite sažete su na temelju smjernica o održivom gospodarenju šumama u Sloveniji (ZGS, 2021) i rezultata projekta LIFE SySTEMiC. Najčešća mjera njege u mladiku je postupno uklanjanje sloja grmlja i preraslih stabala istodobno regulirajući omjer ciljanih vrsta drveća u šumskim sastojinama. U šumama kojima se gospodari preborno, mjere njege usmjerene

su na manje grupe mladika. Mjere njege u mladiku rezultiraju raznolikom vertikalnom i horizontalnom strukturom sastojina čime se osigurava stabilnost šuma protiv štetnih abiotičkih utjecaja (vjetar, mraz, sunce, mokri snijeg).

Važno je skratiti proizvodno razdoblje u sastojinama obične jele (sječa stabla jele u trenutku kad visinski prirast počne opadati, tj. između 80 i 100 godina).

Produktivna staništa obične jele zahtijevaju intenzivniju prorjedu, posebno u mladim razvojnim stadijima (intenzitet između 20 i 25%). Sječa mora biti rana i usmjerena na reguliranje omjera drveća i jačanje stabilnosti sastojina. Posebna se pažnja tijekom sječe mora posvetiti osiguravanju stabilnosti sastojina i očuvanju listopadnih vrsta u sušnijim dijelovima šumskih sastojina. Intenzitet sječe u srednjodobnim sastojinama trebao bi se kretati između 15 i 20%.

U šumama posebne namjene sječa bi trebala biti usmjerena na održavanje strukture šuma posebne namjene šuma.

Intenzitet sječe u odraslim sastojinama trebao bi biti niži (između 10 i 15% trenutne drvene zalihe) i ne bi trebao otvarati veće prostore u šumskim sastojinama.

Dovoljan udio obične jele u budućim šumama osiguran je uglavnom kontrolom svjetlosnih uvjeta na tlu šume. Glavne vrste drveća trebale bi biti grupirane, a plemenite bjelogorične vrste mogu biti pojedinačne ili također grupirane. Osim glavnih vrsta drveća, važna je i podstojna etaža.

Važna mjera je prevođenje jednodimenzionalnih sastojina u strukturirane sastojine putem selektivne doznake i sječe. Prevođenje se provodi u sastojinama vrsta koje nisu prikladne za određeno šumsko stanište (npr. nasadi smreke), posebno kad vitalnost ili zdravstveno stanje sastojina toliko opadne da prijeti normalnom šumskom gospodarenju.

Oslabljene i nevitale sastojine prvo se moraju prorijediti kako bi se osigurao veći dotok svjetla, što će rezultirati prirodnim formiranjem podstojne etaže meliorativnih vrsta drveća i grmlja, što će poboljšati svojstva tla. Time se osigurava da će se sastojine razvijati prema potencijalnoj vegetaciji u progresivnom sukcesijskom procesu. Tijekom prevođenja sastojina posebna se pažnja posvećuje manjinskim vrstama drveća koje imaju meliorativnu sposobnost, što neizravno poboljšava i povećava šumsku proizvodnju. Posebno su važne vrste drveća koje kombiniraju funkciju melioracije i istovremeno imaju ekonomsku vrijednost (bukva, javor, planinski jasen, velika joha, lipa, grab, divlja trešnja, divlja kruška, ariš, kesten, crni jasen, topola, itd.).

Balansirana struktura šumskih sastojina u prebornim šumama znatno je otpornija na negativne abiotičke čimbenike od jednodobnih sastojina. Zbog toga ima smisla pretvoriti jednodobne sastojine u preborne putem selektivnih doznaka i sjekova. Prevođenje putem proreda trebalo bi se započeti što je ranije moguće, oslobađajući krošnje odabranih stabala i stvarajući mrežu stabala koja podržava stabilnost sastojina.

Mjere zaštite šuma u sastojinama obične jele uglavnom se sastoje od zaštite od divljači s repelentima ili pojedinačno za svaku biljku. Zaštitna ograda koristi se uglavnom na područjima s većom koncentracijom divljači. Sanitarna sječa trebala bi biti redovita i brza - sva snažno napadnuta i zaražena stabla (npr. imela, ozeblina i rak stabala) trebaju se ukloniti. U šumama gdje se preborno gospodari važno je brinuti o distribuciji stabala prema klasama debljine, čime se sprječava gubitak obične jele u sastojinama s prekomjernim udjelom debelih stabala (klasa debljine preko 50 cm).

Prilagodba sastojina obične jele klimatskim promjenama

Među najvažnijim mjerama kojima možemo doprinijeti očuvanju obične jele u klimatski nestabilnim uvjetima su:

- selektivna sječa, koja može omogućiti razvoj pojedinih stabala obične jele u jednodobnim sastojinama,
- mjere njege u mlađim sastojinama kojima možemo povećati broj stabala obične jele reguliranjem omjera vrsta i kasnijom pozitivnom selekcijom,
- sadnja stabala obične jele pod zastorom krošnji (npr. u kulturama smreke)
- održavanje progala unutar sastojine, održavanje strukturiranog ruba šume i dovoljan broj matičnih stabala.

Genetska varijabilnost obične jele jedan je od najvažnijih faktora u odgovoru vrste na klimatske promjene (Oggioni, 2024), budući da se prilagodljivost i karakteristike rasta stabala mogu razlikovati ovisno o njihovu podrijetlu. Održivo gospodarenje šumama obične jele stoga bi trebalo podržavati prirodni proces migracije i prilagodbe putem potpomognute migracije, što se postiže sadnjom sadnica različitih provenijencija na najpovoljnijim mjestima za budućnost.



Slika 2.7.3. Obnova obične jele u odabranim sastojinama (foto: SFS).



3. ODRŽIVO GOSPODARENJE ŠUMAMA OBIČNE BUKVE *FAGUS SYLVATICA* L.

3.1 Uvod

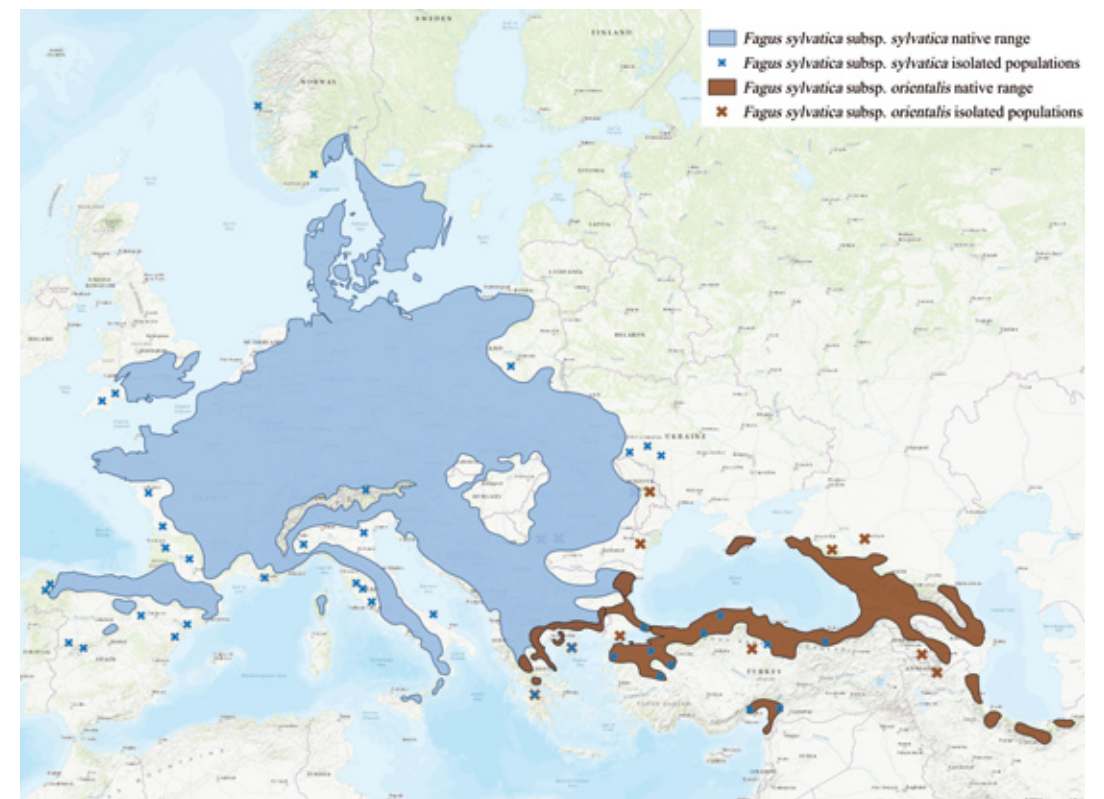
Hojka Kraigher¹, Marjana Westergren¹, Kristina Sever², Miran Lanščak³

¹ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

² Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

³ Croatian Forest Research Institute, Croatia

Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) jednodomna je vrsta koju oprašuje vjetar, s životnim vijekom do 300 godina, koja može doseći visinu od 40 (60) m. To je vrsta koja formira sastojine i raste u čistim ili mješovitim sastojinama diljem Europe. Na jugoistoku se može križati s *Fagus orientalis* Lipsky (Slika 2.1.1.). Raste na širokom rasponu tala, osim na zbijenim i močvarnim, te preferira vlažnu klimu. Budući da je osjetljiva na visoke temperature, ljetne suše i kasne mrazeve, njena distribucija ograničena je na Mediteran i kontinentalne dijelove zapadne i sjeverne Europe (Westergren i sur., 2020). Obična bukva doseže svoju reproduktivnu fazu u dobi od 50 do 60 godina. Odvojeni muški cvjetovi (rese) i ženski cvjetovi nalaze se na istim granama i u istim pupovima. Cvatnja slijedi odmah nakon otvaranja pupova u travnju i svibnju. Sjeme bukve piramidalnog je oblika, a u kupuli su smještene 2 do 3 sjemenke koje sazrijevaju u rujnu i listopadu. Zrelo sjeme pada s drveća do kraja studenog. Godina punog uroda obično se javlja periodično svakih 5 do 10 godina, dok neka stabla mogu cvjetati svakih nekoliko godina.



Slika 3.1.1. Rasprostranjenost obične bukve (www.euforgen.org) prema Caudullo G., CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, putem Wikimedia Commons.



Svježe sjeme ima 20-30 % udjela vlage, njihova dormancija varira, a hladna stratifikacija može trajati od 4 do više od 20 tjedana. Kada se osuše na 8-9 %, mogu se skladištiti na -10 do -15 °C pet do šest godina ili dulje pri umjetno povišenoj koncentraciji CO₂. U 1 kg svježih bukvića (pri 20-30 % vlažnosti) može biti 3000-6000 sjemenki, dok 1000 sjemenki teži približno 150-300 g. Prve sjemenke koje padaju u rujnu obično su prazne zbog oštećenja od insekata (Kraigher, 2024; Regent, 1980; USDA 2008).

Westergren i sur. (2020) napominju da proljetni mrazovi često oštećuju mlada stabla ili cvjetove koji se pojavljuju u isto vrijeme kad i listovi. Mikiola fagi Hartig može uzrokovati odumiranje mladih stabala bukve i smanjiti prirast kod jako napadnutih stabala. Bukva je također među osjetljivijim domaćinima karantenskih gljiva *Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man. *Anoplophora chinensis* Forster i *Anoplophora glabripennis* Motschulsky, koje su obje porijeklom iz Azije te predstavljaju rastuću prijetnju za bukvu.

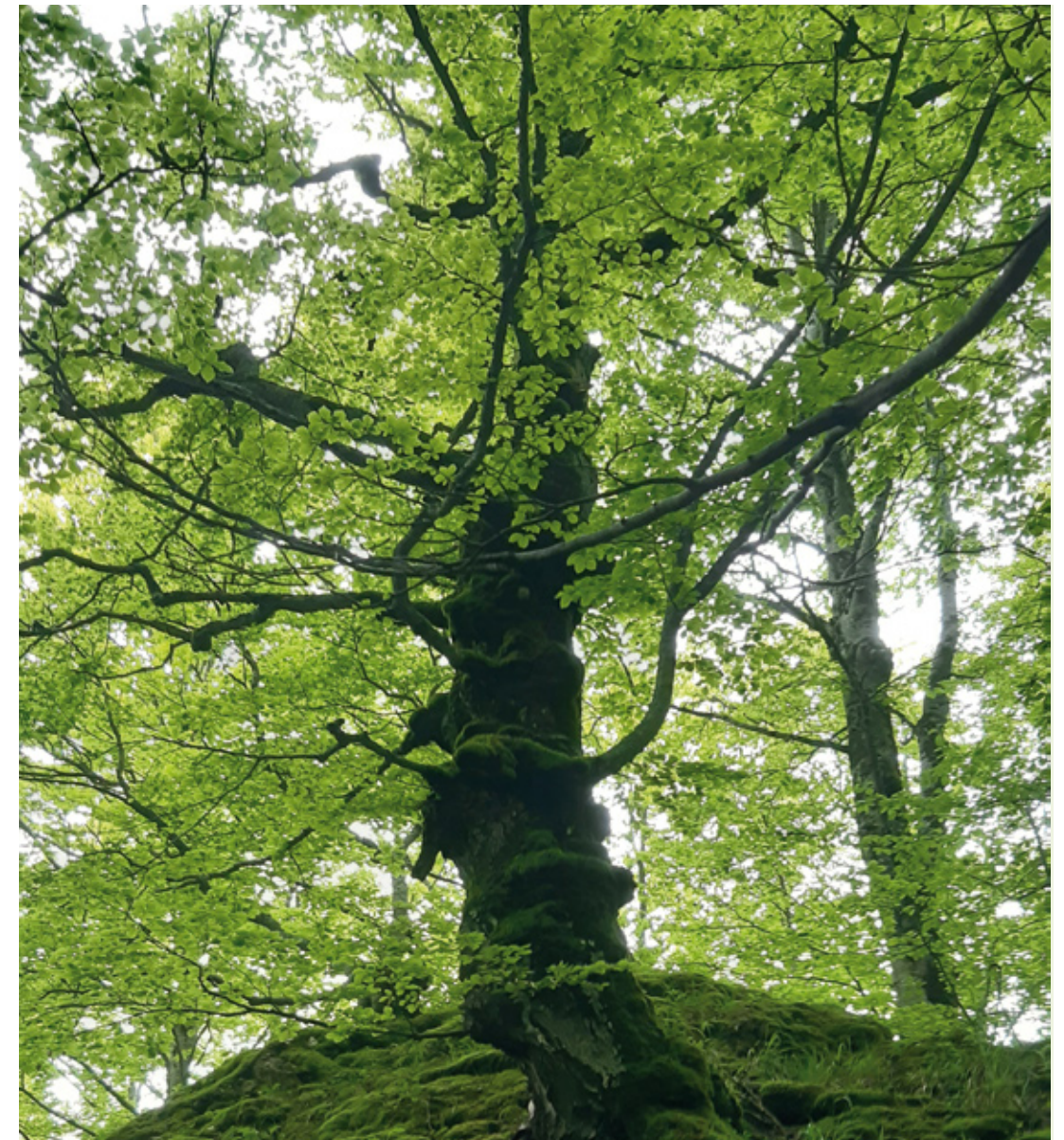
Obična bukva obilježena je niskom genetskom strukturom širom europskog kontinenta. Populacije Pirenejskog poluotoka i jugozapadne Francuske, Apeninskog poluotoka i jugoistočnog Balkana (moguće su i druge genetske skupine u regiji) pripadaju različitim genetskim skupinama, dok se srednjoeuropska genetska skupina miješa s balkanskom genetskom skupinom i širi prema sjevernom području areala vrste (Demesure i sur., 1996; Magri i sur., 2006; GenTree, 2021; Höhn i sur., 2021), s izolacijom udaljenih populacija koje igraju važnu ulogu u diferencijaciji (Höhn i sur., 2021). Genetska raznolikost bukve najveća je u ostacima ledenjaka (GenTree, 2021). Općenito, populacije u središtu raspona sličnije su u pogledu raznolikosti i strukture (GenTree, 2021). Tablica 3.1.1. prikazuje popis demonstracijskih ploha za *Fagus sylvatica* L. iz projekta LIFE SySTEMiC.

Tablica 3.1.1. Popis demonstracijskih ploha za *Fagus sylvatica* L. projekta LIFE SySTEMiC.

Id	Site name	Country	Species	EFT*	Structure	Silvicultural system
01	Pian degli Ontani	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Even-aged	Uniform shelterwood
02	Baldo's forest	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Uneven-aged	Individual tree selection
03	Pian dei Ciliegi	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Even-aged	Uniform shelterwood
04	Caselle 1	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Even-aged	Uniform shelterwood
05	Caselle 2	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Even-aged	Uniform shelterwood
11	Fonte Novello	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Uneven-aged/Old-growth	Unmanaged
12	Venacquaro	Italy	<i>F. sylvatica</i>	7.3	Even-aged	Uniform shelterwood
14	Ogulin	Croatia	<i>F. sylvatica</i>	7.2	Even-aged	Uniform shelterwood
23	Osankarica	Slovenia	<i>F. sylvatica</i>	7.2	Even-aged	Irregular shelterwood

24	Pri Studencu	Slovenia	<i>F. sylvatica</i>	6.6	Even-aged	Irregular shelterwood
25	Rajhenavski Rog	Slovenia	<i>F. sylvatica</i>	7.4	Uneven-aged/Old-growth	Unmanaged
29	Gorski kotar, Vrbovsko	Croatia	<i>F. sylvatica</i>	7.2	Uneven-aged	Individual tree selection

* EFT = Europski tip šuma: 6.6 Ilirska predplaninska bukova šuma; 7.2 Srednjoeuropska planinska bukova šuma; 7.3 Apeninsko-korzijska planinska bukova šuma; 7.4 Ilirska planinska bukova šuma.



3.2 Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana sa stablima

Davide Travaglini¹, Cesare Garosi¹, Francesco Parisi^{2,3}, Natalija Dovč⁴, Kristina Sever⁵, Rok Damjanič⁴

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

² University of Molise, Department of Bioscience and Territory, Italy

³ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

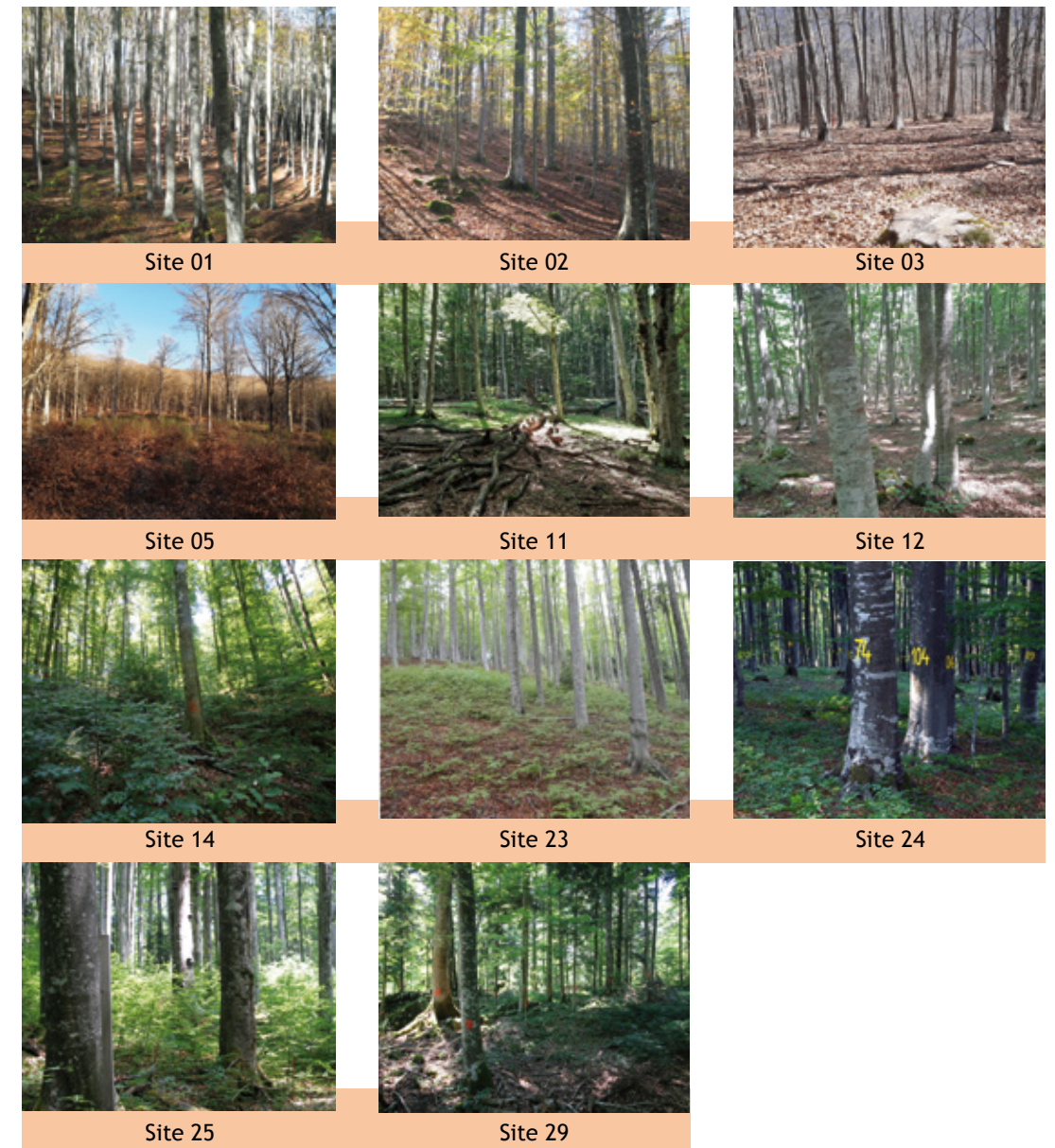
⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

⁵ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa vezana uz drveće popisani su na 11 demonstracijskih ploha (Slika 3.2.1.).

Na svakoj lokaciji odabrana je trajna ploha s reprezentativnom strukturom gospodarenja šumama. Ploha je bila pravokutnog oblika, a svaka strana bila je duga 50 m (površina od 2500 m²). Ukoliko je broj stabala istraživane vrste (*Fagus sylvatica* L. s prsnim promjerom > 2,5 cm) bio manji od 30 stabala, uspostavljena je u nastavku plohe još jedna demonstracijska ploha sve dok se nije postigao minimalan broj od 30 stabala istraživane vrste.

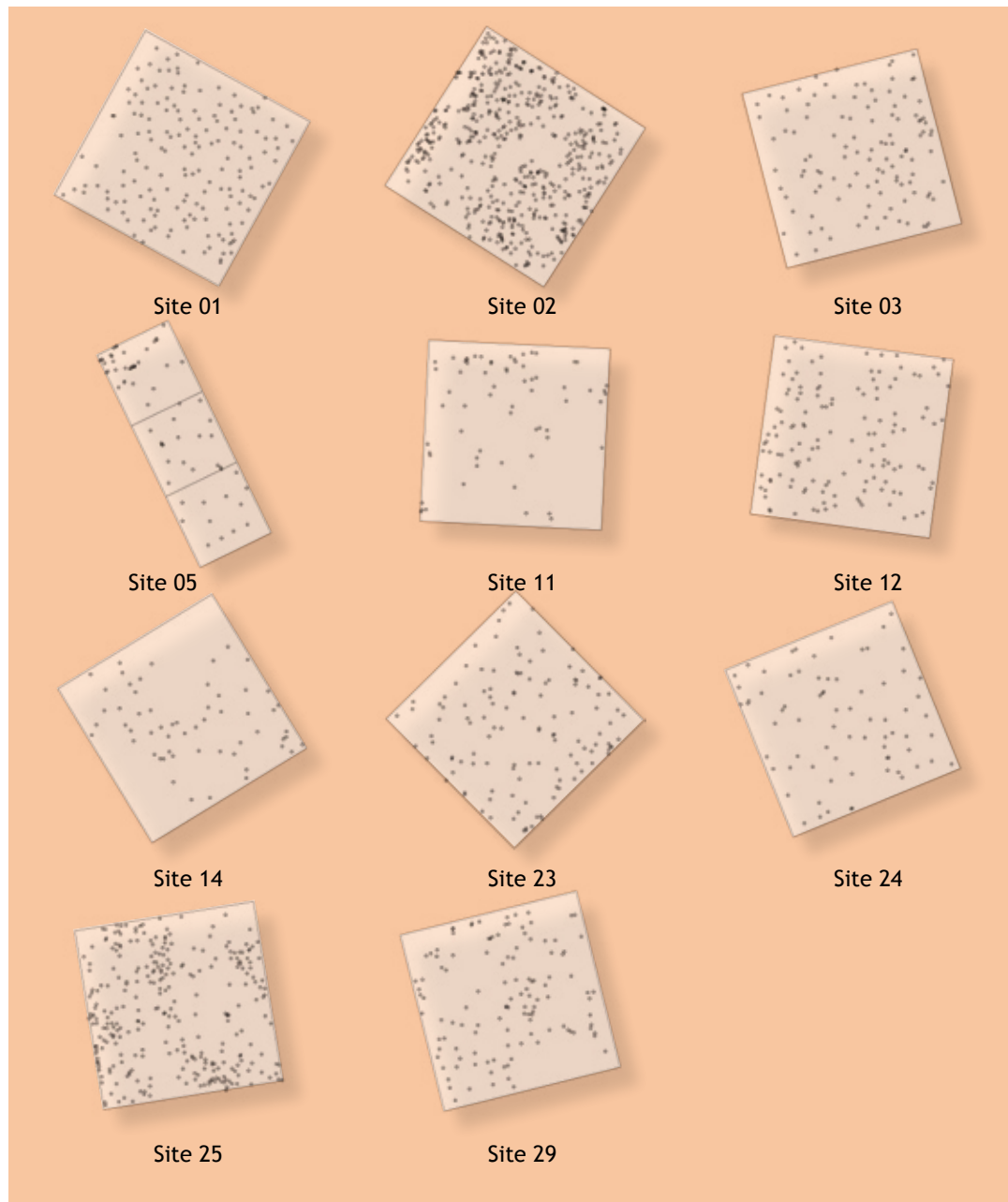
Detaljni protokoli za terensko istraživanje i obradu podataka dostupni su na LIFE SySTEMiC web stranici: <https://www.lifesystemic.eu/>.



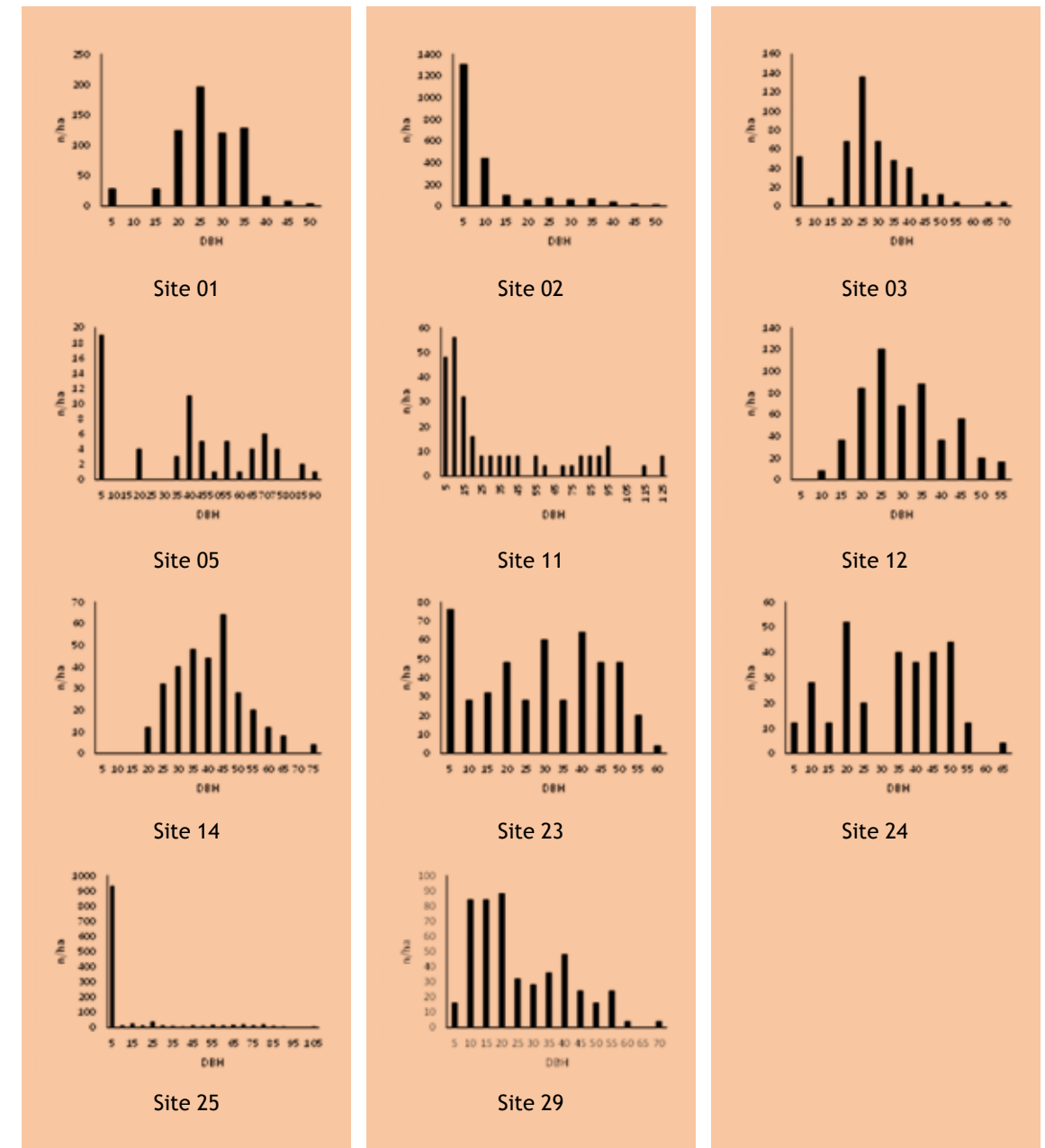
Slika 3.2.1. Demonstracijske lokacije za *Fagus sylvatica* L.

Fagus sylvatica L. bila je dominantna vrsta drveća (temeljnica > 75 %) na demonstracijskim ploham 1, 2, 3, 5, 11, 12, 14, 23, 24; na preostalim ploham *Fagus sylvatica* L. najčešće je bila pomiješana s *Abies alba* Mill. (demonstracijske plohe 25 i 29), *Acer pseudoplatanus* L., *Tilia platyphyllos* Scop. i drugim sekundarnim vrstama drveća (demonstracijska ploha 29).

Prostorna distribucija stabala na demonstracijskim ploham prikazana je na Slici 3.2.2. Slika 3.2.3. prikazuje distribuciju broja stabala po promjeru na svakoj plohi.



Slika 3.2.2. Prostorna distribucija stabala na demonstracijskim ploham



Slika 3.2.3. Broj stabala - distribucija promjera na demonstracijskim ploham.

Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa vezana uz drveće popisani su na šest demonstracijskih ploha (Slika 3.2.1.).

Strukturne varijable šume prikazane su u Tablici 3.2.1. U istraživanim sastojinama *Fagus sylvatica* L., temeljnica se kretala između 15 m²/ha i 55 m²/ha, a drvena zaliha između 204 m³/ha i 987 m³/ha. U gospodarenim jednodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 1, 3, 5, 12, 14, 23, 24), temeljnica je iznosila prosječno 35 m²/ha, a drvena zaliha 490 m³/ha. U gospodarenim raznodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 2, 29) temeljnica je iznosila prosječno 33 m²/ha, a drvena zaliha 354 m³/ha. Zrele sastojine (demonstracijske plohe 11, 25) imale su raznodobnu strukturu, s prosječnom temeljnicom od 52 m²/ha i drvnom zalihom od 904 m³/ha.

Raznolikost strukture šume, predstavljena dimenzionalnom raznolikošću stabala (standardna devijacija i koeficijent varijacije prsnog promjera i visina), bila je najveća u zrelim sastojinama (CVDBH = 135,7 %, CVH = 82,6 %), zatim u raznodobnim (CVDBH = 76,0 %, CVH = 54,5 %) i jednodobnim (CVDBH = 44,6 %, CVH = 31,8 %) sastojinama.

Tablica 3.2.1. Varijable strukture šume na demonstracijskim ploham. N = broj stabala; BA = temeljnica; V = drvena zaliha; QMD = srednje plošno stablo; MH = prosječna visina (visina stabla s prosječnom temeljnicom); DH = dominantna visina (prosječna visina 100 stabala po hektaru s najvećim promjerima u slučaju jednodobne sastojine te prosječna visina tri najviša stabla po hektaru u slučaju raznodobne sastojine); SDDBH = standardna devijacija prsnog promjera; SDH = standardna devijacija ukupnih visina stabala; CVDBH = koeficijent varijacije prsnog promjera; CVH = koeficijent varijacije ukupnih visina stabala.

Id	N	BA	V	QMD	MH	DH	SDDBH	SDH	CVDBH	CVH
	n/ha	m ² /ha	m ³ /ha	cm	m	m	cm	m	%	%
01	652	38.5	528.2	27.4	27.4	28.4	8.1	5.3	30.8	20.1
02	2164	32.6	363.4	13.9	16.2	30.8	9.5	6.9	94.9	65.7
03	456	31.3	340.5	29.6	21.3	22.8	12.3	5.7	45.6	29.6
05	88	15.2	204.4	46.9	25.1	25.6	26.9	10.1	69.7	51.9
11	260	48.0	820.7	48.5	29.6	44.6	34.5	11.3	100.6	55.3
12	532	43.6	639.9	32.3	28.6	31.9	10.3	5.5	33.6	20.4
14	312	42.3	694.3	41.5	30.0	31.6	11.6	3.9	29.0	13.3
23	484	41.2	534.9	32.9	26.3	31.6	16.1	10.7	56.2	50.0
24	300	31.5	489.0	36.5	33.0	37.4	15.7	10.8	47.5	37.4
25	1168	54.9	986.7	24.5	23.4	46.1	21.1	10.3	170.7	109.9
29	488	32.5	344.2	29.1	18.1	28.8	14.5	6.5	57.1	43.3

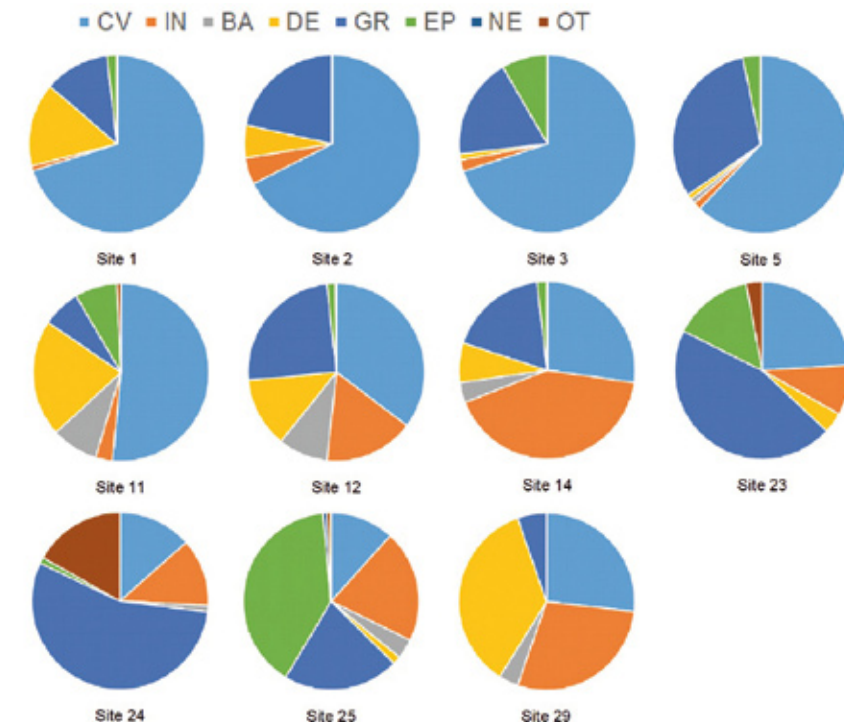
Za svaku lokaciju, količina mrtvog drva prikazana je u Tablici 3.2.2. U istraživanim sastojinama, ukupni volumen mrtvog drva kretao se između 5 m³/ha i 420 m³/ha. U gospodarenim jednodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 1, 3, 5, 12, 14, 23, 24), ukupni volumen mrtvog drva iznosio je prosječno 8 m³/ha, gdje su većinom bili zastupljeni panjevi (58 %), ostalo ležeće mrtvo drvo (22 %) i suharci (20 %); u gospodarenim raznodobnim sastojinama (demonstracijske plohe 2, 29) ukupna količina mrtvog drva iznosila je prosječno 17 m³/ha, gdje su većinom bili zastupljeni panjevi (51 %) i suharci (41 %). Zrele šume (demonstracijske plohe 11, 25) imale su najveću količinu mrtvog drva (329 m³/ha), koja je uključivala ostalo ležeće mrtvo drvo (58 %), suharce (16 %), oborena mrtva stabla (23 %) i panjeve (3 %).

