

Interreg

ITALIA-SLOVENIJA



Acquavitis



Progetto standard co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale
Standardni projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

ACQUAVITIS

Inovativne rešitve za učinkovito
rabo vode v čezmejnem
vinogradništvu

PROJEKT ACQUAVITIS

Zbornik prispevkov zaključne konference | Trst, 30. avgust 2022

Soluzioni innovative per l'uso
efficiente dell'acqua in
viticoltura transfrontaliera

PROGETTO ACQUAVITIS

Atti della conferenza finale | Trieste, 30 agosto 2022

www.acquavitis.eu



Interreg

ITALIA-SLOVENIJA



Acquavitis



Progetto standard co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale
Standardni projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

ACQUAVITIS

Inovativne rešitve za učinkovito
rabo vode v čezmejnem
vinogradništvu

PROJEKT ACQUAVITIS

Zbornik prispevkov zaključne konference | Trst, 30. avgust 2022

Soluzioni innovative per l'uso
efficiente dell'acqua in
viticoltura transfrontaliera

PROGETTO ACQUAVITIS

Atti della conferenza finale | Trieste, 30 agosto 2022

www.acquavitis.eu

Organizatorji / Organizzatori

Kmetijski Inštitut Slovenije
Università degli Studi di Trieste
Università degli Studi di Udine
Geodetski Inštitut Slovenije
Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Kmetijsko gozdarski zavod Nova Gorica
Università Ca' Foscari Venezia

Izdal in založil / Emesso e pubblicato

Kmetijski inštitut Slovenije
Ljubljana, Hacquetova ulica 17
Uredniki/editori: dr. Klemen Lisjak (Kmetijski inštitut Slovenije), Špela Kodre (Kmetijski inštitut Slovenije), dr. Patricija Muzlovič (LetteraB sas), dr. Andreja Vanzo (Kmetijski inštitut Slovenije), dr. Martina Tomasella (Università di Trieste)

Vsi prispevki v zborniku so recenzirani

Recenzenti prispevkov / Revisori di articoli

dr. Klemen Lisjak
prof. Paolo Sivilotti
dr. Andreja Vanzo
dr. Martina Tomasella
Alen Mangafić
dr. Chiara Calligaris
dr. Mirco Peschutta
dr. Dejan Bavčar

Oblikovanje in tisk / Design e stampa

Tiskarna Mljač d.o.o., Divača
Naklada / edizione: 500 izvodov /stampi

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

634.8:631.67(497.47+450.36)(082)

ACQUAVITIS : inovativne rešitve za učinkovito rabo vode v čezmejnem vinogradništву : projekt Acquavitis : zbornik prispevkov zaključne konference : Trst, 30. avgust 2022 = soluzioni innovative per l'uso efficiente dell'acqua in viticoltura transfrontaliera : progetto Acquavitis : atti della conferenza finale : Trieste, 30 agosto 2022 / [uredniki Klemen Lisjak ... et al.]. - Ljubljana : Kmetijski inštitut Slovenije, 2022

ISBN 978-961-6104-83-8
COBISS.SI-ID 127155715

Zbornik prispevkov zaključne konference je nastal v sklopu projekta Acquavitis, ki je sofinanciran v okviru Programa sodelovanja Interreg V-A Italija-Slovenija 2014-2020 iz Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev. Gli atti del presente simposio sono stati realizzati nell'ambito del progetto Acquavitis, progetto finanziato dal Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia 2014-2020, dal Fondo europeo di sviluppo regionale e dai fondi nazionali.

Za vsebino pričajoče publikacije so odgovorni izključno projektni partnerji. Vsebina publikacije ne odraža nujno stišča Evropske unije. Il contenuto della presente pubblicazione è di esclusiva responsabilità dei partner progettuali e non rispecchia necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione europea.

Kazalo vsebine

Meritve vodnega stanja v vinogradih projekta Acquavitis med letoma 2020 in 2021	5
Prakse upravljanja tal vplivajo na vodno stanje trt in kvaliteto grozdja. Trajna in kratkotrajna ozelenitev: ocena in opis pridobljeni rezultatov v projektu Acquavitis	17
Uporaba daljinskega zaznavanja za spremljanje vinogradov	39
Spremeniti vodo v vino: kako prilagoditi namakanje za izboljšanje kakovosti vin	53
Razumevanje hidrološkega cikla (kroga) za boljše upravljanje namakanja v vinogradništvu: od padavin do tal in nazaj do trte.	79
Iz laboratorija v vinograd: nova digitalna orodja za prenos znanja in trajnostno vinogradništvo - platforma Acquavitis.....	103
Zaključki in perspektive	116

Indice dei contenuti

Quantificazione dello stato idrico nei vigneti Acquavitis nel biennio 2020-2021	122
Le pratiche di gestione del suolo influenzano lo stato idrico delle viti e la qualità delle uve. L'inerbimento e il sovescio: stato dell'arte e risultati ottenuti nel progetto Acquavitis	137
Telerilevamento nel monitoraggio dei vigneti.....	161
Cambiare l'acqua in vino: come modulare l'irrigazione per migliorare la qualità dei vini.....	177
Capire il ciclo idrologico per una migliore gestione dell'irrigazione in viticoltura: dalle precipitazioni al suolo e di nuovo alla vite	203
Dal laboratorio al vigneto: nuovi strumenti digitali per il trasferimento delle conoscenze e la viticoltura sostenibile - la piattaforma Acquavitis	231
Conclusioni e prospettive	245



Meritve vodnega stanja v vinogradih projekta Acquavitis med letoma 2020 in 2021

Martina Tomasella^{1*}, Andrea Nardini¹, Alenka Mihelčič², Alberto Calderan^{1,3},
Riccardo Braidotti³, Alessandro Pichierri^{1,3}, Carlotta Musso¹, Francesco
Petruzzellis¹, Tamara Rusjan⁴, Paolo Sivilotti³, Klemen Lisjak².

¹ Univerza v Trstu, Oddelek za znanost o življenju

² Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in vinarstvo

³ Univerza v Vidmu, Oddelek za vede o kmetijstvu, živilstvu, okolju in živalih, Di4A

⁴ Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Kmetijsko gozdarski zavod Nova Gorica

*martina.tomasella@units.it

POVZETEK

Med pomembnejša orodja za določanje stopnje vodnega stresa pri trti ter optimalnega in učinkovitega namakanja spadajo metode spremeljanja vodnega statusa v rastlinah. V okviru študije smo najprej razvili protokol za natančno oceno vodnega potenciala listov vinske trte nekaterih interesnih sort, pri čemer smo določili tudi najdaljše obdobje shranjevanja listov pred merjenjem. Nato smo v letih 2020 in 2021 v rastni sezoni poskusnih vinogradov vključenih v projekt Acquavitis v Sloveniji in Italiji, izvedli meritve vodnega potenciala pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$) je kazalnik energijskega stanja vode v tleh), najmanjšega dnevnega vodnega potenciala listov (Ψ_{min} je kazalnik najvišjega vodnega stresa trte) in najmanjšega dnevnega vodnega potenciala stebla (Ψ_{steblo}). Poleti 2021 smo primerjali stopnje vodnega stresa terasastih vinogradih v Vipavski dolini s tistimi v ravnini.

Nobeno od obravnavanih obdobij ni bilo posebej sušno, zato vrednost $\Psi_{\text{pred zoro}}$ ni nikdar padla pod prag močnega vodnega stresa. Ob upoštevanju najvišje stopnje vodnega stresa, izražene z vrednostjo Ψ_{steblo} , smo med obema rastnima sezonomi ugotovili določene razlike. Noben od opazovanih vinogradov leta 2020 ni utrpel zmernega ali močnega stresa ($\Psi_{\text{steblo}} < -1,1 \text{ MPa}$), medtem ko smo naslednje leto v treh vinogradih od šestih (Budihni, Potok - Stronc in Precenicco) zaznali občutno zmanjšanje vrednosti Ψ_{steblo} v toplejših mesecih (konec julija in konec avgusta), ko so trte dosegle zmerno močan vodni stres. V Vipavski dolini so terasti vinograji beležili večji vodni stres v primerjavi z vinograji na dnu doline, kar gre verjetno pripisati različnim lastnostim, povezanimi z visoko vsebnostjo skeleta na terasastih legah.

ABSTRACT

Water status monitoring is an important instrument to quantify the stress level reached by vines and to optimize irrigation management. In this study, we first set up a protocol for the correct estimation of leaf water potential in some vine cultivars of interest, determining the maximum time of leaf storage before measurement. Then, during the growing seasons 2020 and 2021 we measured the pre-dawn water potential ($\Psi_{\text{pre-dawn}}$, proxy of water status in the soil), daily minimum leaf water potential (Ψ_{min} , proxy of maximum water stress suffered by vines) and the daily minimum stem water potential (Ψ_{stem}) in the six main vineyards of the Acquavitis project, located both in Italy and Slovenia. At last, in the Vipava valley, we compared the water stress levels reached in 2021 in vineyards from terraces with those from valleys.

The two monitoring seasons were not particularly arid, with $\Psi_{\text{pre-dawn}}$ never indicating severe water stress levels. However, considering the maximum stress level reached in terms of Ψ_{stem} , differences emerged

among the two growing seasons. While in 2020, none of the vineyards reached moderate-to-severe stress (i.e., stem $< -1.1 \text{ MPa}$), in 2021 three sites (Budihni, Potok-Stronc nad Prečenicco) showed a pronounced decrease in Ψ_{stem} in the warmest months (end July and end August), reaching moderate-to-severe stress levels. Finally, in the Vipava valley, vineyards on terraces suffered higher drought stress compared to those in the valley, probably due to different soil characteristics related to the higher skeletal content in the terraces.

