

# FOREST4EU

## Connecting forestry and agroforestry partnerships across Europe



Funded by  
the European Union

Funded by the European Union (Grant n. 101086216). Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or REA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

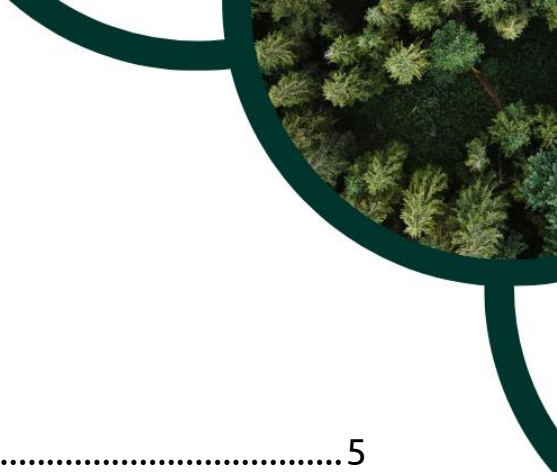
Operational Group (OG)

# GO SURF

OG funding

OG SURF je projekt financiran od strane PRS  
Feasr 2014 – 2022 Regije Toskana,  
podmjera 16.2

“Potpora pilot projektima i pilot suradnjama”



## Indeks

1. Uvod.....	5
2. Multispektralne kamere i vegetacijski indeksi.....	7
3. Dronovi i multispektralne kamere na tržištu .....	10
4. Zaključak .....	14
5. Zahvala .....	14
6. Reference .....	14

## Kazalo slika

Slika 1. Identifikacija superpiksela s bijelim konturama, detekcija propadajuće krošnje u žutoj boji i mrtvih dijelova krošnje u plavoj boji 13

## Kazalo tablica

Tablica 1. Vegetacijski indeksi korisni za praćenje šuma koji se mogu izračunati s multispektralnim kamerama.....8

## Dronovi i multispektralne kamere u praćenju zdravlja šuma (FHM)

*Francesca Giannetti<sup>1;2;3</sup>, Yamuna Giambastiani<sup>2;3</sup>, Lorenzo Massa<sup>2;3</sup>,  
Patrizia Rossi<sup>1</sup>, Solaria Anzillotti<sup>1</sup>, Livia Passarino<sup>1</sup>, Giuliano Secchi<sup>1</sup>,  
Davide Travaglini<sup>1;2</sup>, Gherardo Chirici<sup>1;2</sup>*

<sup>1</sup> Odjel za znanosti i tehnologije u poljoprivredi, prehrani, okolišu i šumarstvu (DAGRI), Sveučilište u Firenci [francesca.giannetti@unifi.it](mailto:francesca.giannetti@unifi.it); [patrizia.rossi@unifi.it](mailto:patrizia.rossi@unifi.it); [solaria.anzilotti@unifi.it](mailto:solaria.anzilotti@unifi.it); [livia.passarino@unifi.it](mailto:livia.passarino@unifi.it); [davide.travaglini@unifi.it](mailto:davide.travaglini@unifi.it); [gherardo.chirici@unifi.it](mailto:gherardo.chirici@unifi.it)

<sup>2</sup> Laboratorio Congiunto ForTech

<sup>3</sup> Bluebiloba start-up innovativa s.r.l.

[yamuna.giambastiani@bluebiloba.com](mailto:yamuna.giambastiani@bluebiloba.com) ; [admin@bluebiloba.com](mailto:admin@bluebiloba.com)

### Sažetak

Praćenje zdravlja šuma (Forest Health Monitoring) ključno je za procjenu i očuvanje zdravlja šumskih ekosustava, osobito u kontekstu klimatskih promjena. Dok su tradicionalna terenska istraživanja ograničena subjektivnošću, logističkom složenošću i visokim troškovima, daljinska detekcija (Remote Sensing) nudi učinkovitiju alternativu. Među tehnologijama daljinske detekcije, bespilotne letjelice (Unmanned Aerial Vehicles) opremljene multispektralnim kamerama pokazale su se osobito učinkovitima. Ovi dronovi omogućuju visoku rezoluciju isplativih i fleksibilnih rješenja za praćenje, prikupljajući detaljne podatke kroz različite valne duljine. Navedeno omogućuje precizno prepoznavanje stresa i oštećenja vegetacije, čime se olakšavaju pravovremene i ciljane intervencije. Kao što je pokazao projekt GO-SURF, bespilotne letjelice s multispektralnim sensorima postaju nezamjenjivi alati za održivo gospodarenje šumama.