Zastupljenost mikrostaništa povezanih s drvećem na svakoj demonstracijskoj plohi prikazana je na Slici 2.2.4. u obliku postotka različitih oblika mikrostaništa. Šupljine i deformacije bile su najčešći oblici mikrostaništa na demonstracijskim ploham 1, 2, 3, 5 i 12. Deformacije su također bile najče-

šće na demonstracijskim ploham 23 i 24. Mrtvo drvo, oštećenja debla, ozljede i rane bile su zastupljene u velikoj mjeri u zrelim sastojinama (demonstracijske plohe 11, 29). Epifiti su bili uobičajeni na demonstracijskoj plohi 25.

Tablica 3.2.2. Volumen mrtvog drva na demonstracijskim ploham

Id	Standing dead trees (including snags)	Downed dead trees	Other lying dead wood pieces	Stumps	Total
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
01	0.0	0.0	2.3	3.0	5.3
02	0.5	0.0	0.0	5.9	6.4
03	0.0	0.0	0.1	5.8	5.9
05	0.0	0.0	0.3	7.1	7.4
11	0.4	0.0	216.6	20.8	237.8
12	3.3	0.0	0.2	1.7	5.2
14	5.2	0.0	4.7	3.4	13.3
23	0.0	0.1	1.5	7.3	8.9
24	2.5	0.0	2.6	2.7	7.8
25	103.0	149.4	163.4	4.2	420.0
29	13.1	2.0	0.8	11.0	26.9



Slika 3.2.4. Mikrostaništa povezana sa stablima na lokacijama (postotak oblika mikrostaništa) (CV = Šupljine; IN = Ozljede i rane; BA = Kora; DE = Mrtvo drvo; GR = Deformacija / oblik rasta; EP = Epifiti; NE = Gnijezda; OT = Ostalo)



Figure 3.2.5. Prirodno pomlađenje *Fagus sylvatica* L. na demonstracijskoj plohi 2.



Figure 3.2.6. Mrtvo drvo i mikrostaništa povezana sa stablima na demonstracijskoj plohi 11, zrela šuma.

3.3 Krajobrazna genomika

Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,2}, Marko Bajc³, Katja Kavčič Sonnenschein³, Donatella Paffetti¹

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

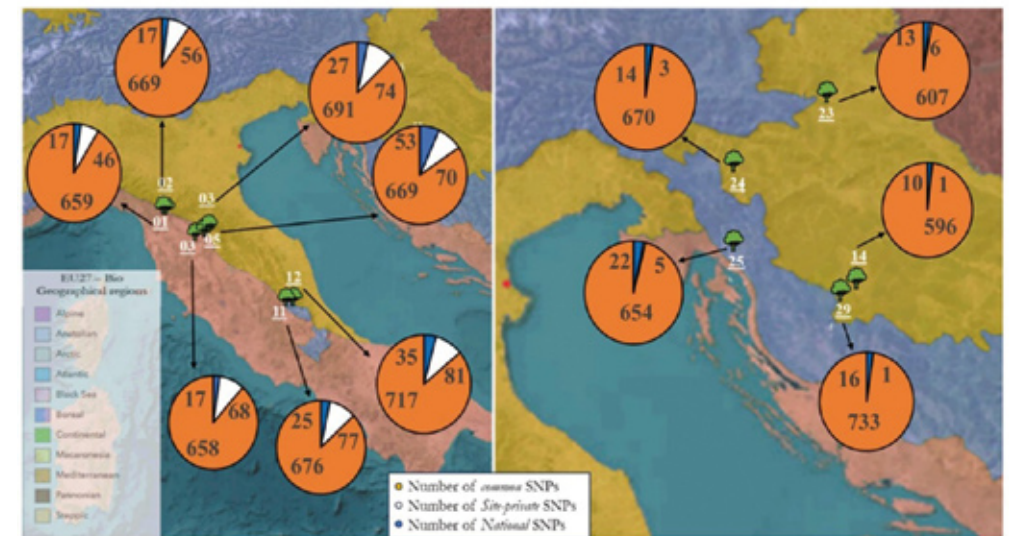
² Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

³ Slovenian Forestry Institute, Slovenia

Genetska varijacija ključna je za prilagodbu i preživljavanje jedinki unutar populacije, a izravno je povezana sa sposobnošću vrste da se prilagodi različitim okolišnim uvjetima (Balkenhol i sur., 2016). Unutar svake populacije genetske promjene, plastičnost i evolvabilnost rezultat su kombinacije slučajnih i selektivno usmjerenih procesa, na koje se može utjecati uzgojnim zahvatima (Lefèvre i sur., 2014). Razumijevanje dinamike i mehanizama lokalne prilagodbe u prirodnim populacijama pruža osnovu za predviđanje reakcija na okolišne promjene, uključujući one povezane s globalnim klimat-

skim promjenama. Očekuje se da će lokalna prilagodba promijeniti učestalost alela gena koji utječu na prilagodbu određenim okolišnim uvjetima (Lefèvre i sur., 2014).

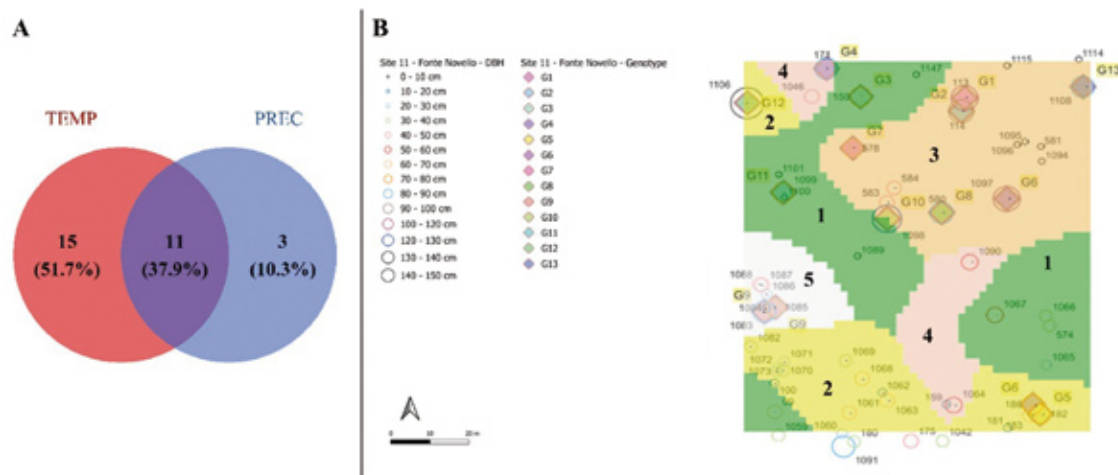
Već su primijećene promjene u marginalnim populacijama *Fagus sylvatica* L., a nekoliko modeliranih studija predviđa pomake u rasponu ove vrste u kontekstu globalnog zatopljenja. U tom kontekstu, krajobrazna genomika nastala je kao fleksibilan analitički okvir za razumijevanje interakcija između okolišne heterogenosti i prilagodljive genetske varijacije u prirodnim populacijama (Balkenhol i sur., 2016). Koristili smo pristupe krajobrazne genomike za analizu neutralne i prilagodljive komponente genetske raznolikosti kako bismo istaknuli moguće uzroke lokalne prilagodbe u istraživanim populacijama. Stoga smo povezali prilagodljive molekularne markere (SNP-ovi) s bioklimatskim pokazateljima. Nuklearni mikrosatelitski markeri (nSSR) analizirani su kao mjera neutralne genetske varijacije i strukture proučavanih populacija. Polimorfizmi jednog nukleotida (SNP-ovi), genotipizirani pomoću ciljanog resekventnog pristupa kandidatnih genomskih regija, analizirani su kao mjera prilagodljive genetske varijacije proučavane populacije (Slika 2.3.1.). Kao rezultat toga, za *F. sylvatica* promatrali smo oko 1400 SNP-ova u 18 genomskih regija relevantnih za reakciju na jedan ili više abiotičkih stresova (rezultati su prikazani u Akcija B1: SNP karta svake demonstracijske plohe). Također smo istražili distribuciju ovih SNP-ova na razini populacije te dizajnirali road-map za svaku ciljanu vrstu kako bismo promatrali njihovu prostornu distribuciju među svim istraživanim populacijama (Slika 2.3.1.).



Slika 3.3.1. Karta raspodjele SNP-ova *Fagus sylvatica* L. na LIFE SySTEMiC demonstracijskim ploham prikazana je na slici. Slika prikazuje broj određenih specifičnih podskupina SNP-ova za svaku plohu. Legenda prikazuje vrste podataka podijeljene prema bojama. Boje predstavljaju sljedeće podskupine SNP-ova: skup SNP-ova prisutan na toj lokaciji koji su zajednički za najmanje dvije istraživane plohe (narančasta); broj jedinstvenih SNP-ova specifičnih za tu plohu (bijela) i broj SNP-ova prisutnih na toj plohi, koji su specifični za zemlju podrijetla (plava). Ispod svakog grafa prikazan je identifikacijski broj odgovarajuće plohe (podebljano i podcrtano).

Primijećen je veći broj lokalno-specifičnih i regijski-specifičnih SNP-ova (polimorfizama pojedinačnih nukleotida) na ploham smještenim u Italiji (Slika 2.3.1.). Ova prevalencija SNP-ova mogla bi se interpretirati kao znak prilagodbe na mediteranski bioklimatski režim koji karakterizira Apeninski poluotok i razlikuje je od kontinentalne klime u Sloveniji i Hrvatskoj. Kao što je navedeno u literaturi, analiza za otkrivanje potpisne lokalne adaptacije u prirodnim populacijama zahtijeva mnogo analitičkih koraka (Blanquart i sur., 2013). Identifikacija lokusa sa značajnim korelacijama s bioklimatskim pokazateljima, postignuta procjenom veza između klimatskih varijabli i alelnih varijanti korištenjem različitih modela, pokazala se korisnom. Za svaku plohu odabrano je dvanaest biokli-

matskih pokazatelja iz postojeće literature (Flint i sur., 2013; Gugger i sur., 2016, 2021; Pluess i sur., 2016). Da bi se identificirali obrasci lokalne adaptacije istraživane vrste, proveli smo GEA analize na dvije razine: globalnoj i lokalno-specifičnoj. Globalna analiza omogućila nam je identifikaciju mogućih obrazaca prilagodbe bioklimatskim uvjetima koji karakteriziraju raspon bukve. Rezultati analize pokazali su postojanje pet različitih genotipova prisutnih u Italiji, Hrvatskoj i Sloveniji. Uz to, još zanimljiviji nalaz bila je prisutnost veze između 98 alelnih varijanti i prosječnih vrijednosti dvanaest bioklimatskih pokazatelja koji su razmatrani u ovim analizama (kako je navedeno u Akcija B1: Izrada karata prostorne distribucije genetske raznolikosti i korelacije između distribucije alela i varijacija u okolišu). Prisutnost ovih veza može se tumačiti kao temeljni prilagodbeni genotip bukve rasprostranjen u srednjoeuropskom rasponu. Posebno je zanimljivo otkriće nekih lokacijski specifičnih alelnih varijanti povezanih s određenom zemljom (Italija ili Slovenija/Hrvatska) i pojedinačnim lokacijama. U analizi asocijacije s okolišem (EAA) važno je uzeti u obzir neutralnu genetsku strukturu (Rellstab i sur., 2015) jer neutralna genetska struktura može proizvesti obrasce slične onima koji se očekuju pod ne-neutralnim procesima (Excoffier i Ray, 2008; Excoffier i sur., 2009; Sillanpää, 2011). Nadalje, genetska struktura populacija analizirana je korištenjem dva različita pristupa: Bayesovog grupiranja pomoću STRUCTURE softvera (Pritchard i sur., 2000) i prostornog Bayesovog grupiranja pomoću GENELAND softvera.



Slika 3.3.2. prikazuje rezultate analize LFMM-a i kartu distribucije genotipova na demonstracijskoj plohi 11 - Fonte Novello:

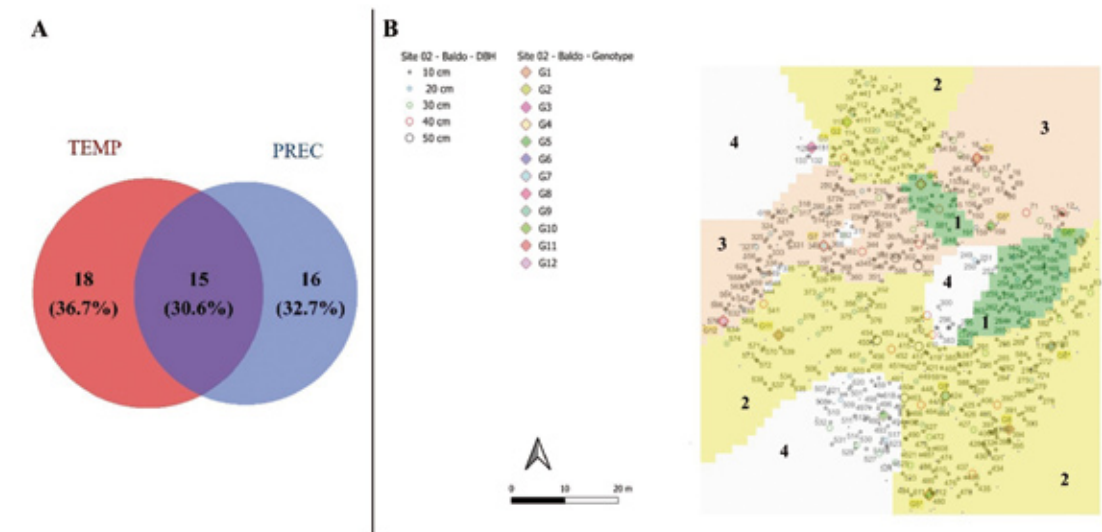
(A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s bioklimatskim pokazateljima vezanim uz temperaturu i oborine, dobivenih iz LFMM analize. Prikazuje koliko SNP-ova je specifično povezano s temperaturom i oborinama te koliko ih je povezano s oba.

(B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 5 klastera (rezultati GENELAN-a): Karta prikazuje prostornu raspodjelu genotipova na plohi 11. Svaka jedinka unutar istraživane plohe označena je krugom s crnim rubom, a jedinke koje su sekvencirane dodatno su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove među jedinkama.

Općenito, istraživanje je otkrilo značajan broj specifičnih alelnih varijanti na negospodarenim ploham i u starim šumskim sastojinama (Slika 2.3.2.). Ova opažanja sugeriraju da plohe pokazuju bogatstvo SNP-ova povezanih s prilagodbom bioklimatskim uvjetima. Genetska raznolikost može biti povezana s kompleksnom neutralnom genetskom strukturom opaženom na tim područjima, koja često uključuje brojne familjske skupine. Takva genetska varijabilnost poboljšava prilagodbeni potencijal *Fagus sylvatica* za suočavanje s trenutnim i budućim klimatskim promjenama.

Osim toga, slična opažanja zabilježena su na ploham kojima se upravlja smanjenim intenzitetom, posebice preborno, gdje su također bile prisutne lokalno-specifične alelne varijante. Posebno treba istaknuti da je ploha Baldo (Slika 2.3.3.) pokazala značajnu prisutnost alelnih varijanti povezanih s lokalnom prilagodbom, što ističe njezinu važnost u kontekstu genetske raznolikosti i strategija prilagodbe.

Dobiveni rezultati naglašavaju važnost genetskih istraživanja u razumijevanju načina na koje se populacije *Fagus sylvatica* prilagođavaju različitim okolišnim uvjetima te potencijalne implikacije za upravljanje šumama i strategije očuvanja.

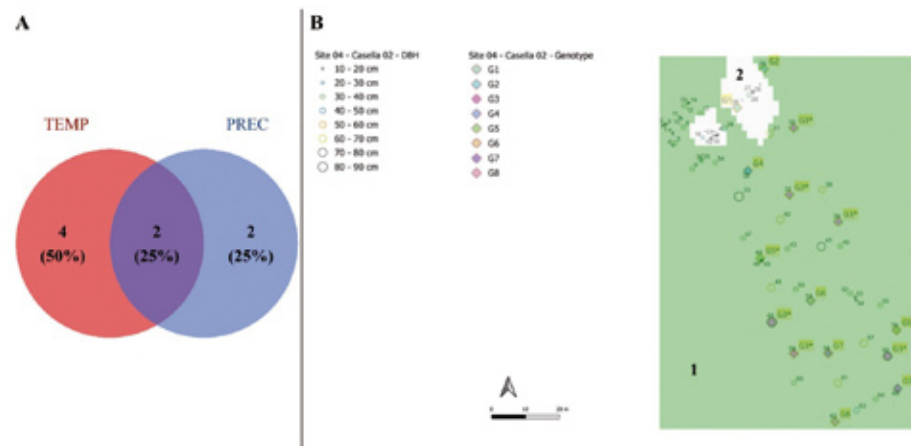


Slika 3.3.3. Rezultati LFMM analize i karta distribucije genotipova na demonstracijskoj plohi 02 - Baldo:

(A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s bioklimatskim pokazateljima vezanim uz temperaturu i oborine, dobivenih iz LFMM analize. Prikazuje koliko SNP-ova je specifično povezano s temperaturom i oborinama te koliko ih je povezano s oba.

(B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 4 klastera (rezultati GENELAN-a): Karta prikazuje prostornu raspodjelu genotipova na plohi 02 - Baldo. Svaka jedinka unutar istraživane plohe označena je krugom s crnim rubom, a jedinke koje su sekvencirane dodatno su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove među jedinkama.

Ova lokacija pokazuje najveći broj SNP-ova povezanih s bioklimatskim pokazateljima. Slični podaci dobiveni su i na drugim gospodarenim ploham. Još jednom, broj opaženih alelnih varijanti može biti povezan s prošlim metodama gospodarenja. Otvaranje šumskog sklopa i složenost strukture karakteristične za ove sastojine mogu biti povezani s većom vjerojatnošću genske rekombinacije između genotipova koji pripadaju različitim familjskim skupinama. Ovi obrasci slični su onima pronađenim u starim šumskim sastojinama i u negospodarenim populacijama. Stoga, potencijal za smanjenje utjecaja gospodarenja u očuvanju adaptivne genetske raznolikosti izgleda obećavajuće. Ovi podaci dodatno su podržani analizom ostalih istraživanih ploha bukve. Intrigantno otkriće bila je prisutnost najmanjeg broja specifičnih alelnih varijanti na određenim ploham. Također, sve te plohe dijele jednolik sustav gospodarenja pod zastorom krošanja (kao što je prikazano na Slici 2.3.4.).



Slika 3.3.4. Rezultati LFMM analize i karta distribucije genotipova za demonstracijskoj plohi 05 - Casella

(A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s bioklimatskim pokazateljima vezanim uz temperaturu i oborine, dobivenih iz LFMM analize.

(B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 2 klastera (rezultati GENELAN-a). Svaka jedinka unutar istraživane plohe označena je krugom s crnim rubom, a jedinke koje su sekvencirane dodatno su označene obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove među jedinkama.

Ovaj tip sječe osmišljen je s ciljem promicanja prirodnog obnavljanja sastojina. Međutim, prethodna istraživanja (Aravanopoulos, 2018; Brang i sur., 2014; Paffetti i sur., 2012; Stiers i sur., 2018) pokazuju kako je prostorna genetička struktura koja karakterizira ovu vrstu sastojine prilično jednostavna. Jednostavna prostorna genetička struktura može biti povezana s nižom stopom rekombinacije gena, što smanjuje mogućnost stvaranja novih alelnih varijanti i potiče inbriding. To može rezultirati visokim razinama homozigotnosti i inbridinga. Manje invazivni tipovi gospodarenja, poput prebornog gospodarenja, rezultiraju populacijama s visokim brojem alelnih varijanti povezanih s odgovorom na bioklimatske pokazatelje. Slični rezultati primijećeni su u negospodarenim sastojinama i starim šumama. Rezultati prikazani u ovom istraživanju mogu imati ključnu ulogu u planiranju gospodarenja, u kojem znanje o genetičkoj varijabilnosti iz adaptivne perspektive može pomoći u procesima donošenja odluka. Ovi rezultati također mogu biti korisni u predviđanju radova pomoću asistiranе migracije. To je važno kako bi se sačuvali trenutni resursi šumskog genetičkog materijala (FGR), ali i obogatile postojeće komponente potencijalno povoljnim genotipovima.

3.4 Biološka raznolikost tla

Tanja Mrak, Marko Bajc, Rok Damjanić, Natalija Dovč, Tine Grebenc, Tijana Martinović, Nataša Šibanc, Tina Unuk Nahberger, Hojka Kraigher

Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Ektomikorizni korijenski vršci podržavaju specifične i raznovrsne populacije bakterija i mikrogljivica, uključujući bakterije koje pomažu u uspostavljanju mikoriznih simbioza. Korijeni stabala također sadrže tamne septirane endofite i gljive koje razgrađuju drvo (Baldrian, 2017). Osim mikoriznih micelija i povezanih organizama, većina tala također je dom saprotrofnim gljivama i bakterijama (Baldrian, 2017). Visoka bioraznolikost tla podržava funkcionalnu fleksibilnost za prilagodbu nepoznatim promjenama koje se mogu dogoditi u budućnosti.

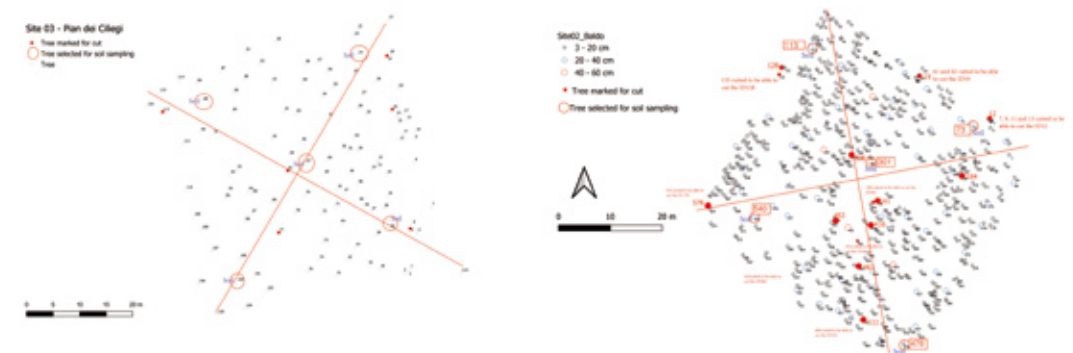
U gospodarenim šumama količina fotosintetskog ugljika koji se premješta ispod zemlje finim korijenjem i mikroorganizmima povezanim s korijenjem se smanjuje (Noormets i sur., 2015). Stoga se očekuju promjene u alfa i beta raznolikosti korijena i mikrobiota tla s povećanjem intenziteta gospodarenja. Cilj nam je postići intenzitet šumskog gospodarenja koji i dalje podržava visoku bioraznolikost tla.

U projektu LIFE SySTEMiC, ektomikorizne gljive aktivno povezane s korijenjem stabala identificirane su korištenjem klasičnih metoda, uključujući morfo-anatomske karakterizacije i Sangerovo sekvenciranje. Raznolikost i sastav rizosfere i većine mikrobiota tla analizirani su sekvenciranjem produkata (NGS).

Mikrobiomi tla proučavani su na devet demonstracijskih ploha bukve (Tablica 3.4.1.) s različitim uzgojnim pristupima (vidi Tablicu 3.1.1.) tijekom 2021. godine. Uzorci su prikupljeni u listopadu i studenom. Na dvije demonstracijske plohe (demonstracijske plohe 2 i 3) u studenom 2020. godine provedeno je dodatno uzorkovanje prije sječe odabranih stabala. Položaj posječenih stabala u odnosu na uzorke mikrobioma tla prikazan je na Slici 3.4.1.

Id	Site name	Bedrock
02	Baldo's forest	silicate
03	Pian dei Ciliegi	silicate
11	Fonte Novello	calcareous
12	Venacquaro	calcareous
14	Ogulin	calcareous
23	Osankarica	silicate
24	Pri Studencu	calcareous
25	Rajhenavski Rog	calcareous
29	Gorski kotar, Vrbovsko	calcareous

Tablica 3.4.1. Popis demonstracijskih ploha bukve na kojima je provedeno uzorkovanje ektomikorize i mikrobioma tla.



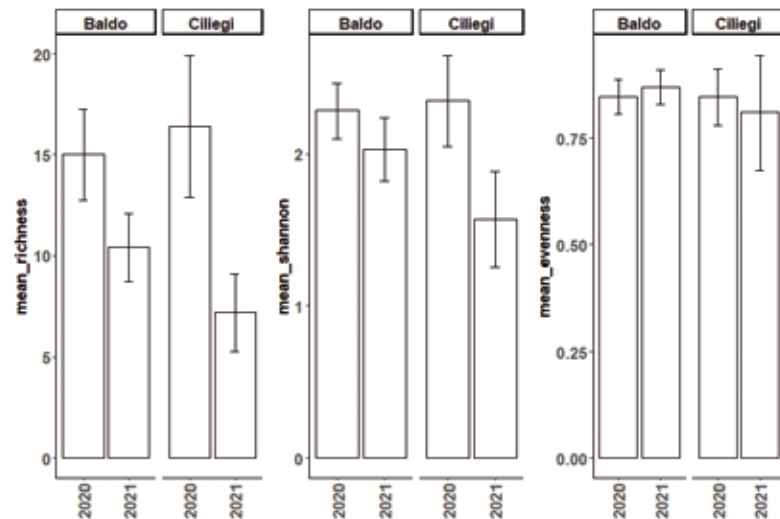
Slika 3.4.1. Položaj posječenih stabala u odnosu na uzorkovane točke za biološku raznolikost tla na demonstracijskim ploham 2 i 3.

Uzorkovanje je provedeno na četiri točke (S, J, I, Z) na udaljenosti od jednog metra oko svakog od pet odabranih stabala po demonstracijskoj plohi (za detaljan opis pogledajte www.lifesystemic.eu). Na svakoj od četiri točke, uzorci su prikupljeni odvojeno za analize aktivne ektomikorize (EcM), NGS sekvenciranja te analize fizikalno-kemijskih svojstava tla. Pripreme uzoraka i analize provedene su prema protokolima dostupnim na web-stranici LIFE SySTEMiC: www.lifesystemic.eu. Analizirani podaci prorijeđeni su za obje metode kako bi se eliminirao utjecaj različitih veličina uzoraka ili dubina sekvenciranja.

3.4.1. Eksperiment sječe

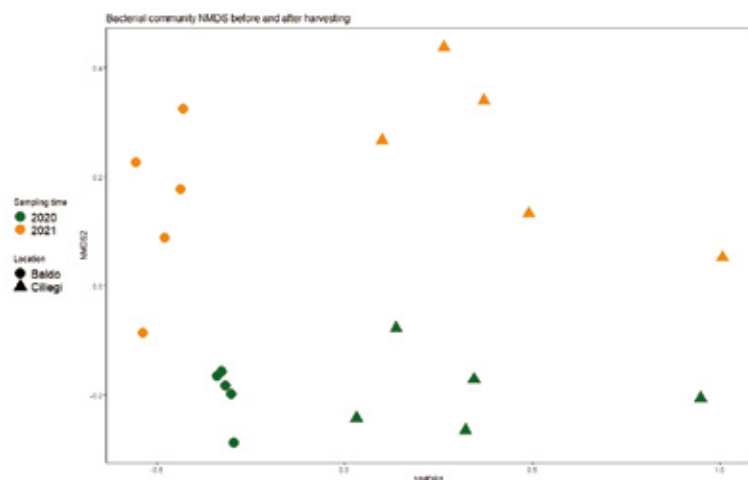
Na temelju rezultata produkata sekvenciranja, sječa je pokazala slabo kratkoročno djelovanje na bogatstvo OTU-a (operacionalna taksonomska jedinica), Shannonov indeks raznolikosti ili jednolikost bilo svih gljiva ili podskupa ektomikoriznih gljiva.

Međutim, za aktivnu EcM, bogatstvo taksona (morfoloških tipova) i Shannonov indeks raznolikosti značajno su se smanjili nakon sječe, dok jednolikost nije pokazala značajnu promjenu (Slika 3.4.1.1.).



Slika 3.4.1.1. Vrijednosti alfa raznolikosti (prosječne vrijednosti za bogatstvo taksona, Shannonov indeks raznolikosti i Pielouova jednakost) aktivnih ektomikoriznih gljiva prije (2020.) i nakon sječe (2021.).

Nakon sječe, ukupna gljivična zajednica (Slika 3.4.1.2.) značajno se razlikovala u odnosu na prethodnu godinu. Isto je utvrđeno i za podskup ektomikoriznih gljiva te za aktivnu ektomikorizu. Također, značajan je bio utjecaj lokacije.

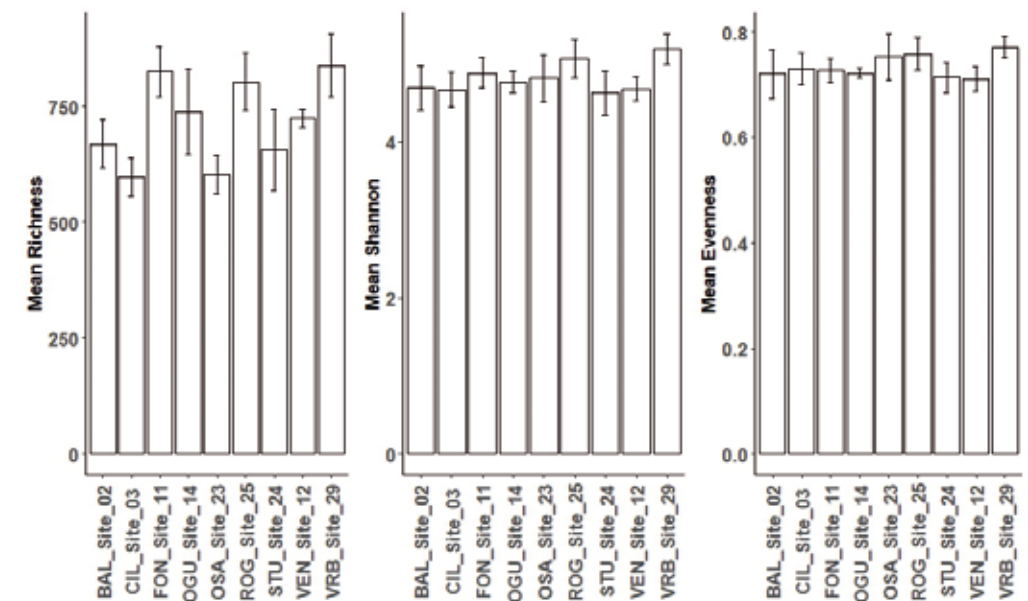


Slika 3.4.1.2. NMSD temeljen na Bray-Curtisovoj udaljenosti uspoređuje ukupne gljivične zajednice prije i nakon sječe na dvije demonstracijske plohe (Baldo - 2 i Pian dei Ciliegi - 3), stres = 0,11.

Nakon sječe, relativna većina EcM OTU-a smanjila se na obje plohe zbog gubitka EcM partnera i smanjenog ugljičnog toka u tlu, dok je relativna većina gljiva porasla zbog povećane količine odumrlih tkiva. Među EcM OTU-ima, relativna većina Russula OTU-a smanjena je 2021. u odnosu na 2020. godinu (prije sječe), dok je relativna većina Cortinarius OTU-a porasla na obje lokacije.

3.4.2. Dugoročni učinak sječe

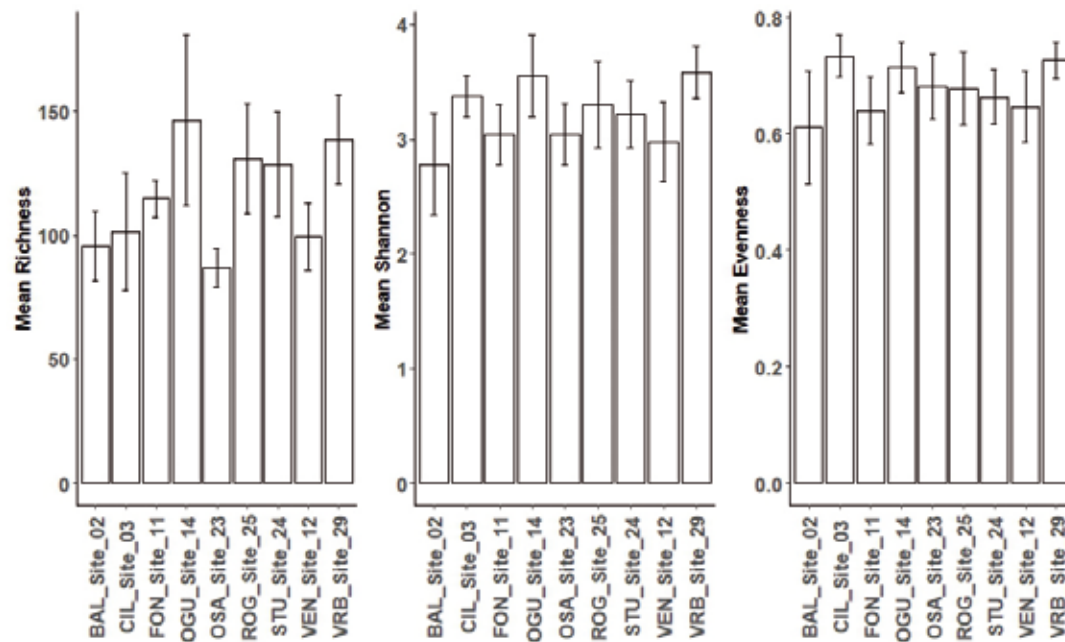
Najviši stupnjevi bogatstva OTU-a za ukupnu gljivičnu zajednicu (Slika 3.4.2.1.) detektirani su na negospodarenim demonstracijskim ploham (demonstracijske plohe 11 i 25), zajedno s demonstracijskom plohom 29 kojom se gospodari preborno. Međutim, količina ukupnog mrtvog drva oko pet je puta veća na demonstracijskoj plohi 2 kojom se također gospodari na isti način (vidi Tablicu 3.2.2.).