UVOD

V smislu rastnega razvoja in pridelave s specifičnimi fizikalno-kemijskimi lastnostmi je donosnost trte močno odvisna od razpoložljivosti vode, zlasti pa stanja vode v rastlini med rastno sezono. Trenutne podnebne spremembe še posebej v Sredozemlju povzročajo daljše ter pogosteje in intenzivnejše neobičajne vremenske pojave zlasti med sušnimi in toplimi poletnimi obdobji (Spinoni in sod. 2018), kar ogroža tudi vinogradništvo (Hannah in sod. 2013).

Na tem področju predstavlja spremljanje in kontrola vodnega statusa vinograda eno najobetavnejših strategij optimizacije tako količinske kot kakovostne donosnosti vinogradništva in vinarstva v čezmejnem prostoru. Postopki lahko izboljšajo zaščito vodnih virov, saj bi namakanje uporabili zgolj v najnujnejših primerih (Romero in sod. 2022).

Vodni status trte se običajno oceni z merjenjem vodnega potenciala njenih listov. Bolj kot je rastlina dehidrirana in podvržena vodnemu stresu, manjše so vrednosti vodnega potenciala, ki se izraža v negativnih vrednostih. Tudi v zemlji, ki je zasičena z vodo, lahko vodni potencial rastline v enem dnevu niha tako zaradi temperature in relativne vlage zraka kot tudi zaradi izmenjave plinov v listnih porah. Od zore, ko trta ne trpi vodnega stresa, se listne pore tekom dneva postopoma odprejo, zaradi česar rastlina izgublja vodo in se njen vodni potencial zmanjša, saj voda izhlapi skozi liste v zrak. Najnižji dnevni potencial lista (Ψ_{\min}) rastlina doseže okrog poldneva, ko se beleži najvišji vodni stres. Opoldne merimo tudi potencial stebla (Ψ_{stebla}). Gre za pomemben kazalnik, ki ga pridobimo tako, da liste najprej ovijemo v plastično vrečko ali folijo ter jih nato prekrijemo z aluminijasto folijo. Po določenem času izvedemo še vzorčenje in meritve. S tem, ko zaustavimo izhlapevanje vode, se vodni potencial lista izenači z vodnim potencialom stebla.

Ponoči, ko listi skoraj ne prepuščajo vode, ker so pore zaprte, se vodni potencial lista izenači z vodnim potencialom tal poleg korenin. Zato vodni potencial listov pred zoro ($\Psi_{pred\ zoro}$) pogosto predstavlja kazalnik razpoložljivosti vode v tleh in ostaja pomemben referenčni parameter pri upravljanju namakanja vinogradov in preprečevanju prekomernega vodnega stresa (Savi in sod. 2019).

Običajno se vodni potencial na terenu meri s Scholanderjevo tlačno komoro na odrezanih listih. Ti so bili tik pred vzorčenjem oviti v plastično folijo, da bi s tem preprečili tudi najmanjšo dehidracijo, ki bi lahko privedla do previsokih vrednosti vodnega stresa trte. Pogosto je treba na terenu opraviti številne meritve vodnega potenciala, s pomočjo katerih lahko pridobimo dovolj prostorskih informacij o stopnji vodnega stresa v vinogradu. Poleg tega moramo upoštevati omejen časovni okvir vzorčenja listov znotraj točno določenih ur (denimo za vrednost Ψ_{min} je treba meritve opraviti v roku dveh ur pred najvišjim stresom dneva). Iz tega razloga meritev ni mogoče vedno opraviti takoj, ko so bili listi zbrani. Pred kratkim se je izkazalo, kako lahko postopki merjenja in shranjevanja vzorcev vodjo do napačne ocene vodnega stanja rastlin (Rodriguez-Dominguez in sod. 2022). Vendar so metodološki testi, ki se izvajajo na vinski trti, zelo skopi (Levin 2019), do sedaj pa še niso bili izvedeni posebni primerjalni testi med različnimi sortami in v različnih obdobjih rastne sezone.

V sklopu projekta Agrotur II, ki je bil izveden v okviru pobude Interreg Slovenija - Italija, so meritve vodnega potenciala v letih 2018 in 2019 v desetih kraških vinogradov pokazale, da so se posamezni vinograji v toplih obdobjih z manj padavinami različno odzivali, kar je posledično vplivalo tudi na kakovost grozdja (Petruzzellis in sod. 2021). Obenem je več študij, opravljenih tako na belih kot rdečih sortah, ugotovilo pomembne povezave med stopnjo vodnega stresa ter donosnostjo in kakovostjo grozdja in vina, sploh v času zorenja jagod (Castellarin in sod. 2007, Savoi in sod. 2017). Iz tega izhaja, da je spremljanje stanja vode v vinogradih ključnega pomena za njihovo upravljanje in izboljšanje donosnosti.

Članek predstavlja nekatere glavne rezultate spremljanja vodnega stresa v vinogradih, vključenih v projekt Acquavitis, ki zadevajo: i) razvoj protokolov za natančno oceno vodnega potenciala trte, ii) analizo stanja vode v glavnih vinogradih projekta v rastni sezoni (med junijem in septembrom) v letih 2020 in 2021 ter iii) primerjavo stanja vode v terasastih vinogradih, posajenih na flišnih tleh, z ravninskimi vinogradi Vipavske doline.

MATERIALI IN METODE

Poskus za pravilno spremljanje vodnega potenciala

Cilj enega prvih poskusov je bil ugotoviti najdaljši časovni okvir med zbiranjem listov in merjenjem njihovega minimalnega vodnega potenciala (Ψ_{\min}) s pomočjo tlačne komore. Poskuse smo sočasno izvajali v treh vinogradih z različnimi geomorfološkimi značilnostmi: v Ceroglie (na italijanskem Krasu), kjer gojijo trte sorte refošk, v vinogradu sivega pinota in merlota kanthus® na univerzitetnem kmetijskem podjetju Servadei Univerze v Vidmu (Furlanija) ter v vinogradu merlota blizu vasi Potok (v Vipavski dolini). Poskuse smo izvedli v letih 2020 in 2021, natančneje pozno spomladi, ko rastline niso trpele vodnega stresa, in pozno poleti (konec avgusta in v začetku septembra) ob zmernem vodnem stresu.

V vsakem vinogradu smo na petih trtah med 12. in 14. uro (po poltnem času) istočasno odtrgali štiri liste in pridobili skupno 20 listov. V enem listu vsake trte smo vrednost Ψ_{\min} izmerili takoj, ko je bil odtrgan (čas 0), preostale tri pa smo nemudoma shranili v vrečko z vlažnim papirjem, ki smo jo nato odložili v hladilno torbo. Potencial preostalih treh listov smo izmerili eno, dve in tri ure po vzorčenju.

Spremljanje stanja vode v vinogradih projekta Acquavitis

Stanje vode v trtah v glavnih vinogradih projekta Acquavitis (tri v Italiji in prav toliko v Sloveniji) smo spremljali med rastnima sezonomama v letih 2020 in 2021. Dva vinograda na Krasu (v Ceroglie in v Komnu, kjer gojijo trto sorte refošk), dva sta posajena na umetnih terasah v Vipavski dolini (na lokaciji Potok - Stronc) in v ravinskem vinogradu (Budihni), kjer pridelujejo merlot, eden vinograd sauvignona se nahaja v Brdih (natančneje v kraju Kopriveno) in eden v spodnji Furlanski nižini (v kraju Precenicco, kjer pridelujejo glero). V vsakem vinogradu smo opredelili tri poskupsna območja oziroma dele vrst, iz katerih smo vzorčili liste.

Meritve smo izvedli med junijem in začetkom septembra ter so sovpadala z vzorčenjem tal, soka in vode za namene izotopskih analiz (glej poglavje Razumevanje hidrološkega cikla(kroga) za boljše upravljanje namakanja v vinogradništvu: od padavin do tal in nazaj do trte). Vzorčenje, ki je potekalo v sončnem vremenu, smo načrtovali glede na vremenske razmere, pri čemer smo pazili, da vinograd v dneh pred merjenjem ni bil podvržen občutnejšim padavinam.

Leta 2020 smo meritve izvedli v drugi polovici junija, v prvi polovici avgusta in v začetku septembra, medtem ko so leta 2021 potekale konec junija, konec julija in konec avgusta. Vsakič smo merili vrednost pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$), najmanjši vodni potencial listov (Ψ_{min}) in vodni potencial steba opoldne (Ψ_{steblo}). Za določanje vrednosti ($\Psi_{\text{pred zoro}}$) smo med 3:30 in 5:30 (po poletnem času) iz vsakega poskusnega območja zbrali dva lista (skupno 6 listov v vsakem vinogradu), za ostala parametra pa smo med 12. in 14. uro (po poletnem času) iz vsakega poskusnega območja odvzeli štiri liste (torej v vsakem vinogradu 12 listov za meritve (Ψ_{min}) in 12 listov za meritve (Ψ_{steblo})). Za merjenje vrednosti (Ψ_{steblo}) smo liste vsaj eno uro pred vzorčenjem najprej ovili v plastično in nato še v aluminijasto folijo.