## 1. Uvod

Praćenje zdravlja šuma (FHM) je proces usmjeren na procjenu zdravstvenog stanja šumskih ekosustava (Trumbore i sur., 2015). Ovo praćenje uključuje promatranje i bilježenje različitih pokazatelja, poput stupnja defolijacije, prisutnosti bolesti ili štetnika te drugih znakova stresa. Glavni cilj FHM-a je pravovremeno otkrivanje promjena u zdravlju šuma kako bi se poduzele mjere za ublažavanje šteta i očuvanje zdravlja šumskih ekosustava (Ecke i sur., 2022).

Uspostava FHM sustava posebno je relevantna u kontekstu klimatskih promjena, gdje vegetacija sve češće doživljava stresna djelovanja uz gubitak fotosintetske aktivnosti (Puletti i sur., 2019), a ekstremni događaji poput požara i najezdi insekata (Kautz i sur., 2024) te drugih patogena postaju sve značajniji. Stoga je za svakog upravitelja šuma, bilo javnog ili privatnog, postalo sve važnije i neophodno uspostaviti sustave za praćenje zdravlja šuma kako bi se ublažili potencijalni problemi u šumskim sastojinama i omogućila pravovremena intervencija.

U talijanskom i europskom kontekstu, praćenje zdravlja šuma *in situ* provodi se već nekoliko desetljeća na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini, koristeći standardne pokazatelje temeljene na terenskim istraživanjima koje provodi obučeno osoblje, primjerice, za određivanje stupnja defolijacije krošnji (Canullo i sur., 2012). Ove monitoring mreže pružaju standardizirani okvir za procjenu zdravlja šuma, ali na ograničenom broju točaka, omogućujući praćenje na nacionalnoj razini, no ne zadovoljavajući potrebe upravitelja šuma.

Javni i privatni upravitelji šuma sve se češće suočavaju s utjecajem poremećaja na svojim sastojinama, a kao što je ranije spomenuto, ključno je provesti FHM sustave praćenja koji mogu pravovremeno identificirati potencijalne probleme, omogućujući pravovremene mjere ublažavanja.

Međutim, klasična terenska *in situ* istraživanja koja provode operateri nose visok stupanj nesigurnosti jer kvaliteta ovisi o iskustvu i subjektivnoj percepciji promatrača. Stoga su potrebni specifični tečajevi i obuke za provedbu istraživanja na standardiziran i optimalan način. Uz

to, *in situ* istraživanja su logistički složena i skupa u smislu vremena i rada, što ih čini izvedivima samo na razini ploha ili pojedinačnih parcela. Iz tog razloga, daljinska detekcija (RS) etablirala se kao dio FHM-a, omogućujući prikupljanje pokazatelja zdravlja šuma na objektivni, kvantitativni i ponovljiv način na različitim prostornim razinama (Lambert i sur., 2013; Ecke i sur., 2024).

U ovom kontekstu, satelitska daljinska detekcija i dalje dominira istraživanjima i primjenom u sektoru praćenja zdravlja šuma (FHM). Naime, javno dostupni multispektralni slikovni podaci poput Landsata, MODIS-a i Sentinel-2 omogućuju uspostavu sustava praćenja na velikim površinama, zahvaljujući vremenskoj i prostornoj rezoluciji koja je često dovoljna za prepoznavanje poremećaja (Francini i Chirici, 2022). Međutim, kako ističu neka istraživanja, sateliti mogu imati poteškoća u praćenju, primjerice zbog oblaka (Giannetti i sur., 2021) koji mogu zakloniti dijelove šuma, što u nekim kontekstima, poput planinskih područja Alpa i Apenina, otežava uspostavu sustava ranog upozoravanja. Dodatno, nisu prikladni primjerice kada biotski ili abiotski čimbenici uzrokuju brze promjene u šumama. Kako bi se ti problemi prevladali, letjelice s posadom mogu zadovoljiti ove zahtjeve jer mogu letjeti ispod oblaka (Ecke i sur., 2024). Međutim, u praksi, zbog visokih troškova i logističkih ograničenja, koriste se samo godišnje ili svake dvije godine na velikim površinama što ih, zapravo, čini neprikladnima za rano prepoznavanje stresa (Ecke i sur., 2024).