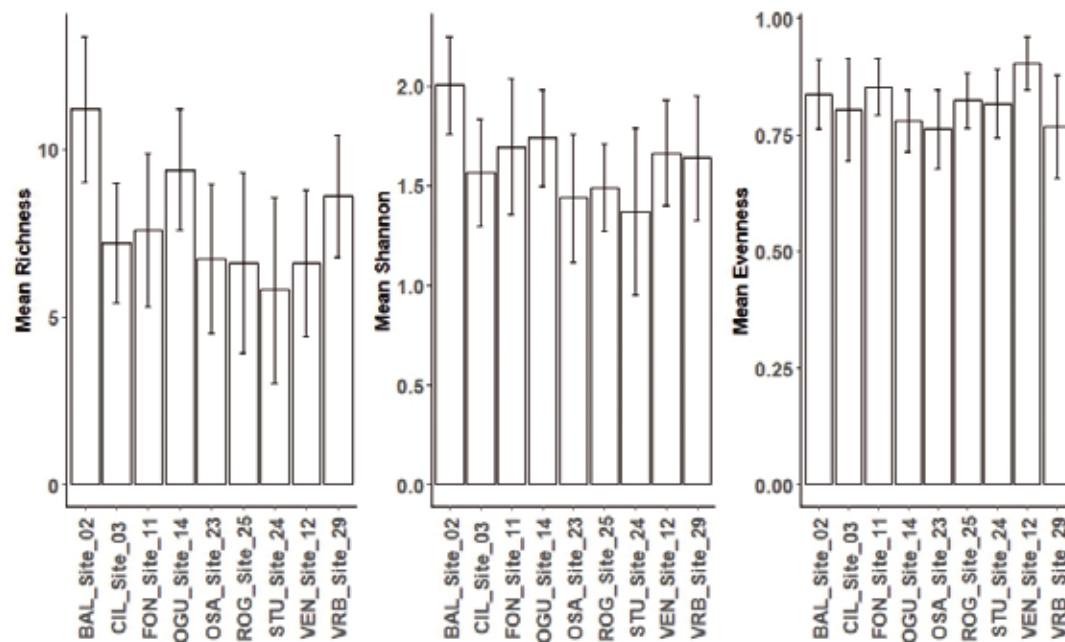
Slika 3.4.2.1. Usporedba indeksa alfa raznolikosti svih gljiva na demonstracijskim ploham bukve.

Podskup gljiva EcM (aktivne EcM zajedno s dormantnim propagulama) (Slika 3.4.2.2.) pokazao je najviše vrijednosti za demonstracijske plohe 14 i 29, što je u skladu s podacima za aktivne EcM na tim ploham (vidi Sliku 3.4.2.3.), ali ne i s podacima za demonstracijsku plohu 2. Koje aktivne EcM se razvijaju u određeno vrijeme može ovisiti o mnogim okolišnim parametrima, kao što su vremenski uvjeti, fenologija drveća itd.

Najveća raznolikost taksona i raznolikost aktivnih EcM zabilježeni su na demonstracijskim ploham 2, 14 i 29 (Slika 3.4.2.3.). Demonstracijske plohe 2 i 29 su plohe kojima se gospodari preborno, dok se sastojinom na kojoj se nalazi ploha 14 gospodari oplodnim sječama srednjeg intenziteta. Međutim, ploha 14 sama je po sebi šumski sjemenski objekt posljednjih deset godina, pri čemu su uklonjena samo pojedinačna mrtva stabla i stabla lošeg zdravstvenog statusa.

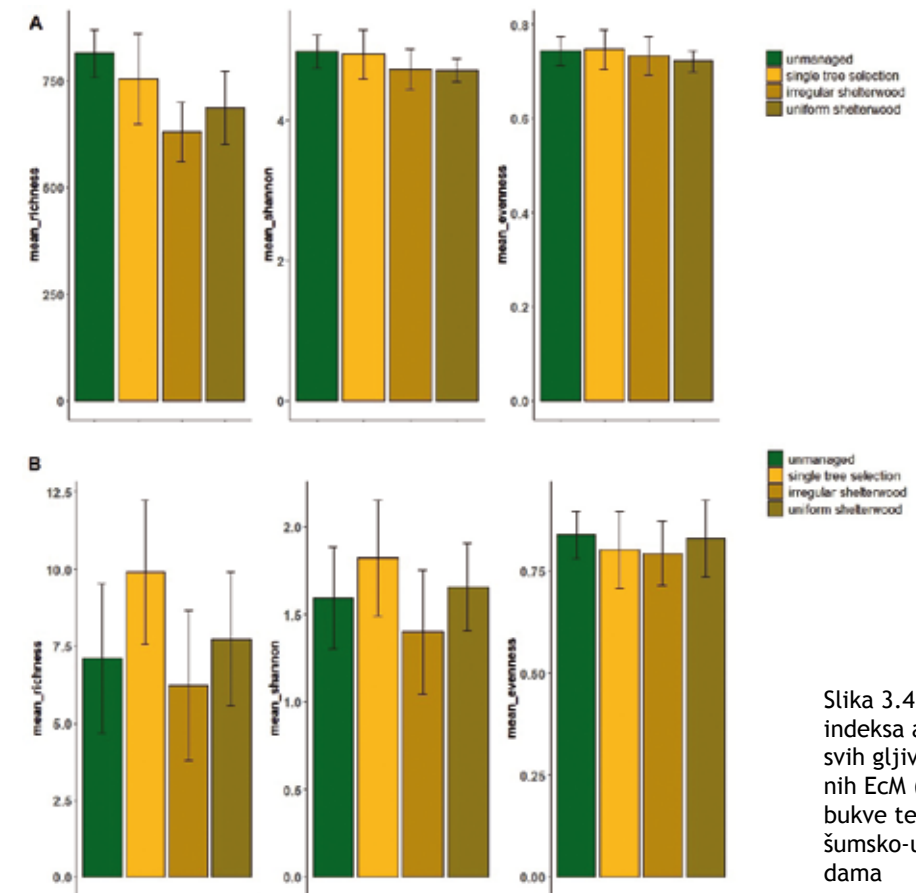


Slika 3.4.2.2. Usporedba indeksa alfa raznolikosti za podskup ektomikoriznih gljiva na staništima bukve.



Slika 3.4.2.3. Indeksi alfa raznolikosti (izračunati iz rarificiranih podataka) aktivnih ektomikoriza na istraženim staništima bukve.

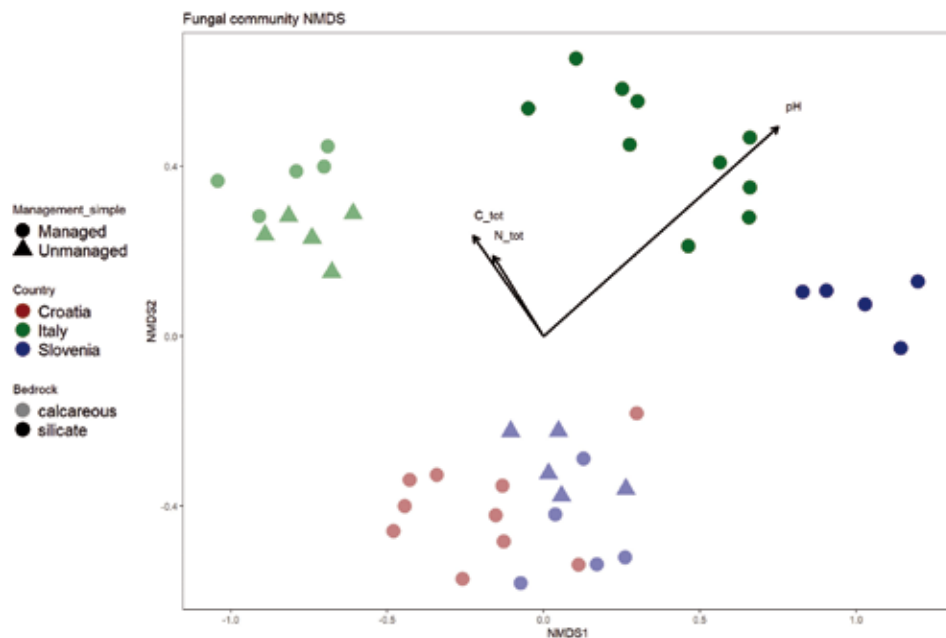
Šumsko-uzgojne metode značajno su utjecale na bogatstvo svih gljiva, pri čemu su negospodarene sastojine i sastojine kojima se gospodari preborno podržavale više vrijednosti u usporedbi sa sastojinama gdje se gospodari oplodnim sječama i oplodnim sječama na malim površinama (Slika 3.4.2.4a.). To sugerira da su manje intenzivne šumsko-uzgojne metode korisne za raznolikost gljiva. Međutim, utjecaji na Shannonovu raznolikost bili su manje izraženi, a nije bilo značajnog utjecaja na jednolikost, što ukazuje da se relativna distribucija obilja vrsta održava konzistentno prilikom korištenja različitih šumsko-uzgojnih metoda. U podskupu ektomikoriza, šumsko-uzgojne metode također su značajno utjecale na bogatstvo, što odražava obrasce uočene u ukupnoj gljivičnoj zajednici. Negospodarene sastojine i sastojine kojima se gospodari preborno pokazale su veće bogatstvo ektomikoriza, ističući važnost manje intenzivnih metoda za održavanje raznolikosti ektomikoriza. Utjecaji na Shannonovu raznolikost bili su značajni, ali nisu pokazali jasne razlike među različitim šumsko-uzgojnim metodama, slično kao i u ukupnoj gljivičnoj zajednici, pri čemu jednolikost nije bila značajno pogođena. Bogatstvo taksona aktivnih ektomikoriza za negospodarene sastojine bilo je unutar raspona na lokacijama gdje se gospodarilo uz pomoć oplodnih sječa na malim površinama, dok su preborni sustavi nešto odstupali u pozitivnom smjeru (Slika 3.4.2.4b.). Visoke razine taksonomske raznolikosti aktivnih ektomikoriza u prebornom sustavu mogle bi biti povezane s većom složenošću strukture šume u kombinaciji s uklanjanjem dominantnih stabala, što sprječava prijelaz u klimaksno stanje sukcesije. Prema literaturi (Twieg i sur., 2007), najveća raznolikost vrsta ektomikoriznih gljiva javlja se pri zatvaranju sklopa, što je obilježeno najvećom stopom rasta stabala i maksimalnom površinom lišća i odgovara većoj alokaciji ugljika u podzemlje, korijenje i simbiote korijena (Twieg i sur., 2007). Utjecaji na Shannonovu raznolikost nisu pokazali jasne uzorke razlika među šumsko-uzgojnim metodama i nije bilo značajnog utjecaja na jednolikost.



Slika 3.4.2.4. Usporedba indeksa alfa raznolikosti svih gljiva (A) i aktivnih ECM (B) u šumama bukve temeljeno na šumsko-uzgojnim metodama

Iako šumsko-uzgojne metode imaju utjecaj na zajednice gljiva, njihov učinak često je nadjačan utjecajima lokacije i podloge. Značajni učinci ovih varijabli sugeriraju da lokalni uvjeti okoliša i regionalne razlike značajno utječu na raznolikost gljiva i strukturu zajednice. Stoga, iako su šumsko-uzgojne metode važne, treba ih uzeti u obzir zajedno s ostalim utjecajnim faktorima za učinkovitu zaštitu i upravljanje bioraznolikošću gljiva.

Proučavajući beta-raznolikost, koja odražava promjene u sastavu zajednice gljiva na različitim lokacijama, analiza je pokazala da vrsta podloge igra ključnu ulogu u oblikovanju kako ukupne zajednice gljiva, tako i EcM zajednice (Slika 3.4.2.5.).



Slika 3.4.2.5. NMDS temeljen na Bray-Curtisovoj udaljenosti (stres = 0,1050) za zajednice svih gljiva, pod utjecajem podloge, lokacije i gospodarenja (negospodareno - gospodareno).

Rezultati PERMANOVA analize pokazali su da podloga značajno utječe na sastav ovih zajednica, sugerirajući da su temeljna geologija i kemijska svojstva tla ključni čimbenici u kompoziciji zajednica gljiva. Taj utjecaj bio je izraženiji od utjecaja šumsko-uzgojnih metoda, naglašavajući osnovni utjecaj abiotičkih čimbenika na zajednice gljiva. Iako su šumsko-uzgojne metode utjecale na sastav aktivne zajednice ektomikorize (EcM), utjecaj podloge ostao je primaran.

3.5 GenBioSilvi model

Roberta Ferrante^{1,2}, Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,3}, Davide Travaglini¹, Katja Kavčič Sonnenschein⁴, Donatella Paffetti¹

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

² NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

³ Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Mjerenje genetske raznolikosti ključno je za razumijevanje zdravstvenog stanja šumskih ekosustava u odgovoru na klimatske promjene te je važno za očuvanje i upravljanje ekosustavima.

Na temelju dobivenih rezultata, možemo pretpostaviti da postoji visoka genetska raznolikost na svim demonstracijskim plohama, ali ne možemo zaključiti da postoji značajna genetska raznolikost između ploha unatoč različitim vrstama. Analizirajući uzorak distribucije genetske raznolikosti na temelju SSR podataka, primijetili smo da starije šume imaju kompleksniju i heterogeniju prostornu genetsku strukturu. Prostorne genetske strukture opažene u zrelih bukvim šumama mogu se pripisati neslučajnom oprašivanju između blisko povezanih jedinki. Većina sjemenki bukve klija blizu matičnih stabala, što doprinosi formiranju takvih familijskih struktura. Način gospodarenja može utjecati na obnovu populacija.

Na temelju dobivenih rezultata za svaku vrstu opažena je kompleksna prostorna genetska struktura slična onoj opisanoj za zrele šume na plohama kojima se gospodari preborno. Demonstracijska ploha 02 - Baldo, monospecifična sastojina bukve, ima najkompleksniju prostornu genetsku strukturu među svim demonstracijskim plohama. Promatrajući različite sastojine gospodarene pomoću oplodnih sjemena na velikim i malim površinama, primijećen je trend pojednostavljene prostorne genetske strukture. Složenost stare šume i šume na plohi 02 - Baldo implicira dinamički i prilagodljiv ekosustav koji je sposoban reagirati na promjene okolišnih uvjeta stvaranjem nove genetske varijabilnosti putem rekombinacije i genetskog protoka između podpopulacija. Također je primijećen visok broj SNP-ova koji su korelirani s trenutnim uvjetima okoliša na različitim lokacijama. Prisutnost ovih alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje važna je za daljnje razumijevanje. Demonstracijska ploha 02 - Baldo ima veći broj SNP-ova povezanih s bioklimatskim pokazateljima i složenom prostornom genetskom strukturom. Na temelju naših rezultata, pretpostavljamo da su bolji uvjeti prisutni u starim šumama i na plohama kojima se gospodari preborno. Struktura sastojine ključan je element u procjeni ekoloških funkcija i usluga u šumskim ekosustavima.

Za opis bioraznolikosti promatrali smo dendrometrijske podatke za definiranje šumskih struktura istraživanih ploha. Zahvaljujući tim podacima, možemo pretpostaviti da je najbolja struktura ona karakteristična za višeslojne raznodobne starije šume. Plohe koje su predstavljale te karakteristike bile su ploha 02 - Baldo, ploha 11 - Fonte Novello i ploha 25 - Rajhenavski Rog. Višeslojna raznodobna populacija podržava prisutnost prirodnog pomlađenja otvaranjem sklopa, čime se stvaraju idealni uvjeti za uspostavu prirodne obnove. Nadalje, višeslojna šuma povećava vjerojatnost pojave spora-dičnih vrsta te omogućuje visoku disperziju peludi, promičući genetsku raznolikost. Stoga, na temelju najboljih parametara korištenih za definiranje šumske strukture, primijetili smo da plohe koje su okarakterizirane kao višeslojne i raznodobne također pokazuju složenu prostornu genetsku strukturu i visoku genetsku raznolikost.

RMrtvo drvo ima funkcionalnu ulogu u kruženju hranjivih tvari i skladištenju ugljika. Prisutnost mrtvog drva može poticati klijanje i razvoj pomlatka, djelujući kao prirodni rasadnik, čime doprinosi obnovi šume.

Što se tiče količine mrtvog drva, najbolja situacija opažena je na negospodarenim plohama gdje se nalazi veća količina mrtvog drva.

Mrtvo drvo pruža važno mikrostanište za razvoj i očuvanje vrsta bitnih za šumski ekosustav. Osim mrtvog drva, promatrali smo i druge indikatore povezane sa saproksilnim mikrostaništima. Najveći broj mikrostaništa zabilježen je na mjestima gdje se nalaze stoljetna stabla s deformacijama i šupljina. Učestalost epiksilnih mikrostaništa bila je niža od saproksilnih u svim promatranim populacijama. Epiksilna mikrostaništa koriste se kao indikatori za procjenu stanja ekosustava te je prisutnost tih mikrostaništa važan izvor bioraznolikosti. Na temelju dobivenih rezultata, šumsko-uzgojne metode koje omogućuju složene šumske strukture karakteristične za raznodobne i višeslojne sastojine povećavaju vjerojatnost promatranja različitih oblika mikrostaništa.

Većina demonstracijskih ploha čiste su sastojine bukve dok na nekim plohama kao što su demonstracijske plohe 29, 25 i 12 pridolaze i ostale vrste poput *Abies alba* Mill., *Prunus avium* L., *Acer* spp. L. i *Fraxinus* spp. L. Sporedne vrste koje pridolaze i koje su se pokazale kao vrste koje se dobro prirodno obnavljaju treba sačuvati te poticati njihovu obnovu.

Šumsko-uzgojne metode, posebice one koje uključuju sječu drveća, utječu na zajednicu tla, koje je ključna komponenta za kruženje hranjivih tvari i zdravstveno stanje drveća. Navedene metode mijenjaju dinamiku mikroorganizama u tlu, što može dovesti do smanjenja raznolikosti ektomikoriznih gljiva te može ometati rast drveća i ugroziti ukupnu funkcionalnost šumskih ekosustava. Stoga je razumijevanje ovih učinaka ključno za poticanje održivog upravljanja šumama.

Izražene i značajne razlike u sastavima bakterijskih, ektomikoriznih i gljivičnih zajednica između metoda bliskih prirodi, neuređenih i srednje kombiniranih šumsko-uzgojnih metoda mogu se pripisati različitim čimbenicima. Svaki pristup gospodarenja predstavlja različitu razinu poremećaja šumskog ekosustava. Gospodarenje blisko prirodi nastoji oponašati prirodne poremećaje s minimalnim uplitanjem, dok negospodarene šume doživljavaju malo ili nimalo ljudske intervencije. Srednje kombinirano gospodarenje može uključivati intenzivnije tehnike, čime se uvodi veći poremećaj u ekosustav. Zaključno, pretpostavili smo da je bolja raznolikost tla prisutna na plohama s manjim utjecajem i na plohama gdje se nalazi zrela šuma.

Analizirajući rezultate, uočili smo da je uvjet koji čuva i/ili povećava raznolikost preborno gospodarenje sastojinom. Ova vrsta gospodarenja manje je utjecajna te oponaša uvjete koji se obično nalaze u starim i negospodarenim šumama. Uklanjanje nekoliko stabala na temelju fenotipa i položaja rezultira otvaranjem sklopa, što potiče razvoj prirodnog pomlađenja. U usporedbi sa starim šumama gdje se obnova pretežno obavlja na rubovima, preborno gospodarenje potiče se i unutar sastojine. Preborno gospodarenje povećava složenost šumske strukture, predstavljajući višeslojni uzorak, tipičnu karakteristiku raznodobne šume te time omogućava bolje raspršivanje peludi i visoki protok gena, budući da je prisutno manje barijera. To potiče genetsku raznolikost i povećava prostornu genetsku složenost, što dovodi do veće vjerojatnosti pojavljivanja novih alelnih varijanti koje su ključne za odgovor na klimatske promjene. Osim toga, ključni aspekt otpornosti šumskih sastojina je prisutnost visoke bioraznolikosti. Pomoću naših rezultata, uočili smo da sastojine koje pokazuju veću genetsku raznolikost također pokazuju veću bioraznolikost na razini ekosustava i vrsta.

Na temelju dobivenih rezultata tijekom analiza, promatranjem tih indikatora moguće je simulirati stanje genetske raznolikosti sastojine i voditi korisnike prema održivom upravljanju kako bi sačuvali i/ili povećali prisutnu genetsku raznolikost.

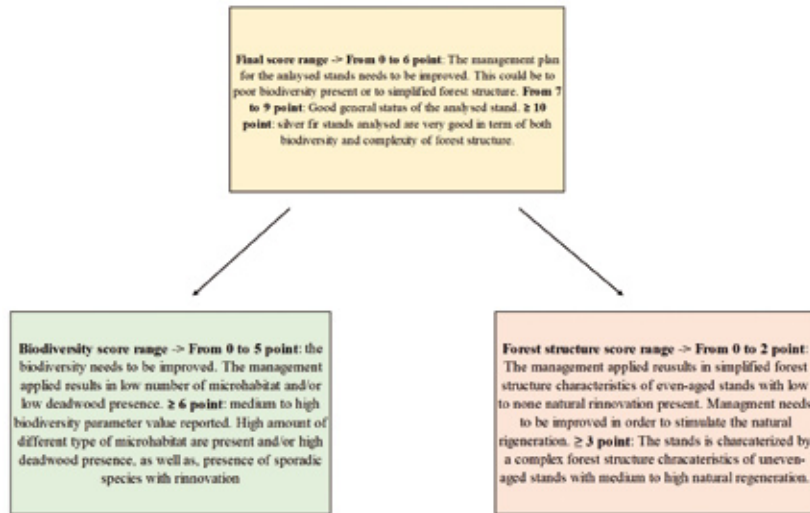
S obzirom na rezultate dobivene analizom svih pokazatelja bioraznolikosti, razvili smo model koji opisuje trenutni status genetskih resursa unutar lokaliteta. Ovaj model razvijen je kako bi pomogao korisnicima (šumarima) u provjeri trenutnog statusa bioraznolikosti sastojina i pružanju smjernica za održivo gospodarenje. Da bismo razvili prikladan model jednostavan za korisnike, primijetili smo da je moguće identificirati skup ključnih pokazatelja koji su reprezentativniji. Pokazatelji koji su osno-

va modela mogu neizravno opisati status genetske raznolikosti sastojine, što je vidljivo iz dobivenih rezultata. Osim toga, moguće je identificirati neke pokazatelje koji su reprezentativniji za bioraznolikost u smislu mrtvog drveta, mikrostaništa i raznolikosti vrsta. Iz tog razloga, odlučili smo izostaviti prikupljanje podataka o genetskoj raznolikosti i raznolikosti tla u obrascu za korisnike jer je te podatke teško promatrati te smo razvili model koji uključuje promatranje nekih ključnih pokazatelja koji opisuju trenutni status istraživane sastojine. Odabrani pokazatelji prikazani su u Tablici 3.5.1.

Tablica 3.5.1. 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
	Coarse woody debris	
Species diversity	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	
	Percentage of individuals with cavities	Presence of key microhabitat form for biodiversity
Microhabitat	Percentage of individuals with Injuries and wounds	
	Percentage of individuals with Deformation	

Model je uključivao izradu obrasca koji zahtijeva popunjavanje određenih parametara koje korisnici lako mogu zabilježiti na terenu. Na temelju naših rezultata, odabrali smo granične vrijednosti za svaki odabrani pokazatelj. Bilježenje stvarnih podataka za svaki pokazatelj dovest će do ocjene temeljene na odabranim graničnim vrijednostima. Konačna ocjena povezana je s identifikacijom trenutnog stanja istraživane sastojine. Za svaku konačnu ocjenu daju se smjernice u vezi s mogućim aktivnostima koje treba poduzeti za provedbu održivog gospodarenja sastojinom (Slika 3.5.1.). Ispod je naveden primjer obrasca za popunjavanje (Slika 3.5.2.) te prikaz popunjenog obrasca na temelju stvarnih podataka dobivenih s demonstracijske plohe 02 - Baldo (Slika 3.5.3.).



Slika 3.5.1. Proces ocjenjivanja temeljen na odabranim pokazateljima

Forest stand evaluation form				
Forest management	Real Data		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.				
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	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (DBH SD < 5)	Results from associated parameters	
		<input type="checkbox"/> Score 2 (5 ≤ DBH SD ≤ 15) <input type="checkbox"/> Score 3 (DBH SD > 15)		
	Refers to % of trees in regeneration layer (considering DBH less than 10 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rim < 15)		<input type="checkbox"/> Score 1 (Simple forest structure without regeneration) - From 4 to 6
		<input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rim < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rim < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rim > 50)		<input type="checkbox"/> Score 2 (Simplified forest structure with regeneration or Complex forest structure without regeneration) - From 7 to 8
		Curve of DBH class distribution		<input 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)	<input type="checkbox"/> Score 1 (Mono-stratified) <input type="checkbox"/> Score 2 (Bi-stratified) <input type="checkbox"/> Score 3 (Tri or Multi-stratified)		<input type="checkbox"/> Score 4 (Complex forest structure with regeneration present in the total area) - From 12 to 13	
	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)		In managed stands, the minimum growing stock should be around 300-350 m³/ha. This might be applicable for shade tolerant species
Biodiversity indicators	Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity	
Standing deadwood (including snags) presence		<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of standing deadwood) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood)	Results from associated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Total absence of deadwood) - 2 point	

Biodiversity conservation is a key objective for sustainable forest management, but the multi-dimensional and multi-scale character of biodiversity renders full assessment difficult at large scale. Therefore, indicators are often used to monitor biodiversity. The quantity and quality of deadwood are commonly used in nature conservation as indicators of forest biodiversity. Additionally, the presence of species different from the target species as well as the presence of specific type of microhabitat are also used to monitor biodiversity in forest stand.	Course woody debris	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of Course woody debris) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of Course woody debris)	<input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood Course woody debris) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point	
	Species diversity indicators	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity	
	Species richness (presence of individual of non-target species)	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of other species) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of other species)	Results from associated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Monospecific site) - 2 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic species with some or low regeneration) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 3 (Sporadic species with high regeneration) - 4 to 6 point	
	% of non-target individuals in the smallest diameter class (10 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rim < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rim < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rim < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rim > 50)		
	Microhabitat indicators	Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity
	% of individuals with cavities	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 10%) <input type="checkbox"/> Score 2 (10% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)	Results from associated parameters <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic to consistent presence of microhabitat) - 4 to 6 point <input type="checkbox"/> Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point	
% of individuals with injuries and wound	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)			
% of individuals with deformation	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)			
Final Score: 1				

Slika 3.5.2. Primjer obrasca za popunjavanje



Forest population assessment sheet - Simulation Site 02 (Baldo's forest)									
Forest management	Real Data		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.	Single tree selection thinning								
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	DBH Standar deviation	9,55	<input type="checkbox"/>	Score 1 (DBH SD < 5)	Results from annotated parameters				
			<input checked="" type="checkbox"/>	Score 2 (5 ≤ DBH SD ≤ 15)					
			<input type="checkbox"/>	Score 3 (DBH SD > 15)					
	Refers to % of trees in regeneration layer (considering DBH less than 10 cm)	83,54	<input type="checkbox"/>	Score 1 (% Rim < 15)		<input type="checkbox"/>	Score 1 (Simple forest structure without rinoovation) - From 4 to 6		
			<input checked="" type="checkbox"/>	Score 2 (15 ≤ % Rim < 30)		<input type="checkbox"/>	Score 2 (Simplified forest structure with rinoovation or Complex forest structure without rinoovation) - From 7 to 8		
Curve of DBH class distribution	J-shaped	<input type="checkbox"/>	Score 1 (Bell-shaped)	<input type="checkbox"/>	Score 3 (Complex forest structure with rinoovation) - From 9 to 11				
		<input checked="" type="checkbox"/>	Score 2 (Multi-modal)	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 4 (Complex forest structure with rinoovation present in the total area) - From 12 to 13				
N° of strata (stratification of population)	Tri-stratified	<input type="checkbox"/>	Score 1 (Mono-stratified)						
		<input type="checkbox"/>	Score 2 (Bi-stratified)						
		<input checked="" 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 (m ³ /ha)	305 m ³ /ha	In managed stands, the minimum growing stock should be around 300-350 m ³ /ha. This might be applicable for shade tolerant species						
Biodiversity indicators	Real data	Indicator-specific score		Implication for stand biodiversity					
Biodiversity conservation is a key objective for sustainable forest management, but the multi-dimensional and multi-scale character of biodiversity renders full assessment difficult at large scale. Therefore, indicators are often used to monitor biodiversity. The quantity and quality of deadwood are commonly used in nature conservation as indicators of forest biodiversity. Additionally, the presence of species different from the target species as well as the presence of specific type of microhabitat are also used to monitor biodiversity in forest stand.	Deadwood indicators	Standing deadwood (including snags) presence	Presence	<input type="checkbox"/>	Score 1 (Absence of standing deadwood)	Results from annotated parameters			
				<input checked="" type="checkbox"/>	Score 2 (Presence of standing deadwood)		<input type="checkbox"/>	Score 1 (Total absence of deadwood) - 2 point	
	Coarse woody debris	Absence	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (Absence of Coarse woody debris)	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 2 (Presence of standing deadwood Coarse woody debris) - 3 point			
			<input type="checkbox"/>	Score 2 (Presence of Coarse woody debris)	<input type="checkbox"/>	Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point			
Species diversity indicators	Real data	Species richness (presence of individual of non-target species)	Absence	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (Absence of other species)	Results from annotated parameters			
				<input type="checkbox"/>	Score 2 (Presence of other species)		<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (Monospecific site) - 2 point	
				0	<input checked="" type="checkbox"/>		Score 1 (% Rim < 15)	<input type="checkbox"/>	Score 2 (Sporadic species with none or low regeneration) - 3 point
					<input type="checkbox"/>		Score 2 (15 ≤ % Rim < 30)	<input type="checkbox"/>	Score 3 (Sporadic species with high regeneration) - 4 to 6 point
Microhabitat indicators	Real data	% of individuals with cavities	14,51	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (% Ind ≤ 15%)	Results from annotated parameters			
				<input type="checkbox"/>	Score 2 (15% < % Ind ≤ 50%)		<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point	
% of individuals with injuries and wound	1,57	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (% Ind ≤ 15%)	<input type="checkbox"/>	Score 2 (Sporadic to consistent presence of microhabitat) - 4 to 6 point				
		<input type="checkbox"/>	Score 2 (15% < % Ind ≤ 50%)		<input type="checkbox"/>	Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point			
% of individuals with deformation	7,57	<input checked="" type="checkbox"/>	Score 1 (% Ind ≤ 15%)						
		<input type="checkbox"/>	Score 2 (15% < % Ind ≤ 50%)						
				<input type="checkbox"/>	Score 3 (% Ind > 50%)				
Final Score: 8									

Slika 3.5.3. Popunjeni obrazac na temelju stvarnih podataka s demonstracijske plohe 02 - Baldo

3.6 Preporuke za održivo gospodarenje šumama

Andrej Breznikar¹, Davide Travaglini²

¹ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

² Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNI-FI), Italy

Pregled šumsko-uzgojnih oblika

Održivo i prirodi blisko gospodarenje šumama koristi metode gospodarenja šumama koje potiču očuvanje prirode i šuma kao prirodnog ekosustava sa svim raznovrsnim životnim oblicima i međusobnim odnosima koji se u njemu formiraju. Temelji se na detaljnom planiranju gospodarenja šumama, prilagođenom uvjetima pojedinačnih lokaliteta i sastojina, kao i funkcijama šuma te uzima u obzir prirodne procese i strukture specifične za prirodne šumske ekosustave. Prirodni procesi mijenjaju se što je manje moguće, dok se istovremeno održavaju financijski i društveni aspekti gospodarenja šumama (Veselič, 2008).

Šumsko-uzgojne metode za šume bukve trebale bi se pažljivo birati kako bi se promovirali pristupi bliski prirodi i imitirali prirodni procesi u šumskim sastojinama. U okviru LIFE SySTEMiC analizirane su četiri šumsko-uzgojne metode u sastojinama bukve:

- oplodne sječe na malim površinama,
- preborno gospodarenje,
- oplodne sječe u nekoliko sjekova (obično tri sjeka kod bukve) radi uspostave nove jednostobne sastojine pod zastorom stare,
- negospodarene šume, u kojima prirodni procesi u šumi nisu pogođeni šumskim gospodarenjem.

Analizirane šumsko-uzgojne metode detaljno su opisane u uvodu ovog priručnika.

U LIFE SySTEMiC projektu proučavano je 12 sastojina bukve koje odgovaraju 4 europska tipa šuma (EFT): 6.6 Ilirska predplaninska bukova šuma; 7.2 Srednjoeuropska planinska bukova šuma; 7.3 Apeninsko-korzikanska planinska bukova šuma; 7.4 Ilirska planinska bukova šuma. Rezultati, opisani u prethodnim poglavljima, pokazuju da su šumsko-uzgojne metode s manjim utjecajem na sastojine povoljnije u vidu očuvanja genetske varijabilnosti, kao što su preborno gospodarenje i oplodne sječe na malim površinama.



Slika 3.6.1. Pomlađenje pod zastorom krošanja na malim površinama uobičajen je način za gospodarenje bukvim šumama.

Šumsko-uzgojne karakteristike obične bukve

Bukva je vrsta drveta tolerantna na sjenu te je prisutna u mnogim šumskim zajednicama u Europi i u različitim tipovima šuma, većinom kao dominantna vrsta ili u nekim slučajevima kao sporedna vrsta. Karakterizira je spor rast u mladosti, koji kulminira tek nakon 45 godina kada svjetlosni uvjeti to dopuste. Prirast bukve dostiže svoj maksimum vrlo kasno, na nekim staništima tek nakon dobi od 75 godina. Općenito, prosječan ukupni prirast drvne mase ne pokazuje znakove opadanja do dobi od 150 godina. Bukva također pozitivno reagira na gospodarenje ili prorjeđivanje do starosti te nadmašuje sve druge vrste drveća (Diaci, 2006).

Prijetnje

Bukva je relativno otporna na većinu bolesti i ne pati od masovnih napada štetnika koji bi doveli do potpunog propadanja sastojina. Kasni proljetni mrazovi često oštećuju mlada stabla ili cvjetove koji se pojavljuju istovremeno s listanjem. Intenzivno sunčevo svjetlo može oštetiti površinu debla. Lisne uši mogu napasti koru, a gljiva *Nectria ditissima* uzrokuje nekrozu kore (Wuehlisch, 2010).

Glavne prijetnje šumama bukve zbog klimatskih promjena su prirodne nepogode poput ledoloma i snjegovoloma na većim nadmorskim visinama, kao i vjetar koji može prouzročiti značajne štete u sastojinama. Sastojine bukve na toplijim staništima mogu biti ugrožene zbog jačih ljetnih suša dok su sastojine na sjevernim padinama manje ugrožene (ZGS, 2021).

Što se tiče biotičkih čimbenika, smatra se da bukove šume oštetiti autohtoni štetni organizmi u kombinaciji s oslabljenom vitalnošću bukve zbog globalnog zatopljenja (složeni uzroci sušenja, fitoftora) i mogućih invazija novih bolesti i štetnika.

Stabilnost sastojina bukve s većim udjelom drugih vrsta može biti snažno ugrožena zbog zdravstvenog stanja sporednih vrsta (npr. smrekin potkornjak). Postoji i povećan rizik od unošenja i širenja invazivnih neautohtonih vrsta u šumama blizu naselja i infrastrukturnih objekata (ceste, željeznice). Izrazitu prijetnja mladim stablima predstavlja i oštećenje od divljači (ZGS, 2021).



Slika 3.6.2. Ledolom može biti vrlo štetan za sastojine bukve na većim nadmorskim visinama.

Procjena potencijala prilagodbe šuma obične bukve na klimatske promjene

Procjena potencijala prilagodbe šuma bukve na klimatske promjene pokazuje da je zbog uspješne obnove i relativno visoke prilagodljivosti bukve na promjene u okolišu, potencijal prilagodbe šuma bukve prilično visok. Budući potencijal prilagodbe uglavnom ovisi o aktivnom gospodarenju niskim intenzitetima sječe, o stupnju šumsko-uzgojnih intervencija i smanjenju šteta od divljači (ZGS, 2021).

Pomlađenje sastojina obične bukve

Prirodi blisko šumarstvo imitira prirodne procese i strukture šume koliko je god moguće. Prirodnim pomlađenjem sastojina bukve čuva se prilagodljivost stabala uvjetima specifičnim za rast i prirodnu dinamiku. Sastojine bukve trebaju se obnavljati na prirodan način te oponašati rast miješanih vrsta drveća i šumskih sastojina prirodnih šuma (ZGS, 2021).

Prirodno pomlađenje sastojina bukve općenito nije problematično. Mlade sastojine bukve karakterizira gust rast s jakom stratifikacijom. Na progalama i u raznodobnim mladim sastojinama dominantna stabla brzo razvijaju prerasle krošnje (Diaci, 2006).