Stanje vode v vinogradih Vipavske doline

V Vipavski dolini smo izvedli posebno študijo, v kateri smo vodno stanje terasastih vinogradov, posajenih na flišna tla, primerjali z vinogradi na ravninskih predelih doline. Izbrali smo pet terasastih vinogradov (Mlace, Potok - Stronc, Zelodi, Brnadovc in Gmajna) ter prav toliko na posejanih na ravninskih delih doline (Cvetrož, Steske, Budihni, Kote in Bice). Meritve vrednosti (Ψ_{steblo}), v okviru katerih smo iz vsakega vinograda pridobili 12 listov, so potekale junija, julija in avgusta leta 2021 med 12. in 14. uro.

Statistične analize

Statistične analize smo opravili v programu R. Najprej smo za vsak vinograd in obravnavano leto preverili predpostavke o normalnosti in homogenosti varianc ter z metodo ANOVA in funkcijo aov ugotovili, kako čas shranjevanja listov vpliva na vrednost Ψ_{min} ter razlike med datumimi vzorčenja za vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$ in Ψ_{steblo} . Ko je bil poskus relevanten ($\alpha = 0.05$), smo s funkcijo TukeyHSD paketa stats izvedli še Tukeyev post-hoc test Honest Significant Differences (HSD). Če predpostavka o homogenosti varianc ni bila upravičena, smo s pomočjo funkcije gls paketa nlme (Pinheiro in sod. 2016) izračunali generalizirani najmanjši kvadrat. Pri primernih preskusih smo uporabili Tukeyeve post-hoc analizo HSD z Bonferroni-Holmovim popravkom.

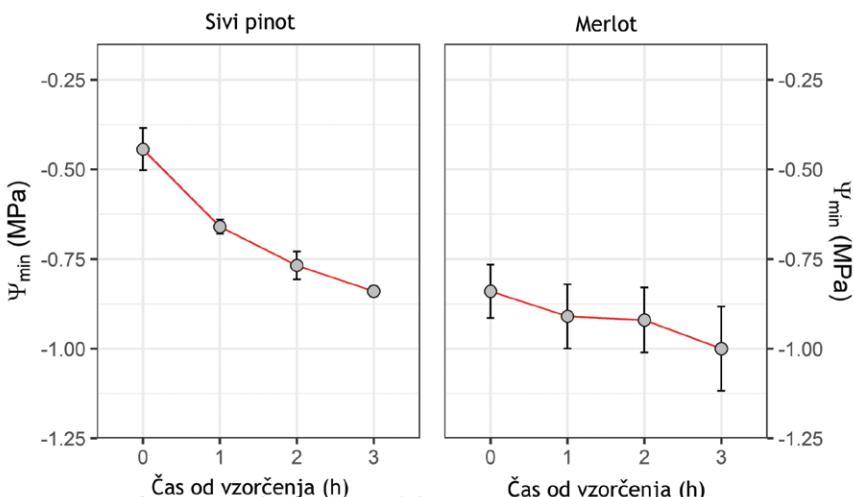
Razliko v vrednosti Ψ_{steblo} med vinogradi Vipavske doline smo ugotovili s Kruskall-Wallis testom, kateremu je po potrebi sledil še Kruskall-Wallisovim post-hoc test z Bonferronijevim popravkom v paketu agricolae.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Poskus za pravilno spremljanje stanja vode v vinogradu

Eden od ciljev raziskave je bil opredeliti najdaljše časovno obdobje shranjevanja listov od njihovega odvzema na terenu do meritve vodnega potenciala različnih sort trte in v različnih stopnjah rastne sezone. Na splošno velja, da je časovni okvir odvisen od dosežene stopnje stresa, predvsem pa od analizirane sorte. Slika 1 prikazuje primere preizkusov, izvedenih konec maja 2020 na sortah sivi pinot in merlot, ter odraža sortne razlike. Pri sivem pinotu se je vrednost Ψ_{\min} že po eni uri zmanjšala za 0,2 MPa (z -0,44 MPa na -0,66 MPa), v treh urah pa kar za 0,4 MPa, kar predstavlja občutno precenitev vodnega stresa. Po drugi strani pa v trtah merlota tudi po treh urah od vzorčenja ni bilo zaznati večjih odstopanj vrednosti Ψ_{\min} . Podobne rezultate smo pri obravnavanih sortah dobili tudi v pozni sezoni, ko je vodni stres višji (podatek ni razviden). Vzroke za tovrstne razlike gre morda iskati v specifičnih strukturnih lastnostih listov preučenih sort, zaradi katerih pride denimo tudi do nihanja vodnega potenciala, ki je odvisen od količine izgubljene vode (Sack in sod. 2003).

Izsledki kažejo, da je za ugotavljanje časovnega okvirja meritve posameznih obravnavanih sort treba protokole v vinogradih dočiti še preden jih začnemo spremljati. Le tako lahko pridobimo ustrezno oceno stanja vode v trtah v poletnih mesecih, ki jo lahko uporabimo pri izbiri pravilnega namakanja vinogradov.

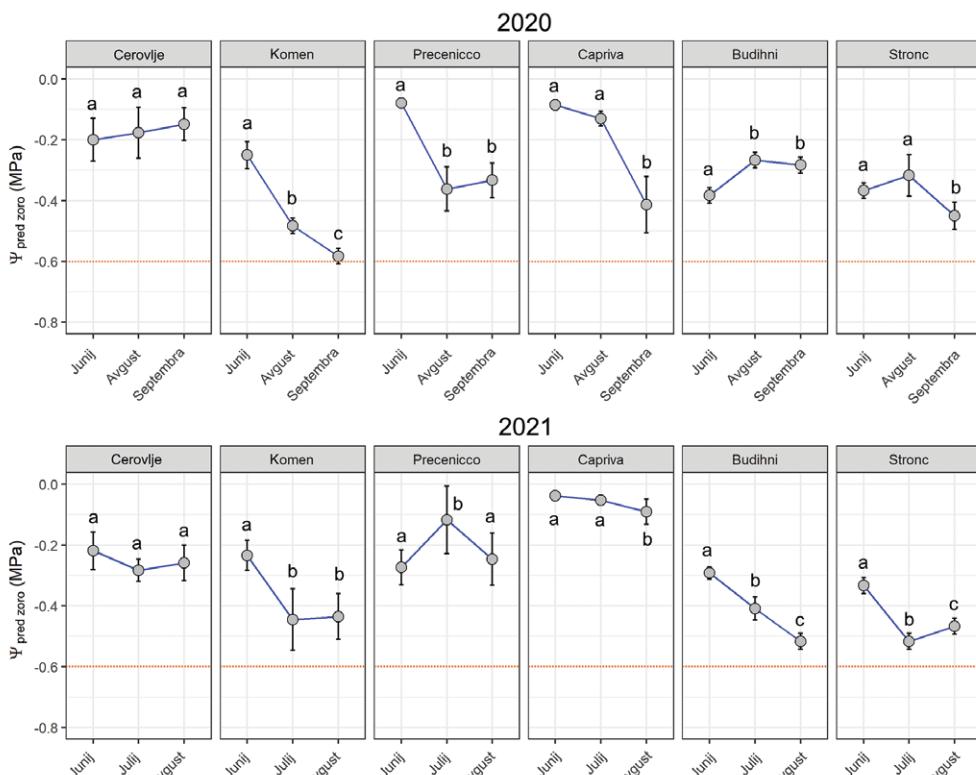


Slika 1: Povprečje in standardni odklon vrednosti najmanjšega vodnega potenciala (Ψ_{\min}) glede na podaljšan čas shranjevanja listov v tlačni komori od vzorčenja do meritve. Poskuse smo izvedli konec maja 2020 na trtah sorte sivi pinot podjetja Servadei Univerze v Vidmu in na sorti merlot v Potok - Stronc. Različne črke pomenijo statistično značilne razlike v terminih shranjevanja listov pred meritvami vodnega potenciala.

Stanje vode v vinogradih projekta Acquavitis v dveh opazovanih letih

Drugi cilj, ki smo si ga zadali v okviru raziskave, je zadeval meritve vodnega stresa v šestih glavnih vinogradih projekta Acquavitis poleti 2020 in 2021. V članku so objavljene vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$ in Ψ_{steblo} , ki smo jih v posamezni rastni sezoni pridobili med tremi glavnimi meritvami. Slike 2 in 3 prikazujeta sezonsko gibanje vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$ in Ψ_{steblo} , ki smo jih razvrstili glede na vinograd in obravnavano leto.