U ovom kontekstu primjena bespilotnih letjelica (UAV) je sve češća, ne kao konkurentna, već kao komplementarna tehnologija tradicionalnim platformama za promatranje Zemlje (Ecke i sur., 2024). U okviru Operativne skupine Go-SURF, dronovi opremljeni multispektralnim kamerama korišteni su za mapiranje stresa u šumskim sastojinama. UAV-ovi, u usporedbi sa satelitima i letjelicama s posadom, pokrivaju manje površine, ali su nenadmašni u prostornoj rezoluciji, koja može doseći veličinu uzorka na tlu reda veličine centimetara. Također su vrlo učinkoviti u pogledu troškova, fleksibilnosti, a posebno vremena ponovnog praćenja, koje može biti često jer ovisi samo o operateru.

Područje koje UAV može pokriti u jednom letu kreće se od jednog hektara do nekoliko četvornih kilometara. Pokrivenost je uglavnom određena vrstom UAV-a, tehnologijom pogona, vrstom kamere, tipom terena i pristupačnošću područja. Također, treba uzeti u obzir propise o radu UAV-a kao ograničavajući faktor za pokrivenost. Međutim, novi europski propisi dopuštaju letenje na visini od 120 metara iznad razine tla s zaštitnim razmakom od 500 metara, što omogućuje čak i najučinkovitijim dronovima udobno pokrivanje 10-20 hektara u jednom letu.

Ipak, osim samog drona, ključna razlika u uspostavi sustava FHM-a leži u senzoru koji dron može nositi. U posljednje vrijeme na tržištu je dostupno mnogo novih multispektralnih kamera. Zahvaljujući njihovoj sposobnosti snimanja različitih valnih duljina elektromagnetskog spektra, ove kamere mogu se koristiti za mapiranje različitih vrsta stresa u šumama (Barzagli i sur., 2018; Zhang i sur., 2019; Ecke i sur., 2022).

Unatoč tome, raznolikost kamera dostupnih na tržištu i razni vegetacijski indeksi koji se iz njih mogu izvesti otežavaju snalaženje u krajoliku stalno rastućih istraživanja i tehnološkog napretka. Iz tog razloga, ovaj članak nastoji pružiti pregled vegetacijskih indeksa korisnih za mapiranje stresa u šumama, pregled nekih od kamera dostupnih na tržištu te najjednostavnijih ili najperspektivnijih tehnika obrade, temeljenih na rezultatima EIP-AGRI operativne skupine GO-SURF, kao i razmatranju međunarodne literature, kako bi se pružile korisne informacije tehničarima uključenima u praćenje šuma.

## 2. Multispektralne kamere i vegetacijski indeksi

Multispektralne kamere su napredni uređaji za snimanje koji bilježe vizualne informacije u različitim trakama elektromagnetskog spektra. Te trake mogu uključivati vidljivi spektar (crvenu, zelenu, plavu boju) i blisko infracrveni (NIR), a u nekim slučajevima i infracrveni spektar u crvenoj granici. Korištenjem tih različitih valnih duljina, multispektralne kamere pružaju detaljne podatke koji se mogu koristiti za analizu različitih aspekata vegetacije, tla i šuma. Konkretno, zahvaljujući sposobnosti prikupljanja informacija u infracrvenom spektru, moguće je istraživati

fotosintetske sposobnosti biljaka, procijeniti zdravlje stabala te uočiti prisutnost bolesti ili drugih vrsta stresa. Kao i RGB kamere, mogu se koristiti za fotogrametrijska snimanja koja omogućuju derivaciju ne samo 2D podataka (multispektralni ortomozaik) već i 3D podataka kao što su oblaci točaka i digitalni modeli površine (DSM) korisni za analizu strukture šume (Barzagli i sur., 2018; Giannetti i sur., 2020).

Međutim, njihova glavna prednost, kao što je već spomenuto, leži u sposobnosti snimanja slika u različitim valnim duljinama elektromagnetskog spektra, što omogućava operaterima da razlikuju varijacije u sadržaju klorofila u vegetaciji, koje mogu pravovremeno ukazivati na prisutnost stresa, bolesti ili patogena. Naime, zahvaljujući sposobnosti prikupljanja informacija na različitim valnim duljinama, lako ih je koristiti za izračunavanje različitih vegetacijskih indeksa kroz jednostavne matematičke operacije između slika različitih traka, također koristeći uobičajene GIS aplikacije poput QField pomoću mreže funkcija kalkulatora.

Među vegetacijskim indeksima koji se mogu izračunati, u Tablici 1 prikazani su oni koji su najperspektivniji za praćenje stresa u šumskim sredinama i mogu se izračunati s trenutno dostupnim multispektralnim kamerama.