Najčešći način pomlađenja sastojina bukve je pod zastorom krošanja, kroz nekoliko sjekova oplodne sječe (Nocentini, 2009) ili kao dio oplodnih sječa na malim površinama. Oplodne sječe na malim površinama planiraju se na površinama promjera do dvije visine stabla te se postupno s vremenom povezuju jedna s drugom. Vrlo prikladan sustav je preborno gospodarenje, posebno u mješovitim sastojinama s običnom jelom i na područjima gdje je pritisak klimatski nestabilnog okoliša vrlo visok (ZGS, 2021). S druge strane, pomlađenje se može provoditi i na nešto većim područjima (preko 2 ha), koja bi trebala biti prostorno odvojena od zrelih sastojina. Ovaj šumsko-uzgojni model već ima neka obilježja oplodnih sječa.

Pomlađenje oplodnim sječama na malim površinama trebala bi započeti nakon godine punog sjemena s intenzitetom sječe između 30 i 50 % rastuće drvne zalihe (Matić i sur., 2003). Potrebno je pripremiti sastojinu za prirodno pomlađenje sječom podmlatka i sloja grmlja. Gdje je moguće, koristi se prirodno pomlađenje jer manje narušava evolucijski proces i čuva genetsku raznolikost populacija šumskog drveća. Nakon pojave kvalitetnog pomlatka, pomlađenje se nastavlja većim intenzitetom sječe (između 50 i 60 % drvne zalihe) kako bi se povećala konkurentnost drugih važnih vrsta koje čine zajednicu šuma bukve. Sa završnim sjekom, pomlađenje se završava najkasnije kada su mlada stabla visoka 1 do 2 metra. Sve oplodne sječe na područjima s već uspostavljenim mladim sastojinama moraju se provoditi izvan vegetacijskog perioda (ZGS, 2021).

U područjima obnove gdje prirodno pomlađenje ne uspijeva, preporučuje se pomlađenje šume sadnjom i popunjavanjem sadnica bukve s dodatkom drugih vrsta drveća prikladnih za to stanište (kao što su hrast, javor i druge plemenite tvrde listače). Popunjavanje sadnicama trebalo bi se provoditi samo u malim grupama. Veličina područja za obnovu trebala bi biti što manja - mozaična struktura budućih sastojina povećava njihovu otpornost na klimatske promjene.

Unatoč tome što je prirodno pomlađenje prioritetan izbor, u obzir se treba uzeti i pomlađenje sadnjom i sjetvom. Nedostatak prirodnog pomlađenja je u tome što se šumski resursi mogu ugroziti, budući da se dugovječne vrste drveća ne mogu dovoljno brzo prilagoditi novim bolestima i štetnicima isključivo prijenosom genetičkih informacija putem prirodnih evolucijskih procesa. Posebno problematična su se pokazala stabla s oštećenim regenerativnim dijelovima svojih krošanja, koji bi trebali osigurati prirodno pomlađenje (ZGS, 2021).

Njega i zaštita sastojina bukve

Najprikladnije mjere njege i zaštite sažete su na temelju smjernica o održivom šumarstvu u Sloveniji (ZGS, 2021) i rezultata LIFE SySTEMiC projekta. Sa stajališta uzgoja šuma, bukva se pri odgovarajućoj gustoći, brzo oslobađa svojih grana pa mjere proreda u mladim fazama uglavnom uključuju uklanjanje slabo razvijenih, oštećenih i prerasljenih stabala. Stabla u podstojnoj etaži ne bi trebala biti uklanjana jer su važan dio stabilnosti buduće sastojine. Reguliranjem sastava sastojine moramo održavati biološku raznolikost stabala te smanjiti udio neželjenih vrsta.

Posebna pažnja treba se posvetiti stabilnosti sastojina bukve, posebno na padinama. S novim saznanjima o razvoju šumskih sastojina, zbog rastuće ekonomske važnosti gospodarenja šumama i povećane potrebe za većom otpornošću sastojina, potrebne su aktualizacije i prilagodbe šumsko-uzgojnih mjera. U razdoblju sve učestalijih i ozbiljnijih prirodnih katastrofa, pitanja stabilnosti i otpornosti bukovih sastojina postaju sve važnija. Intenzivne šumsko-uzgojne mjere sastojina bukve mogu ugroziti njihovu stabilnost. Takozvane situacijske proredke, koje uzimaju u obzir klasične šumsko-uzgojne metode, ali se fokusiraju na mali broj odabranih ciljanih stabala, prikladnije su rješenje. Dio šumske sastojine može se prepustiti prirodnom razvoju, što je također jedan od načina očuvanja genetske raznolikosti (Sever i sur., 2022).

Pri odabiru ciljanih stabala, primjenjuje se princip da vitalnost i stabilnost stabala imaju prioritet nad kvalitetom, koja pak ima prednost nad udaljenošću između ciljanih stabala. Intenzitet uklanjanja konkurentnih stabala za pojedinačna ciljana stabla prilagođava se uvjetima u šumskoj sastojini i vrsti stabala (Diaci, 2021).

Postupna prirodna transformacija (pomlađenje) odraslih sastojina bukve potrebna je samo ako se promijeni sastav vrsta drveća do te mjere da ugrožava njihovu stabilnost. Promjena bi trebala ići u smjeru prirodnog obnavljanja s listopadnim drvećem, posebno bukvom i svim plemenitim listačama, uključujući trešnju i lipu.

Mjere zaštite šuma u sastojinama bukve usmjerene su na preventivne mjere kao što su skraćivanje proizvodnih razdoblja u najosjetljivijim sastojinama i poboljšanje stabilnosti sastojina kroz pravovremene i dostatne proredke koje će osigurati odgovarajući omjer između promjera i visine stabla, omogućavanje krošnjama stabala dovoljno prostora za rast, održavanje strukturiranog ruba šume i zaštitu prirodnog pomlatka od prekomjernog oštećenja od divljači (ZGS, 2021).



Slika 3.6.3. Proredke su i dalje dio gospodarenja sastojinama bukve u njihovoj odrasloj dobi.

Prilagodba sastojina bukve klimatskim promjenama

Glavne mjere prilagodbe klimatskim promjenama usmjerene su na prilagodbu sastava drveća u sastojinama bukve, povećanje otpornosti šuma kroz raznovrsne strukture sastojina na svim razinama, posebno genetske, putem naprednih mjera obnove šuma i pošumljavanja, povećanje njihove stabilnosti kroz rane mjere njege (npr. proreda), formiranje višeslojnih i selektivnih šumskih struktura u odgovarajućim sastojinama te praćenje i očuvanje šumske bioraznolikosti, počevši od genetske raznolikosti (Bajc i sur., 2020).

Pomlađenje sastojina bukve omogućuje odabir vrsta drveća i njihovih provenijencija koje pretpostavljamo da su bolje prilagođene ili se mogu prilagoditi promjenjivom okolišu. S druge strane, tijekom razdoblja pomlađenja, šuma je osobito osjetljiva na promjene u klimi, budući da su mlada stabla posebno osjetljiva na sušu i druge ekstremne klimatske uvjete. Selektivni pritisak na pomladak poboljšava šanse za preživljavanje odraslih sastojina koje se razvijaju iz pomlatka. Potrebno je odabrati provenijencije bukve i različiti sastav vrsta drveća koje su prilagođene različitim uvjetima rasta, što može oblikovati stabilne i strukturno raznovrsne šumske sastojine.

Ključna mjera za prilagodbu gospodarenja šumama biti će i povećanje stabilnosti i otpornosti sastojina bukve na očekivane češće prirodne opasnosti (ledolomi, snjegolomi). Adekvatna rješenja nalaze se u mozaičnoj strukturi šumskih sastojina, u strukturama sastojina bliskim prebornom gospodarenju te u pravovremenim proredama mladih i srednjedobnih sastojina. Stabilnost strukture sastojine može se povećati i smanjenjem veličine progala, formiranjem šumskih rubova, skraćivanjem proizvodnih razdoblja i dodavanjem vrsta drveća s dubokim korijenovim sustavima (Breznikar, 2019).

Kako bi se osigurala prilagodljivost budućih sastojina promjenama u okolišu, nužno je koristiti genetski raznovrsni šumski reprodukcijski materijal (ŠRM), dobivanjem sjemena s velikog broja stabala tijekom razdoblja jakog cvjetanja i plodnosti, stručno primjerenim miješanjem ŠRM-a te, na temelju testova provenijencije, znanstveno utemeljenim premještanjem različitih lokalnih provenijencija između različitih ekoloških okruženja. Osim toga, važno je i adekvatno srednjoročno planiranje skladištenja sjemenskih zaliha u sjemenskoj banci te stalna dostupnost odgovarajućih sadnica (Bajc i sur., 2020).



Slika 3.6.4. Uspješno pomlađenje sastojina bukve sadnjom ovisi o kvaliteti i genetski raznovrsnim izvorima sjemena.



4. ODRŽIVO GOSPODARENJE ŠUMAMA VRSTA *PINUS* spp. (*Pinus nigra* J.F. Arnold, *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Aiton)

4.1 Uvod

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

Croatian Forest Research Institute (CFRI), Croatia

Pinus spp.

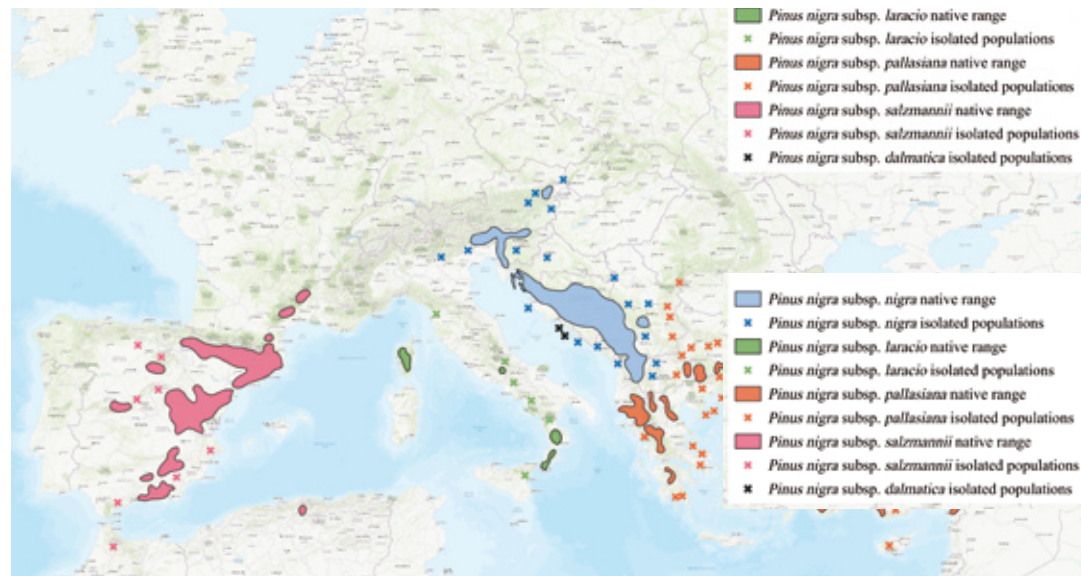
Borovi su u Europi ekološki i ekonomski među najznačajnijim vrstama drveća u mediteranskim i submediteranskim regijama. Globalno, borovi čine taksonomski jedan od najvećih rodova, s više od stotinu vrsta koje prvenstveno rastu na sjevernoj polutci. Borovi nastanjuju dobro osunčana područja i prilagodljivi su različitim ekološkim uvjetima, uključujući temperaturu, vlagu i tlo. Mogu živjeti do 250 godina. Borovi su zimzelena vrsta drveća s karakterističnim iglicama, koje mogu biti u skupu po dvije (dvoigličasti), po tri (troigličasti) ili po pet (peteroigličasti). Plodovi borova (češeri) sazrijevaju u drugoj ili trećoj godini.

Pinus nigra L. - Biologija i areal rasprostranjenosti

Crni bor (*Pinus nigra* J.F. Arnold) zimzelena je četinjača koja potječe iz mediteranske regije i drugih dijelova Europe. Može se podijeliti na pet podvrsta na temelju geografske raširenosti, dužine iglica i krutosti iglica: *P. nigra* J.F. Arnold subsp. *nigra*, rasprostranjen u jugoistočnoj Austriji, sjevernoj Italiji, Balkanskom poluotoku, Bugarskoj, Rumunjskoj, Turskoj; *P. nigra* subsp. *Salzmannii* (Dunal) Franco, rasprostranjen u jugozapadnoj Europi, Francuskoj (Hérault, Pireneji), Španjolskoj, Alžiru i Maroku; *P. nigra* subsp. *larico* (Poir.) Palib. Ex Maire, rasprostranjen u Francuskoj i Italiji; *P. nigra* subsp. *dalmatica* (Vis.) Franco, rasprostranjen u Hrvatskoj; *P. nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, rasprostranjen u Grčkoj, Cipru, jugozapadnoj Bugarskoj, jugoistočnoj Sjevernoj Makedoniji, južnoj Albaniji i od Krima duž obale Crnog mora do Turske (Gausson i sur. 1993, Farjon 2017). Ova vrsta raste u zajednici s *Pinus sylvestris* L., *Pinus mugo* Turra, *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinea* L. i *Pinus haldreichii* Christ (Burns i Honkala 1990).

Crni bor obično formira čiste sastojine, ali se također može naći u mješovitim sastojinama s drugim borovima, posebno s *Pinus sylvestris* (Isajev i sur., 2004). To je srednje veliki bor koji može narasti do 30 metara (rijetko 40-50 metara) visine. Mlada stabla crnog bora visoka su i vitka te postaju okruglastija kako stablo stari, a u nekim slučajevima razvijaju čak i spljoštenu, kišobranastu krošnju (Isajev i sur., 2004). Zapadne varijante imaju svijetle ploče na ispucanoj kori, dok istočne podvrste imaju tamnije, gotovo crne utore. U starijim stablima pukotine u kori postaju vrlo duboke, a ploče su mnogo veće (Eckenwalder, 2009). Pupoljci su ovalni, šiljati i smolasti. Iglice, koje rastu u parovima, dugačke su 8-15 (19) cm, debljine 1-2 mm, ravne ili zakrivljene i fino nazubljene. Boja je zelena, od svijetle do tamne, ovisno o podrijetlu, i imaju na svakoj od dvije strane 12-24 reda puči. Zadržavaju se na stablu 3-4 (8) godine (Willis i sur., 1998).

Crni bor dvodomna je vrsta. Reproduktivnu zrelost postiže u dobi od 15 do 20 godina. Obilan urod javlja se svake dvije do pet godina. Sastojine crnog bora rastu na visinama od 350 do 2200 m nadmorske visine, s optimalnim rasponom visina između 800 i 1500 m (Praciak i sur., 2013). Može rasti na raznim tlama, od podzolskih pijesaka do vapnenca, često ovisno o regiji i klimi (Farjon i Filer, 2013). Crni bor može rasti u izuzetno suhim, ali i vlažnim staništima, sa značajnom tolerancijom na temperaturne fluktuacije. Heliofit je, intolerantan na zasjenu te može podnijeti jake vjetrove, sušu i slana tla.



Slika 4.1.1. Rasprostranjenost crnog bora u Europi (EUFORGEN 2009 www.euforgen.org).

Pinus pinea L. - Biologija i areal rasprostranjenosti

Pinija (*Pinus pinea* L.) zimzelena je četinjača koja potječe iz mediteranske regije, a rasprostire se od Portugala do Sirije i uz neke obalne dijelove Crnog mora (Farjon i Filer, 2013). Prirodno porijeklo vrste teško je odrediti zbog opsežne kultivacije i širenja od predromanskih vremena, što otežava razlikovanje autohtonih područja rasprostranjenja od onih gdje je zasađena. Zbog svoje ekonomske važnosti, ljudska aktivnost značajno je utjecala na njezinu trenutnu geografsku i genetsku raznolikost.

Pinija je široko rasprostranjena u Španjolskoj, Portugalu, Italiji i Turskoj, gdje se uzgaja u svrhu proizvodnje plodova i drva, zaštite okoliša i u hortikulturi. Također je uspješno uvedena na područja Sjeverne Afrike, Argentine i Južne Afrike (Bussotti, 1996).

Pinija je srednje veliko stablo, koje raste do 25-30 metara s deblima koja prelaze 2 metra u promjeru. Krošnja je okruglasta i grmolika u mladosti, postepeno poprimajući kišobranast oblik u srednjoj dobi, dok u zrelosti postaje ravna i široka. Deblo je često kratko s brojnim granama koje su usmjerene prema gore, sa zelenom masom blizu vrhova. Kora ima složenu strukturu. Kod mladih stabala kora je pepeljasto siva i ispucala, dok je kasnije crvenkasto smeđa i odvojena dubokim, longitudinalnim pukotinama između dugih sivih i ravnih ljuskastih ploča. Pupoljci su dugi oko 1 cm, sa smečkastim ljuskama. Igljice su svijetlozelene, u parovima, duge oko 8-15 cm s oštrim vrhom i pučima na svakoj strani. Zadržavaju se na stablu 2-3 godine. Pinija je dvodomna vrsta. Reprodukativna zrelost u izoliranim stablima počinje kad su stabla stara 15-20 godina, a u šumskim sastojinama kad su stabla stara oko 20-30 godina. Žute peludne rese nalaze se u grozdovima na bazi ovogodišnjeg izboja, a plodni češeri su uspravni i dugi oko 2 cm. Oprašivanje je anemofilno, odvija se od svibnja do lipnja kada se pelud ispušta u velikim količinama. Oplodnja se događa dvije godine nakon oprašivanja, a češeri sazrijevaju treće godine. Zreli češeri, koji su dugi 8-14 cm, široko ovalni, sjedeći i izolirani, ostaju pričvršćeni na stablu nekoliko godina nakon otvaranja. Sjemenke su svijetlosmeđe, prekrivene crnim prahom, dugačke 15-20 mm, teške, s lako odvojivim krilima koja su neučinkovita za širenje vjetrom. Pinija može imati značajne varijacije u proizvodnji sjemena (Eckenwalder, 2009; Johnson i More, 2006).

Pinija pridolazi u različitim klimatskim i stanišnim uvjetima duž mediteranske regije. Može se naći na područjima od razine mora do 500-600 m u sjevernom Mediteranu i do 800-1400 m u istočnom Mediteranu. Pretežno formira čiste sastojine, prirodno se obnavljajući uz pomoć sjemena. Sastojine

se nalaze unutar termo- i mezo-mediteranskih klimatskih zona i subhumidnih bioklimata, karakteriziranih vrućim, suhim ljetima i kišnim, blagim zimama. Potrebna joj je svjetlost i preferira kisela ili neutralna pješčana tla, iako podnosi i blago vapnenasta tla (Montero i sur., 2008).



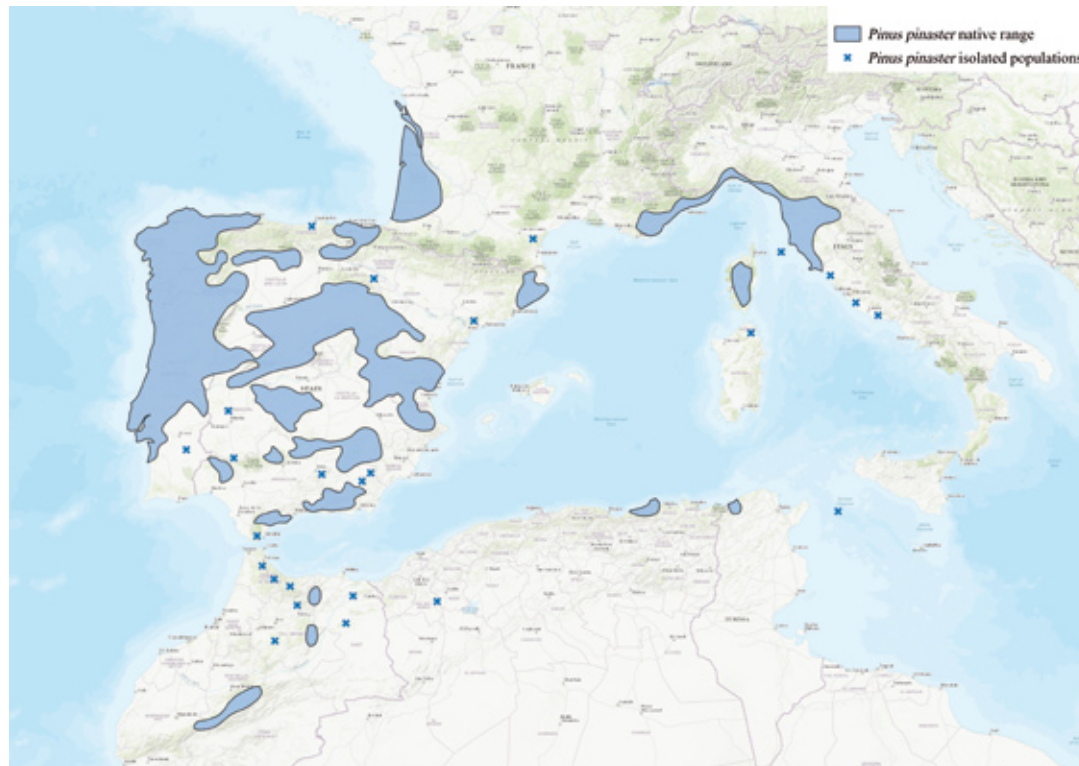
Slika 4.1.2. Rasprostranjenost pinije (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Pinus pinaster Aiton - Biologija i areal rasprostranjenosti

Pinus pinaster Aiton, primorski bor, široko je rasprostranjena zimzelena četinjača koja potječe iz regije južne atlantske obale Europe i dijelova zapadnog Mediterana.

Areal rasprostranjenja primorskog bora pretežno je koncentriran u zapadnom Mediteranskom bazenu i na južnoj atlantskoj obali Europe. Primorski bor raste na Pirenejskom poluotoku, u južnoj Francuskoj, zapadnoj Italiji, na zapadnim mediteranskim otocima, u sjevernom Maroku, Alžiru i Tunisu. Njegova prisutnost proširila se zbog umjetnih plantaža i naturalizacije te je dosegla obalu jugozapadne Francuske, jadranskih zemalja, pa čak i sjeverne Europe, uključujući Ujedinjeno Kraljevstvo i Belgiju (Jalas i Suominen 1973, Critchfield i Little 1966, Pereira 2002, Farjon i Filer 2013). Dva glavna faktora utjecala su na trenutnu fragmentiranu distribuciju mediteranskog bora: nekontinuiranost i visina planinskih lanaca, koji izoliraju čak i populacije koje se nalaze fizički blizu, te značajan ljudski utjecaj kroz krčenje šuma i promjene u korištenju zemljišta (Alía i Martín 2003). Unatoč tim izazovima, vrsta se i dalje široko sadi i uzgaja u raznim zemljama, unutar i izvan svog prirodnog areala rasprostranjenja. Raste od razine mora na nizinama uz obalu do nadmorskih visina od 1600 m na Pirenejskom poluotoku i otoku Korzici, te do oko 2000 m u Maroku (Wahid i sur., 2006, Farjon 2010). Takav široki raspon visina dokazuje prilagodljivost vrste različitim nadmorskim visinama i klimatskim uvjetima. Prirodno raste u toplim umjerenim područjima s klimatskim utjecajem oceana, posebno u vlažnim i subvlažnim regijama s godišnjim količinama padalina koje premašuju 600 mm. Može preživjeti u regijama sa samo 400 mm oborina godišnje ako postoji odgovarajuća atmosferska vlaga. Vrsta ne podnosi zasjenu i preferira silikatna tla s grubom teksturom, posebno pješčana tla, dine i druga siromašna tla (Viñas i sur., 2016).

Tablica 4.1.1. navodi popis demonstracijskih ploha za vrste roda *Pinus* projekta LIFE SySTEMiC.



Slika 4.1.3. Rasprostranjenost primorskog bora u Europi (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Tablica 4.1.1. Popis demonstracijskih ploha za *Pinus* spp projekta LIFE SySTEMiC.

Id	Site name	Country	Species	EFT*	Structure	Silvicultural system
08	Terminaccio	Italy	<i>P. pinea</i>	10.1	Even-aged	Clear-cutting and planting
9A	Fossacci	Italy	<i>P. pinea</i>	10.1	Even-aged	Clear-cutting and planting
9B	Fossacci	Italy	<i>P. pinea</i>	10.1	Even-aged	Clear-cutting and planting
9C	Fossacci	Italy	<i>P. pinea</i>	10.1	Even-aged	Clear-cutting and planting
15	Zadar	Croatia	<i>P. pinea</i>	10.1	Even-aged	Clear-cutting and planting
17	Klana	Croatia	<i>P. nigra</i>	3.3	Even-aged	Uniform shelterwood
18	Brač	Croatia	<i>P. nigra</i>	10.2	Even-aged	Irregular shelterwood
19	Pelješac	Croatia	<i>P. pinaster</i>	10.1	Even-aged	Irregular shelterwood
22	Mlake	Slovenia	<i>P. nigra</i>	14.1	Even-aged	Uniform shelterwood
31	Mljet	Croatia	<i>P. pinea</i>	10.1	Even-aged	Uniform shelterwood

* EFT = Europski tip šuma: 3.3 Šuma alpskog i crnog bora; 10.1 Sredozemna borova šuma; 10.2 Sredozemna i anatolska šuma crnog bora; 10.6 Sredozemna i anatolska šuma jele; 14.1 Nasadi autohtonih vrsta

4.2 Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa vezana uz drveće

Davide Travaglini¹, Cesare Garosi¹, Francesco Parisi^{2,3}, Natalija Dovč⁴

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

² University of Molise, Department of Bioscience and Territory, Italy

³ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI)

Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana s drvećem popisana su na devet demonstracijskih ploha (Slika 4.2.1.).

Na svakoj lokaciji odabrana je trajna ploha s reprezentativnom strukturom gospodarenja šumama. Ploha je imala pravokutni oblik, a svaka strana bila je duga 50 m (površina od 2500 m²). Ukoliko je broj stabala istraživane vrste (*Pinus* spp. s prsnim promjerom > 2,5 cm) bio manji od 30 stabala, uspostavljena je u nastavku plohe još jedna demonstracijska ploha sve dok se nije postigao minimalan broj od 30 stabala istraživane vrste.

Detaljni protokoli za terensko istraživanje i obradu podataka dostupni su na LIFE SySTEMiC web-stranici: www.lifesystemic.eu/.

Figure 4.2.1. Demonstracijske plohe za *Pinus* spp.

Pinus pinea L. bila je glavna drvena vrsta (temeljnica > 75 %) na demonstracijskim ploham 9A, 9B, 9C i 15; na plohi 31 *Pinus pinea* L. bila je pomiješana s *Pinus halepensis* Mill. i drugim sekundarnim vrstama (*Cupressus sempervirens* L.). *Pinus nigra* J.F. Arnold bila je glavna drvena vrsta na ploham 17, 18 i 22. Ploha 19 bila je čista sastojina *Pinus pinaster* Aiton nakon požara.

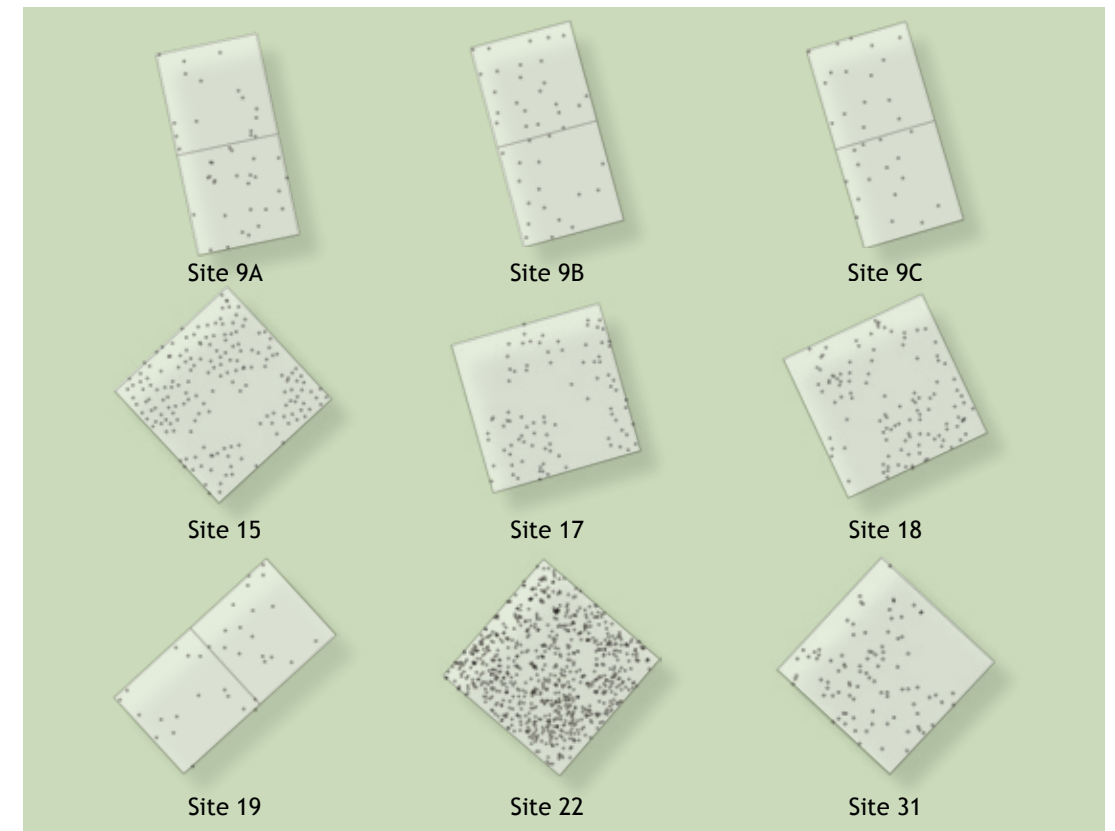
Prostorna raspodjela stabala na demonstracijskim ploham prikazana je na Slici 4.2.2. Slika 4.2.3. prikazuje raspodjelu broja stabala prema promjeru na svakoj demonstracijskoj plohi.

Varijable strukture šume prikazane su u Tablici 4.2.1.

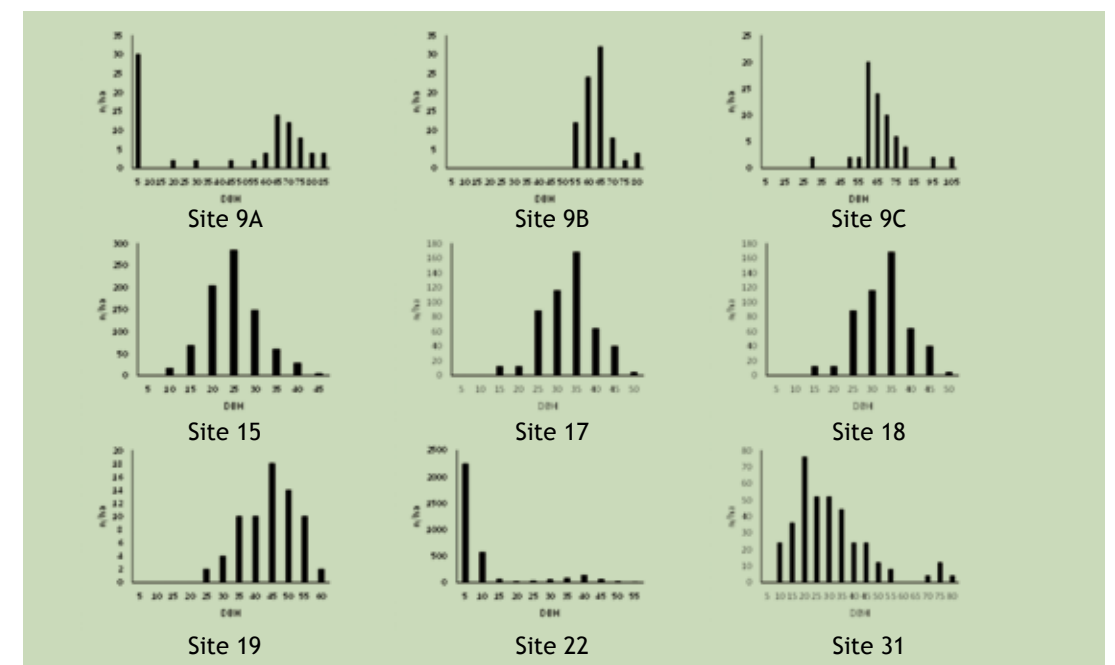
Sve istraživane plohe *Pinus pinea* L. (9A, 9B, 9C, 15, 31) imale su jednodobnu strukturu; temeljnica se kretala između 19 m²/ha i 41 m²/ha, s prosječnom vrijednošću od 29 m²/ha, a drvena zaliha je varirala između 277 m³/ha i 370 m³/ha, s prosjekom od 322 m³/ha. Raznolikost strukture šume, predstavljena koeficijentom varijacije prsnog promjera i koeficijentom varijacije visina, iznosila je 35,6 % odnosno 26,5 %.

Sastojine *Pinus nigra* J.F. Arnold (plohe 17, 18, 22) također su bile jednodobne. Temeljnica se kretala između 29 m²/ha i 51 m²/ha, s prosječnom vrijednošću od 41 m²/ha, a drvena zaliha varirala je između 171 m³/ha i 423 m³/ha, s prosjekom od 322 m³/ha. Koeficijent varijacije prsnog promjera i koeficijent varijacije visina iznosili su 58,5 %, odnosno 29,0 %.

Demonstracijska ploha *Pinus pinaster* Aiton. (19) imala je temeljnicu od 11 m²/ha i drvenu zalihu od 97 m³/ha.



Slika 4.2.2. Prostorna distribucija stabala na demonstracijskim ploham.



Slika 4.2.3. Distribucija broja stabala i promjera na demonstracijskim ploham.

Tablica 4.2.1. Varijable strukture šume na demonstracijskim ploham. N = broj stabala; BA = temeljnica; V = drvena zaliha; QMD = srednje plošno stablo; MH = prosječna visina (visina stabla s prosječnom temeljnicom); DH = dominantna visina (prosječna visina 100 stabala po hektaru s najvećim promjerima u slučaju jednodobne sastojine te prosječna visina tri najviša stabla po hektaru u slučaju raznodobne sastojine); SDDBH = standardna devijacija prsnog promjera; SDH = standardna devijacija ukupnih visina stabala; CVDBH = koeficijent varijacije prsnog promjera; CVH = koeficijent varijacije ukupnih visina stabala.