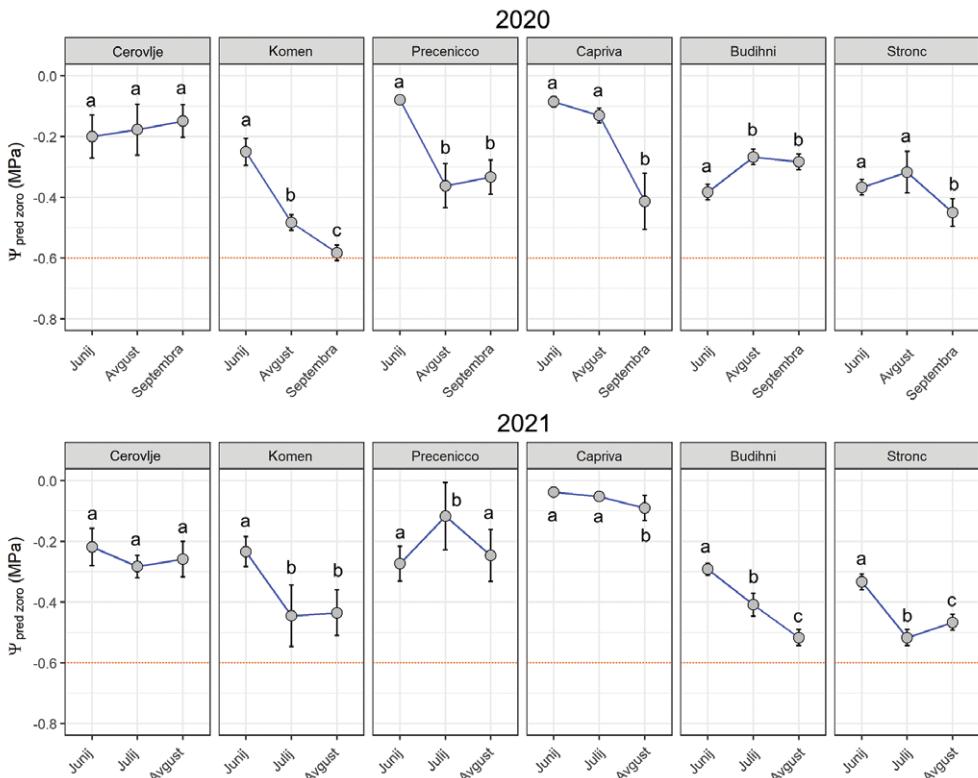
Literatura opredeljuje različne stopnje vodnega stresa trt glede na mejne vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$, pri čemer vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$ nad -0,2 MPa (torej blizu 0) pomenijo dobro stanje vode, nižje vrednosti pa odsevajo srednje blag (-0,4 < $\Psi_{\text{pred zoro}}$ < -0,2 MPa), zmeren (-0,6 < $\Psi_{\text{pred zoro}}$ < -0,4 MPa), močan (-0,8 < $\Psi_{\text{pred zoro}}$ < -0,6 MPa) in pretiran vodni stres ($\Psi_{\text{pred zoro}} < -0,8$ MPa) (Ojeda 2008). Iz podatkov je razvidno, da so vinogradi v obeh analiziranih letih ohranili precej ugodno vodno stanje, ki je v nekaj primerih doseglo zmeren, nikdar pa



Slika 2: Gibanje vodnega potenciala pred zoro (vrednost $\Psi_{\text{pred zoro}}$), izmerjenega v šestih vinogradih med rastno sezono leta 2020 in 2021. Različne črke pomenijo statistično značilne razlike med datumi vzorčenja za posamezni vinograd (vrednost $p < 0,05$)

močan vodni stres. Poletje 2020 je bilo precej deževno, kar se odraža na vrednostih $\Psi_{\text{pred zoro}}$, ki večinoma niso bile pretirano negativne. Vinograd v Ceroglie na italijanskem Krasu je ohranil najboljše razmere, saj se vrednosti skozi celotno sezono niso spustile pod -0,02 MPa. Leta 2020 smo zmeren vodni stres zaznali zgolj avgusta in septembra v Komnu ter septembra v Koprivnem in Potoku. Razen v Precenicco, kjer je vinograd dosegel malce višji vodni stres, so bile vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$ junija 2021 podobne izsledkom iz istega meseca leta pred tem. Trte v italijanskih vinogradih (Ceroglie, Precenicco in Koprivno) skozi sezono niso utrpele znatnih nihanj vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$ in so ohranile vrednosti nad -0,3 MPa. Vinograd v Preč je bil poleti štirikrat podtalno kapljično namakan. Sklepamo lahko, da je dobro stanje julija in avgusta v tem primeru posledica dovajanja vode. Trije vinogradi v Sloveniji so v omenjenih mesecih utrpel občutno zmanjšanje vode z zmernim stresom med -0,04 in -0,06 MPa, vendar je dokazano, da lahko zmeren vodni stres v obdobju od brstenja do zorenja izboljša donosnost in kakovost grozinja (Castellarin in sod. 2007, Savoi in sod. 2017).

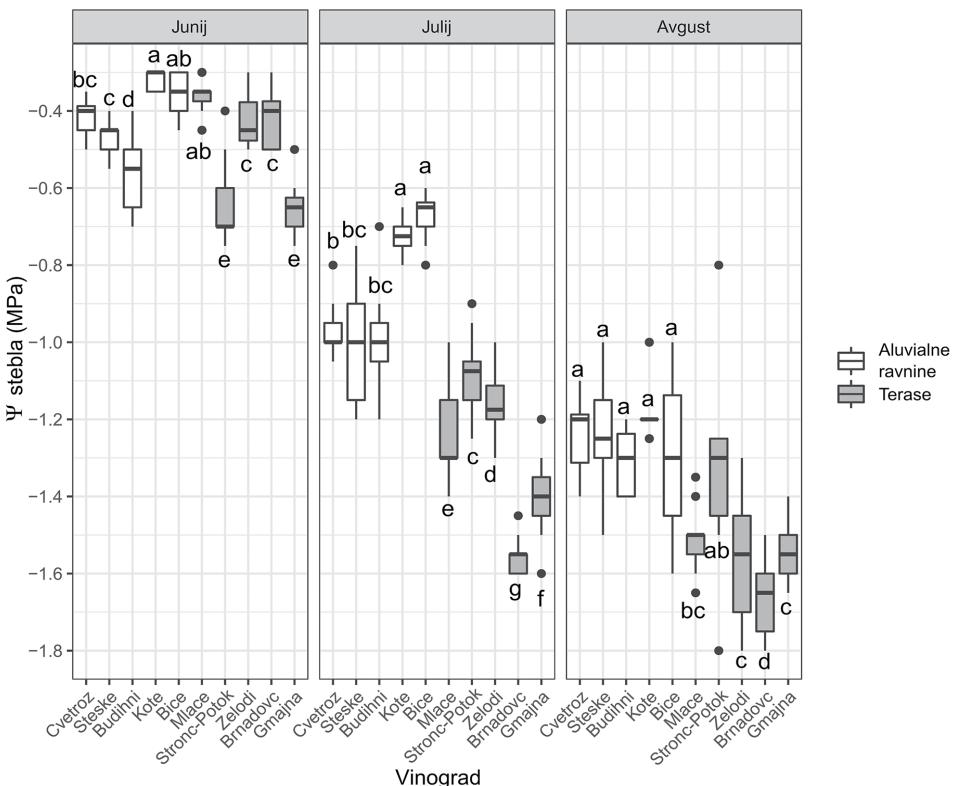
Van Leeuwen in sod. (2009) trdijo, da vodni potencial stebla opoldne (Ψ_{steblo}) nad -0,6 MPa kaže na dobro stanje vode v trti, medtem ko nižje vrednosti pomenijo srednje blag (-0,9 < Ψ_{steblo} < -0,6 MPa), zmeren (-1,1 < Ψ_{steblo} < -0,9 MPa), zmerno močan (-1,4 < Ψ_{steblo} < -1,1 MPa) in močan vodni stres ($\Psi_{\text{steblo}} < -1,4$ MPa). Čeprav so se vrednosti med kraji razlikovale, povprečne vrednosti Ψ_{steblo} obravnavanih vinogradov leta 2020 niso padle pod -1,1 MPa. Leta 2021 smo v najtoplejših mesecih (konec julija in konec avgusta) v nekaterih vinogradih opazili občutno zmanjšanje vrednosti. Tako smo konec avgusta v Precenicco (-1,2 MPa) ter julija in avgusta v dveh vinogradih Vipavske doline (v Budihnih in Potoku - Stroncu) zaznali zmeren do močan stres. Vodni stres kraških vinogradov v Ceroglie in Komnu ter tistega v Brdih (Koprivno) se skozi celotno sezono ni spustil pod -1,0 MPa. Razlike med kraji so lahko posledica tako drugačne razpoložljivosti vode v tleh (ocenili smo jo z vrednostjo $\Psi_{\text{pred zoro}}$), podnebnih pogojev, kot so temperatura in vlažnost zraka, in fizioloških lastnosti obravnavanih sort. Nenazadnje je treba poudariti, da so lahko različne sorte in ceipi različno odporni na vodni stres, zlasti pa je nanj občutljiv sistem, ki prenaša vodo v ksilemski tok (denimo Pouzoulet in sod. 2020). Zato bi bilo v prihodnje smiselno, če bi mejne vrednosti vodnega stresa določili za vsako obravnavano sorto posebej.



Slika 3: Gibanje vodnega potenciala steba (vrednost Ψ_{steblo}), izmerjenega v šestih vinogradih med rastno sezono leta 2020 in 2021. Različne črke pomenijo statistično značilne razlike med datumimi vzorčenja za posamezni vinograd (vrednost $p < 0,05$).

Stanje vode v vinogradih Vipavske doline

V tretji specifični študiji smo poleti 2021 primerjali vodno stanje terasastih vinogradov na flišni podlagi in vinogradov na ravnih predelih Vipavske doline. Pri vseh datumih vzorčenja so se pokazale občutne statistične razlike vrednosti Ψ_{steblo} (slika 4). Že junija so vinogradi na dnu doline trpeli manjši vodni stres od terasastih vinogradov, v nadaljevanju sezone pa se je razlika le še večala. Razen vinogradov v Budihnih, Potoku - Stroncu in Gmajni smo na ostalih trtah izmerili dobro stanje vode po van Leeuwen in sod. (2009). Julija so trte v ravnih predelih dosegle bodisi srednje blag (vinogradi Kote in Bice) bodisi zmeren stres (Cvetrož, Steske in Budihni), terasti vinogradi pa so bili podvrženi zmerno-močnemu in močnemu vodnemu stresu. Avgusta so vinogradi v dolini beležili zmerno-močan stres, tisti na terasah pa močan stres.