**Tablica 1. Vegetacijski indeksi korisni za praćenje šuma koji se mogu izračunati s multispektralnim kamerama**

<b>Vegetacijski indeksi</b>	<b>Formula</b>
NDVI (Indeks normalizirane razlike vegetacije)	$NDVI = \frac{NIR - Crveno}{NIR + Crveno}$
NDRE (Indeks normalizirane razlike crvene granice)	$NDRE = \frac{NIR - CrvenaGranica}{NIR + CrvenaGranica}$
GNDVI (Indeks normalizirane razlike vegetacije – zeleni)	$GNDVI = \frac{NIR - Zeleno}{NIR + Zeleno}$
LCI (Indeks klorofila lišća)	$LCI = \frac{CrvenaGranica - Crveno}{CrvenaGranica + Crveno}$
SAVI (Indeks vegetacije prilagođen tlu)	$SAVI = \frac{(1+L)(NIR - Crveno)}{NIR + Crveno + L}$



	gdje je L konstanta koja ovisi o uvjetima tla (tipično $L = 0.5$ )
OSAVI (Optimizirani indeks vegetacije prilagođen tlu)	$OSAVI = \frac{(NIR - Crveno)}{NIR + Crveno + 0.16}$
MCARI (Indeks modificiranog omjera apsorpcije klorofila)	$MCARI = \frac{(CrvenaGranica - Crveno) - 0.2x(CrvenaGranica - Zeleno)}{CrvenaGranica + Crveno}$
CIRE (Indeks klorofila crvene granice)	$CIRE = \frac{NIR}{CrvenaGranica} - 1$
EVI (Poboljšani indeks vegetacije)	$EVI = 2.5 \times \frac{NIR - Crveno}{NIR + 6xCrveno - 7.5xPlavo + 1}$
VARI (Vidljivi atmosferski indeks otpornosti)	$VARI = \frac{Zelena - Crveno}{Zelena + Crveno - Plavo}$

NDVI (Indeks normalizirane razlike vegetacije) možda je najšire korišteni indeks za praćenje zdravlja biljaka. Međutim, njegova sklonost zasićenju ponekad može otežati rano otkrivanje stresa u šumama. Indeks se temelji na činjenici da klorofil u živim biljkama snažno reflektira blisko infracrveno (NIR) svjetlo i apsorbira crveno svjetlo. Visoke vrijednosti NDVI, blizu 1, ukazuju na gustu i zdravu vegetaciju, dok niže vrijednosti ispod 0,7 sugeriraju stres, a vrijednosti ispod 0,6 označuju smrt biljaka. Međutim, prema iskustvu GO-SURF projekta i pregleda literature u kontekstu uzgoja topola (Chianucci et al. 2021), NDVI može biti najmanje točan indeks za otkrivanje stresa.

Na primjer, GNDVI (Indeks normalizirane razlike vegetacije – zeleni) osjetljiviji je za rano upozoravanje na stres. Ovaj indeks sličan je NDVI-ju, ali koristi zelenu traku umjesto crvene za normalizaciju s NIR opsegom. To ga čini korisnim za praćenje biljaka s visokom gustoćom lišća ili za prepoznavanje vodenog stresa, omogućujući rano upozoravanje (Raddi et al. 2021). Za procjenu sadržaja klorofila, LCI (Indeks klorofila lišća) vrlo je osjetljiv na klorofil prisutan u lišću (Gallardo-Salazar et al. 2023).

Klorofil apsorbira crveno svjetlo i reflektira svjetlo crvene granice, čineći ovaj indeks korisnim za izravnu procjenu sadržaja klorofila, što je indikator fotosintetske sposobnosti biljke. Slično tome, CIRE (Indeks klorofila crvene granice) čak je povezaniji s nutritivnim statusom biljaka (Kleinsmann et al. 2023).

NDRE (Indeks normalizirane razlike crvene granice) posebno je koristan za prepoznavanje stresa biljaka u dijelovima krošnje. Crvena granica vrlo je osjetljiva na promjene u strukturi lišća i sadržaju klorofila, što omogućuje otkrivanje malih varijacija (Minařík i Langhammer 2016). Koristan je za prepoznavanje biljaka koje mogu biti pogođene bolestima ili nutritivnim deficitima prije nego što ti problemi postanu vidljivi golim okom. MCARI (Indeks modificiranog omjera apsorpcije klorofila) dizajniran je da bude manje osjetljiv na varijacije u tlu, čime poboljšava sposobnost otkrivanja stresa biljaka u heterogenim okolišima s izloženim tlom (Zou et al. 2019). Za procjenu fotosintetske aktivnosti i vegetativne vitalnosti, EVI (Indeks poboljšane vegetacije) poboljšava osjetljivost u područjima visoke gustoće vegetacije i smanjuje atmosferske i zemljane smetnje u usporedbi s NDVI. VARI (Indeks vidljive atmosferske otpornosti) može se koristiti za praćenje vegetacije koristeći samo vidljive trake, što ga čini korisnim u uvjetima gdje NIR trake nisu dostupne, poput RGB kamera.