Id	N	BA	V	QMD	MH	DH	SDDBH	SDH	CVDBH	CVH
	n/ha	m ² /ha	m ³ /ha	cm	m	m	cm	m	%	%
9A	84	19.2	283.3	53.9	25.7	26.9	32.2	12.8	74.0	70.3
9B	82	26.1	365.7	63.7	26.6	26.4	5.9	3.2	9.3	12.0
9C	64	23.1	315.8	67.9	26.9	26.8	12.9	4.0	19.4	15.3
15	812	41.1	276.7	25.4	9.2	9.5	6.1	0.6	24.9	6.3
17	504	43.7	423.0	33.2	17.6	18.7	6.7	1.8	20.5	10.7
18	532	28.5	170.9	26.1	9.9	10.9	9.5	2.0	39.2	21.0
19	70	11.3	96.5	45.3	16.2	16.0	8.3	3.2	18.6	19.9
22	3256	51.3	372.5	14.2	14.7	23.3	10.7	5.3	115.9	55.4
31	372	33.6	369.7	33.9	14.1	16.4	15.2	3.6	50.3	28.7

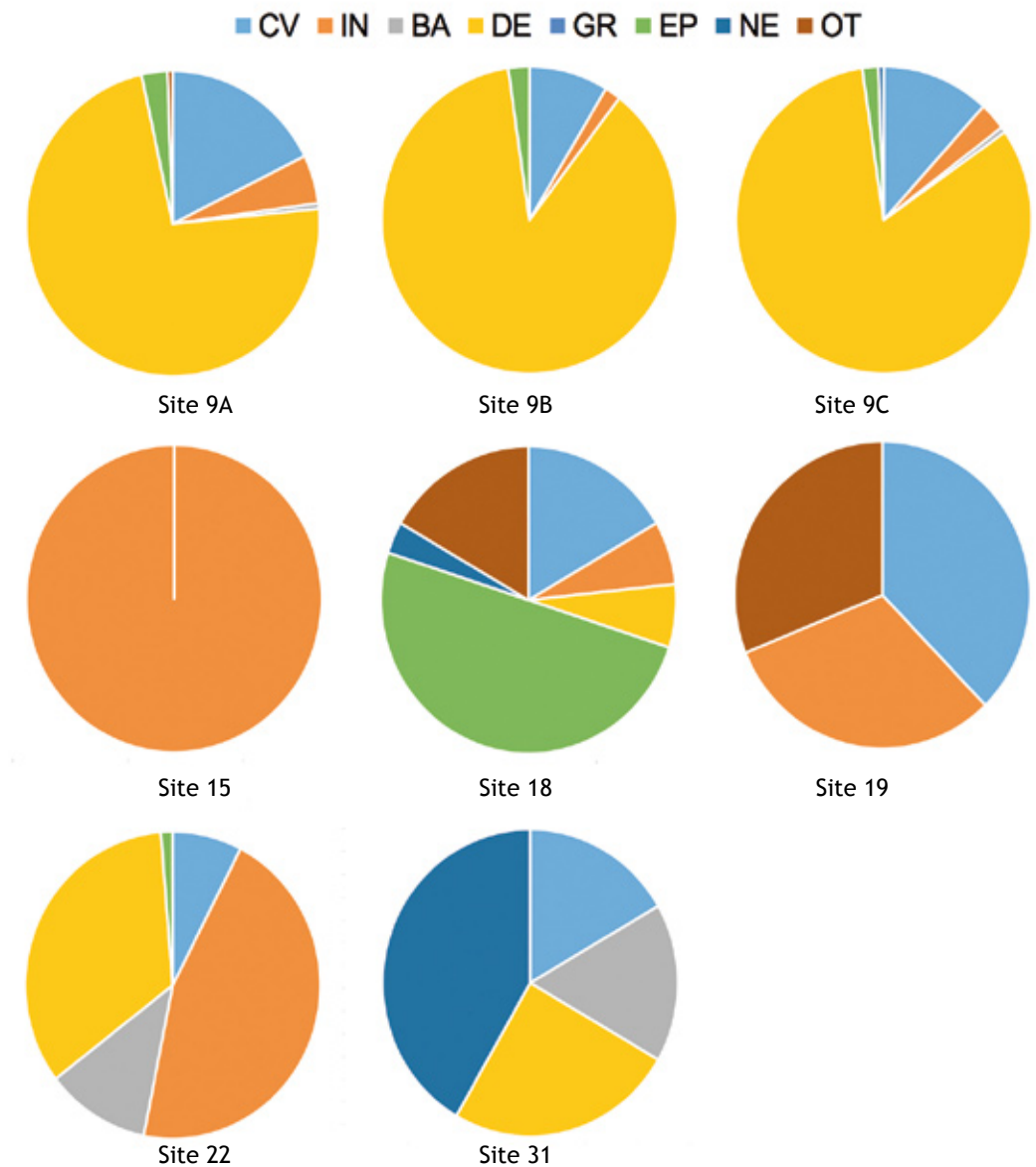
Za svaku plohu, količina mrtvog drva prikazana je u Tablici 4.2.2. U sastojinama *Pinus pinea* L. (plohe 9A, 9B, 9C, 15, 31), ukupni volumen mrtvog drva kretao se između 6 m³/ha i 20 m³/ha, s prosječnom vrijednošću od 12 m³/ha, što je uglavnom zastupljeno panjevima (49 %), ostalim ležećim dijelovima mrtvog drva (19 %), dubećim mrtvim deblima (17 %) i oborenim mrtvim stablima (16 %).

Sastojine *Pinus nigra* J.F. Arnold (plohe 17, 18, 22) imale su prosječni volumen mrtvog drva od 21 m³/ha. U sastojini *Pinus pinaster* Aiton. (ploha 19) količina mrtvog drva iznosila je 42 m³/ha.

Tablica 4.2.2. Volumen mrtvog drva na demonstracijskim ploham.

Id	Standing dead trees (including snags)	Downed dead trees	Other lying dead wood pieces	Stumps	Total
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
9A	12.8	0.0	1.9	2.7	17.4
9B	0.0	0.0	1.6	4.8	6.4
9C	0.0	0.0	4.8	1.5	6.3
15	12.3	0.0	0.1	0.0	12.4
17	1.3	0.8	1.1	2.2	5.4
18	4.5	0.1	0.0	0.0	4.6
19	5.4	13.7	21.1	1.5	41.7
22	7.2	32.3	9.5	2.9	51.8
31	5.0	9.7	3.2	1.6	19.5

Učestalost mikrostanija vezanih uz drveće na svakoj plohi, prikazana kao postotak oblika mikrostanija, navedena je na Slici 4.2.4. Mrtvo drvo bilo je najčešći oblik mikrostanija u sastojinama *Pinus pinea* L., posebno na ploham 9A, 9B i 9C. Mrtvo drvo, epifiti (ploha 18) te ozljede i rane (ploha 22) bili su česti u sastojinama *Pinus nigra* J.F. Arnold. Šupljine, ozljede i rane te drugi oblici mikrostanija bili su gotovo jednako zastupljeni na plohi *Pinus pinaster* Aiton. (19).



Slika 4.2.4. Mikrostaništa povezana s drvećem na demonstracijskim ploham (postotak oblika mikrostanija) (CV = Šupljine; IN = Ozljede i rane; BA = Kora; DE = Mrtvo drvo; GR = Deformacija / oblik rasta; EP = Epifiti; NE = Gnijezda; OT = Ostalo).



Slika 4.2.5. Mrtvo drvo na demonstracijskoj plohi 9A.

Slika 4.2.6. Prirodno pomlađenje *Pinus pinea* L. na demonstracijskoj plohi 9B.

4.3 Krajobrazna genomika

Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,2}, Marko Bajc³, Katja Kavčič Sonnenschein³, Donatella Paffetti¹

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

² Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

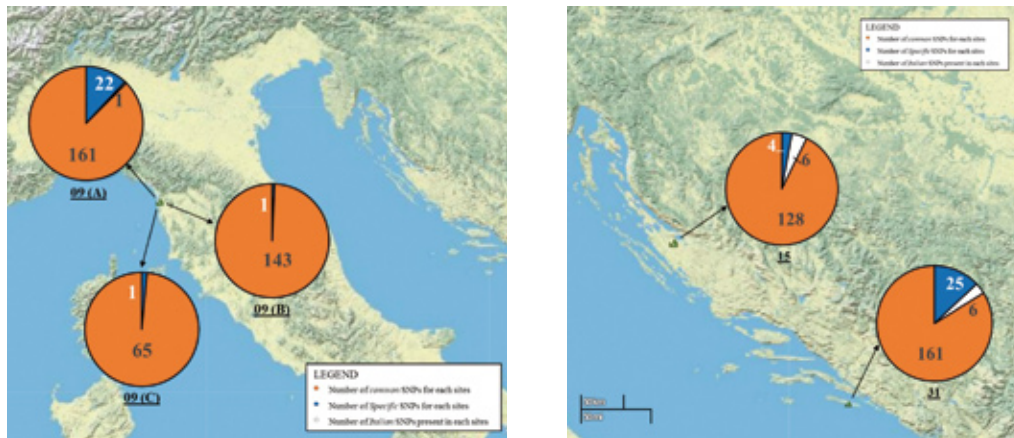
³ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Rod *Pinus* spp. L. uključuje više od 100 vrsta, od kojih su mnoge značajne za održavanje ekosustava na sjevernoj polutki. Unatoč svojoj širokoj rasprostranjenosti, *Pinus pinea* L. pokazuje vrlo nisku genetsku varijaciju kroz različite markere (Pinzauti i sur., 2012), ali pokazuje visoku fenotipsku plastičnost (Chambel i sur., 2007; Carrasquinho i Gonçalves, 2013). Nasuprot tome, *Pinus nigra* J.F. Arnold ima fragmentiranu rasprostranjenost od Sjeverne Afrike do Sjevernoga Sredozemlja tena istok do Crnog mora i Krima (Eckert i Hall, 2006; Gausson i sur., 1964; Scotti-Saintagne i sur., 2019). Za razliku od *P. pinea*, *P. nigra* pokazuje visoku genetsku raznolikost unutar populacija i nisku raznolikost među njima (Fady i Conord, 2010; Scotti-Saintagne i sur., 2019), što je obrazac koji se pripisuje povijesno visokom protoku gena na velikim udaljenostima (Kremer i sur., 2012; Scotti-Saintagne i sur., 2019). Genetska raznolikost populacija mogla bi biti ključna za ublažavanje učinaka klimatskih promjena (Mosca i sur., 2012) i postizanje prilagodbe kroz odabir potencijalno korisnih alela prisutnih u populacijama (Barret i sur., 2008). Razumijevanje dinamike i mehanizama lokalne adaptacije u prirodnim populacijama pruža osnovu za predviđanje odgovora na okolišne promjene, uključujući one povezane s globalnim klimatskim promjenama. Očekuje se da će lokalna adaptacija promijeniti frekvencije alela gena koji utječu na prilagodbu u određenim staništima (Lefèvre i sur., 2014). Stoga, razumijevanje odnosa između genoma i prilagodljivih fenotipskih karakteristika i mjere u kojoj na njih utječe okoliš može biti ključno za predviđanje sudbine vrsta drveća koje se nose s klimatskim promjenama (Babst i sur., 2019; Alberto i sur., 2013). U ovom kontekstu, krajobrazna genomika pojavila se kao fleksibilan analitički okvir za razumijevanje interakcija između okolišne heterogenosti i prilagodljivih genetskih varijacija u prirodnim populacijama (Balkenhol i sur., 2016). Koristili smo pristupe krajobrazne genomike za analizu neutralne i prilagodljive komponente genetske raznolikosti kako bismo istaknuli moguće obrasce lokalne adaptacije u analiziranim populacijama. Stoga smo korelirali prilagodljive molekularne markere (SNP-ove) s bioklimatskim indikatorima. Nuklearni mikrosatelitni markeri (nSSR-ovi) analizirani su kao mjera neutralne genetske varijacije i strukture proučavanih populacija. Polimorfizmi pojedinačnih nukleotida (SNP-ovi) genotipizirani korištenjem pristupa ciljnog ponovnog sekvenciranja regija kandidatskog genoma analizirani su kao mjera prilagodljive genetske varijacije proučavane populacije (Slike 4.3.1. i 4.3.2.). Kao rezultat ponovnog sekvenciranja *P. pinea*, oko 500 SNP-ova određeno je u 28 regija genoma relevantnih za odgovor na jedan ili više abiotičkih stresova (rezultati izneseni u Akcija B1: Karta SNP-ova svake plohe). Osim toga, istražili smo distribuciju ovih SNP-ova na razini populacije i dizajnirali smo karte za svaku ciljanu vrstu kako bismo promatrali njihovu prostornu distribuciju među svim analiziranim populacijama (Slika 3.3.1.).

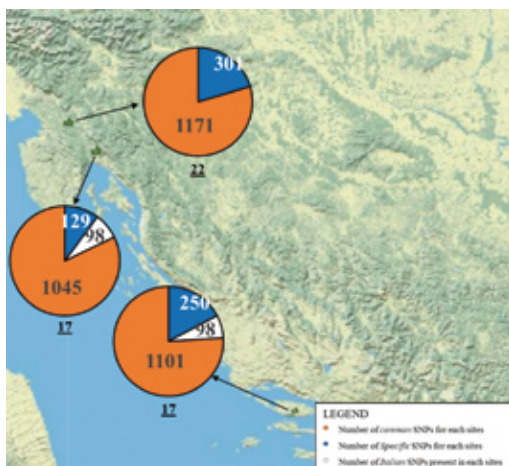
Kao što je navedeno u literaturi (Pinzauti i sur., 2012), *P. pinea* je obilježena niskom genetskom raznolikošću. Na Slici 4.3.1. može se uočiti mali broj lokalno-specifičnih i regionalno-specifičnih SNP-ova za sva istraživana borova staništa. Međutim, primjećuje se prisutnost većeg broja lokalno-specifičnih SNP-ova na demonstracijskoj plohi 09 (Fossacci) te na plohi 31 (Miljet). Svi analizirane plohe nalaze se u bioklimatskom području koje karakteriziraju mediteranski klimatski uvjeti.

Uočeni lokalno-specifični skup SNP-ova mogao bi se interpretirati kao znak prilagodbe na bioklimatski režim mediteranskog bazena.

Kao rezultat ponovnog sekvenciranja *P. nigra*, uočeno je oko 2000 SNP-ova u 21 regiji genoma relevantnoj za odgovor na jedan ili više abiotičkih stresova (rezultati izneseni u Akcija B1: Karta SNP-ova svake plohe). Kao što je prikazano na Slici 4.3.2., izradili smo karte za svaku ciljanu vrstu kako bismo promatrali njihovu prostornu distribuciju među svim analiziranim populacijama.



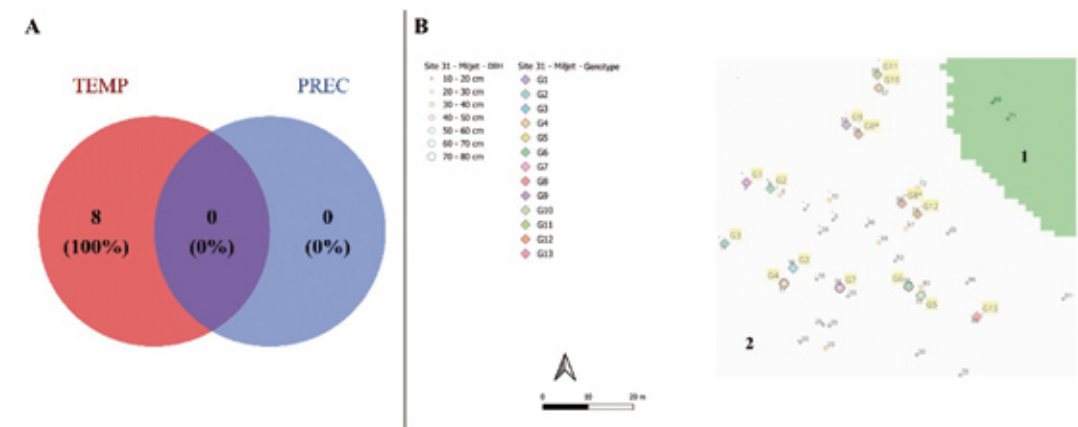
Slika 4.3.1. Karta distribucije SNP-ova *Pinus pinea* L. na demonstracijskim plohama LIFE SySTEMiC u Italiji (A) i Hrvatskoj i Sloveniji (B) prikazana je na slici. Slika prikazuje broj određenih specifičnih podskupova SNP-ova za svaku plohu. Legenda prikazuje vrste podataka podijeljene prema bojama. Boje predstavljaju sljedeće podskupine SNP-ova: skup SNP-ova prisutan na toj lokaciji koji su zajednički za najmanje dvije istraživane plohe (narančasta); broj jedinstvenih SNP-ova specifičnih za tu plohu (bijela) i broj SNP-ova prisutnih na toj plohi, koji su specifični za zemlju podrijetla (plava). Ispod svakog grafa prikazan je identifikacijski broj odgovarajuće plohe (podebljano i podcrtano).



Slika 4.3.2. Karta distribucije SNP-ova *P. nigra* na demonstracijskim plohama LIFE SySTEMiC-a prikazana je na slici. Slika prikazuje broj specifičnih podskupova SNP-ova za svaku plohu. Legenda prikazuje vrste podataka podijeljene bojama. Boje predstavljaju sljedeće podskupine SNP-ova: skup SNP-ova prisutan na toj lokaciji koji su zajednički za najmanje dvije istraživane plohe (narančasta); broj jedinstvenih SNP-ova specifičnih za tu plohu (bijela) i broj SNP-ova prisutnih na toj plohi, koji su specifični za zemlju podrijetla (plava). Ispod svakog grafa prikazan je identifikacijski broj odgovarajuće plohe (podebljano i podcrtano).

Za razliku od *P. pinea*, *P. nigra* ima visoku genetsku raznolikost unutar populacija i nisku raznolikost među njima (Fady i Conord, 2010; Scotti-Saintagne i sur., 2019). Na Slici 4.3.2. može se uočiti velik broj lokalno-specifičnih i regionalno-specifičnih SNP-ova za sve istraživane plohe crnog bora. Unatoč različitom bioklimatskom području svake analizirane plohe, veliki broj lokalno-specifičnih SNP-ova koji se pojavljuju mogao bi se interpretirati kao znak prilagodbe na lokalno okruženje.

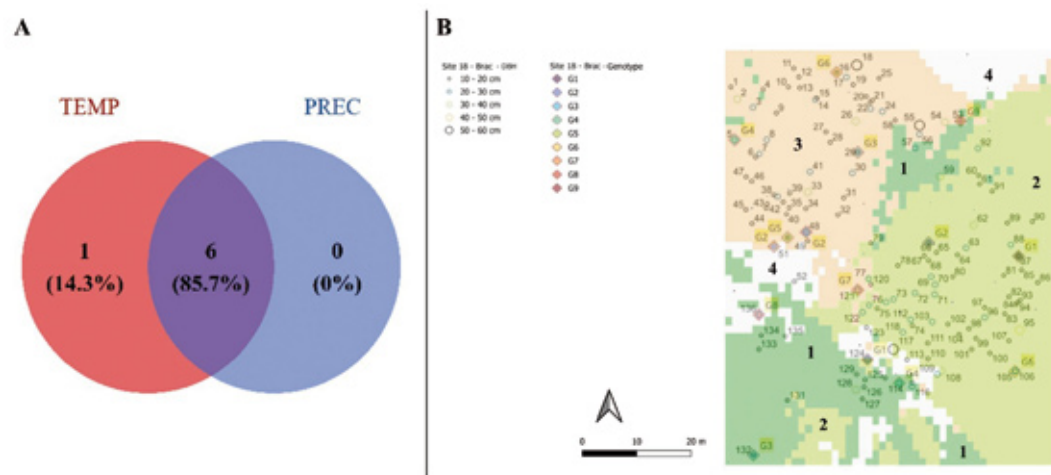
Kao što je navedeno u literaturi, analiza za otkrivanje znakova lokalne adaptacije u prirodnim populacijama zahtijeva mnogo analitičkih koraka (Blanquart i sur., 2013). Za svaku plohu odabrano je dvanaest bioklimatskih pokazatelja iz postojeće literature (Flint i sur., 2013; Gugger i sur., 2016, 2021; Pluess i sur., 2016). Da bi se identificirali obrasci lokalne adaptacije istraživane vrste, proveli smo GEA analize na dvije razine: globalnoj i lokalno-specifičnoj. Globalna analiza omogućila nam je identificiranje mogućih obrazaca adaptacije na bioklimatske uvjete koji karakteriziraju raspon *Pinus* spp. Rezultati analize pokazali su postojanje tri različita klastera za *P. pinea* i četiri klastera za *P. nigra*, prisutna u Italiji, Hrvatskoj i Sloveniji. Dodatno, još zanimljivije otkriće bila je prisutnost povezanosti između nekih alelnih varijanti i srednjih vrijednosti 12 bioklimatskih pokazatelja razmatranih za ove analize: 39 SNP-ova za *P. pinea* i 14 za *P. nigra* (Akcija B1: Izrada karata prostorne distribucije genetske raznolikosti i korelacije između distribucije alela i varijacije okoliša). Prisutnost ovih veza može se tumačiti kao temeljni genotip prilagodbe *Pinus* spp. rasprostranjenog u središnjoj Europi. Od posebnog interesa bilo je pronalaženje nekih lokalitetno-specifičnih povezanih alelnih varijanti. Prisutnost ovih alelnih varijanti mogla bi se korelirati s lokalnim, a ne regionalnim obrascem adaptacije. U analizi povezanosti s okolišem (EAA) važno je uzeti u obzir neutralnu genetsku strukturu (Rellstab i sur., 2015) budući da neutralna genetska struktura može proizvesti obrasce slične onima očekivanim pod ne-neutralnim procesima (Excoffier i Ray, 2008; Excoffier i sur., 2009; Sillanpää, 2011). Nadalje, genetska struktura populacija analizirana je koristeći dva različita pristupa: Bayesovo grupiranje pomoću STRUCTURE softvera (Pritchard i sur., 2000) i prostorno Bayesovo grupiranje pomoću GENELAND softvera. Promatranjem svake plohe zasebno, uočili smo vrlo zanimljive rezultate vezane uz broj SNP-ova pronađenih u vezi s jednim ili više bioklimatskih indikatora. Za *P. pinea*, pronašli smo mali do umjeren broj koreliranih alelnih varijanti na svakoj plohi. Utvrdili smo da je demonstracijska ploha 09 - Fossacci imala veći broj SNP-ova povezanih s bioklimatskim pokazateljima (20 SNP-ova). Prisutnost ovih alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje važna je za adaptaciju. Unatoč najvećem broju zabilježenih koreliranih SNP-ova za plohu 09, prostorna genetska struktura je pojednostavljena (1 klaster, Akcija B1: Izrada karata prostorne distribucije genetske raznolikosti i korelacije između distribucije alela i varijacije okoliša). Umjesto toga, kao što je prikazano na Slici 3.3.3., uočili smo manje pojednostavljenu prostornu genetsku strukturu i velik broj koreliranih SNP-ova na plohi 31 - Mljet.



Slika 4.3.3. Rezultati LFMM analize i karta distribucije genotipa iz podataka prikupljenih na plohi 31-Miljet. (A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s bioklimatskim indikatorima vezanim uz temperature i oborine, kao rezultat LFMM analize. (B) Prostorna distribucija genotipa i prostorna organizacija u 3 klastera (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinice prisutne unutar istraživane plohe (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinice. Sekvencirane jedinice obilježene su obojenim krugovima prema promatranom genotipu. Identične boje označavaju iste genotipove.

BNA temelju dobivenih rezultata, može se pretpostaviti da bi poticanje prirodnog pomlađenja *P. pinea* moglo dati dobre rezultate u smislu genetske raznolikosti i prilagodbe populacija na buduće klimatske promjene. Prisutnost velikog broja SNP-ova povezanih s prilagodbom na bioklimatske pokazatelje na ovim ploham mogla bi biti u korelaciji s neutralnom genetskom strukturom uočenoj za ove plohe (Aravanopoulos, 2018; Paffetti i sur., 2012; Stiers i sur., 2018).

Za *P. nigra*, uočena je potpuno drugačija situacija. Uspoređujući gospodarene i negospodarene sastojine, uočili smo opću složenu prostornu genetsku strukturu sa smanjenim brojem koreliranih SNP-ova. Ploha 18 - Brač (Slika 4.3.4.) i ploha 22 - Mlake imale su najviše vrijednosti prilagodljive genetske raznolikosti.



Slika 4.3.4. Rezultati LFMM analize i karta distribucije genotipa podataka plohe 18 - Brač. (A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s bioklimatskim indikatorima vezanim uz temperaturu i oborine, kao rezultat LFMM analize. (B) Prostorna distribucija genotipa i prostorna organizacija u 4 klastera (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinke prisutne unutar istraživane plohe (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinke. Sekvencirane jedinke obilježene su obojenim krugovima prema promatranom genotipu. Identične boje označavaju iste genotipove.

Prisutnost tih alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje važna je. Rezultati su pokazali da gospodarene sastojine imaju najveći broj SNP-ova koreliranih s bioklimatskim pokazateljima.

Na temelju dobivenih rezultata, može se pretpostaviti da bi poticanje prirodnog pomlađenja *P. nigra* moglo dati dobre rezultate u smislu genetske raznolikosti i prilagodbe populacija na buduće klimatske promjene. Manje intenzivne metode gospodarenja, poput prebornog gospodarenja, pojavljuju se u populacijama s visokim brojem alelnih varijanti povezanih s odgovorom na okolišne varijable. Umjesto toga, pojednostavljena prostorna genetska struktura i niži broj koreliranih SNP-ova pojavili su se u negospodarenim sastojinama. Rezultati dobiveni u ovom istraživanju mogu imati ulogu u planiranju šumsko-uzgojnih radova, pri čemu znanje o genetskoj varijabilnosti iz perspektive adaptacije može pomoći u procesima donošenja odluka. To je važno za očuvanje trenutnih šumskih genetskih resursa (FGR), ali i za obogaćivanje postojećeg staništa potencijalno korisnim genotipima.

4.4 GenBioSilvi model

Roberta Ferrante^{1,2}, Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,3}, Davide Travaglini¹, Katja Kavčič Sonnenschein⁴, Donatella Paffetti¹

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

² NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

³ Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Značaj svih vrsta u šumskim ekosustavima ne može se preneglasiti; od gljiva i malih sisavaca do beskralježnjaka, svaki ima ključnu ulogu u održavanju produktivnosti šume i funkcioniranja ekosustava. Očuvanje biološke raznolikosti šuma ključno je za održavanje ekoloških procesa poput razgradnje, ciklusa hranjivih tvari i hidroloških ciklusa, sukcesije i prirodnog pomlađenja, čime se promiče stabilnost ekosustava. Da bi se osigurala kvaliteta biološke raznolikosti, ključno je zaštititi ili poboljšati složene obrasce i procese koji potiču heterogenost unutar šumskih ekosustava (Spanos i sur., 2007). Gubitak biološke raznolikosti događa se na lokalnoj, regionalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini (Fussi i sur., 2016). Ovaj pad prvenstveno je uzrokovan ljudskim aktivnostima i klimatskim promjenama, posebno kroz čimbenike poput uništavanja staništa, smanjenja populacija vrsta, prekomjernog iskorištavanja resursa, uvođenja invazivnih vrsta i povećanja ekstremnih vremenskih događaja (Hoban i sur., 2020).

Očuvanje biološke raznolikosti jedan je od glavnih ciljeva ekološki održivog šumarstva. U tom pogledu, potrebno je razviti prediktivni model za održivo upravljanje šumama (SFM). Cilj projekta LIFE SySTEMiC je razviti genetske i šumsko-uzgojne pokazatelje u različitim europskim tipovima šuma (EFT) kako bi se implementirao prediktivni model za održivo upravljanje šumama, odnosno GenBioSilvi prediktivni model.

Ovaj model dizajniran je za integraciju više pokazatelja, uključujući genetsku raznolikost, strukturu šume, mrtvo drvo, raznolikost tla i uvjete mikrostanja. Ti pokazatelji izračunavaju se za svaku vrstu uključenu u projekt. U ovom poglavlju posebno ćemo se fokusirati na *Pinus* spp. Kombiniranjem tih različitih pokazatelja, GenBioSilvi model ima za cilj pružiti sveobuhvatan alat za održivo upravljanje šumama, podržavajući šumske ekosustave u odgovoru na klimatske promjene.

Nekoliko studija dokazalo je da *Pinus pinea* L. pokazuje značajno nižu genetsku varijabilnost u usporedbi s drugim vrstama četinjača (Vendramin i sur., 2008; Carrasquinho i sur., 2013; Sáez-Laguna i sur., 2014; Mutke i sur., 2019). Smanjena genetska varijabilnost dijelom se pripisuje povijesnim uskim grlima populacije i ograničenom protoku gena, kao i klonskoj propagaciji vrste i mozaičnom rasporedu duž Mediterana. Unatoč ovoj niskoj genetskoj raznolikosti, *P. pinea* pokazuje visoku fenotipsku plastičnost, što joj omogućuje prilagodbu na različite okolišne uvjete kroz mehanizme poput epigenetskih modifikacija. Na temelju dobivenih rezultata, možemo pretpostaviti da postoji niska genetska raznolikost na svim ploham, ali ne možemo zaključiti da postoji značajna genetska raznolikost između ploha iako postoje razlike u gospodarenju. U ovom projektu proučavali smo tri gospodarene sastojine (čista sječa i pošumljavanje, oplodne sječe na malim površinama i preborno gospodarenje). Analizirajući obrazac distribucije genetske raznolikosti na temelju podataka nSSR-a, uočili smo da su sve plohe obilježene pojednostavljenom prostornom genetskom strukturom (1 ili 2 klastera). To se može pripisati niskoj genetskoj raznolikosti koja je svojstvena vrsti *P. pinea*, kao što je navedeno u literaturi.

Unatoč niskoj genetskoj raznolikosti koja se pojavila promatranjem rezultata distribucije temeljene na SSR-u (Akcija B2) GenBioSilvi modela, uočili smo visoku genetsku raznolikost promatranjem SNP-ova u kandidatskim genima za odgovor na abiotički stres. Na demonstracijskoj plohi 09 - Fossacci pojavile su se najviše vrijednosti prilagodljive genetske raznolikosti.

Prisutnost ovih alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje je važna. Utvrdili smo da je ploha 09 - Fossacci imala veći broj SNP-ova koreliranih s bioklimatskim pokazateljima.

Na temelju dobivenih rezultata, može se pretpostaviti da bi poticanje prirodnog pomlađenja *P. pinea* moglo dati dobre rezultate u smislu genetske raznolikosti i prilagodbe populacija na buduće okolišne promjene.

Struktura staništa ključni je element u procjeni ekoloških funkcija i usluga u šumskim ekosustavima. Da bismo opisali biološku raznolikost, analizirali smo dendrometrijske podatke kako bismo definirali strukturu šume istraživanih ploha. Zahvaljujući tim podacima, možemo pretpostaviti da je najbolja uočena struktura ona karakteristična za višeslojnu šumu gdje se pojavljuje pomladak. Te karakteristike pronašli smo na svim gospodarenim plohama osim plohe 15 - Zadar. Analizirana populacija pinije pokazuje slab postojeći sloj pomlatka i rasprostranjeniji sloj odraslih stabala. Višeslojna raznodobna populacija podržava prisutnost prirodnog pomlađenja jer pokazuje praznine u sklopljenosti krošnja koje stvaraju idealne uvjete za uspostavljanje prirodnog pomlađenja. Nadalje, višeslojna šuma povećava vjerojatnost pojave sporadičnih vrsta. Osim toga, višeslojna šuma omogućuje visoko raspršivanje peludi, promičući genetsku raznolikost. Mrtvo drvo ima ključne funkcionalne uloge poput kruženja hranjivih tvari te služi kao ponor ugljika. Prisutnost mrtvog drva može potaknuti klijanje i razvoj pomlatka drvenastih vrsta, djelovati kao prirodni rasadnik i time doprinijeti obnovi šume. Što se tiče količine mrtvog drva, najbolja situacija zatečena je na negospodarenim plohama. Demonstracijska ploha 09 - Faltelli pokazala je veći volumen mrtvog drva. U prošlosti su ostaci mrtvog drva na gospodarenim plohama brzo uklonjeni iz sigurnosnih razloga (proliferacija patogena, opasnost od požara) i bili sinonim za loše gospodarenje. Mrtvo drvo pruža važno stanište za razvoj i očuvanje vrsta važnih za šumski ekosustav. Osim mrtvog drva, promatrali smo i druge pokazatelje povezane sa saproksilnim staništima. Učestalost epiksilnih staništa bila je niža od saproksilnih u svim promatranim populacijama. Epiksilna staništa koriste se kao pokazatelji za procjenu stanja ekosustava. Njihova prisutnost važan je izvor biološke raznolikosti. Na temelju dobivenih rezultata, gospodarene vrste koje omogućuju složene šumske strukture karakteristične za raznodobne i višeslojne sastojine povećavaju vjerojatnost uočavanja različitih oblika staništa.

Pinus nigra J.F. Arnold često se sadi u težim staništima zbog svoje otpornosti. Često se koristi za pošumljavanje područja s teškim tlama i teškim klimatskim uvjetima (Dias i sur., 2020).

Na temelju analize objavljene u rezultatima Akcije B2 modela GenBioSilvi, utvrđeno je da su sve plohe pokazale visoku genetsku raznolikost, ali razlike između ploha nisu bile značajne unatoč različitim načinima gospodarenja. U ovom projektu istraživali smo dvije gospodarene sastojine (preborno gospodarenje) i jednu negospodarenu sastojinu. Analizirajući obrazac distribucije genetske raznolikosti na temelju podataka nSSR-a, uočili smo da je negospodarena ploha karakterizirana pojednostavljenom prostornom genetskom strukturom (2 klastera). To se može pripisati načinu gospodarenja koje utječe na potencijal pomlađenja. Nadalje, uočili smo visoku genetsku raznolikost promatranjem SNP-ova u kandidatskim genima za odgovor na abiotički stres. Ploha 22 - Mlake pokazala je najviše vrijednosti prilagodljive genetske raznolikosti. Prisutnost alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim pokazateljima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje je važna. Utvrdili smo da su gospodarene plohe imale najveći broj SNP-ova koreliranih s bioklimatskim pokazateljima. Na temelju dobivenih rezultata, može se pretpostaviti da bi poticanje prirodnog pomlađenja *Pinus nigra* J.F. Arnold moglo dati dobre rezultate u smislu genetske raznolikosti i prilagodbe populacija na buduće okolišne promjene. Istraživane plohe imale su raspodjelu promjera u obliku zvona i vertikalnu slojevitost strukturu, bez pomlađenja istraživane vrste. Posebno je bilo zastupljeno obilno pomlađenje sekundarnih vrsta, tvrdih listača na svim plohama. Te karakteristike uočene su na svakoj istraživanoj plohi. Što se tiče količine mrtvog drva, najbolja situacija zabilježena je na negospodarenim plohama. Ploha 22 - Mlake imala je najveći volumen mrtvog drva. Osim mrtvog drva, promatrali smo i druge pokazatelje povezane sa saproksilnim staništima. Uočili smo dva različita scenarija na gospodarenim plohama: na plohi 22 - Mlake, učestalost epiksilnih staništa bila je niža od učestalosti saproksilnih staništa, dok je na plohi 18 - Brač, učestalost saproksilnih staništa bila niža od učestalosti epiksilnih staništa. Epiksilna staništa koriste se kao pokazatelji za procjenu stanja ekosustava. Prisutnost tih staništa važan je izvor biološke raznolikosti. Na temelju dobivenih rezultata, lokalitet kojim se upravlja prema selektivnim proredama stabala povećava vjerojatnost promatranja različitih oblika staništa. Općenito, možemo pretpostaviti da su sve istraživane plohe čiste sastojine crnog bora. Međutim,

ploha 22 - Mlake imala je najveći broj sekundarnih vrsta s obilnim pomlatkom. Crni bor povezan je s drugim vrstama koje pokazuju optimalan rast u istim uvjetima (*Quercus ilex* L., *Quercus cerris* L. i *Pinus halapensis* Mill.).

Razvoj modela za *Pinus nigra* J.F. Arnold i *Pinus pinea* L. nije proveden zbog nedovoljnog broja ploha. To ograničenje nije nam omogućilo adekvatno predstavljanje i diferencijaciju višestrukih scenarija, što je ključno za sveobuhvatno i točno tumačenje biološke raznolikosti ovih vrsta. Također, *Pinus pinaster* Aiton koja pripada rodu *Pinus* podvrgnuta je analizi, oponašajući metodologiju primijenjene za *P. nigra* i *P. pinea*. Međutim, ograničen broj dostupnih ploha (po 1 ploha) predstavljao je izazov u dobivanju statistički značajnih rezultata.

4.5 Preporuke za održivo gospodarenje šumama

Davide Travaglini¹, Francesca Logli², Miran Lanščak³

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

² Ente Parco Regionale Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli, Pisa, Italy

³ Croatian Forest Research Institute, Croatia

Pinus pinea L.

Pinija (*Pinus pinea* L.) mediteranska je vrsta koja se proširila od portugalske atlantske obale do obala Crnog mora i padina Libanona (Quézel i Médail, 2003). Najvažnija područja rasprostranjenosti nalaze se u Španjolskoj (470.000 ha), Portugalu (80.000 ha), Turskoj (50.000 ha) i Italiji (46.000 ha). Više od polovice tih područja rasprostranjenosti rezultat je pošumljavanja (Martinez i sur., 2004).