Slika 4: Mediana, 25. in 75. percentil vodnega potenciala steba (vrednost Ψ_{steblo}), izmerjenega v desetih spremljenih vinogradih Vipavske doline med rastno sezono leta 2021. Različne črke pomenijo statistično značilne razlike med vinogradi z istim datumom vzorčenja (vrednost $p < 0,05$).

Zaradi visokega deleža grobih skeletnih tal v flišnih terasastih nasadih (do 80%) lahko predpostavljamo, da so tovrstne površine občutno bolj propustne. V primerjavi z vinogradi na ravnih predelih doline so tla z visoko vsebnostjo skeleta bolj porozna, imajo nižji potencial matrike in slabše zadržujejo vodo. Prav te razlike bi lahko močno vplivale na vodno stanje trt (Whalley in sod. 2013) in pojasnile razkorak v rezultatih.

ZAHVALA

Delo na projektu Acquavitis je bilo financirano v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija Interreg 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in iz nacionalnih sredstev.

BIBLIOGRAFIJA

- Castellarin S.D., Pfeiffer A., Sivilotti P., Degan M., Peterlunger E., Di Gaspero G. 2007. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ.* 30(11):1381-1399.
- Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V., Shaw M.R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R.J. 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110:6907-6912.
- Levin A.D. 2019. Re-evaluating pressure chamber methods of water status determination in field-grown grapevine (*Vitis* spp.). *Agric. Water Manag.* 221:422-429.
- Ojeda H. 2008. Qualitative precision in the vineyard. *Infowine* n.5 (www.infowine.com).
- Petruzzellis F., Natale S., Bariviera L., Calderan A., Mihelčič A., Reščič J., Sivilotti P., Šuklj K., Lisjak K., Vanzo A., Nardini A., 2022. High spatial heterogeneity of water stress levels in Reščič grapevines cultivated in Classical Karst. *Agricultural Water Management* 260, 107288.
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D. & R Core Team. 2019. *Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Pouzoulet, J., Pivoaroff, A.L., Scudiero, E., De Guzman, M.E., Rolshausen, P.E., Santiago, L.S., 2020. Contrasting adaptation of xylem to dehydration in two *Vitis vinifera* L. sub-species. *VITIS - Journal of Grapevine Research* 59(2):53-61.
- Rodriguez-Dominguez C.M., Forner A., Martorell S., Choat B., Lopez R., Peters J.M.R., Pfautsch S., Mayr S., Carins-Murphy M.R., McAdam S.A.M., Richardson F., Diaz-Espejo A., Hernandez-Santana V., Menezes-Silva P.E., Torres-Ruiz J.M., Batz T.A., Sack L. 2022. Leaf water potential measurements using the pressure chamber: Synthetic testing of assumptions towards best practices for precision and accuracy. *Plant Cell Environ.* pce.14330.
- Romero P., Navarro J.M., Ordaz P.B. 2022. Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agric. Water Manag.* 259:107216
- Sack, L., Cowan, P.D., Jaikumar, N., Holbrook, N.M., 2003. The ‘hydrology’ of leaves: co-ordination of structure and function in temperate woody species. *Plant Cell Environ.* 26:1343-1356.
- Savi T., Petruzzellis F., Moretti E., Stenni B., Zini L., Martellos S., Lisjak K., Nardini A. 2019. Grapevine water relations and rooting depth in karstic soils. *Sci. Tot. Env.* 692:669-675.
- Savoi S., Wong D.C.J., Degu A., Herrera J.C., Buccetti B., Peterlunger E., Fait A., Mattivi F., Castellarin, S.D. 2017. Multi-omics and integrated network analyses reveal new insights into the systems relationships between metabolites, structural genes, and transcriptional regulators in developing grape berries (*Vitis vinifera* L.) exposed to water deficit. *Frontiers Plant Sci.* 8:1124.
- Spinoni J., Vogt J.V., Naumann G., Barbosa P., Dosio A. 2018. Will drought events become more frequent and severe in Europe? *Int. J. Climatol* 38:1718-1736.
- van Leeuwen C., Trégoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J.P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Oeno One.* 43(3):121-134.
- Whalley W.R., Ober E.S., Jenkins M. 2013. Measurement of the Matric Potential of Soil Water in the Rhizosphere. *J. Exp. Bot.*, 64 (13): 3951-3963.



Prakse upravljanja tal vplivajo na vodno stanje trt in kvaliteto grozdja. Trajna in kratkotrajna ozelenitev: ocena in opis pridobljeni rezultatov v projektu Accavitis

Alessandro Pichierri^{1,2}, Alberto Calderan^{1,2}, Riccardo Braidotti¹, Davide Mosetti³, Alessia Cogato¹, Enrico Peterlunger¹, Antonio Noacco⁴, Claudio Mondini⁵, Mojca Mavrič Štrukelj⁶, Tamara Rusjan⁶, Andreja Škvarč⁶, Majda Brdnik⁶, Vasja Juretič⁶, Paolo Sivilotti^{1*}

¹ Univerza v Vidmu, Oddelek za kmetijsko-živilsko, okoljsko in živalsko znanost

² Univerza v Trstu, Oddelek za vede o življenu

³ Dipl. inž. agr.

⁴ Dipl. inž. agr.

⁵ CREA Centro di Ricerca Viticoltura ed Enologia (CREA Vinogradniško-enološki raziskovalni center)

⁶ Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Kmetijsko gozdarski zavod Nova Gorica

* paolo.sivilotti@uniud.it

POVZETEK

Upravljanje tal v vinogradu ima pomemben vpliv na vodno stanje rastlin ter na pridelavo in kakovost grozdja. Kratkotrajna ozelenitev tal, oziroma zeleno gnojenje, je tehnika, ki postaja vse bolj zanimiva v vinogradništvu, saj omogoča uravnavanje rastne moči rastline in obenem izboljšuje rodovitnost tal. V okviru projekta Interreg IT-SI Acquavitis sta bila izvedena dva poskusa z namenom, da bi ocenili 1. učinek časa in načina prekinite zelenega gnojenja ter 2. učinek uporabe različnih vrst travnih mešanic. Prvi poskus je bil izveden v Precenicco (IT) na sorti Glera v treh zaporednih sezонаh in izkazalo se je, da časovna izbira trenutka zakopavanja zelenega pokrova posledično vpliva na vodno stanje vinske trte in pa na zračnost tal, vendar pa nas je uporaba samega mulčenja privedla do skoraj enakih rezultatov. Pri drugem poskušu, opravljenem leta 2021 v Polzelcah (SI), smo lahko preverili, kako ustrezan rastlinski pokrov izboljšuje vodno stanje rastlin v primerjavi s pridelavo tal, ohranja višjo povprečno maso jagod, nižji pH in pa nižje vrednosti asimiliranega dušika. Rezultati, pridobljeni v obeh poskusih, nam poudarjajo, da zeleno gnojenje deluje pozitivno na izboljšanje prilagodljivosti in odpornosti vinograda, ki se tako lažje sooča z višanjem temperatur in vedno manjšo razpoložljivostjo vodnih virov. Prilagodljiv vinograd, pa je vse bolj potreben v času podnebnih sprememb, na katere se moramo postopoma privaditi.

ABSTRACT

Soil management has important influences on the plant water status, on yield and on grape quality. Green manuring is a technique that is gaining more and more interest as it allows to manage the vigour of the plants and improve the fertility of the soils. As part of the Interreg IT-SI Acquavitis project, two trials were set up to evaluate 1. the effect of the appropriate timing and method of termination of the green manure, and 2. the effect of the typology of grass/crops mix used. The first trial was carried out in Precenicco on a Glera vineyard in three consecutive seasons and we understood that the timing we tilled the green manure crop has repercussions on the plant water status and on the soil respiration, while by mulching the crops almost identical results in relation to the timing of termination were ascertained. In the second trial carried out in 2021 in Polzelce it was possible to verify how the vegetation cover improves the plant water status in comparison to the interrow tillage, maintains higher average weight of the berries, lower pH and yeast amino nitrogen values. The results obtained in the two trials therefore allow to highlight the positive role of green manure in improving the resilience of the vineyard, an increasingly sought-after condition to cope with the increase in temperatures and the reduction in the water availability to which more and more people are getting used to in an era of climate change.

UVOD

Upravljanje tal postaja v kmetijstvu vse bolj zanimiva tematika, saj se vsako leto zaradi erozije v povprečju izgubi 32,5 milijarde ton prsti. Poleg tega so v zadnjih štirih desetletjih tudi drugi dejavniki, kot so zasoljevanje, zbijanje, zakisovanje in onesnaževanje tal, prispevali k razgradnji 30% obdelovalnih površin (<http://www.fao.org/news/story/en/item/357059/icode>). Tla so temeljni vir za človeštvo, saj se 95% hrane pridobiva iz prsti, tla pa lahko uskladiščijo tudi trikrat večje kolicine ogljika, ki je prisoten v ozračju. Ravno glede slednjega, pa lahko poudarimo, da je možnost kopičenja ogljika v tleh tako velika, da bi njegovo letno povečanje za 0,4% zadostovalo za zaustavitev povečanja CO₂ v ozračju (<https://4p1000.org/?lang=en>). Sodobno kmetijstvo ima torej pomembno odgovornost, saj lahko uporabi trajnostne tehnične rešitve za preprečevanje izgube prsti in tako pripomore, da bi se izognili trendu, ki ga predvidevajo ocene OZN FAO, po katerih nam, če ne bo prišlo do preobrata, ostane le 60 sezont proizvodnje pred popolno dezertifikacijo planeta.