### 3. Dronovi i multispektralne kamere na tržištu

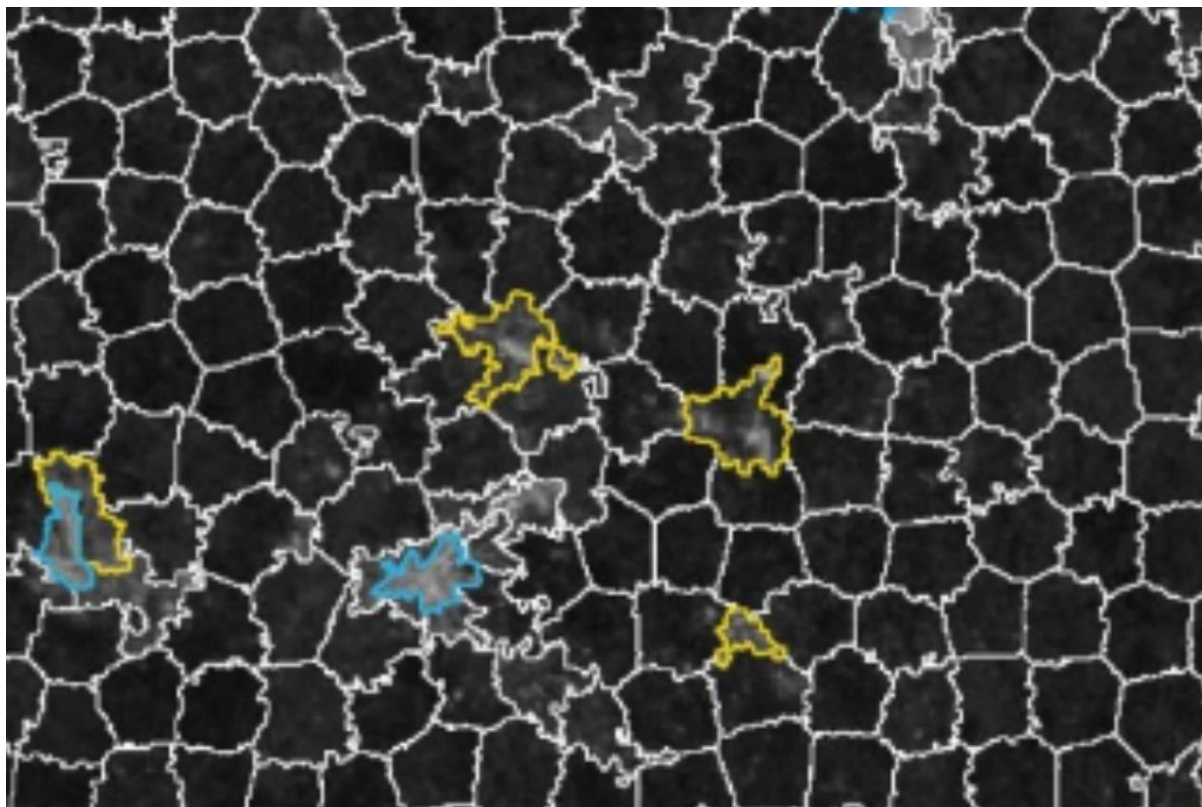
Među dronovima s integriranim multispektralnim senzorom, DJI Mavic 3M kombinira 20 MP RGB kameru i četiri 5 MP multispektralne kamere koje snimaju u zelenoj ( $560\text{nm}\pm 16\text{nm}$ ), crvenoj ( $650\text{nm}\pm 16\text{nm}$ ), blisko crvenoj ( $730\pm 16\text{nm}$ ) i NIR ( $860\text{nm}\pm 26\text{nm}$ ) traci, zajedno s integriranim svjetlosnim senzorom. Ova konfiguracija bilježi solarno zračenje, omogućujući naknadnu kompenzaciju za bilo kakve fluktuacije svjetlosti u slikama. Proizvođač tvrdi da autonomija leta iznosi 43 minute, a pokrivanje po letu je  $2\text{ km}^2$ . Dron je također dostupan s RTK modulom, koji omogućuje precizno geo-referenciranje istraživanja s visokom točnošću.