U Italiji, šume pinija karakteristične su za obalni krajobraz već oko pet stoljeća. U Toskani (Središnja Italija), velik dio ove asocijacije pošumljen je kako bi se stabilizirala obalna pješčana tla nakon radova na melioraciji, koje je započela obitelj Medici u 16. stoljeću i koji su nastavljeni u 18. i 19. stoljeću pod pokroviteljstvom obitelji Lorena. Od tada, šume pinija proizvode važna dobra i usluge koje su pridonijele socioekonomskom razvoju obalnog područja i dobrobiti stanovnika. Šume pinija stabiliziraju dine i štite poljoprivredna zemljišta od morskih vjetrova; pružaju drvene proizvode koji se, u nekim područjima, dalje prerađuju u drvnu sječku; proizvode pinjole, visoko cijenjeni proizvod prehrambene industrije koji se u Italiji suočio s krizom pojavom štetnika *Leptoglossus occidentalis* Heidemann 1999. godine; podržavaju proizvodnju drugih nedrvenih proizvoda poput terpentina i tartufa; te omogućuju ispašu i zaklon ovcima i govodima (Del Perugia i sur., 2017).

Obalne šume pinija pružaju važna staništa za očuvanje biljnih i životinjskih vrsta od prirodnog značaja i zbog toga se često uključuju u mrežu Natura 2000.

Ove šumske asocijacije su, tijekom stoljeća, obavljale i nastavljaju obavljati povijesno-kulturne, socijalne i krajobrazne funkcije od sve većeg značaja jer su pridonijele privlačenju intenzivnih turističko-rekreacijskih aktivnosti.

Funkcionalnost i postojanost šuma pinija, međutim, ugrožena je kako biotičkim tako i okolišnim nepogodama. Obalna erozija prijetnja je za šume pinija koje se nalaze na obali. Tamo gdje je fenomen erozije intenzivan, prvo područje erozije je zaštitni pojas primorskih pinija s naknadnom izloženosti krošanja pinija morskim vjetrovima koji uzrokuju njihovo sušenje, nakon čega slijedi izravno propadanje samih stabala. Erozija također može dovesti do prodiranja morske vode u tlo i zaslanjivanja podzemnog sloja, uzrokujući stres i podrast šuma pinije, posebno u međudinskim područjima. Melio-

racijski kanali, ako se ne održavaju učinkovito, ne mogu pravilno regulirati otjecanje vode i u kišnim razdobljima može se nakupljati stajaća voda, uzrokujući daljnji stres za šumsko tlo. Sve navedeno čini sustav šuma pinije i mediteranske makije posebno ranjivim na napade parazita. Glavni paraziti su *Tomicus destruens* Woll, koji je odgovoran za propadanje borovih šuma, neautohtona štitasta uš *Toumeyella parvicornis* (Hemiptera: Coccidae) (Garonna i sur., 2018) i *Heterobasidion irregulare* Garbel. & Orosina, uzročnik truleži korijena pinija (Gonthier i sur., 2015).

Sastojine pinija spadaju među ekosustave najosjetljivije na klimatske promjene, a trenutno povećanje učestalosti suša u Sredozemnom bazenu pokazalo se da negativno utječe na njihovo dugoročno uspostavljanje (Mazza i Manetti, 2013; Piraino, 2020; Mechergui i sur., 2021). Nadalje, rizik od požara duž obale je visok, posebno ljeti.

Sastojine šuma pinija uglavnom su umjetnog podrijetla i obično imaju jednodobnu strukturu s opodnom koja se kreće između 80 i 120 godina ovisno o bonitetu staništa. Tradicionalno jednodobno gospodarenje sastojinama *Pinus pinea* L. temelji se na čistim sječama, koje su se održavale do kraja sedamdesetih godina prošlog stoljeća (Calama i sur., 2017), a zatim su zamijenjene sustavom oplodnih sječa kako bi se dobio sustav obnove blizak prirodi (Pardos i sur., 2015; Calama i sur., 2017; Mechergui i sur., 2021). Međutim, preborni način gospodarenja prilično je raširen u raznodobnim složenim strukturama (Barbeito i sur., 2008; Pique-Nicolau i sur., 2011).

U Italiji, sustav gospodarenja šumama pinija još uvijek se temelji na čistim sječama s umjetnim pomlađenjem korištenom za optimizaciju proizvodnje sjemena i/ili drva. Danas se smatra da ovaj sustav smanjuje okolišnu i krajobraznu kvalitetu te često uzrokuje neslaganja, posebno u zaštićenim područjima i krajobrazima. To je jedan od razloga zbog kojih u posljednjih nekoliko desetljeća nedostaje aktivnog gospodarenja obalnim šumama pinija, što je dovelo do toga da vlasnici i osobe koje gospodare šumama traže nove šumsko-uzgojne modele (Del Perugia i sur., 2017; Portoghesi i sur., 2022).

Na demonstracijskoj plohi 9 - Fossacci projekta LIFE SySTEMiC, pronašli smo jednodobnu sastojinu *Pinus pinea* L. staru 103 godine s prirodnim pomlatkom (Slika 3.5.1.). Gustoća prirodnog pomlatka pinije varirala je između 362 jedinki/ha na plohi C i 688 jedinki/ha na plohi A. Većinu pomlađene površine činio je ponik (> 80 % na svim ploham), a preostali dio podmladak (Travaglini i sur., 2022). Naši rezultati dokazuju da je prirodno pomlađenje *P. pinea* u Parku San Rossore dostižan cilj, međutim, potrebno je adekvatno gospodarenje.



Slika 4.5.1. Demonstracijska ploha 9B, prirodno pomlađenje *Pinus pinea* L.

Calama i sur. (2013) otkrili su da se najpovoljniji fotosintetski uvjeti za rasprostranjivanje sjemena, klijanje i nicanje ponika bijelog bora postižu na srednje zasjenjenim položajima, odmah ispod područja krošnje, barem u početnim fazama procesa pomlađenja, iako bi roditeljska stabla trebalo postupno uklanjati kako bi se oslobodili mladi borovi i kako bi se povećale njihove svjetlosne potrebe. Agregacija pomlađenja unutar ili blizu područja utjecaja krošnje također se objašnjava ograničenim kapacitetom raspršivanja sjemena pinije (Barbeito i sur., 2008).

Studije koje su proveli Manso i sur. (2014) i Calama i sur. (2017) izvješćuju da jednodobno gospodarenje korišteno prilikom oplodnih sječa može biti uzrok neuspjeha u podržavanju prirodnog pomlađenja sastojinama pinije, posebno zbog malih gustoća sastojina i velikih progala koje se javljaju tijekom pomladnog razdoblja. Zbog nemogućnosti raspršivanja sjemena na velikim progalama stvorenim intenzivnim sjemenskim sječama i sekundarnim sječama, velike površine ostaju bez pomlatka godinama nakon sječe.

Stoga, kako bi se osiguralo raspršivanje sjemena u praznine, rasporedi prorjeđivanja trebali bi održavati gustoću od oko 125-150 stabala po hektaru na početku sječa za obnovu, a intenzivne sječe (npr. intenzivni sustav oplodnih sječa) trebale bi biti zamijenjene postupnijim sječama (Calama i sur., 2017). Istovremeno, možda će biti potrebno kontrolirati gustoću prizemne vegetacije (Ciancio i sur., 1986). Međutim, kao alternativa na lokacijama s intenzivnom obnovom, može se primijeniti pomak prema raznodobnom, višedobnom gospodarenju putem sustava grupimične preborne sječe (Barbeito i sur., 2008; Ciancio i sur., 2009), također za poticanje protoka gena (Mechergui i sur., 2021).

Pinus nigra J.F. Arnold

Crni bor (*Pinus nigra* J.F. Arnold) može se podijeliti na pet podvrsta: *P. nigra* J.F. Arnold subsp. *nigra*; *P. nigra* subsp. *Salzmannii* (Dunal) Franco; *P. nigra* subsp. *larico* (Poir.) Palib. Ex Maire; *P. nigra* subsp. *dalmatica* (Vis.) Franco; *P. nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe.

Crni bor pionirska je i heliofilna vrsta koja se zbog svojih karakteristika, koristi za pošumljavnje prilikom zaštite tla.

Gospodarenje crnim borom u mediteranskim zemljama varira između čistih sječa i različitih vrsta oplodnih sječa (trakaste ili grupimične) te nepravilnih ili jednoličnih sustava oplodnih sječa i prebornih sječa.

Čista sječa s pošumljavanjem obično se provodi na 1-3 hektara. Oplodna sječa (trakasta ili grupimična) s prirodnim pomlatkom bočnim rasprostranjivanjem provodi se na malim površinama; prirodno pomlađenje s postranim rasprostranjivanjem olakšava se paljenjem ostataka sječe i ogoljavanjem tla vučenjem trupaca. U slučaju nedostatka prirodnog pomlatka, primjenjuje se pošumljavanje.

Kada se primjenjuju nepravilni ili jednolični sustavi oplodnih sječa, prirodno pomlađenje odvija se pod zaštitom zrele sastojine.

Metoda male grupimične preborne sječe zabilježena je za *P. nigra* subsp. *larico* (Poir.) Palib. na lokalitetu Ex Maire u Kalabriji, na jugu Italije. Ova metoda doprinijela je održavanju čistih borovih sastojina sa složenim raznodobnim strukturama u privatnim šumama (Ciancio i sur., 2006).

Na temelju iskustava s projekta LIFE SySTEMiC, sustavi gospodarenja šumama temeljeni na prirodnom pomlađenju borova najbolje su prilagođeni za promicanje genetske raznolikosti i prilagodbe šuma budućim okolišnim promjenama.

U slučaju pošumljavanja provedenih za zaštitu tla, renaturalizacija se koristi kao uzgojna i upravljačka metoda koja daje prednost prirodnim evolucijskim procesima kroz sposobnost sustava da autonomno poveća svoju složenost i biološku raznolikost (Nocentini, 2006).

Pinus pinaster Aiton

Primorski bor (*Pinus pinaster* Aiton) pionirska je i helifilna vrsta koja preferira silikatna tla. U usporedbi s pinijom (*Pinus pinea* L.), primorski bor slabije podnosi sušu jer ima pliće korijenje. To je vrsta koja vrlo rano plodonosi i lako se obnavlja nakon požara.

Primorski bor tvori čiste sastojine na staništima s lošim tlama, gdje šuma bora ima strukturu višeslojne šume. U drugim slučajevima, obnova borove šume uglavnom je povezana s ponavljanjem požara. Ako se pomladak bora pojavi u izobilju nakon požara, rezultat su vrlo guste borove šume s jednodobnom strukturom.

Primorski bor pretrpio je štetu od *Matsucoccus feytaudi* Ducasse, povezanu sa stresnim sušenjem. Osim *Matsucoccus feytaudi* Ducasse, drugi patogeni uključuju gljive poput *Melaspore pinitorqua* i *Coronarum flaccidum* te leptire *Diorictria silvestrella* i *Thaumetopoea pityocampa*.

Šume primorskog bora kojima se gospodari čistim sječama mogu se prirodno ili umjetno pomladiti. Prirodno pomlađenje može se poticati paljenjem ostataka sječe koji sadrže šižarke, što simulira djelovanje požara, a mogu se dobiti vrlo guste mlade sastojine. Umjetno pomlađenje može se provesti korištenjem sadnica ili genetski poboljšanog sjemena. Vrlo guste mlade sastojine zahtijevaju vrlo rane mjere njege, na primjer 2-4 prorede između 4. i 15. godine. Prorede zatim postaju postupne kako bi se izbjeglo izoliranje stabala s rizikom od rušenja. Oplodna sječa (trakasta ili grupimična) s prirodnim pomlatkompostranim širenjem provodi se na malim površinama.

Oplodne sječe na malim površinama koriste se za prirodno pomlađenje borove sastojine pod zaštitom zrele sastojine. Pojedinačne preborne sječe mogu se koristiti u intervalima od 15 do 20 godina kako bi se dobila raznodobna i složenija struktura.



5. ODRŽIVO GOSPODARENJE ŠUMAMA VRSTA *QUERCUS* spp. (*Quercus robur* L., *Quercus pubescens* Willd., *Quercus ilex* L.)

5.1 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 hemisfere 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 njegove protuerozijske i hidrološke regulatorne funkcije.

Pojedinačna stabla hrasta lužnjaka mogu živjeti više od 1000 godina. Ta stabla obično rastu do visine od 30 do 40 (50) metara i mogu imati promjer do 2,5 metara. Karakterizira ih široka, često nepravilna, ali dobro razgranata krošnja. Kora je u mladosti glatka, ali kasnije postaje uzdužno izbrazdana s dubljim i plićim poprečnim pukotinama. Korijenski sustav ima dobro razvijen glavni korijen koji prodire nekoliko metara duboko u tlo, s bočnim korijenjem koje se širi prema van.

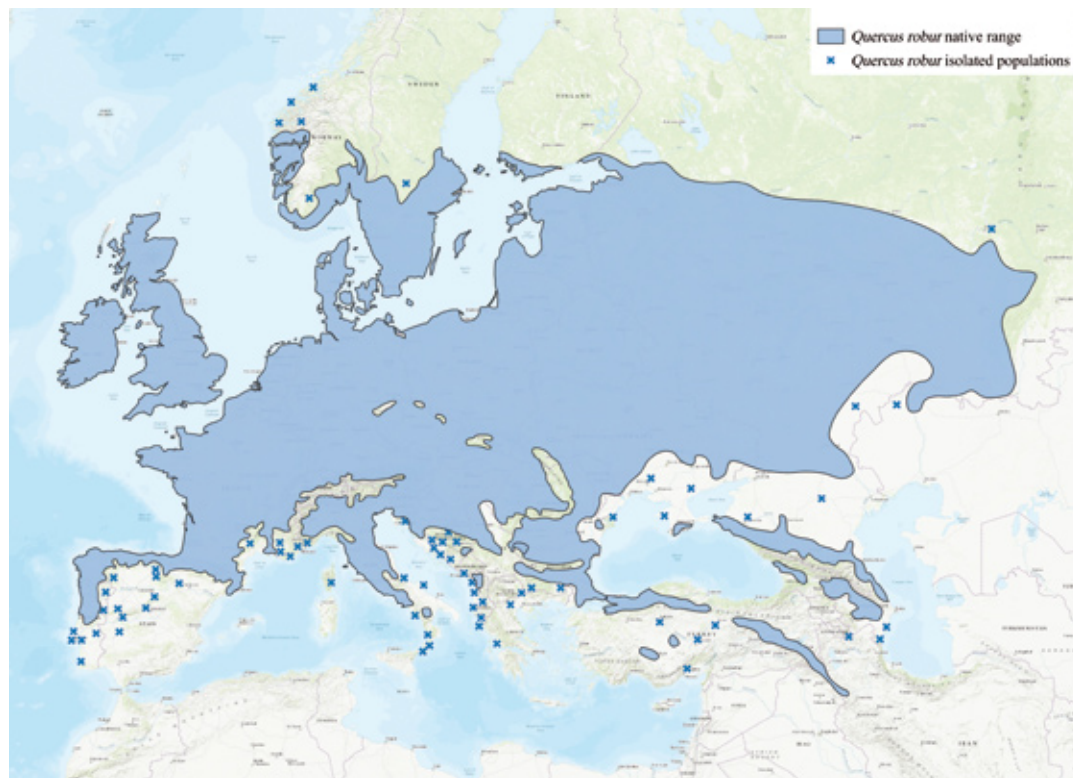
Pupoljci su prekriveni spiralno raspoređenim svijetlosmeđim ljuskama, a vršni pupoljak okružen je s nekoliko manjih bočnih pupoljaka. List je smješten na peteljku dugim 2-10 mm, a njihova veličina može varirati od 8 do 15 (20) cm dužine i od 3 do 10 cm širine. Osnova lista može biti asimetrična, zaobljena ili u obliku uha. Muški cvjetovi nalaze se u resama dugim 2-5 cm, dok se ženski cvjetovi pojavljuju pojedinačno ili u skupinama do pet cvjetova. Žir, plod hrasta, ima uzdužne pruge, svijetlo-smeđe ili žućkaste boje, te je dug 1,5-5 cm i širok 0,7-2,7 cm (Franjić i Škvorc, 2010).

Hrast lužnjak je jednodomna, listopadna vrsta. Također je anemofilna, heliofilna i mezofilna vrsta. Cvate u travnju i svibnju, a njegovi žirovi sazrijevaju i padaju na tlo u rujnu i listopadu, što je primarni način reprodukcije. Razne ptice i sisavci pomažu u širenju sjemena na veće udaljenosti (Pasta i sur., 2016).

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





Slika 5.1.1. Rasprostranjenost hrasta lužnjaka (EUFORGEN 2009. HYPERLINK "<http://www.euforgen.org>" www.euforgen.org).

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).

Hrast medunac srednje je veliko drvo koje doseže do 20 metara visine i preko 100 cm promjera (Franjić i Škvorc, 2010). Kora je debela, sivkasta i duboko izbrazdana. Pupoljci su mali i sivkasto-smeđi. Listovi su naizmjenični, jajasto-duguljasti i dugi do 10 cm. Cvjetovi su jednospolni; muški cvjetovi su u resama, dok su ženski cvjetovi pojedinačni ili u gustim skupinama. Plodovi su u grozdovima od 3 do 4 mala žira na kratkim, dlakavim stapkama i smješteni su u čašici koja pokriva 1/2 do 1/3 njihove duljine (Pasta i sur., 2016). Cvate od ožujka do svibnja, ali vrijeme cvatnje ovisi o nadmorskoj visini. Žirovi sazrijevaju u jesen iste godine i mogu odmah klijati u povoljnim uvjetima, što je značajno za prehranu životinja (Pasta i sur., 2016).

Hrast medunac je listopadna, jednodomna, anemofilna, kserotermna i kalcifilna vrsta (Franjić i Škvorc, 2010).



Slika 5.1.2. Rasprostranjenost hrasta medunca (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

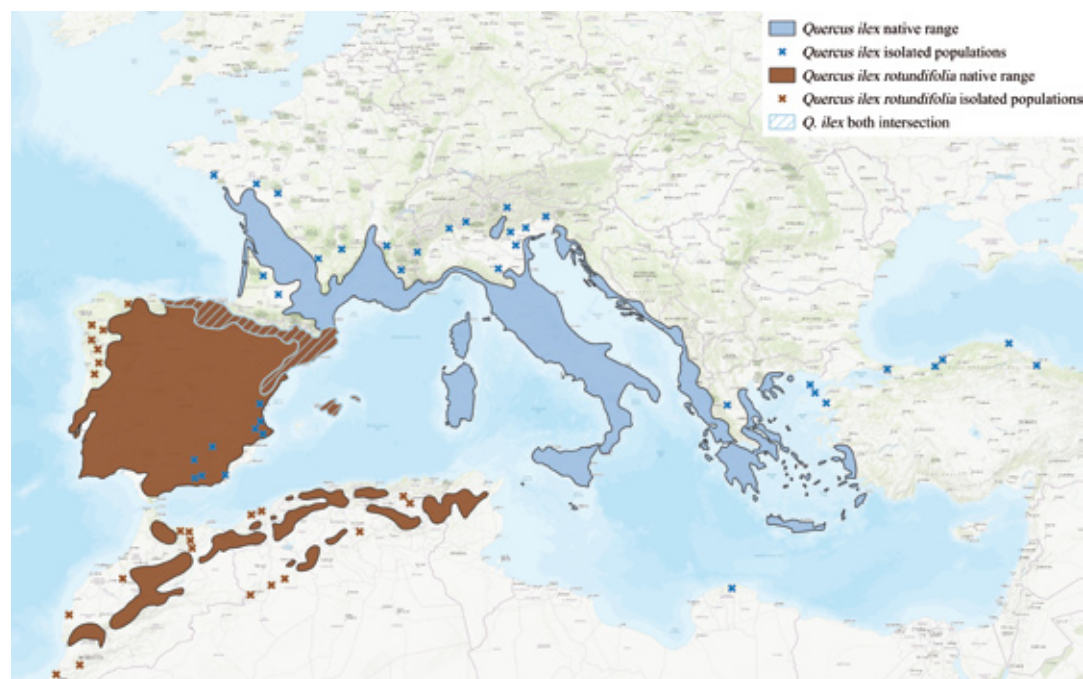
Quercus ilex L. - Biologija i rasprostranjenost

Quercus ilex L., L., crnika ili zimzelena hrast, zimzeleno je stablo ili grm širokog lišća, autohtono za mediteranski bazen, gdje predstavlja dominantnu vrstu u šumama i makijskim vegetacijama.

Crnika može narasti do 20 do 27 metara (Schirone i sur., 2019) i poznata je po svojoj otpornosti i dugovječnosti, često živeći stoljećima (Gea-Izquierdo i sur., 2011; Praciak i sur., 2013). Kora je smećkasto-crna i lagano izbrazdana u male, kvadratne, tanke pločice (Mitchell, 1974). Listovi su tamnozeleni s vunastom donjom stranom, vrlo varijabilnog oblika, obično usko ovalni ili jajasto-eliptični i dugi 3-8 cm te široki 2-4 cm (Idžojtić, 2009). Rubovi su valoviti ili sinusni, ali mogu biti nazubljeni ili u nekim slučajevima bodljikavi kod mladih stabala. Cvate u travnju i svibnju, tijekom listanja. Plod je žir koji sazrijeva u listopadu i studenom iste godine, smeđe boje, dug 2,5 cm (Idžojtić, 2013).

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 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 400-600 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 5.1.3. Rasprostranjenost hrasta crnike (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Tablica 5.1.1. Popis demonstracijskih ploha za *Quercus* spp. projekta LIFE SySTEMiC

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 šume: 5.1 Šuma hrasta lužnjaka s grabom; 8.1 Šume hrasta medunca; 9.1 Mediteranske zimzelene hrastove šume.

5.2 Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana sa stablima

Davide Travaglini¹, Cesare Garosi¹, Francesco Parisi^{2,3}, Natalija Dovč⁴, Rok Damjanič⁴, Kristina Sever⁵, Andreja Gregorič⁵

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

² Department of Bioscience and Territory, University of Molise, Italy

³ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

⁵ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

Struktura šume, mrtvo drvo i mikrostaništa povezana s drvećem inventarizirani su na šest demonstracijskih ploha (Slika 5.2.1.). Na svakoj lokaciji odabrana je stalna ploha s reprezentativnom strukturom gospodarenja šumom. Ploha je bila pravokutnog oblika i svaka strana bila je dugačka 50 m (površina od 2500 m²). Samo kada je broj stabala ciljane vrste (*Quercus* spp. s promjerom na prsnoj visini > 2,5 cm) bio < 30 stabala, uspostavljena je još jedna ploha na demonstracijskoj lokaciji, sve dok se nije postigao minimalan broj od 30 stabala.

Detaljni protokoli za terenska istraživanja i obradu podataka dostupni su na LIFE SySTEMiC web stranici: www.lifesystemic.eu/.



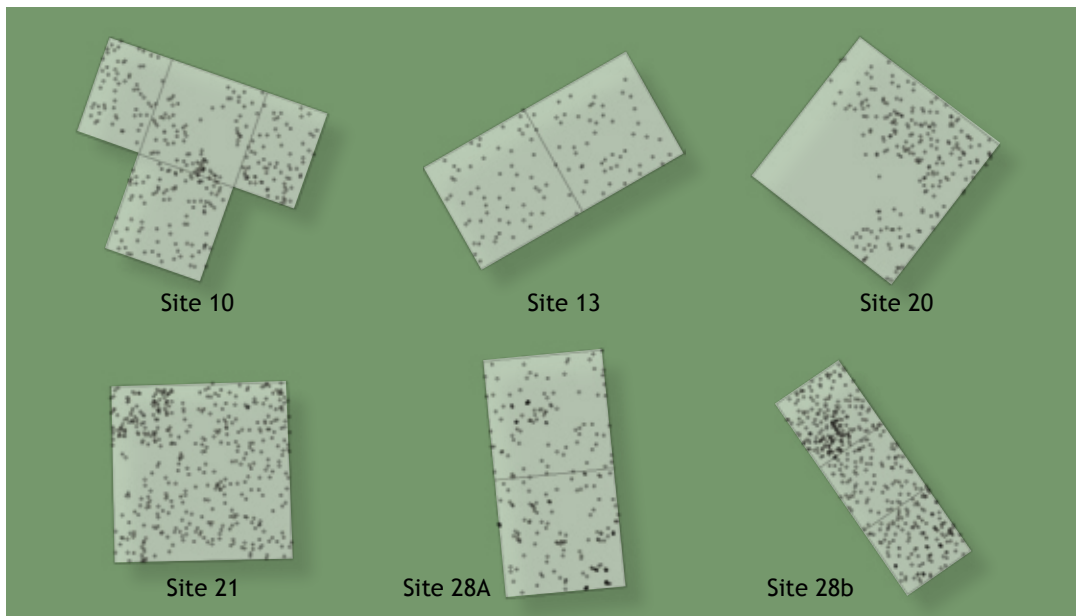
Slika 5.2.1. Demonstracijske plohe za *Quercus* spp.

Quercus robur L. bila je prevladavajuća vrsta drveća (temeljnica > 75 %) na demonstracijskoj plohi 28A, u kombinaciji s *Carpinus betulus* L. Na demonstracijskim ploham 10, 13 i 28B, *Quercus robur* L. najčešće se miješala s *Fraxinus angustifolia* Vahl. (ploha 10), *Carpinus betulus* L. (plohe 13 i 28A) i drugim sekundarnim vrstama drveća.

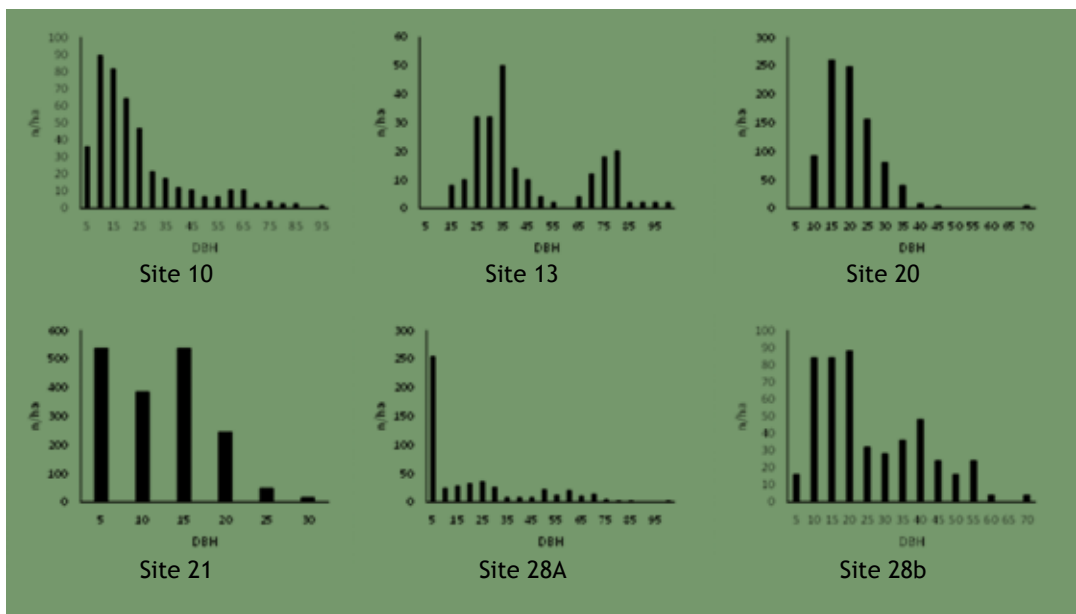
Quercus pubescens Willd. bila je prevladavajuća vrsta drveća na demonstracijskoj plohi 21, u kombinaciji s *Fraxinus ornus* L. i drugim sekundarnim vrstama drveća.

Quercus ilex L. bila je najčešća vrsta na demonstracijskoj plohi 20, u kombinaciji s *Quercus pubescens* Willd. i *Laurus nobilis* L.

Prostorna distribucija drveća na demonstracijskim ploham prikazana je na slici 5.2.2. Slika 5.2.3. prikazuje distribuciju broja stabala prema promjeru debla na svakoj plohi.



Slika 5.2.2. Prostorna distribucija drveća na demonstracijskim ploham.



Slika 5.2.3. Distribucija broja stabala prema promjeru debla na demonstracijskim ploham.

Strukturne varijable šuma prikazane su u Tablici 5.2.1. Na demonstracijskim ploham *Quercus robur* L., temeljnica se kretala između 29 m²/ha i 43 m²/ha, dok se drvena zaliha kretala između 371 m³/ha i 805 m³/ha. U gospodarenim sastojinama jednake starosti (demonstracijske plohe 13 i 28A), prosječna temeljnica iznosila je 40 m²/ha, a drvena zaliha 674 m³/ha. Negospodarene sastojine (demonstracijske plohe 1 i 28B) imale su nejednaku starosnu strukturu, prosječna temeljnica iznosila je 35 m²/ha, a drvena zaliha 506 m³/ha.

Raznolikost strukture šume, predstavljena dimenzionalnom raznolikošću stabala (standardna devijacija i koeficijent varijacije prsnog promjera i visina), bila je veća u negospodarenim sastojinama (CVDBH = 98,6 %, CVH = 58,6 %) nego u gospodarenim sastojinama jednake starosti (CVDBH = 78,4 %, CVH = 53,9 %).

Temeljica i drvena zaliha u sastojini *Quercus pubescens* Willd. (demonstracijska ploha 21) i u sastojini *Quercus ilex* L. (demonstracijska ploha 20) iznosile su redom 24 m²/ha, 93 m³/ha, 34 m²/ha i 274 m³/ha.

Tablica 5.2.1. Varijable strukture šume na demonstracijskim ploham. N = broj stabala; BA = temeljnica; V = drvena zaliha; QMD = srednje plošno stablo; MH = prosječna visina (visina stabla s prosječnom temeljnicom); DH = dominantna visina (prosječna visina 100 stabala po hektaru s najvećim promjerima u slučaju jednodobne sastojine te prosječna visina tri najviša stabla po hektaru u slučaju raznodobne sastojine); SDDBH = standardna devijacija prsnog promjera; SDH = standardna devijacija ukupnih visina stabala; CVDBH = koeficijent varijacije prsnog promjera; CVH = koeficijent varijacije ukupnih visina stabala.

Id	N	BA	V	QMD	MH	DH	SDDBH	SDH	CVDBH	CVH
	n/ha	m ² /ha	m ³ /ha	cm	m	m	cm	m	%	%
10	427	29.0	370.7	29.4	22.8	38.2	17.7	8.1	75.0	47.3
13	224	42.8	805.1	49.0	31.3	33.8	21.9	6.7	49.6	23.4
20	892	33.5	274.3	21.9			7.3	1.7	35.5	12.1
21	1764	23.9	93.4	13.1	7.4	9.8	6.1	2.2	52.5	32.8
28A	512	35.6	542.3	29.8	27.2	38.0	21.8	13.5	107.2	84.4
28B	611	41.7	641.9	29.5	22.9	42.6	22.8	9.7	122.1	69.8

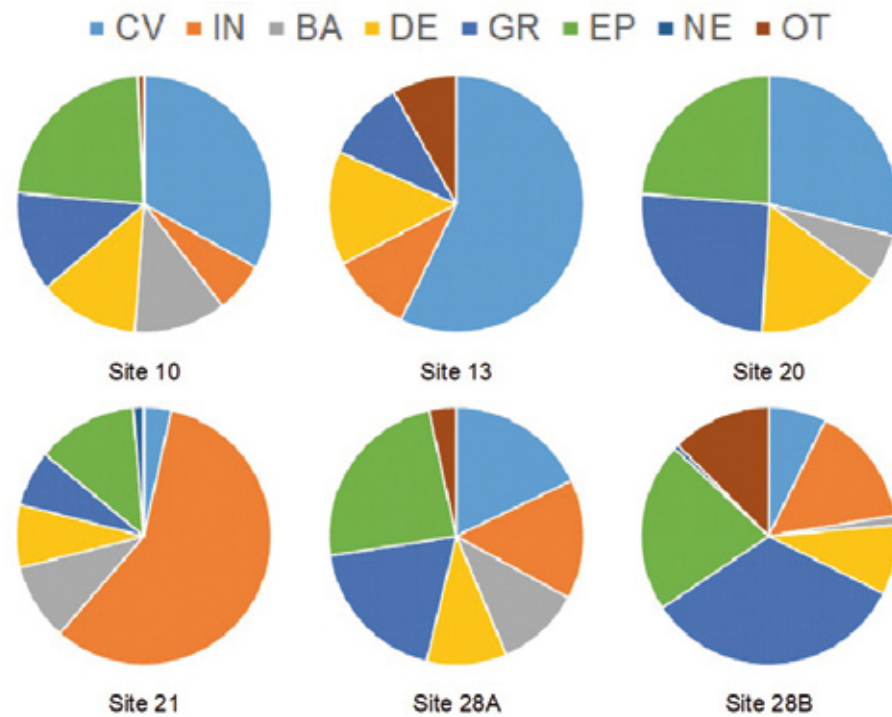
Za svaku plohu, količina mrtvog drva prikazana je u Tablici 5.2.2. Na ploham s hrastom lužnjakom (*Quercus robur* L.), ukupni volumen mrtvog drva varirao je između 13 m³/ha i 490 m³/ha. U gospodarenim jednodobnim sastojinama (plohe 13 i 28A), ukupni volumen mrtvog drva bio je 18 m³/ha (prosječna vrijednost), pri čemu su dubeća mrtva stabla činila većinu (50 %), zatim ostali ležeći dijelovi drva (27 %) i panjevi (20 %). Negospodarene sastojine (plohe 1 i 28B) imale su najveću količinu mrtvog drva (prosječno 272 m³/ha), sastavljenu od oborenih mrtvih stabala (49 %), mrtvih dubećih stabala (36 %) i ostalih ležećih dijelova drva (14 %).

Ukupni volumen mrtvog drva na plohi s hrastom meduncem (*Quercus pubescens* Willd., ploha 21) iznosio je 7 m³/ha, dok je na plohi s hrastom crnikom (*Quercus ilex* L., ploha 20) iznosio 16 m³/ha.

Tablica 5.2.2. Volumen mrtvog drva na demonstracijskim ploham.

Id	Standing dead trees (including snags) m ³ /ha	Downed dead trees m ³ /ha	Other lying dead wood pieces m ³ /ha	Stumps m ³ /ha	Total m ³ /ha
10	7.5	11.2	34.3	1.6	54.6
13	13.3	0.5	4.8	4.1	22.7
20	6.8	5.4	0.8	2.8	15.8
21	4.1	2.3	0.1	0.2	6.7
28A	4.7	0.5	5.1	3.0	13.4
28B	190.4	257.0	42.3	0.2	489.9

Pojavnost mikrostaništa povezanih s drvećem na svakoj demonstracijskoj plohi, prikazana kao postotak oblika mikrostaništa, prikazana je na Slici 4.2.4. Kao što se može vidjeti na slici, na istraživanim ploham detektirani su gotovo svi oblici mikrostaništa.



Slika 5.2.4. Mikrostaništa povezana s drvećem na demonstracijskim ploham (postotak oblika mikrostaništa) (CV = Šupljine; IN = Ozljede i rane; BA = Kora; DE = Mrtvo drvo; GR = Deformacije / oblik rasta; EP = Epifiti; NE = Gnijezda; OT = Ostalo).



Slika 5.2.5. Mrtvo drvo na demonstracijskoj plohi 10.



Slika 5.2.6. Mikrostaništa povezana s drvećem na demonstracijskoj plohi 10.