Vinogradništvo je kmetijska panoga v Evropi, kjer beležimo največje izgube prsti zaradi erozije, ki znašajo preko 10 t/ha na leto (Cerdan in sod., 2006; 2010), zaradi prevelike antropizacije ozemlja in pa dolgotrajnega vzdrževanja pridelka z načini, ki pospešujejo razvoj negativnih pojavov. V lastnem vinogradniškem kontekstu pa lahko kmet poskusi ohraniti in izboljšati značilnosti tal zemljisci. Rešitve vključujejo dodajanje sredstev za izboljšanje tal, zmanjševanje težke obdelave tal in ozelenitev v medvrstnem prostoru.

Ozelenitev omejuje izgubo prsti, saj zmanjšuje hitrost vetra in površinsko temperaturo, povečuje organsko snov in zmanjšuje intenzivnost učinka odtoka vode. Čeprav se morda zdi nepomembno, je zanimivo omeniti, da podvojitev hitrosti površinskega odtoka poveča izgubo usedlin in hranil v zemlji za približno 64-krat (Walker et al., 2006); to nam nakazuje, da že manjše zmanjšanje hitrosti odtoka vidno vpliva na izboljšanje ohranjanja tal.

Zmanjšanje izgube tal, in s tem relativne organske snovi, prispeva k upočasnitvi pojavov povezanih s podnebnimi spremembami, saj tla vsebujejo ogljikov dioksid, ki se sprošča v ozračje in ohranja prvotno rodovitnost tal, ki se je oblikovala naravno več tisoč let. Poleg tega ohranjanje organske snovi spodbuja večjo avtonomijo in odpornost kmetijskega ekosistema, kar zmanjšuje potrebo po gnojenju in namakanju.

Ozelenitev (v italijanščini »inerbimento«) je lahko trajna ali kratkotrajna, lahko je naravna ali umetna, totalna ali delna. Med različnimi vrstami ozelenitev velja omeniti kratkotrajno ozelenitev (v italijanščini »sovescio«), imenovano tudi zeleno gnojenje, in pa bolj splošne občasne pokrovne posevke (*cover crops*). Čeprav je kratkotrajna ozelenitev zelo podobna občasnim setvam s pokrovnimi rastlinami, se od njih razlikuje po tem, da se pri ozelenitvi seje z namenom, da se prekine z vegetacijo posevka v določenem obdobju (vedno manj kot eno leto) in s tem izboljša fizikalne, kemijske in biološke lastnosti tal. Pokrovni posevki pa se večinoma gojijo trajno, njihov glavni namen pa je preprečevanje in/ali zmanjševanje erozije tal. Govorimo o zatravitvi (v italijanščini »rinverdimento«), kadar izvajamo trajno ozelenitev samo s travnicami (»manto erboso, prato«).

Zavedati se moramo, da v vinogradu ni vedno mogoče uvesti želeno ozelenitve; pogosto je izbira ozelenitve rezultat kompromisa med zastavljenimi cilji in potrebami, povezanimi s specifičnimi situacijami. Za to je treba pred izbiro med kratkotrajno ozelenitvijo ali občasnimi pokrovnnimi posevki opraviti analizo izvedljivosti, ki bo upoštevala konkurenčnost travnatih posevkov z glavnim pridelkom, tako glede hranil kot glede vodnih virov.

V razmerah in pri terenu, kjer je zaloga namakanja omejena in/ali je rodovitnost tal slaba, je bolje uporabiti zeleno gnojenje kot pa občasne zelene posevke, saj je gojenje travnatih mešanic za ozelenitev ravno v obdobjih, ko je aktivnost vinske trte minimalna - med trgatvijo in prvimi fazami po brstenju - medtem ko so zeleni posevki, ki rastejo tudi v fazah večje vegetativne rasti trte, lahko konkurenčni njeni rasti. Da bi dosegli vidne rezultate na terenu, je pomembno, da mešanice za ozelenitev sezemo na območjih, kjer letna količina padavin doseže vsaj 450 mm, večinoma porazdeljenih med jesenjo in zimo (Di Lorenzo, 2000; Rogers in Giddens, 1957).

V raziskavah izvedljivosti je potrebno izvesti analize glede na: intervencijska setvena obdobja, izbor mešanic semen in njihovih značilnosti, razpoložljivost opreme kmetijskega podjetja in pa možne stroške za uporabo gnojil.

Jesensko setev zelenega gnojenja se lahko opravi od oktobra do decembra, odvisno od izbranega okolja, terena in pa setvenih mešanic, ki jih nameravamo uporabiti. Ustrezna izbira obdobja setve pomembno vpliva na končni rezultat, kar se tiče razvoja

biomase in pa posledične učinkovitosti tal. Če je res, da po eni strani termin setve ozelenitve nima neposrednega vpliva na trto, sta termin in način prekinitev ozelenitve dejavnika, ki spadata med poslovne odločitve kmetije, in ki najbolj vplivata na sam učinek zelenega gnojenja. V skrajnih primerih lahko nepravilen termin prekinitev povzroči poslabšanje kakovosti grozdja in s tem potencialno tudi vina, čeprav so na splošno taki učinki precej omejeni. V običajni praksi se prekinitev zelenega gnojenja izvaja med majem in junijem (pred cvetenjem vinske trte), pri čemer se izognemo doseganju zorenja posevkov, razen če je bila uporabljena kot posevec rastlina, ki se lahko sama ponovno zaseje. Če se ozelenitev zaključi na samem začetku cvetenja posevkov, bo za ozelenitev značilna nižja vsebnost lignina in hitrejsa razgradnja; nasprotno, če prekinitev opravimo po cvetenju, bo razkroj počasnejši. Ko se z ozelenitvijo zaključi, je naslednji korak, ki ga moramo opraviti, zakopavanje posevka, običajno na globini, ki lahko doseže največ 15-20 cm, oziroma v mikrobiološko najbolj aktivno plast zemlje, kjer je prisotnost kisika dobra. V primeru, da so tla precej suha, je bolje, da zeleno maso pustimo na površini, da se suši vsaj 2-3 dni, preden jo zakopljemo v tla.

Ko je zakopavanje končano, zelena masa preide v fazo razgradnje. Del ogljika se izgubi v obliki CO_2 , kar prispeva k spremnjanju pH tal do vrednosti, ki so blizu nevtralnosti. Razgradnja organskega materiala ni nič drugega kot mineralizacija, ki je proces, s katerim hranila preidejo v mineralno obliko in so tako na voljo rastlinam. Jasno je, da je stopnja mineralizacije odvisna od vrste tal, okoljskih značilnosti, semenskih mešanic, ki smo jih uporabili, in od razvojne stopnje posevka. Vrste z večjo vsebnostjo lignina, kot so trave, se počasneje razgrajujejo, vendar tvorijo stabilnejšo organsko snov. Nasprotno, metuljnice, oziroma stročnice, ki imajo nižje razmerje med ogljikom in dušikom (C/N), omogočajo pridobitev bolj labilne organske snovi, za katero je značilna intenzivnejša mineralizacija. V nekaterih primerih lahko kombinacija različnih mešanic, kot so metuljnice in trave, ustvari sinergijo, ki privede do pretirane produktivnosti (*overyielding*) pri ozelenitvi, da se doseže ustrezno ravnotesje med ogljikom in dušikom.

Jesenska ozelenitev, ko trtna rast ni več aktivna, pa omogoča shranjevanje poglavitnih hranilnih snovi v površinskih plasteh tal, ki bi se sicer drugače porazgubile. Relativno povečanje organske snovi izboljšuje fizikalne, kemijske in biološke lastnosti tal ter zagotavlja večjo rodovitnost, kakor pa tudi omogoča tlom večje zadrže-

vanje vode (povečanje organske snovi v tleh za eno odstotno točko ustreza povečanju razpoložljive vode za 41291 litrov/ha (https://www.ncrs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1082147.pdf). Tla s stalno in raznoliko podzemno aktivnostjo predstavljajo ugoden substrat za razmnoževanje mikoriz in mikroorganizmov, ki izboljšujejo uspešnost glavnih poljščin. Kljub temu sprejem esenc posevkov s koreninskimi sistemi s heterogeno arhitekturo omogoča raziskovanje tal vzdolž različnih profilov, kar omejuje zbijanje prsti, ki je pomemben dejavnik, in ki ga je potrebno upoštevati pri oskrbi in razpoložljivosti hranil in vode pri trti.

Med druge prednosti, ki jih lahko pripisemo zelenemu gnojenju, spada tudi naselitev koristnih žuželk, ki jim posevki zagotavlja zatočišče in prehrano, oskrbo z novimi hranili kot v primeru metuljnic, zadrževanje razvoja plevela in biocidno delovanje, ki ga izvajajo križnice (*Brassicaceae*). Jasno pa je, da je za doseganje dobre učinkovitosti potrebna uporaba izbranih posameznih semen ali pa mešanic, ki v asociaciji delujejo učinkovito, saj se lahko spontana vegetacija rastlin razvije naključno, kar pa prinese omejene koristi z vidika ekosistemskih storitev.