Drugi DJI dron s integriranim senzorom je P4 Multispectral, opremljen s šest različitih kamera od 2,08 MP—jednom RGB kamerom i pet multispektralnih kamera koje snimaju u plavoj ( $450\pm 16\text{nm}$ ), zelenoj ( $560\pm 16\text{nm}$ ), crvenoj ( $650\pm 16\text{nm}$ ), blisko crvenoj ( $730\pm 16\text{nm}$ ) i blisko infracrvenoj ( $840\pm 26\text{nm}$ ) traci. Ovaj dron također ima svjetlosni senzor i RTK modul za ispravak svjetla u slici i precizno geo-referenciranje istraživanja. Proizvođač tvrdi da autonomija leta iznosi 27 minuta, a maksimalno operativno područje po letu je  $0,63\text{ km}^2$ . U nedavnom istraživanju u Njemačkoj (Ecke et al. 2024), ovaj je dron korišten za nabavu multispektralnih slika visoke rezolucije iz 235 različitih velikih područja za praćenje šuma (ICP Level-I parcele) raspoređenih u Bavarskoj tijekom trogodišnjeg razdoblja praćenja (2020-2022). Unatoč heterogenom skupu podataka prikupljenom tijekom vremena pod različitim vremenskim i svjetlosnim uvjetima, u šumama s raznolikim sastavima raspoređenim na velikom istraživačkom području, članak dokazuje kako je bilo moguće klasificirati pet vrsta drveća, na razini roda, mrtvo drveće i zdravstveno stanje glavnih vrsta drveća u 14 različitih klasa korištenjem EfficientNet CNN arhitekture. Članak naglašava da ova metodologija praćenja može značajno smanjiti troškove i vrijeme terenskog prikupljanja podataka, omogućujući standardizaciju podataka.

Među kamerama koje se mogu montirati na različite vrste dronova, poput DJI Matrice 300, Wingtra One Gen II i senseFly eBeeX, MicaSense RedEdge-MX ističe se kao jedna od najučinkovitijih, ali i najskupljih. Ova kamera snima slike u plavoj ( $475\text{nm}\pm 20\text{nm}$ ), zelenoj ( $560\text{nm}\pm 20\text{nm}$ ), crvenoj ( $668\text{nm}\pm 10\text{nm}$ ), blisko crvenoj traci ( $717\text{nm}\pm 10\text{nm}$ ) i blisko infracrvenoj ( $840\text{nm}\pm 40\text{nm}$ ) traci, pružajući visoku spektralnu preciznost i konzistentnost, što je čini idealnom za analizu šumske vegetacije. Kamera je opremljena senzorom svjetla i pločom za kalibraciju refleksije, koja se mora snimiti pri uzlijetanju i slijetanju drona.

Ova kamera također je testirana u projektu GO-SURF, gdje je korištena za snimanje slika različitih područja u regiji Toskana pomoću drona Wingtra One Gen II. Obrada slika tehnikama segmentacije temeljenim na metodi "Simple Linear Iterative Clustering (SLIC)" (Achanta et al. 2012) omogućila je identifikaciju mrtvih i propadajućih biljaka određivanjem