5.3 Krajobrazna genomika

Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,2}, Marko Bajc³, Katja Kavčič Sonnenschein³, Donatella Paffetti¹

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

² Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

³ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

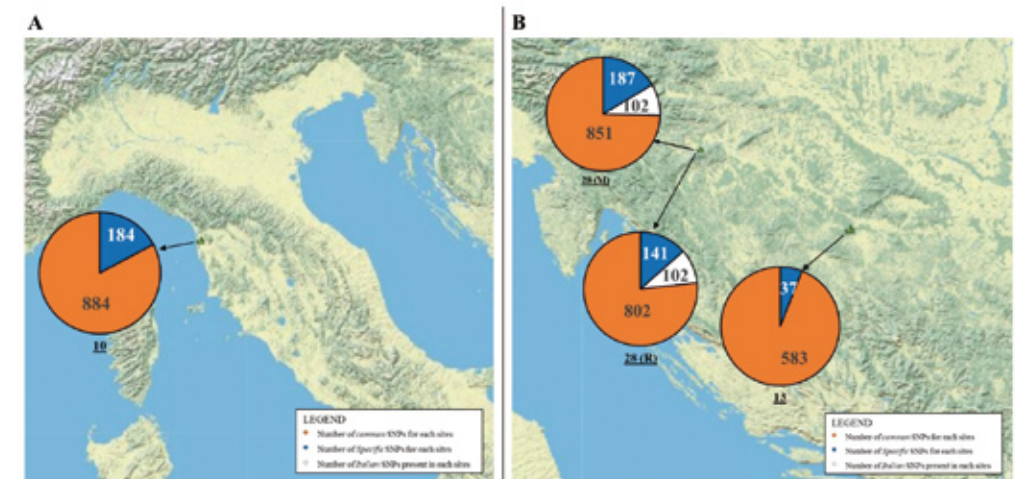
Genetska varijabilnost ključna je za prilagodbu i preživljavanje jedinki unutar populacije te je izravno povezana sa sposobnošću vrste da se prilagodi različitim okolišnim uvjetima (Balkenhol i sur., 2016). Šume, kao ekosustavi najviše pogođeni ljudskim aktivnostima, osobito su osjetljive na smanjenje genetske raznolikosti i povećanje divergencije između genetskih bazena, što na kraju utječe na preživljavanje vrsta (Wade i sur., 2003; Degen i sur., 2021). Međutim, stabla, sa svojom visokom genetskom raznolikošću, učinkovitim protokom gena i dugim životnim ciklusima, mogu ublažiti učinke fragmentacije staništa (Kramer i sur., 2008; Degen i sur., 2021). Razumijevanje dinamike i mehanizama lokalne prilagodbe u prirodnim populacijama pruža temelj za predviđanje odgovora na okolišne promjene, uključujući one povezane s globalnim klimatskim promjenama. Očekuje se da će lokalna prilagodba promijeniti frekvencije alela gena koji utječu na prilagodbu u određenim staništima (Lefèvre i sur., 2014).

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.), kao ključna komponenta europskih listopadnih šuma, suočava se s raznim izazovima zbog fragmentacije staništa, klimatskih promjena i drugih stresnih čimbenika (Ducouso i Bordacs, 2004; Degen i sur., 2021). U posljednjih nekoliko desetljeća, lužnjak se u Europi suočava s brojnim izazovima, uključujući niske razine podzemnih voda, stres zbog suše i učinke klimatskih promjena, što dovodi do smanjenja stope rasta i prirodnog obnavljanja te lošijeg zdravstvenog stanja (Kesic i sur., 2021; Degen i sur., 2021). Proučavanje genetske raznolikosti populacija hrasta lužnjaka ključno je za razumijevanje njihovih odgovora na fragmentaciju staništa, klimatske promjene i druge okolišne izazove. To znanje važno je za dizajniranje učinkovitih strategija očuvanja i osiguravanje dugoročnog preživljavanja ove važne šumske vrste (Kesic i sur., 2021). U tom kontekstu, krajobrazna genomika nastala je kao fleksibilni analitički okvir za razumijevanje interakcija između okolišne heterogenosti i adaptivne genetičke varijabilnosti u prirodnim populacijama (Balkenhol i sur., 2016). Koristili smo pristupe krajobrazne genomike kako bismo analizirali neutralnu i adaptivnu komponentu genetske raznolikosti te istaknuli moguće obrasce lokalne prilagodbe u istraživanim populacijama. Stoga smo koristili adaptivne molekularne markere (SNP-ove) povezane s bioklimatskim pokazateljima. Nuklearni mikrosatelitski markeri (nSSR-ovi) analizirani su kao mjera neutralne genetičke varijabilnosti i strukture proučavanih populacija. Polimorfizmi jednog nukleotidnog polimorfizma (SNP-ovi), genotipizirani upotrebom ciljanog reseqvenciranja kandidatnih gena, analizirani su kao mjera adaptivne genetske varijabilnosti proučavanih populacija (Slika 5.3.1.). Rezultati reseqvenciranja istraživanih ploha *Q. robur* pokazali su oko 1600 SNP-ova u 27 genomskih regija relevantnih za odgovor na jedan ili više abiotičkih stresova (rezultati prikazani u Akcija B1: Karta putanja SNP-ova za svaku istraživanu plohu).

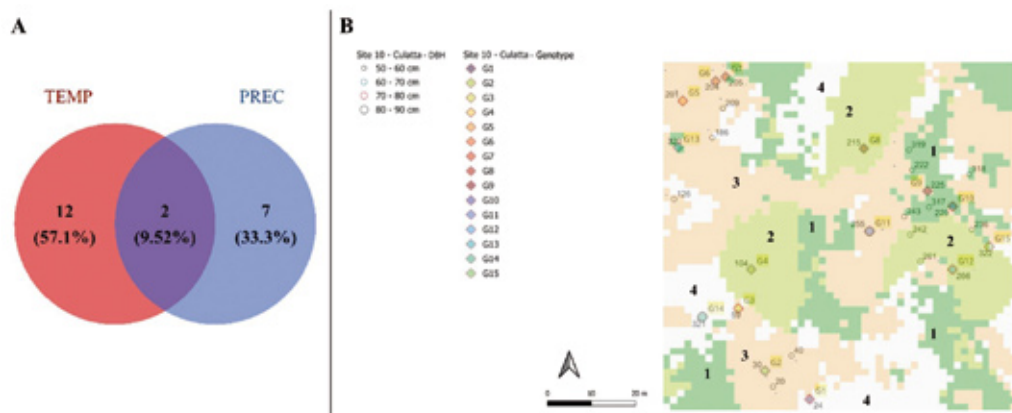
Nadalje, kao što je prikazano na Slici 5.3.1., izradili smo road-map za svaku ciljanu vrstu kako bismo promatrali njihovu prostornu distribuciju među svim analiziranim populacijama.

Istraživane plohe povezane s hrastom lužnjakom karakteriziraju dva tipa upravljanja: negospodarena šuma (demonstracijske plohe 10, 28B) i oplodne sječe (demonstracijske plohe 13, 28A). Iz Slike 5.3.1. vidljivo je da su sve plohe obilježene visokim brojem lokalno specifičnih SNP-ova. To se može smatrati ranim pokazateljem prilagodbe lokalnom okolišu. Također je zanimljiva prisutnost specifičnog skupa regionalnih SNP-ova na plohama smještenim u Sloveniji. Ova prevalencija SNP-ova može se tumačiti kao znak prilagodbe središnjem europskom/kontinentalnom bioklimatskom režimu koji karakterizira slovensku regiju i razlikuje je od mediteranske klime koja se nalazi u Italiji. Kao što je navedeno u literaturi, analiza za otkrivanje obilježja lokalne prilagodbe u prirodnim populacijama zahtijeva mnogo analitičkih koraka (Blanquart i sur., 2013). Identifikacija lokusa sa značajnim korelacijama s

bioklimatskim indikatorima pokazala se vrlo vrijednom. Za svaku plohu odabrano je dvanaest bioklimatskih pokazatelja iz postojeće literature (Flint i sur., 2013; Gugger i sur., 2016, 2021; Pluess i sur., 2016). Da bi se identificirali obrasci lokalne adaptacije istraživane vrste, proveli smo GEA analize na dvije razine: globalnoj i lokalno-specifičnoj. Globalna analiza omogućila nam je identificiranje mogućih obrazaca adaptacije na bioklimatske uvjete koji karakteriziraju raspon hrasta. Rezultati analize pokazali su postojanje četiri različita genotipa prisutna u Italiji, Hrvatskoj i Sloveniji. Dodatno, još zanimljivije otkriće bila je prisutnost povezanosti između 42 varijante alela i prosječnih vrijednosti dvanaest bioklimatskih indikatora koji su uzeti u obzir za ove analize. Prisutnost ovih veza može se tumačiti kao temeljni genotip prilagodbe hrasta rasprostranjenog u središnjoj Europi. Posebno zanimljivo bilo je otkriće nekih lokacijski specifičnih varijanti alela povezanih s određenom zemljom (Italija ili Slovenija/Hrvatska) i pojedinačnim lokacijama. Prisutnost varijanti alela povezanih s pojedinačnim lokacijama može biti povezana s lokalnim umjesto regionalnim obrascima prilagodbe. U analizi povezanosti s okolišem (EAA) važno je uzeti u obzir neutralnu genetsku strukturu (Rellstab i sur., 2015) jer neutralna genetska struktura može proizvesti obrasce slične onima očekivanim pod ne-neutralnim procesima (Excoffier i Ray, 2008; Excoffier i sur., 2009; Sillanpää, 2011). Nadalje, genetska struktura populacija analizirana je koristeći dva različita pristupa: Bayesovo grupiranje pomoću STRUCTURE softvera (Pritchard i sur., 2000) i prostorno Bayesovo grupiranje pomoću GENELAND softvera. Promatranjem svake plohe zasebno, uočili smo vrlo zanimljive rezultate vezane uz broj SNP-ova pronađenih u vezi s jednim ili više bioklimatskih indikatora. Najveći broj varijanti alela (21 SNP) pronađen je na negospodarenim plohama (demonstracijska ploha 10 - Culatta; Slika 4.3.2.). Prisutnost visokog broja SNP-ova povezanih s prilagodbom bioklimatskim indikatorima na ovim plohama može biti povezana s neutralnom genetskom strukturom koja je opažena za te lokacije (Aravanopoulos, 2018; Paffetti i sur., 2012; Stiers i sur., 2018). Naime, neka istraživanja uočila su da su ove plohe obilježene složenom neutralnom genetskom strukturom, s visokim brojem familjskih skupina. Velika varijabilnost može omogućiti veću vjerojatnost pojave novih varijanti alela koje bi mogle obogatiti prilagodbeni potencijal ove vrste na sadašnje i buduće klimatske promjene.

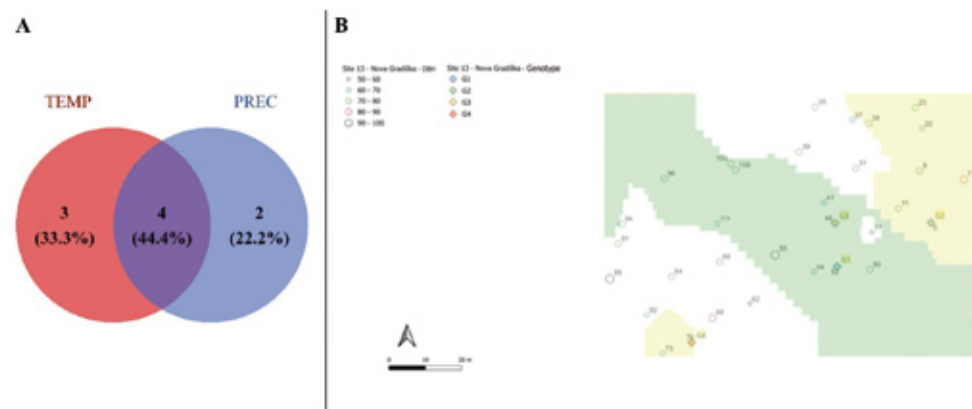


Slika 5.3.1. Prikaz raspodjele SNP-ova hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na LIFE SySTEMiC demonstracijskim plohama u Italiji (A) i Hrvatskoj i Sloveniji (B) prikazan je na slici. Slika prikazuje broj određenih specifičnih skupova SNP-ova za svaku plohu. Legenda prikazuje vrste podataka podijeljene prema bojama. Boje predstavljaju sljedeće podskupine SNP-ova: skup SNP-ova prisutan na toj lokaciji koji su zajednički za najmanje dvije istraživane plohe (narančasta); broj jedinstvenih SNP-ova specifičnih za tu plohu (bijela) i broj SNP-ova prisutnih na toj plohi, koji su specifični za zemlju podrijetla (plava). Ispod svakog grafa prikazan je identifikacijski broj odgovarajuće plohe (podebljano i podcrtano).



Slika 5.3.2. 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 crnom granicom) i sekvencirane jedinice. Potonji su označeni obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

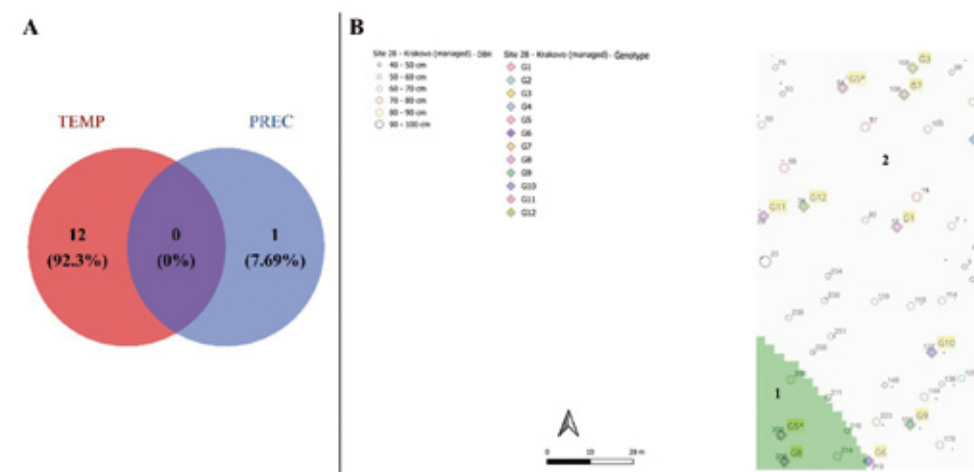
Slična situacija opažena je i za demonstracijsku plohu 13 - Nova Gradiška (Slika 5.3.3.). U ovoj sastojini izuzetaj iz regularnog gospodarenja (šumski sjemenski objekt) uočena je složena prostorna genetska struktura, iako pojednostavljena u usporedbi s plohom 10 - Culatta, uz najmanji broj SNP-ova povezanih s bioklimatskim indikatorima (9 SNP-ova). Smanjeni broj povezanih SNP-ova može se objasniti nedostatkom lokalno specifičnih SNP-ova te najmanjim brojem regionalno specifičnih SNP-ova zabilježenih za ovu plohu.



Slika 5.3.3. prikazuje rezultate LFMM analize i kartu raspodjele genotipova za demonstracijsku plohu 13 - Nova Gradiška.

(A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s temperaturno-povezanim i oborinsko-povezanim bioklimatskim pokazateljima, kao rezultat LFMM analize na toj plohi. (B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinice prisutne unutar područja istraživanja (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinice. Sekvencirane jedinice su obojene prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

Zanimljivo otkriće bio je broj alelnih varijanti povezanih s lokalnom adaptacijom pronađenih na plohi 28 - Krakovo (gospodareno) (Slika 5.3.3.). Na toj plohi, kojom se gospodari pod zastorom krošanja, pronađen je visok broj povezanih SNP-ova (13) s bioklimatskim indikatorima. Međutim, prostorna genetska struktura pojednostavljena je u odnosu na drugu situaciju (2 skupine), kako je prikazano na Slici 5.3.4. Broj opaženih alelnih varijanti može biti povezan s prijašnjim načinom gospodarenja. Ova vrsta sječe stvorena je s ciljem promicanja prirodnog pomlađivanja. Međutim, prethodna istraživanja (Aravanopoulos, 2018; Brang i sur., 2014; Paffetti i sur., 2012; Stiers i sur., 2018) pokazala su kako je prostorna genetska struktura koja karakterizira ovaj tip sastojine prilično jednostavna. Prisutnost jednostavne prostorne genetske strukture može biti povezana s nižom stopom genske rekombinacije, čime se smanjuje mogućnost stvaranja novih alelnih varijanti i potiče inbreeding. To može dovesti do visokih razina homozigotnosti i inbreedinga.



Slika 5.3.4. prikazuje rezultate LFMM analize i kartu raspodjele genotipova za demonstracijsku plohu 28A - Krakovo (gospodareno).

(A) Vennov dijagram prikazuje preklapanje između SNP-ova povezanih s temperaturno-povezanim i oborinsko-povezanim bioklimatskim pokazateljima, kao rezultat LFMM analize na toj plohi. (B) Prostorna raspodjela genotipova i prostorna organizacija u 2 skupine (rezultati GENELAND-a). Karta prikazuje jedinice prisutne unutar područja istraživanja (krug s crnom granicom) i sekvencirane jedinice. Potonji su označeni obojenim krugovima prema opaženom genotipu. Identične boje označavaju identične genotipove.

Gospodarenje visokim šumama provodi se na hrastovim šumama u Francuskoj, nekim balkanskim zemljama i Njemačkoj. U Italiji su visoke šume u zaštićenim područjima. U Francuskoj i Sloveniji, najčešće se gospodari pod zastorom krošanja ili oplodnim sječama na malim površinama. Hrast lužnjak heliofilna je i nisko konkurentna vrsta koja napreduje u nepovoljnim okruženjima gdje su konkurentne vrste manje aktivne. Dinamika obnove hrasta lužnjaka povezana je s prisutnošću guste podstojne etaže. Odsutnost ostalih vrsta pogoduje prirodnom pomlađanju hrasta lužnjaka. Manje intenzivni modeli gospodarenja, poput prebnog gospodarenja, pridonose populacijama s visokim brojem alelnih varijanti povezanih s odgovorom na bioklimatske pokazatelje. Slični rezultati opaženi su u negospodarenim sastojinama i starim šumama. Rezultati prikazani u ovom istraživanju mogli bi imati ključnu ulogu u planiranju šumsko-uzgojnih metoda, gdje poznavanje genetske varijabilnosti s adaptivne perspektive može pomoći u procesima donošenja odluka. Osim toga, to znanje također bi se moglo koristiti u anticipaciji radova asistiranog migracije. To je važno kako bi se sačuvali trenutni resursi šumskih gena (FGR), ali i kako bi se postojeća sastojina obogatila potencijalno povoljnim genotipovima.

5.4 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 prirodi bliskim šumama zbog izazova u prirodnom pomlađenju. Jedan od glavnih faktora koji pridonose ovoj neizvjesnosti jest gljivična bolest poznata kao hrastova pepelnica (*Erysiphe alphitoides*). Gljivice značajno utječu na toleranciju na sjenu i visinski rast sadnica i pomlatka, što dovodi do značajnog smanjenja njihove vitalnosti i konkurentnosti. Kao rezultat, prirodno pomlađenje pod zastorom krošanja hrasta često je ometano 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, ograničavajući njegov rast i uzrokujući 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.

Kao dio LIFE SySTEMiC projekta, na jednoj od naših demonstracijskih ploha u šumi Krakovo testirane su različite metode suzbijanja hrastove pepelnice. Šuma Krakovo najveća je nizinska poplavna šuma u Sloveniji, dominantno sastavljena od hrasta lužnjaka. Prisutnost hrastove pepelnice toliko je raširena da predstavlja jedan od ograničavajućih faktora prirodnog obnavljanja.



Slika 5.4.1. Sadnica hrasta lužnjaka zaražena hrastovom pepelnicom

Studija je imala za cilj procijeniti utjecaj gustoće sadnje i različitih koncentracija biološkog pesticida AQ-10 na infekciju pepelnicom kod sadnica. Eksperiment je proveden u ograđenom području, prema „Protokolu za eksperiment sadnjom: protokol za kontrolu hrastove pepelnice” (Slika 5.4.2., lijevo). Učinci gustoće sadnje ispitani su s dvije verzije sadnje: otprilike 1100 i 4400 sadnica po hektaru. Biološki učinci kontrole ispitani su s dvije koncentracije AQ-10: pola preporučene koncentracije, puna preporučena koncentracija te kontrolne skupine bez tretmana.

U svim vrstama tretmana procijenili smo stope smrtnosti i visinski prirast, dok su stope infekcije vizualno ocijenjene pomoću ljestvice u pet stupnjeva. 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 neprikladnom mjerom u našem slučaju jer je na početku vegetacijske sezone, tijekom prskanja biokontrole, veliki dio lisne površine već bio oštećen ili nedostajao zbog defolijatora (Slika 5.4.2., 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.

Unatoč našim obeshrabrujućim rezultatima, ostaje ključno istražiti različite metode za zaštitu od hrastove pepelnice, koje se uglavnom primjenjuju u šumskim rasadnicima. Trenutno su dostupne različite metode za suzbijanje bolesti, poput konvencionalnih fungicida na bazi limunske kiseline, antagonističkih bakterija ili gljivica te komercijalnih kemijskih sredstava poput sumpora, kalijevog bikarbonata, kalijevog fosfita i salicilne kiseline, uz napore za razvoj genetske otpornosti (Turczanski i sur., 2023).

Učinkovita kontrola pepelnice na sadnicama hrasta lužnjaka ključna je za područja obnove tijekom faza oplodnih sječa. Dobro razvijene jednogodišnje i dvogodišnje sadnice hrasta dobro podnose pepelnicu pa ona više ne ometa njihov rast (Pap i sur., 2012).

Očuvanje šuma i planovi gospodarenja šumama trebali bi uzeti u obzir utjecaj pepelnice kako bi se unaprijedilo prirodno pomlađenje, potaknulo prirodno blisko gospodarenje šumama hrasta lužnjaka i podržala povezana bioraznolikost. Preporučuje se otvaranje sklopa kako bi se olakšao daljnji razvoj pomlatka (Demeter i sur., 2021). Oplodne sječe prepoznata su kao jedna od najučinkovitijih i pouzdanih metoda za prirodno pomlađenje hrasta lužnjaka (Dobrowolska, 2008).



Slika 5.4.2. Pokusna ploha u šumi Krakovo (lijevo) i hrastov gubar (*Lymantria dispar* L.).

5.5 GenBioSilvi model

Roberta Ferrante^{1,2}, Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,3}, Davide Travaglini¹, Katja Kavčič Sonnenschein⁴, Donatella Paffetti¹

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

² NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

³ Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

⁴ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Mjerenje genetske raznolikosti ključno je za razumijevanje stanja šumskih ekosustava, kao i za podršku u očuvanju i gospodarenju šumama. Na temelju dobivenih rezultata možemo pretpostaviti da postoji visoka genetska raznolikost na svim demonstracijskim plohama, ali ne možemo zaključiti da postoji značajna genetska raznolikost između ploha, iako se razlikuju po tipovima gospodarenja. Što se tiče ploha *Q. robur*, proučavali smo dvije negospodarene sastojine i dvije plohe kojima se gospodari putem oplodnih sječa. Gospodarenje visokim stablima provodi se u hrastovim šumama u Francuskoj, nekim balkanskim zemljama i Njemačkoj. U Italiji, šume visokih stabala uglavnom su zaštićena područja. U Francuskoj i Sloveniji najčešći tip gospodarenja su oplodne sječe na velikim i malim površinama.

S obzirom na to da smo razmatrali samo negospodarene plohe i samo dvije istraživane plohe, nemamo dovoljno podataka kako bismo mogli utvrditi koji tip gospodarenja najbolje promiče genetsku raznolikost.

Analizirajući obrazac distribucije genetske raznolikosti na temelju SSR podataka, uočili smo da demonstracijska ploha 10 - Culatta (negospodareno) i demonstracijska ploha 13 - Nova Gradiška (oplodne sječe) imaju složenu i heterogenu prostornu genetsku strukturu. To se može pripisati neselektivnom parenju između blisko povezanih jedinki. Iz dobivenih rezultata za svaku istraživanu plohu, mogla se uočiti pojednostavljena prostorna genetska struktura na ostalim plohama.

Složenost zabilježena na demonstracijskim plohama 10 i 13 implicira dinamičan i prilagodljiv ekosustav sposoban odgovoriti na promjene u okolišu stvaranjem nove genetske varijabilnosti putem rekombinacije i protoka gena između podpopulacija. Osim toga, uočili smo veliki broj SNP-ova povezanih s trenutnim uvjetima okoliša na svim plohama. Prisustvo ovih alelnih varijanti povezanih s bioklimatskim indikatorima koji najbolje karakteriziraju lokalno okruženje je važno. Utvrdili smo da demonstracijska ploha 10 - Culatta (negospodarena) ima veći broj SNP-ova povezanih s bioklimatskim indikatorima.

Struktura sastojina ključni je element u procjeni ekoloških funkcija i funkcija šumskih ekosustava. Da bismo opisali bioraznolikost, promatrali smo dendrometrijske podatke kako bismo definirali strukturu šuma na analiziranim plohama. Zahvaljujući tim podacima, možemo pretpostaviti da je najbolja struktura šume ona karakteristična za višeslojnu raznodobnu šumu, uzimajući u obzir sve prisutne vrste. Kada smo analizirali samo *Q. robur* jedinke na svim plohama, uočili smo zvonoliku monostatificiranu strukturu, tipičnu za sastojine hrasta lužnjaka. Višeslojna raznodobna populacija podržava prisutnost prirodnog pomlatka zbog otvorenog sklopa koja stvara idealne uvjete za uspostavljanje prirodnog pomlatka konkurentnih vrsta. Osim toga, višeslojne šume omogućuju visoko raspršivanje peludi, promičući genetsku raznolikost. Stoga, na temelju najboljih parametara korištenih za definiranje strukture šume, uočili smo da plohe karakterizirane višeslojnom raznodobnom strukturom šume (uzimajući u obzir sve vrste u sastojinama) također pokazuju složenu prostornu genetsku strukturu i visoku genetsku raznolikost.

Mrtvo drvo ima ključne funkcionalne uloge kao što su ciklus hranjivih tvari te služi kao ugljični ponor. Prisustvo mrtvog drva može potaknuti klijanje i razvoj sadnica drvenastih vrsta, čime djeluju kao prirodni rasadnici te time doprinose obnavljanju šume.

Što se tiče količine mrtvog drva, najbolja situacija uočena je na negospodarenim plohama, npr. na demonstracijskoj plohi 28B - Rezervat Krakovo, na kojoj se nalazila veća količina mrtvog drva.

Mrtvo drvo pruža važno mikrostanište za razvoj i očuvanje vrsta važnih za šumski ekosustav. Osim mrtvog drva, uočili smo i druge indikatore povezane sa saproksilnim mikrostaništima. Najveći broj mikrostaništa zabilježen je na plohama gdje se nalaze stoljetne jedinke s deformacijama stabla i šupljinama. Učestalost epiksilnih mikrostaništa niža je od saproksilnih u svim promatranim populacijama. Epiksilna mikrostaništa koriste se kao indikatori za procjenu stanja ekosustava. Prisustvo tih mikrostaništa važan je izvor bioraznolikosti. Na temelju dobivenih rezultata, modeli gospodarenja šumama koji omogućuju složene šumske strukture karakteristične za raznodobne i višeslojne sastojine povećavaju vjerojatnost uočavanja različitih oblika mikrostaništa.

Sve istraživane plohe mješovite su sastojine hrasta lužnjaka.

Na temelju rezultata dobivenih tijekom analiza, kroz promatranje ovih indikatora može se simulirati stanje genetske raznolikosti sastojine i usmjeriti korisnike prema održivom upravljanju kako bi se očuvala i/ili povećala prisutna genetska raznolikost.

S obzirom na rezultate dobivene analizom svih indikatora bioraznolikosti, razvili smo model koji opisuje trenutni status genetskih resursa unutar ploha. Taj model razvijen je kako bi pomogao krajnjim korisnicima šume da provjere trenutni status bioraznolikosti sastojina i pružio smjernice za održivo gospodarenje. Kako bismo razvili prikladan model prilagođen korisnicima, uočili smo da je moguće identificirati skup ključnih indikatora koji su reprezentativniji. Indikatori koji su osnova modela mogu neizravno opisati stanje genetske raznolikosti sastojine, kao što se može vidjeti iz dobivenih rezultata. Osim toga, mogu se identificirati određeni indikatori koji su reprezentativniji za bioraznolikost u smislu mrtvog drva, mikrostaništa i raznolikosti vrsta. Iz tog razloga, u obrascu za korisnike odlučili smo izostaviti prikupljanje podataka o genetskoj raznolikosti i raznolikosti tla budući da su ti podaci teško uočljivi.

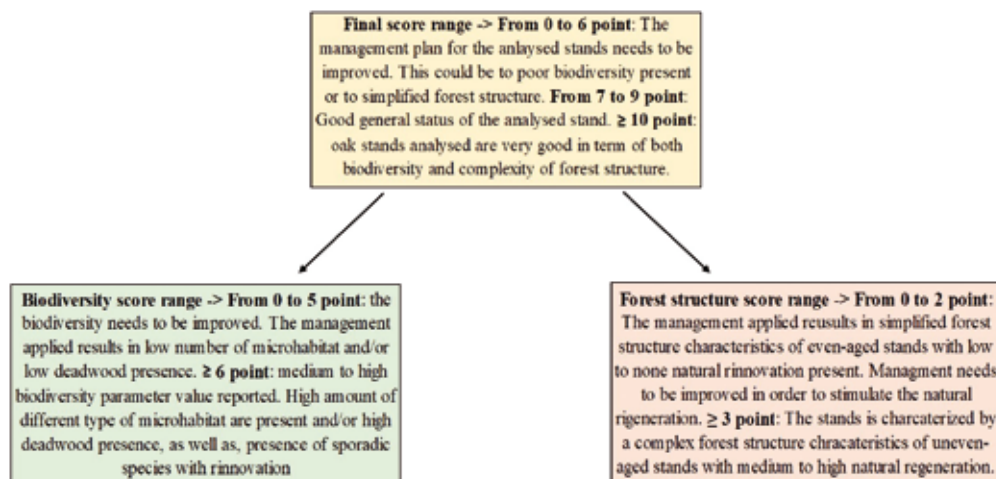
Zbog svega navedenog, razvili smo model koji uključuje promatranje nekih ključnih indikatora koji opisuju trenutni status analizirane sastojine. Odabrani indikatori prikazani su u Tablici 5.5.1.

Tablica 5.5.1. 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	

Model je uključivao izradu obrasca koji zahtijeva popunjavanje određenih parametara koje korisnici lako mogu zabilježiti na terenu. Na temelju naših rezultata, odabrali smo granične vrijednosti za svaki odabrani pokazatelj. Bilježenje stvarnih podataka za svaki pokazatelj dovesti će do ocjene temeljene na odabranim graničnim vrijednostima. Konačna ocjena povezana je s identifikacijom trenutnog stanja istraživane sastojine. Za svaku konačnu ocjenu daju se smjernice u vezi s mogućim aktivnostima koje treba poduzeti za provedbu održivog gospodarenja sastojinom (Slika 5.5.1.). Niže je naveden primjer obrasca za popunjavanje (Slika 5.5.2.), te prikaz popunjenog obrasca na temelju stvarnih podataka dobivenih s demonstracijske plohe 10 - Culatta.

Slika 5.5.1. Proces ocjenjivanja temeljen na odabranim pokazateljima.



Forest stand evaluation form				
Forest management	Real Data		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.				
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		Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Single forest structure without rinnovation) - From 4 to 6 <input type="checkbox"/> Score 2 (Simplified forest structure with rinnovation or Complex forest structure without rinnovation) - From 7 to 8 <input type="checkbox"/> Score 3 (Complex forest structure with rinnovation) - From 9 to 11 <input type="checkbox"/> Score 4 (Complex forest structure with rinnovation present in the total area) - From 12 to 13	
	DBH Standar deviation	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (DBH SD < 10) <input type="checkbox"/> Score 2 (10 ≤ DBH SD ≤ 20) <input type="checkbox"/> Score 3 (DBH SD > 20)		
	Refers to % of trees in regeneration layer (considering DBH less than 10 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rim < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rim < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rim < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rim ≥ 50)		
	Curve of DBH class distribution	<input 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)	<input type="checkbox"/> Score 1 (Mono-stratified) <input type="checkbox"/> Score 2 (Bi-stratified) <input type="checkbox"/> Score 3 (Tri or Multi-stratified)		
	Productivity indicators			Real data
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)		In managed stands, the minimum growing stock should be around 250-350 m³/ha.	
Biodiversity indicators		Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity
Deadwood indicators			<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of standing deadwood) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Total absence of deadwood) - 2 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood/ Coarse woody debris) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point
Standing deadwood (including snags) presence			<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of Coarse woody debris) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of Coarse woody debris)	
Coarse woody debris			<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of other species) <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of other species)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Monospecific site) - 2 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic species with none or low regeneration) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 3 (Sporadic species with high regeneration) - 4 to 6 point
Species diversity indicators			<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rim < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rim < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rim < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rim ≥ 50)	
Species richness (presence of individual of non target species)				Implication for stand biodiversity
% of non-target individuals in the smallest diameter class (10 cm)				
Microhabitat indicators		Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity
Biodiversity conservation is a key objective for sustainable forest management, but the multi-dimensional and multi-scale character of biodiversity renders full assessment difficult at large scale. Therefore, indicators are often used to monitor biodiversity. The quantity and quality of deadwood are commonly used in nature conservation as indicators of forest biodiversity. Additionally, the presence of species different from the target species as well as the presence of specific type of microhabitat are also used to monitor biodiversity in forest stand.				

% of individuals with cavities	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)	Results from annotated parameters <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic to consistent presence of microhabita) - 4 to 6 point <input type="checkbox"/> Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point
% of individuals with injuries and wound	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)	
% of individuals with deformation	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)	
Final Score: 1		

Slika 5.5.2. Primjer obrasca za popunjavanje.

Forest population assessment sheet - Simulation Site 10 (Culatta)			
Forest management	Real Data	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
Structural indicator DBH Standar deviation Refers to % of trees in regeneration layer (considering DBH less than 10 cm) Curve of DBH class distribution N° of strata (stratification of population)	14,31 0 Bell-shaped Bi-stratified	<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) <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Rinn < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rinn < 30) <input type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rinn < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rinn ≥ 50) <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Bell-shaped) <input type="checkbox"/> Score 2 (Multi-modal) <input type="checkbox"/> Score 3 (J-shaped) <input type="checkbox"/> Score 1 (Mono-stratified) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Bi-stratified) <input type="checkbox"/> Score 3 (Tri or Multi-stratified)	Results from annotated parameters <input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (Simplified forest structure without rinnovation) - From 4 to 6 <input type="checkbox"/> Score 2 (Simplified forest structure with rinnovation or Complex forest structure without rinnovation) - From 7 to 8 <input type="checkbox"/> Score 3 (Complex forest structure with rinnovation) - From 9 to 11 <input type="checkbox"/> Score 4 (Complex forest structure with rinnovation present in the total area) - From 12 to 13
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.	367,5 m ³ /ha	In managed stands, the minimum growing stock should be around 250-350 m ³ /ha.	
Biodiversity indicators	Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity
Deadwood indicators Standing deadwood (including snags) presence Coarse woody debris	Presence Presence	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of standing deadwood) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood) <input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of Coarse woody debris) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of Coarse woody debris)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Total absence of deadwood) - 2 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Presence of standing deadwood/ Coarse woody debris) - 3 point <input checked="" type="checkbox"/> Score 3 (Presence of various type of deadwood) - 4 point

Biodiversity conservation is a key objective for sustainable forest management, but the multi-dimensional and multi-scale character of biodiversity renders full assessment difficult at large scale. Therefore, indicators are often used to monitor biodiversity. The quantity and quality of deadwood are commonly used in nature conservation as indicators of forest biodiversity. Additionally, the presence of species different from the target species as well as the presence of specific type of microhabitat are also used to monitor biodiversity in forest stand.	Species richness (presence of individual of non-target species)	Presence	<input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of other species) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Presence of other species)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Monospecific site) - 2 point <input type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic species with none or low regeneration) - 3 point <input checked="" type="checkbox"/> Score 3 (Sporadic species with high regeneration) - 4 to 6 point
	% of non-target individuals in the smallest diametric class (10 cm)	38,43	<input type="checkbox"/> Score 1 (% Rinn < 15) <input type="checkbox"/> Score 2 (15 ≤ % Rinn < 30) <input checked="" type="checkbox"/> Score 3 (30 ≤ % Rinn < 50) <input type="checkbox"/> Score 4 (% Rinn ≥ 50)	
	Microhabitat indicators	Real data	Indicator-specific score	Implication for stand biodiversity
	% of individuals with cavities	29,8	<input type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)	Results from annotated parameters <input type="checkbox"/> Score 1 (Absence of low number of microhabitat) - 3 point <input checked="" type="checkbox"/> Score 2 (Sporadic to consistent presence of microhabita) - 4 to 6 point <input type="checkbox"/> Score 3 (High presence of microhabitat) - 7 to 9 point
	% of individuals with injuries and wound	7,14	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. ≤ 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)	
% of individuals with deformation	0,62	<input checked="" type="checkbox"/> Score 1 (% Ind. ≤ 15%) <input type="checkbox"/> Score 2 (15% < % Ind. > 50%) <input type="checkbox"/> Score 3 (% Ind. > 50%)		
Final Score: 9				

Slika 5.5.3. Popunjeni obrazac na temelju stvarnih podataka s demonstracijske plohe 10 - Culatta.