Pri izbiri vrst mešanic, ki se uporablajo pri zelenem gnojenju, se sklicujemo predvsem na tri družine: *Poaceae* (ali *Graminaceae*, oziroma trave), *Fabaceae* (ali metuljnice) in *Brassicaceae* (ali križnice). Uporaba vrst iz ene ali druge družine različno vpliva na sistem vinograda.

TRAVE. V to družino spadajo številne rustikalne vrste trav, ki imajo vlaknate, fascikulirane korenine, ki lahko dosežejo 100 cm v globino in se prilagajajo različnim podnebnim razmeram. Se precej hitro razvijajo, kar nam omogoča, da v kratkem obdobju pridobimo znatne količine biomase. So zelo konkurenčne plevelom, saj povečujejo kopičenje ogljika v rastlinskih tkivih. Potrebno je omejiti njihovo "lakoto po dušiku" in posledice, ki bi lahko nastale v pretirani konkurenčnosti z vinsko trto. Kot smo že omenili, trave tekmujejo s pridelkom za hranila, visoka vsebnost lignina pa preprečuje njihovo takojšnje sproščanje hranil v tla.

METULJNICE. Zanje je pogosto značilen glavni koreninski sistem, ki lahko poveča prodiranje vode v tla. Uporabljajo se predvsem zaradi sposobnosti fiksiranja atmosferskega dušika s simbiozo bakterij družine *Rhizobium* in koreninami. Pri tleh, ki so osiromašena zaradi antropskih posegov ter imajo slabo biotsko raznovrstnost, bi bilo koristno uporabiti inokulum *Rhizobium*, da bi tako spodbudili njihovo prisotnost v tleh. Postopek se izvede istočasno

s setvijo posevkov za ozelenitev. Na fiksacijo dušika ne vpliva samo vrste metuljnic, ki jih uporabimo pri ozelenitvi, temveč tudi koncentracija dušika, ki je že v tleh. Pravzaprav sta simbioza in aktivnosti z bakterijami *Rhizobium* ugodne le v primeru tal z zmerno vsebnostjo dušika. V nasprotnem primeru bo rastlina skušala uporabiti dušik, ki je že prisoten v tleh. V primeru prsti s srednje visokimi vsebnostmi dušika, bi lahko fiksacijo dušika prisilili z uporabo kombinacije metuljnic in trav. Slednje lahko med razvojem absorbirajo velike količine dušika in tekmujejo z metuljnicami za hranila in tako spodbujajo delovanje rizobičnih bakterij (Hirschfelt, 1998).

KRIŽNICE. Za te vrste rastlin je značilno, da so izjemno konkurenčne z ostalimi, saj proizvajajo veliko biomase in glukozinolatov, ki se vskladiščijo v njihovih tkivih. Z encimsko hidrolizo glukozinolatov nastanejo biološko aktivne spojine z biofumigacijskim učinkom. Te spojine, katerih sestava se razlikuje glede na vrsto križnic, upočasnujejo kalitev semen, spodbujajo razvoj plevelov in zmanjšujejo prisotnost patogenov v tleh, ne da bi pretirano vplivale na koristno mikrobioto tal. Po razpadu tkiva pride do hidrolize in aktivne spojine, pridobljene iz glukozinolatov, se ne zadržijo dolgo v tleh. Da bi popolnoma izkoristili lastnosti križnic, bi bilo koristno, da bi zeleno rušo takoj zakopali in se izognili čakanju na njeno posušitev na terenski površini. Glavne korenine križnic pa tudi prodrejo globoko v tla in tako koristijo pri zmanjševanju zbitosti tal.

Nazadnje je treba opozoriti, da ozelenitev predstavlja prakso zelenega gnojenja, ki letno uspe prinesi le tretjino mineralizirane organske snovi: del snovi pa ni niti tako zelo stabilen, kar pomeni, da je prispevek zelenega gnojenja k proizvodnji humusa, precej nizek. Preostali delež potrebne organske snovi pa bi bilo potrebno nadoknaditi s pomočjo drugih organskih virov, ki pa niso vedno lahko dosegljivi na trgu in pa tudi niso vedno kakovostni.

MATERIALI IN METODE

V okviru projekta Acquavitis smo se problematike zelenega gnojenja lotili v dveh smereh, da bi se po eni strani osredotočili na način/časovno prekinitev istega posevka ozelenitve, po drugi pa na učinke, ki jih je spodbujala uporaba različnih mešanic posevka.

POSKUS 1: PRECENICCO. ITALIJA

Pri tem poskusu smo želeli preučiti skupni učinek metode prekinitev in časovnega termina, saj po naših podatkih in pregledu vinske literature, ta dva dejavnika še nista bila interaktivno primerjana (na sliki 1 si lahko ogledamo razvoj posevka v začetku junija 2021).

V vinogradu sorte glera na območju Precenicco v Italiji je bil postavljen poskus z namenom, da bi preučili učinek različnih metod/časovnih terminov prekinitev ozelenitve na vodno stanje rastlin, na pridelavo, na kakovost grozdja in pa predvsem na spremembo kemijsko-fizikalnih in mikrobioloških lastnosti tal v vinogradu, kje smo izvajali večletno in ponavljajočo setev istih posevkov.



Slika 1: Razvoj ozelenitvenega posevka v medvrstnem prostoru v vinogradu sorte glera v Precenicco.

Tla v vinogradu imajo ilovnato-močno teksturo, korenine rastlin se razvijajo v globino do približno 1 m, pod katero se pojavlja podzemna voda. V tem primeru smo uporabili mešanico semen sestavljeno iz 28% trav (*Triticosecale*), 38% metuljnic (10% *Trifolium squarrosum*, 10% *Vicia sativa*, 7% *Vicia minor*, in pa preostale manj pomembne metuljnice), 29% križnic (9% *Atmoracia rusticana*, 8% *Sinapis alba*, drugi) in 5% hidrofila (*Phacelia tanacetifolia*). Taka sestava mešanic je bila izbrana z namenom, da bi dosegli različne učinke:

- odstranitev odvečne vode v zgodnjih fazah sezone, da se omogoči dober začetek razvoja trte spomladji;
- tekmovanje s trto v začetnih fazah rasti, da se prepreči pretirano bujen razvoj vegetacije;

- povečanje organske snovi, koristne za izboljšanje prezračevanja tal in omogočanje mikrobne aktivnosti ter absorpcijo mineralnih elementov s strani rastline;
- izboljšanje strukture spodnjih plasti prsti, da bi omogočili razvoj korenin v globino, da bi odvajali odvečno vodo in izboljšali odpornosti vinske trte v poletni sezoni.

Znotraj vinograda je bil postavljen poskusni načrt s 4 večjimi parcelami. Vsako večjo parcelo je predstavljala vrsta trt in dva sosednja medvrstična prostora. Izmenično pa je bila posejana jeseni po trgovitvi ena od dveh medvrstic v treh zaporednih sezонаh (18. 10. 2018, 31. 10. 2019, 23. 10. 2020). Vsaka večja parcela je predstavljala eno primerjalno obravnavo, oziroma eno izmed različnih kombinacij metode in termina prekinitev ozelenitve: M1, mulčeni posevek v obdobju cvetenja večine vrst uporabljene mešanice (17. 05. 2019, 20. 05. 2020, 03. 06. 2021; slika 2); M2, mulčeni posevek približno mesec dni po M1 (16. 06. 2019, 19. 06. 2020, 24. 06. 2021); T1, mulčeni posevek z zakopavanjem kot pri M1 (slika 3); T2, mulčeni posevek z zakopavanjem kot pri M2. Znotraj vsake parcele so bile identificirane 4 manjše parcele z 10 rastlinami, na katerih smo merili vodni potencial stebla (Ψ_{steblo}), razvoj parametrov zorenja grozda (topne suhe snovi, titrirana kislost in pH) ter parametri proizvodnje ob trgovitvi. Poleg tega smo v letu 2021 na vsaki od parcel v medvrstju, kjer smo izvajali ozelenitev, odvzeli reprezentativni vzorec tal.



Slika 2: Opravljeno mulčenje posevka v Precenicco v obravnavi (tesi T1), 3. 6. 2021.

Še vlažni vzorci (na 2 mm) so bili presejani in do analize shranjeni pri 4 °C. Pri talnih vzorcih smo analizirali skupni organski ogljik (TOC), ekstrahirani dušik (EN), ekstrahirani ogljik (EC), bazalno

prezračenost tal, oziroma dihanje tal ter ogljik in dušik iz mikrobiotske biomase (BC in BN). TOC je bil izmerjen po dvournem izgorevanju na 550 °C (Periè C. in Ouimet, 2008; Wang et al., 2012). Dušik smo odvzeli z ekstrakcijo iz vzorca prsti 0,5 M in raztopine K_2SO_4 v razmerju 1 : 4 (m/v). Vsebnost dušika v ekstraktih smo izmerili z analizatorjem TOC-TN (TOC-VCSN Shimadzu). Bazalno prezračenost, t.i dihanje tal pa smo določali vsakih 6 ur z uporabo sistema za avtomatizirano vzorčenje in merjenje CO_2 v prostoru (s plinsko kromatografijo), kjer smo 10 dni izolirali talne vzorce v posebnih posodah za inkubacijo prsti na 20 °C. Ogljik mikrobiotske biomase je bil določen z metodo fumigacijske ekstrakcije (Vance et al., 1987). Nadalje je bil izračunan metabolični količnik (qCO_2 , $C\text{-}CO_2 / BC$), ki predstavlja razmerje med bazalno frekvenco prezračenosti, oziroma dihanja tal in mikrobiotsko biomaso C, to je urno količino proizvedenega $C\text{-}CO_2$ na ogljikovo enoto mikrobiotske biomase (Anderson in sod., 1986).