pragova stresa. SLIC je algoritam koji je korišten za segmentaciju slika, posebno za stvaranje superpiksela—grupa susjednih piksela sa sličnim karakteristikama. Ovo pojednostavljuje analizu slika smanjenjem broja elemenata za razmatranje, uz očuvanje većine relevantnih informacija. U projektu GO-SURF, multispektralne slike su obrađene pomoću fotogrametrijskog softvera Metashape Agisoft za generiranje ortomozaika u različitim spektralnim spektrima (plavi, zeleni, crveni, crvena granica, blisko infracrveni). Slike su uvezene u softver R-Cran, koristeći različite pakete za pokretanje algoritma. Tijekom inicijacije, algoritam ravnomjerno raspoređuje središta superpiksela po slici. Svakom pikselu u slici dodjeljuje se najbliže središte superpiksela, temeljem kombinirane udaljenosti (prostor i boja). Kombinirana udaljenost uzima u obzir prostorne koordinate i vrijednosti boja (CIELAB prostor). Algoritam iterira dok ne segmentira pojedinačne krošnje stabala. Ovaj algoritam također se može koristiti putem desktop softvera poput SAGA GIS-a. Testovi provedeni u projektu GO-SURF pokazali su da segmentacija šumskog okoliša vrlo dobro funkcionira čak i korištenjem samo crvene granice, a ne više spektralnih opsega. Ovaj se opseg pokazao najosjetljivijim za identifikaciju pojedinačnih krošnji ili njihovih dijelova sa sličnom fotosintetskom aktivnošću. Metoda segmentacije smanjuje vrijeme u usporedbi s kompleksnim metodama i precizno detektira krošnje ili njihove dijelove s različitim fotosintetskim aktivnostima, poput mrtvih ili propadajućih dijelova krošnje. Međutim, kako bi se klasificirale različite klase propadanja (mrtvi dijelovi krošnje, propadajući dijelovi krošnje, živi dijelovi krošnje), potrebno je izvući vegetacijske indekse iz poligona generiranih SLIC algoritmom te kalibrirati pragove za identifikaciju mrtvih biljaka. Za svaki superpiksel primjenjuju se pragovi vegetacijskih indeksa kako bi se klasificirali kao zdravi, pod stresom ili mrtvi dijelovi biljaka. Prednost ove metode je što segmentacija superpiksela smanjuje broj jedinica za analizu, čineći analizu bržom i učinkovitijom. Osim toga, superpikseli obično prate prirodne obrise biljaka, poboljšavajući točnost klasifikacije u usporedbi s metodama koje se oslanjaju na pojedinačne piksele.



Slika 1. Identifikacija superpiksela s bijelim konturama, detekcija propadajuće krošnje u žutoj boji i mrtvih dijelova krošnje u plavoj boji

Korištenje SLIC superpiksela u snimkama dronova predstavlja naprednu tehniku za identifikaciju i praćenje mrtvih biljaka. Segmentacijom slika u homogena područja i primjenom pragova na vegetacijske indekse moguće je dobiti točnu kartu problematičnih područja, omogućujući pravovremene i ciljane intervencije u upravljanju usjevima.

Među ostalim multispektralnim kamerama na tržištu, koje su povoljnije od prethodno spomenutih, nalaze se Parrot Sequoia, Sentera Double 4K, Mapir Survey3 i Mapir Survey2. Sve ove kamere, poput ostalih, prikupljaju multispektralne informacije u crvenom, plavom, zelenom i bliskom infracrvenom spektru, ali ne u blisko crvenom odnosno blisko infracrvenom spektru. To ih čini manje učinkovitim za izračunavanje nekih prethodno spomenutih indeksa.

## 4. Zaključak

Nemoguće je u potpunosti obuhvatiti sve kamere dostupne na tržištu u ovom trenutku. Međutim, na temelju našeg iskustva, ključno je fokusirati se na kamere koje omogućuju izračun različitih vegetacijskih indeksa, što može doprinijeti preciznom mapiranju potencijalnih oštećenja. Navedeno je vrlo važno jer pravovremena intervencija postaje sve nužnija. Usprkos određenim ograničenjima, dronovi opremljeni multispektralnim kamerama predstavljaju snažan i svestran alat za praćenje šuma, što je pokazano i kroz projekt GO-SURF koji je već proveden na talijanskoj razini. Očekuje se da će daljnji tehnološki napredak i povećana dostupnost dronova učiniti ove alate sve važnijima u održivom upravljanju šumama.

## 5. Zahvala

Ovaj doprinos ostvaren je u okviru projekta FOREST4EU, financiranog iz programa Obzor Europa za istraživanje i inovacije Europske unije, prema Ugovoru o dodjeli bespovratnih sredstava N° 101086216.

## 6. Reference

Achanta R, Shaji A, Smith K i sur. (2012) SLIC superpiksela u usporedbi s najsuvremenijim metodama superpiksela

Barzagli A, Nocentini S, Del Perugia B i sur. (2018) Korištenje daljinskog istraživanja za podršku održivom gospodarenju šumama. Prvi rezultati projekta Fresh Life Demonstrating Remote Sensing Integration in Sustainable Forest Management (Life14\_ENV/IT/000414). *L'Italia For E Mont* 73:169–194. <https://doi.org/10.4129/ifm.2018.4.5.03>

Canullo R, Allegrini M-C, Campetella G (2012) Nacionalni priručnik za prikupljanje podataka o vegetaciji u talijanskoj mreži CONECOFOR LII (Program za kontrolu šumskih ekosustava - UNECE, ICP Forests). *Braun-Blanquetia* 48:5–65