5.6 Preporuke za održivo gospodarenje šumama

Andrej Breznikar¹, Davide Travaglini²

¹ Slovenia Forest Service, Slovenia

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

Pregled šumsko-uzgojnih oblika

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

Hrastovi su široko rasprostranjeni u Europi, od sjeverne Španjolske do južne Skandinavije te od Irske do istočne Europe. Također, hrastovi su blisko povezani, mogu se miješati, konkurirati jedni drugima i prirodno hibridizirati. Hrastovi su stoga među najraznolikijim vrstama šumskog drveća. Visoke razine raznolikosti najvjerojatnije su rezultat održavanja velikih populacija, preklapanja ekoloških niša, dalekosežnog protoka gena i njihove plodnosti (Ducousso i Bordacs, 2004). Ljudski utjecaj na populacije hrasta vrlo je velik, a hrastovim šumama većinom se gospodari na različite načine. Analizirane sastojine hrasta u okviru projekta LIFE SySTEMiC većinom su jednodobne, negospodarene ili gospodarene oplodnim sječama na malim i velikim površinama. Šumsko-uzgojni oblici koji su najprikladniji za šume lužnjaka su nepravilna oplodna sječa na površinama između 0,5 i 2 ha ili jednolična oplodna sječa, koja zadovoljava potrebe hrasta za svjetlom. Šumsko-uzgojni oblici koji se rijetko koriste u tom području su intenzivno gospodarenje jednodobnim šumama, dok je oblik panjača uobičajen u Italiji, posebno u šumama medunca i crnike (Ciancio i Nocentini, 2004). Osim toga, napuštanje bilo

kakvog gospodarenja u šumama mediteranskog hrasta na strmim padinama s ograničenom pristupačnošću može se također primjenjivati.

Šumsko-uzgojne karakteristike hrasta

Održivo gospodarenje šumama proučavanih hrastova (*Q. robur*, *Q. pubescens*, *Q. ilex*) mora se prilagoditi pojedinačnim karakteristikama šumskih staništa i glavnim istraživanim smjernicama razvoja šuma. Karakteristike staništa hrasta mogu se mijenjati na kratkim udaljenostima. Ako želimo očuvati te karakteristike i maksimalno iskoristiti njihove specifičnosti, trebaju se koristiti prikladne mješovite sastojine i strukture šuma. Usmjereni razvoj sastojina hrasta prilagođenih pojedinačnim uvjetima staništa i sastojina zahtijeva veliku fleksibilnost u odabiru odgovarajućeg modela gospodarenja šumama i pažljivo planiranje mjera. Vrste hrasta razlikuju se morfološki i po zahtjevima prema uvjetima staništa (Diaci, 2006). Sve istraživane vrste za brzi visinski prirast u mladosti trebaju velike količine svjetla. Na boljim staništima bez utjecaja dominantnih stabala dosežu kulminaciju prirasta već između 30. i 45. godine života. Nakon toga, prirast volumena se smanjuje, ali ne rapidno, tako da je prosječni prirast volumena 200 godina starih sastojina još uvijek gotovo najviši (Diaci, 2006). Posebno u mladim fazama hrastovi izvršno reagiraju na šumsko-uzgojne mjere koje imaju važan utjecaj na budući oblik stabla i strukturu sastojina.

Prijetnje

S obzirom na sadašnje prijetnje i rizike u hrastovim šumama s povećanjem prosječnih godišnjih temperatura, staništa hrasta postupno će postati suša, što će dovesti do smanjenja odgovarajućeg staništa za hrastove, uglavnom za *Quercus robur* i *Quercus petraea* (ZGS, 2021). Zbog složenog djelovanja biotičkih (bolesti, štetnici) i abiotičkih čimbenika (suša), udio drvne zalihe u starijim razvojnim fazama također je djelomično ugrožen. S povećanjem sušnih perioda, rizik od požara u hrastovim šumama također će se povećati.

Dodavanje crnogorice u hrastove sastojine nakon oštećenja postojećih sastojina (crni i bijeli bor) također mijenja ranjivost tih šuma. Ključni problemi očuvanja u hrastovim šumama su gljivične bolesti (hrastova pepelnica) i štetnici, brzi razvoj neautohtonih invazivnih biljnih vrsta i smanjenje mogućnosti za prirodno pomlađenje hrasta. Sastojine hrasta lužnjaka, zbog degradacije, promjena u sastavu vrsta drveća i promjena u režimu temperature i vode, suočavaju se s nedostatkom prikladnih sastojina za proizvodnju sjemena ili s izostankom punog uroda sjemena. Kao rezultat pojave neautohtonih invazivnih biljnih vrsta, svojstva tla će se promijeniti i pogoršati. Prisustvo bolesti i štetnika uzrokuje neplanirane mjere koje mogu značajno poremetiti planiranu dinamiku obnove hrastovih šuma (ZGS, 2021).

Velika prijetnja genetskoj raznolikosti hrasta također je uvođenje egzotičnih genotipova putem plantaža. Hrastovi imaju vrlo velike ekološke niše i ponekad zauzimaju ekstremna staništa (stjenovite padine u planinama, pješčane dine, slana tla, tresetišta, garig). Te populacije u velikom su riziku od nestanka jer je broj jedinki nizak, staništa su nestabilna a ljudski utjecaj često je značajan (Bajc i sur., 2020).

Prirodno pomlađenje također može biti problem za hrastove. Zbog neuravnoteženog omjera razvojnih faza, prevelikog broja divljači ili promjena u režimu podzemnih voda, prirodno pomlađenje je ograničeno. U mnogim slučajevima pomladak odumire nekoliko godina nakon klijanja (ZGS, 2021).

Štetnici i patogeni također predstavljaju ozbiljnu prijetnju. Hrastova pepelnica (*Microsphaera alphitoides*) smatra se jednim od najčešćih patogena hrasta. Akutno propadanje hrasta je novi sindrom koji prvenstveno pogađa lužnjak i kitnjak te je ovaj problem postao sve više vidljiv posljednjih godina. Defolijacija prvih razvijenih listova hrasta česta je kod nekoliko gusjenica, npr. *Tortrix viridana*, *Lymantria dispar*, *Operophtera brumata* i *Thaumetopoea processionea*, hrastovog moljca koji se proširio iz južne Europe prema sjeveru (Bajc i sur., 2020).

Mediteranski hrastovi suočavaju se s dodatnim prijetnjama u prekomjernoj eksploataciji i prekomjernoj ispaši, klimatskim promjenama, neselektivnim sječama, nepravilnim gospodarenjem (panjače ili čiste sječe na velikim površinama, gdje pomlađenje ne može uspjeti) i intenzivnom ispašom (Bordacs i sur., 2019).

Procjena potencijala prilagodbe hrastovih šuma klimatskim promjenama

Potencijal prilagodbe klimatskim promjenama šuma hrasta lužnjaka prilično je nizak zbog mnogih prijetnji hrastu lužnjaku kao ključnoj vrsti. U šumama hrasta medunca i hrasta crnike, potencijal prilagodbe klimatskim promjenama veći je budući da su te vrste drveća otpornije na sušu. Te šume također se sastoje od vrsta drveća koje su sposobne za dobro pomlađenje iz panjeva, što je posebno korisno u slučaju različitih katastrofa (požara), ali takve šume nisu zanimljive za ekonomsku eksploataciju, što smanjuje stvarni opseg aktivnog gospodarenja. Unatoč tome, ima smisla poboljšati njihovu prilagodljivost klimatskim promjenama, prvenstveno unaprjeđenjem proizvodnje sjemena i postupnom transformacijom panjača (Bordacs i sur., 2019).

Pomlađenje hrastovih sastojina

Obnova očuvanih sastojina hrasta lužnjaka trebala bi se obaviti nakon godine dobrog uroda hrasta. Sastojine se obnavljaju prvenstveno prirodno, a gdje je potrebno također sadnjom sadnica i sjetvom prikupljenog sjemena. Pri pripremi sastojine hrasta za pomlađenje važno je ne uklanjati potpuno podstojnu etažu zbog povoljnog učinka na mikroklimu, zaštite sadnica i sprečavanja intenzivnog rasta korova i grmlja (ZGS, 2021).

U procesu pomlađenja zatim slijedi serija od dva ili tri sjeka: pripremni sjek s 30 % intenziteta, napadni sjek s 50 % i dovršni sjek. Sječa se mora obaviti prilično brzo, u intervalu od 3 do 5 godina. Podstojna etaža trebala bi se potpuno ukloniti unutar dvije do tri godine nakon sjetve. Važan čimbenik uspješnosti pomlađivanja šuma je smjer otvaranja sastojine. Otvaranje s juga pruža povoljne svjetlosne uvjete za rast i rezultira većom gustoćom pomlatka. Međutim, nisu sve sastojine pogodne za prirodno pomlađenje. Sastojine moraju biti visoke kvalitete, s razvijenim krošnjama,



Slika 5.6.1. Početak pomlađenja sastojina hrasta počinje nakon godine dobrog uroda.

što osigurava bolju proizvodnju sjemenskog materijala i prijenos poželjnih genetskih svojstava na pomladak.

Pomlađenje sadnjom ili sjetvom nužno je u nekoliko situacija:

- kad su sjemenska stabla djelomično ili potpuno odsutna ili su loše kvalitete,
- kad konkurentna vegetacija pokazuje snažne tendencije razvoja,
- u sastojinama oštećenim prirodnim katastrofama,
- u šumama gdje se obavlja konverzija,
- kad prirodno pomlađenjenije uspješno zbog strukture sastojine, mikroklima ili drugih svojstava.

Gustoća sadnje trebala bi se kretati između 3.000 i 5.000 sadnica po hektaru. Sjetva također može biti opcija, pri čemu je optimalna količina žira za sjetvu između 400 i 800 kg po hektaru, ovisno o metodi sjetve (rasipanje sjemena ili sjetva sjemena pod motiku) (ZGS, 2021).

Njega i zaštita hrastovih sastojina

Najprikladnije mjere njege i zaštite sažete utemeljene su na smjernicama održivog gospodarenja šumama u Sloveniji (ZGS, 2021) i rezultatima projekta LIFE SySTEMiC. U sastojinama hrasta lužnjaka, osiguravamo mogućnost brzog razvoja snažnih krošanja hrastova, a time i otpornost šuma na štetne abiotičke utjecaje (vjetar, snijeg) s pravilnom primjenom mjera njege (rano i intenzivno prorjeđivanje).

Intenzivna njega mladih stabala neophodna je za osiguranje pravilne strukture buduće šume. U prirodnom mladiku potrebno je dati prioritet uravnoteženju smjese vrsta drveća. U početnoj fazi najveći problem predstavlja sloj podstojnih stabala koji raste brže od hrastovih sastojina, stoga ga treba uklanjati na godišnjoj razini sve dok hrast više ne bude ugrožen. U slučaju umjetno obnavljanih sastojina hrasta, zbog brzog rasta zeljastog i grmolikog bilja, potrebna je redovita i pravovremena njega, dva puta godišnje, ovisno o uvjetima na terenu. Ako je gubitak veći od 30 %, provodimo dodatnu sadnju hrastovih sadnica i ostalih plemenitih listača (planinski javor, divlja trešnja) (ZGS, 2021). U fazi pomlatka bitno je kontrolirati negativni učinak hrastove pepelnice jer predstavlja jedan od ograničavajućih faktora prirodne regeneracije.

Njega pomlatka obično se provodi jednom, nakon što su pozitivne kvalitete pojedinih mladih stabala



Slika 5.6.2. Redovite mjere njege pomlatka bitne su zbog suzbijanja konkurencije pomlatka hrasta s korovima i grmljem.

već očite. Sa selektivnom sječom treba početi rano. Snažna sječa hrastovih sastojina osigurava mogućnost brzog razvoja jakih krošnji i veće stabilnosti. Sječa hrastovih stabala u stupnju mladika nužna je kako bi se osigurao dovoljno velik rastući prostor za odabrana stabla. Njihove krošnje trebaju biti dovoljno široke.

Također, moramo nastojati sačuvati podstojni sloj u kojem pridolaze i ostale vrste drveća. U principu, u početku se ne rješavamo podstojnog sloja drveća, ali ako to učinimo, potičemo najkvalitetnije primjerke na rast selektivnom sječom.

U odraslim sastojinama, sječa ima smisla samo u mladim dijelovima sastojine (12-16 % drvne zalihe). Podstojni sloj u sastojini mora biti zaštićen sve do početka završnog sjeka, odnosno prije uvođenja sastojine u obnovu.

Na manje produktivnim staništima medunca i crnike, uglavnom se provode minimalne mjere njege ili ih uopće nema. Mjere bi trebale biti usmjerene prvenstveno na hrastove i borove sastojine. Na plodnijim staništima mjere njege u mladima provode se samo jednom tijekom razdoblja mladika.

Skraćivanje proizvodnog razdoblja ima smisla radi održavanja vitalnosti šumskih sastojina i postizanja ekonomskih učinaka u sastojinama gdje se promijenila kompozicija stabala ili gdje je zdravstveno stanje hrasta loše, a stabla odumiru.

Prilagodba hrastovih sastojina klimatskim promjenama

Genetski resursi hrasta ugroženi su ne samo gubitkom prirodnih ekosustava i ograničenjem izvora sjemena, već i utjecajem zagađenja zraka tijekom nekoliko desetljeća i dugoročnim klimatskim promjenama (Bajc i sur., 2020).

Sustav pomlađenjašuma u hrastovim sastojinama mora biti prilagođen sve češćim prirodnim katastrofama te utvrđivanju prioriteta za djelovanje nakon prirodnih katastrofa i modela obnove oštećenih šuma.

Veličina obnavljanog područja mora biti manja jer to osigurava mozaičnu strukturu budućih sastojina i povećava njihovu otpornost. Ipak, ne smijemo zanemariti zahtjeve za svjetlom/rastom pojedinih vrsta drveća i suziti raznolikost vrsta budućeg pomlatka.

Odnos između prirodnog pomlađenja i pomlađenjasadnjom treba pratiti druge strategije, posebice u pogledu osiguranja stalne pokrivenosti šumskih površina i osiguranja genetske raznolikosti mlade šume. Gdje je moguće, koristi se prirodno pomlađenje, jer se na taj način manje narušava evolucijski proces. 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 sama sebe obnavljati.

Glavni cilj i dalje ostaje pomlađivanje pod zastorom krošanja i neizravna njega uz pomoć zrelih sastojina. Razdoblja pomlađivanja treba kritički ponovno procijeniti i skratiti gdje god je to moguće ili produljiti u određenim šumskim sastojinama.

S odgovarajućom, dovoljno čestom i dovoljno intenzivnom njegom hrastovih sastojina možemo utjecati na poboljšanje strukture sastojina i tako smanjiti osjetljivost na prirodne poremećaje te smanjiti utjecaj negativnih biotičkih i abiotičkih čimbenika. Također je potrebno prilagoditi (uglavnom smanjiti) gustoću šumskih sastojina i osigurati veću heterogenost strukture sastojina (više vertikalnih slojeva) te održavati raznovrsnu vertikalnu, horizontalnu i dobnu strukturu šumskih sastojina.

Klasična selektivna sječa u pogodnim uvjetima sastojina zamijenjena je situacijskom sječom, što je znatno manje rizičan način njege rastućih sastojina. S povećanjem učestalosti i težine ozljeda, povećava se i rizik od oštećenja sastojina, čime se devalviraju visoki ulozi u mjerama njege (ZGS, 2021).

REFERENCE

- Abies (2016). The 15th international conference on ecology and silviculture of fir. Bringing knowledge on Fir species together. Conference proceedings, 56 p. http://www.iufro.org/download/file/26518/1404/10109-abies2016-sapporo-abstracts_pdf/.
- Alía R., Martín S. (2003). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Maritime pine (*Pinus pinaster*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 p.
- Bajc M., Aravanopoulos F., Westergren M., Fussi B., Kavaliauskas D., Alizoti P., Kiourtsis F., in Kraigher Hojka (ur.) (2020). Priručnik za gozdni genetski monitoring. Gozdarski inštitut Slovenije, založba Silva Slovenica. Ljubljana.
- Baldrian P. (2017). Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics, FEMS Microbiology Reviews, 41(2): 109-130.
- Barbeito I., Pardos M., Calama R., Cañellas I. (2008). Effect of stand structure on Stone pine (*Pinus pinea* L.) regeneration dynamics. Forestry, 81: 617-629. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpn037>.
- 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.
- Bordács S., Zhelev P., Schirone B. (2019). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of pubescent oak (*Quercus pubescens*). European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), European Forest Institute, 6 p.
- 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.
- Burns R.M., Honkala B.H. (1990). Silvics of North America: 2. Hardwoods.
- Bussotti F. (1996). *Pinus pinea*. In Schütt P, Schuck HJ, Aas G, Lang UM (eds), Enzyklopaedie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Ecomed Verlagsgesellschaft. Landsberg
- Calama R., Manso R., Lucas-Borja M.E., Espelta J.M., Piqué M., Bravo F., Del Peso C., Pardos M. (2017). Natural regeneration in Iberian pines: A review of dynamic processes and proposals for management. Forest Systems, 26: eR02S. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11255>.
- Calama R., Puértolas J., Madrigal G., Pardos M. (2013). Modeling the environmental response of leaf net photosynthesis in *Pinus pinea* L. natural regeneration. Ecological Modelling, 251: 9- 21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.11.029>.
- Carrer, M., Nola, P., Motta, R., & Urbinati, C. (2010). Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. Oikos, 119(9), 1515-1525. <http://www.jstor.org/stable/20779075>
- Čater M., Diaci J. (2020). Forest management - silvicultural systems. In: Forests and forestry in Slovenia. Ed: Čater M., Železnik P., Slovenian Forestry Institute, The Silva Slovenica Publishing Centre, 120 p.
- Caudullo G., CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Fagus_sylvatica_range.svg.
- 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., Cutini A., Mercurio R., Veracini A. (1986) - Sulla struttura della pineta di pino dome-

REFERENCE

- stico di Alberese. Annali dell'Istituto Sperimentale di Selvicoltura, XVII: 171-236.
- Ciancio O., Iovino F., Menguzzato A., Nicolaci A., Nocentini S. (2006). Structure and growth of a small group selection forest of Calabrian pine in Southern Italy: a hypothesis for continuous cover forestry based on traditional silviculture. Forest Ecology and Management 224: 229-234. - doi: 10.1016/j.foreco.2005.12.057
- Ciancio O., Travaglini D., Bianchi L., Mariotti B. (2009) - La gestione delle pinete litoranee di pino domestico: il caso dei "Tomboli di Cecina". In: Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), p. 156-162.
- Critchfield W.B., Little E.L. (1966). Geographic distribution of the pines of the world (No. 991). US Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C.
- D'Aprile D., Vacchiano G., Meloni F., Garbarino M., Motta R., Ducolim V., Partel P. (2020). Effects of Twenty Years of Ungulate Browsing on Forest Regeneration at Paneveggio Reserve, Italy. Forests, 11: 612. doi:10.3390/f11060612
- Del Perugia B., Travaglini D., Bottalico F., Nocentini S., Rossi P., Salbitano F., Sanesi G., 2017 - Are Italian stone pine forests (*Pinus pinea* L.) an endangered coastal landscape? A case study in Tuscany (Central Italy). L'Italia Forestale e Montana, 72 (2): 103-121. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2017.2.01>.
- Demesure B., Comps B., Petit R.J. (1996). Chloroplast DNA phylogeography of the common beech (*Fagus sylvatica*) in Europe. Evolution (N.Y). 50, 2515. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1996.tb03638.x>
- 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.
- Diaci J., Rožemberger D., Fidej G., Arnič D. (2021). Sodobna izhodišča redčenja: povezovanje načel izbiralnega redčenja, situacijskega redčenja, redčenja šopov in skupin ter redčenja spremenljive gostote. Gozdarski vestnik, 79, št. 9: 299-311.
- Didion M., Kupferschmid A.D., Bugmann H. (2009). Long-term effects of ungulate browsing on forest composition and structure. Forest Ecology and Management, 258: S44 - S55. doi: 10.1016/j.foreco.2009.06.006
- Ducousso 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.
- Eckenwalder J.E. (2009). Conifers of the World: The Complete Reference.
- Farjon A. (2010). A handbook of the world's conifers. Brill, e-ISBN : 9789047430629.
- Farjon A. (2017). A Handbook of the World's Conifers Vols 1 -2. Brill, Leiden & Boston, 2nd ed.
- Farjon A., Filer D. (2013). An atlas of the world's conifers: an analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status. Brill. Leiden & Boston.
- Finlay R.D. (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. Journal of Experimental Botany, 59: 1115-1126.

REFERENCE

- Forest management by mimicking nature, How to conserve forests by using them. 2014. Slovenia Forest Service: 27 p.
- Forgenius (2023). Deliverable D4.3: Synthetic index of genome-wide diversity and other adaptive potential estimators for a subset of the selected GCUs/species.
- Franjić, J.; Škvorc, Ž.; Šumsko drveće i grmlje Hrvatske. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet, 2010. 432.
- Garonna A.P., Foscarini A., Russo E., Jesu G., Somma S., Cascone P., Guerrieri E. (2018). The spread of the non-native pine tortoise scale *Toumeyella parvicornis* (Hemiptera: Coccidae) in Europe: a major threat to *Pinus pinea* in Southern Italy. *iForest* 11: 628-634. doi: 10.3832/ifer2864-011.
- Gaussen H., Webb D.A., Heywood H.V. (1993) Pinus. In: Tutin G.H., Heywood H.V., Burges V.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A. (Eds.), *Flora Europaea*, vol. 1. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 40-44.
- Gea-Izquierdo G., Cherubini P., Cañellas I. (2011). Tree-rings reflect the impact of climate change on *Quercus ilex* L. along a temperature gradient in Spain over the last 100 years. *Forest Ecology and Management*, 262(9): 1807-1816.
- GenTree (2020). Deliverable D1.5: Report characterizing the genetic diversity of the European Conservation Network and monitoring strategies.
- Gianinazzi-Pearson V. (1984). Host-Fungus Specificity, Recognition and Compatibility in Mycorrhizae. In: "Genes Involved in Microbe-Plant Interactions. Plant Gene Research" (Verma D.P.S., Hohn, T. eds.). Springer, Vienna.
- Gonthier P., Faccoli M., Garbelotto M., Capretti P. (2015). Invasioni biologiche ed effetti sulla biodiversità forestale. In: (Orazio Ciancio) *Proceedings of the Second International Congress of Silviculture, Designing the future of the forestry sector* (Vol. 1). Florence, November 26th - 29th 2014. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 155-160.
- Dobrowolska D. (2008). Effect of stand density on oak regeneration in flood plain forests in lower Silesia, Poland. *Forestry*, 81: 511-523. doi: 10.1093/forestry/cpn025
- Hafner B., Černe B., Stergar M., Poljanec A. (2020). Analiza stanja poškodovanosti gozdnega mladja od rastlinojede parkljaste divjadi v letih 2010, 2014, 2017 in 2020/Analysis of the state of damage to forest natural regeneration by ungulate herbivores in years 2010, 2014, 2017 and 2020. *Zavod za gozdove Slovenije*, 104 p.
- Hazard C., Kruitbos L., Davidson H., Mbow F.T., Taylor A.F.S., Johnson D. (2017). Strain identity of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor* is more important than richness in regulating plant and fungal performance under nutrient rich conditions. *Frontiers in Microbiology*, 8: 1874.
- Höhn M., Major E., Avdagić A., Bielač K., Bosela M., Coll L., Dinca L., Giammarchi F., Ibrahimpahić A., Mataruga M., Pach M., Uhl E., Zlatanov T., Cseke K., Kovács Z., Palla B., Ladányi M., Heinze B. (2021). Local characteristics of the standing genetic diversity of European beech with high within-region differentiation at the eastern part of the range. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(12): 1791-1798. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0413>.
- Horsley S.B., Stout S.L., DeCalstea D.S. (2003). White-tailed deer impact on the vegetation dynamics of a northern hardwood forest. *Ecological Applications* 13: 98-118. doi: 10.1890/1051-0761.
- Horvat I., Glavac V.U., Ellenberg H. (1974). *Vegetation Sudosteurogas*. Stuttgart.
- Idžojtić M. (2009). *Dendrologija-list*. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 577 p.

REFERENCE

- Idžojtić M. (2013). *Dendrologija-cvijet, češer, plod, sjeme*. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 424 p.
- IPCC (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas. Web site. [online, last access: 2 July 2024] URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>.
- Iravani S., Zolfaghari B. (2014). Phytochemical analysis of *Pinus eldarica* bark. *Research in pharmaceutical sciences*, 9(4): 243-250.
- Isajev V., Fady B., Semerci H., Andonovski V. (2004). EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for European Black pine, *Pinus nigra*. Rome, ITA: IPGRI. <http://prodinra.inra.fr/record/76757>.
- Jalas J., Suominen J. (1973). *Atlas Florae Europaeae: distribution of vascular plants in Europe* Vol. 2 Gymnospermae (Pinaceae to Ephedraceae). Committee for Mapping the Flora of Europe and Societas Biologica Fennica Vanamo, Helsinki.
- Johnson O., More D. (Collins, 2006) *Collins tree guide*.
- Kavaliauskas et al. (2020). Guidelines for genetic monitoring of Silver fir (*Abies alba* Mill.) and King Boris fir (*Abies borisii-regis* Mattf.). In: Bajc et al. (eds) *Manual for Forest Genetic Monitoring*. Slovenian Forestry Institute: Silva Slovenica Publishing Centre, Ljubljana.
- Klepac D. (1996). Uvod. U: D. Klepac (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*, HAZU i »Hrvatske šume« p.o., Vinkovci - Zagreb: 9-12.
- Kraigher H. (2024). *Ohranjanje gozdnih genskih virov s semenarskim praktikumom*. Založba Univerze v Mariboru (v tisku).
- Kraigher H., Bajc M., Grebenc T. (2013). Mycorrhizosphere complexity. In: "Climate change, air pollution and global challenges: understanding and perspectives from forest research" (Matyssek R. ed.). Elsevier, Amsterdam, pp. 151-177.
- Magri D., Vendramin G.G., Comps B., Dupanloup I., Geburek T., Gömöry D., Latałowa M., Litt T., Paule L., Roure J.M., Tantau I., Van Der Knaap W.O., Petit R.J., De Beaulieu J.L. (2006). A new scenario for the Quaternary history of European Beech populations: Palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytol.*, 171: 199-221.
- Manso R., Pukkala T., Pardos M., Miina J., Calama R. (2014). Modelling *Pinus pinea* forest management to attain natural regeneration under present and future climatic scenarios. *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 250-262. <https://dx.doi.org/10.1139/cjfr-2013-0179>.
- 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
- Martinez FG, Montero R, Ruiz-Peinado I, Canellas JA, Candela A (2004). Geobotanica e historia de los pinares [Geobotany and history of the pine forests]. In: "El Pino pinonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía: Ecología, distribución y silvicultura" (Montero G, Candela JA, Fernandez A eds). *Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain*, pp. 49-111.
- Matić S. (ed.) (2003). *Obična bukva (Fagus sylvatica L.) u Hrvatskoj* [Common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Croatia]. Akademija Šumarskih Znanosti (Academy of Forest Science), Zagreb, Croatia, 855 p.
- Mazza G, Manetti M. (2013). Growth rate and climate responses of *Pinus pinea* L. in Italian coastal stands over the last century. *Climatic Change* 121 (4): 713-725. doi: 10.1007/s10584-013-0933-y.

REFERENCE

- Mechergui K., Saleh Altamimi A., Jaouadi W., Naghmouchi S. (2021). Climate change impacts on spatial distribution, treeing growth, and water use of stone pine (*Pinus pinea* L.) forests in the Mediterranean region and silvicultural practices to limit those impacts. *iForest* 14: 104-112. doi: 10.3832/ifor3385-013.
- Mitchell A. (1974). A field guide to the trees of Britain and northern Europe. Collins.
- Montero G., Calama R., Ruiz-Peinado R. (2008). Selvicultura de *Pinus pinea* (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (España)): 431-470.
- Morić M., Bogdan S., Ivanković M. (2018). Kvantitativna genetska diferencijacija populacija hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u pokusnom nasadu »Jastrebarski lugovi«. *Nova mehanizacija šumarstva*, 39 (1): 35-45.
- Nocentini S. (2006). La rinaturalizzazione dei sistemi forestali: è necessario un modello di riferimento? *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 3: 376-379.
- Nocentini S. (2009). Structure and management of beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in Italy. *iForest* 2: 105-113. doi: 10.3832/ifor0499-002.
- Noormets A., Epron D., Domec J.C., McNulty S.G., Fox T., Sun G., Kinget J.S. (2015). Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. *Forest Ecology and Management*, 355: 124-140.
- Oggioni S.D., Rossi L.M.W., Avanzi C., Marchetti M, Piotti A., Vacchiano G. (2024). Drought responses of Italian silver fir provenances in a climate change perspective. *Dendrochronologia*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2024.126184>.
- Pap P., Ranković B. and Maćirević S. (2012). Significance and need of powdery mildew control (*Microspheera 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
- Pardos M., Calama R., Maroschek M., Rammer W., Lexer M.J. (2015). A model based analysis of climate change vulnerability of *Pinus pinea* stands under multiobjective management in the Northern Plateau of Spain. *Annals of Forest Science*, 72: 1009-1021. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0520-7>.
- 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.
- Pereira J.S. (2002). Pines of Silvicultural Importance, CABI, ed. CABI, Wallingford, UK: 316-328.
- Piotti A., Leonarduzzi C., Postolache D., Bagnoli F., Spanu I., Brousseau L., Urbinati C., Leonardi S., Vendramin G.G. (2017). Unexpected scenarios from Mediterranean refugial areas: disentangling complex demographic dynamics along the Apennine distribution of silver fir. *Journal of Biogeography*, 44: 1547-1558.
- Pique-Nicolau M., del-Rio M., Calama R., Montero G. (2011). Modelling silviculture alternatives for managing *Pinus pinea* L. forest in North-East Spain. *Forest Systems*, 20: 3-20.
- Piraino S. (2020). Assessing *Pinus pinea* L. resilience to three consecutive droughts in central-western Italian Peninsula. *iForest* 13: 246-250. doi: 10.3832/ifor3320-013.
- Portoghesi L., Tomao A., Bollati S., Mattioli W., Angelini A., Agrimi M. (2022). Planning coastal Mediterranean stone pine (*Pinus pinea* L.) reforestation as a green infrastructure: combining GIS techniques and statistical analysis to identify management options. *Annals of Forest Research*, 65: 31-46. <https://doi.org/10.15287/afr.2022.2176>.

REFERENCE

- Praciak A., Pasiiecznik 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.
- Prpic B. (ed.) (2001). Silver fir in Croatia. Hrvatske šume p.o, Zagreb: Akademija šumarskih znanosti. Zagreb, Croatia, 895 p.
- Quézel P., Médail F. (2003). *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin Méditerranéen* [Ecology and biogeography of forests in the Mediterranean basin]. Elsevier Masson, Paris, France, pp. 573.
- Regent B. (1980). Šumsko sjemenarstvo. Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar, Beograd.
- 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.
- Schulze E.D., Bouriaud O., Wäldchen J., Eisenhauer N., Walentowski H., Seele C., Heinze E., Pruschitzki U., Danila G., Marin G., Hessenmöller D., Bouriaud L., Teodosiu M. (2014). Ungulate browsing causes species loss in deciduous forests independent of community dynamics and silvicultural management in Central and Southeastern Europe. *Annals of Forest Research* 57(2): 267-288. doi: 10.15287/afr.2014.273.
- Schwarz O. (1993). Flora Europaea: Psilotaceae to Platanaceae (Vol. 1). In: Tutin T. G. et al. (eds.), Cambridge University Press, second edn: 72-76.
- 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. *Ecol Evol.*, 11(16): 10984-10999. doi: 10.1002/ece3.7886.
- Sever K., Fidej G., Breznikar A., Roženberger D., Rantaša B. (2022). Sodobna nega gozda - zgi-banka. Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana, Slovenija, 2 p.
- Teodosiu M., Mihai G., Fussi B., Ciocîrlan E. (2019). Genetic diversity and structure of Silver fir (*Abies alba* Mill.) at the southeastern limit of its distribution range. *Ann. For. Res.*, 62: 139-156.
- 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
- Travaglini D., Garosi C., Logli F., Parisi F., Ursumando I., Vettori C., Paffetti D. (2022). Stand structure and natural regeneration in a coastal Stone pine (*Pinus pinea* L.) forest in Central Italy, pp. 775-784 © 2022 Author(s), CC BY-NC-SA 4.0, doi: <https://doi.org/10.36253/979-12-215-0030-1.74>.
- Tremblay J.P., Hout J., Potvin F. (2007). Density-related effects of deer browsing on the regeneration dynamics of boreal forests. *Journal of Applied Ecology* 44: 552-562. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.01290.x.
- Turczanski K., Bełka M., Szychalski M., Kukawka R., Prasad R. and Smiglak M. (2023). Resistance Inducers for the Protection of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) Seedlings against Powdery Mildew *Erysiphe alphitoides*. *Plants* 2023, 12, 635
- 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.
- Twieg B.D., Durall D.M., Simard S.W. (2007). Ectomycorrhizal fungal succession in mixed temperate forests. *New Phytologist*, 176: 437-447.

REFERENCE

Unuk Nahberger T. (2020). Ectomycorrhizal symbionts of silver fir (*Abies alba* Mill.): doctoral dissertation. Biotehniška fakulteta, Ljubljana.

USDA (2008). The Woody Plant Seed Manual. United States Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 727. Washington D. C., USA.

Veselič, Ž. (ed) (2008). Forest management by mimicking nature: close-to-nature forest management in Slovenia: how to conserve forests by using them. Ljubljana: Slovenia Forest Service, 2008, 27 p.

Viñas R.A., Caudullo G., Oliveira S., De Rigo D. (2016). *Pinus pinea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e012d59+

Wahid N., González-Martínez S.C., El Hadrami I., Boulli A. (2006). Variation of morphological traits in natural populations of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Morocco. *Annals of forest science*, 63(1): 83-92.

Westergren M., Božič G., Ferreira A., Kraigher H. (2015). Insignificant effect of management using irregular shelterwood system on the genetic diversity of European beech (*Fagus sylvatica* L.): a case study of managed stand and old growth forest in Slovenia. *Forest Ecology and Management*, 335: 51-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.026>.

Westergren et al. (2020) Guidelines for genetic monitoring of European beech (*Fagus sylvatica* L.). In: Bajc et al. (eds) Manual for Forest Genetic Monitoring. Slovenian Forestry Institute: Silva Slovenica Publishing Centre, Ljubljana.

Willis K.J., Bennett K.D., Birks H.J.B. (1998). The late Quaternary dynamics of pines in Europe. In *Ecology and Biogeography of Pinus*; Richardson, D.M., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK: 107-121.

Wolf H., Westergren M., Poljanec A., Kraigher H. (2010). Tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov: bela jelka: *Abies alba*. *Gozd vestn.*, 68(10): p. 485-490.

Wuehlisch G. (2008). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*). Bioversity International, Rome, Italy, 6 p.

ZGS (2021). Usmeritve za gospodarjenje z gozdovi po skupinah gozdnih rastiščnih tipov. Internal publication. Slovenia Forest Service, Ljubljana, Slovenija, 236 p.