Chianucci F, Puletti N, Grotti M i sur. (2021) Utjecaj rezolucije piksela slike na procjenu pokrovnosti krošnje u plantažama topola iz terenskih, zračnih i satelitskih optičkih slika. *Ann Silvicult Res* 46:8–13

Ecke S, Dempewolf J, Frey J i sur. (2022) Praćenje zdravlja šuma pomoću bespilotnih letjelica: Sustavni pregled. *Remote Sens* 14:1–45. <https://doi.org/10.3390/rs14133205>

Ecke S, Stehr F, Frey J i sur. (2024) Prema operativnom praćenju zdravlja šuma pomoću bespilotnih letjelica: Identifikacija vrsta i procjena stanja krošnji metodama dubokog učenja. *Comput Electron Agric* 219:108785. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108785>

Francini S, Chirici G (2022) Skup podataka Sentinel-2 izvedenih šumskih poremećaja koji su se dogodili u Italiji između 2017. i 2020. *Data Br* 42:108297. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108297>

Gallardo-Salazar JL, Lindig-Cisneros RA, Lopez-Toledo L i sur. (2023) Analiza vitalnosti *Pinus hartwegii* Lindl. duž visinskog gradijenta pomoću multispektralnih slika UAV-a: Dokazi o propadanju šuma povezanim s klimatskim promjenama. *Forests* 14:. <https://doi.org/10.3390/f14061176>

Giannetti F, Pecchi M, Travaglini D i sur. (2021) Procjena oštećenog područja šume uzrokovane olujom VAIA u Italiji pomoću vremenskih serija Sentinel-2 slika i kontinuiranih algoritama za detekciju promjena. 1–16

Giannetti F, Puliti S, Puletti N i sur. (2020) Modeliranje strukturnih indeksa šuma u miješanim umjerenim šumama: usporedba varijabli UAV fotogrametrijskih DTM-a i ALS-a. *Ecol Indic* 117:106513. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106513>

Kautz M, Feurer J, Adler P (2024) Rana detekcija infestacija potkornjaka (*Ips typographus*) pomoću daljinskog istraživanja – Kritički pregled nedavnih istraživanja. *For Ecol Manage* 556:. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121595>

Kleinsmann J, Verbesselt J, Kooistra L (2023) Praćenje fenologije pojedinačnih stabala u viševrstnoj šumi pomoću visokorezolucijskih UAV slika. *Remote Sens* 15:1–30. <https://doi.org/10.3390/rs15143599>

Lambert J, Drenou C, Denux J-P i sur. (2013) Praćenje propadanja šuma kroz analizu vremenskih serija daljinskog istraživanja. *GIScience Remote Sens* 50:437–457. <https://doi.org/10.1080/15481603.2013.820070>

Minařík R, Langhammer J (2016) Korištenje multispektralne UAV fotogrametrije za detekciju i praćenje dinamike poremećaja šuma. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci - ISPRS Arch* 41:711–718. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-711-2016>

Puletti N, Mattioli W, Bussotti F, Pollastrini M (2019) Praćenje učinaka ekstremnih suša na zdravlje šuma pomoću Sentinel-2 slika. *J Appl Remote Sens* 13:1. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.13.020501>

Raddi S, Giannetti F, Martini S i sur. (2021) Praćenje reakcije na sušu i sadržaja klorofila u *Quercus* pomoću potrošačke kamere bliskog infracrvenog spektra (NIR): usporedba s reflektansnom spektroskopijom. *New For.* <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09848-z>

Trumbore S, Brando P, Hartmann H (2015) Zdravlje šuma i globalne promjene. *Science* (80-) 349:814–818. <https://doi.org/10.1126/science.aac6759>

Zhang L, Zhang H, Niu Y, Han W (2019) Mapiranje stresa vode u kukuruzu na temelju multispektralnog daljinskog istraživanja pomoću UAV-a. *Remote Sens* 11:605. <https://doi.org/10.3390/rs11060605>

Zou X, Liang A, Wu B i sur. (2019) Pristup visokog kapaciteta temeljen na UAV-u za brzo rastuće sorte *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) pomoću strojnog učenja. *Forests* 10:. <https://doi.org/10.3390/f10090815>





# FOREST4EU



Funded by  
the European Union

Funded by the European Union (Grant n. 101086216). Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or REA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



forest4eu.eu



FOREST4EU Project



FOREST4EU Project



info@forest4eu.eu