Slika 3: Izvedeno zakopavanje posevka pri obravnavi T2 v Precenicco, 19. 6. 2020.

Podatki za leto 2019 so bili pri poskusu izpuščeni, saj je neurje s točo močno vplivalo na trtne liste in pridelek.

V dveh sezонаh 2020 (17. 6. in 14. 8.) in 2021 (29. 7. in 24. 8.) smo pridobili tudi multispektralne podatke z uporabo brezpilotnega letalnika (drona), na katerega je bila nameščena multispektralna kamera Parrot Sequoia. Slike so bile posnete ob 12:00 po lokalnem času v optimalnih vremenskih razmerah. Slike so bile nato naknadno obdelane, zato da smo lahko izdelali ortomozaike, iz katerih so bili pridobljeni podatki o odbojnosti v posameznih pasovih: zeleni, rdeči, rdeči rob in bližnji infrardeči (NIR). Kasneje

so bili ti podatki uporabljeni za izračun poglavitejših vegetacijskih indeksov.

POSKUS 2: POLZELCE. SLOVENIJA

Poskus smo izvedli v vinogradu Polzelce, leži med vasema Slap in Lože na nadmorski višini 130 m, s severovzhodno lego in povprečnim naklonom 8%. Trte sorte malvazija na podlagi kober 5BB, so bile posajene leta 2014. Gostota sajenja je 4000 trt/ha (2,5 m med vrstami in 1,0 m v vrsti), gojitvena oblika je enošparonska. Poskus je bil izveden leta 2021, zasnovan je bil s tremi obravnavanji v treh ponovitvah. Skupno število trt v poskusu je bilo 108 (3 obravnavanja, 3 ponovitve, po 12 trt).

Primerjalne obravnave so bile:

- **Herby mix A 4** (RV Ventuoli, Pianoro, Bologna). Mešanica trav in metuljnic za zeleno gnojenje (*Avena sativa*, *Pisum sativum*, *Vicia sativa* - 100 kg/ha, posejane 18. marca, 2021; slika 4)
- **Geopro Gold** (Semfor). Mešanica križnic za zeleno gnojenje (*Sinapis alba*, *Brassica juncea* in *Brassica nigra* - 15 kg/ha, posejana 18. marca, 2021)
- **CON.** Kontrola. Obdelana tla, brez ozelenitve

Pred setvijo je bil odvzet vzorec tal za izvedbo kemijsko-fizikalne analize tal. Tla so težka, po teksturi glinasta ilovica. Tla so zmerno kisla (pH = 5,6) in zmerno humozna (1,53% humusa). Stopnja preskrbljenosti tal s fosforjem je siromašna (razred A), s kalijem srednja (razred B), z magnezijem pa dobra (razred C).

6. junija smo izvedli mulčenje mešanice Herby mix A 4, medtem pa ga nismo izvedli pri mešanici Geopro Gold, ker je bil posevek slabo razraščen, redek. Posevek za zeleno gnojenje Herby mix A 4 smo z vrtavkasto brano zakopali v tla 7. 7. 2021, Geopro Gold pa dan prej, 6. 7. 2021.

Med sezono smo spremljali vodni potencial steba (Ψ_{steba}), povprečno maso jagod in parametre dozorevanja grozdja (topne suhe snovi, titracijske kisline in pH) ter asimilacijski dušik.



Slika 4: Razvoj posevka Herby mix A 4 spomladi 2021 malo pred mulčenjem.

REZULTATI

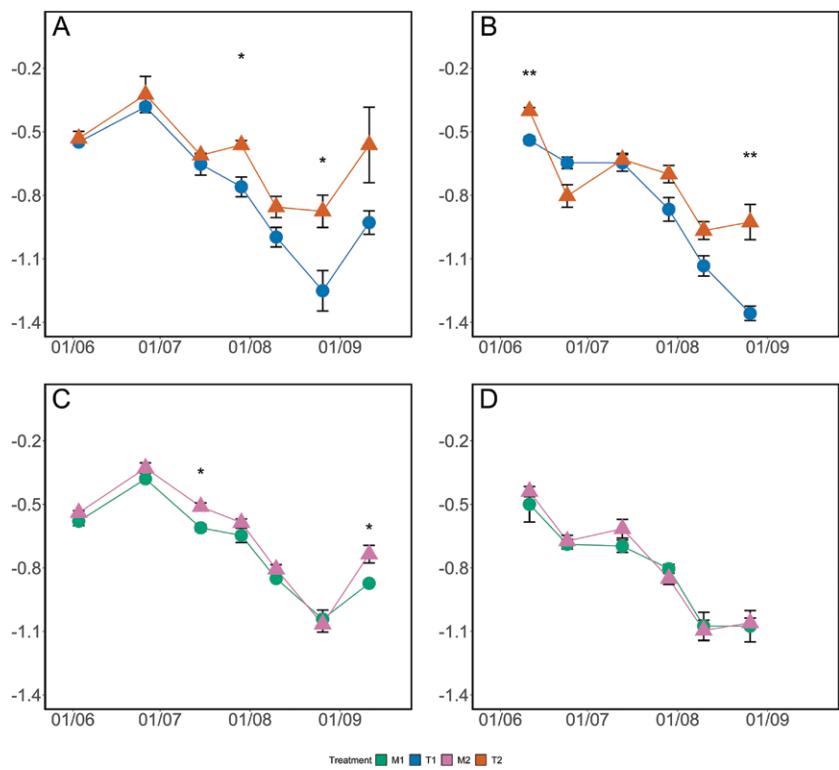
POSKUS 1: PRECENICCO. ITALIJA.

Med poletjem leta 2020 in 2021 smo spremljali v rednih časovnih presledkih vodni potencial stebla, da bi sledili razvoju vodnega statusa rastlin. Na grafičnem prikazu 1, si lahko ogledamo učinek izbora časovnega termina prekinitev kratkotrajne ozelenitve pri obravnavah z mulčenjem (zgoraj) in zakopavanjem (spodaj).

Zgodnja obdelava tal (T1) je v obeh letih povzročila poslabšanje vodnega statusa rastlin. V primerjavi s podatki pozne prekinitev zelenega posevka, je možno, da je prezgodnja prekinitev ozelenitve zmanjšala konkurenčnost pri vodi in hranilih v začetnih fazah trtnega razvoja in tako spodbudila vegetativni razvoj vinske trte in posledično povzročila večjo potrebo po vodi v kasnejših fazah.

Poleg tega obdelava tal spodbuja mineralizacijo organske snovi, ki s sproščanjem hranilnih elementov v fazi še aktivne rasti trte, spodbuja tudi večji razvoj listja.

Pri terenu v vinogradu v Precenicco, ki ga označujejo meljasto-ilovnate granulometrične frakcije, pa je najbrž močno deževje, značilno za prvo dekado junija 2020, spodbudilo nastanek površinske skorje, ki je omejevala infiltracijo vode v naslednjih fazah, kar pa je pri poskusu z zgodnjim zakopavanjem povečalo vodni stres.



Grafični prikaz 1: Učinek načina prekinutve ozelenitve in časovnega termina prekinutve na izmerjen vodni potencial stebla pri sezona 2020 (A, C) in 2021 (B, D). M1 in M2, zgodnje mulčenje in zakasneno mulčenje; T1 in T2, zgodnje mulčenje in zakopavanje ter pozno mulčenje in zakopavanje. Intervalli, označeni s črnimi linijami na prikazu, prikazujejo standardno napako meritve.

Pri tem poskusu pa je potrebno upoštevati še dva vidika: prvi je vezan na obdelavo tal, ki povečuje izhlapevanje vode iz tal, in s tem zmanjšuje količino zadržane vode, ki je na voljo trti; drugi pa je vezan na dejstvo, da pri zgodnji obdelavi tal v poletni sezoni pride do ponovne, delne rasti zelenega pokrova, ki potem tekmuje s pridelkom za vodo.

Pri pozнем zakopavanju pokrova pa deževje v letu 2020 ni povzročilo zbitosti tal, saj je bila setev zelenega posevka izvedena po deževni fronti v začetku junija.

V letu 2021 smo zabeležili v začetku junija in naslednjih mesecih manj padavin kar pa ni delovalo v prid vegetativni rasti kot v pretekli sezoni. Razlike vodnega stresa pri dveh časovnih terminih zakopavanja zelenega posevka pa so se pojavile kasneje, samo na koncu sezone smo zabeležili večji vodni potencial pri poskusu z zgodnjo prekinivijo ozelentive.

Preglednica 1: Analiza vpliva letnika, načina in časovnega termina prekinitev na proizvodne parametre. Podatke smo primerjali po trismerni tehniki analize variance ANOVA (Analysis of Variance test) Sign F. (n.s. statistično neznačilne razlike; ** in ***, statistično značilne razlike med povprečji za $p < 0,01$ oziroma $p < 0,001$). Interakcije med dejavniki niso bile pomembne, zato o njih nismo poročali.

Dejavnik	Stopnja	Število grozdov	Pridelek (kg)	Povprečna masa grozda(g)
Leto (A)	2020	20,19	5,63	281,16
	2021	17,87	7,73	437,55
	Sign. F	**	***	***
M e t o d a (M)	zakopavnj	18,56	6,69	366,80
	mulčenje	19,50	6,66	351,91
	Sign. F	n.s.	n.s.	n.s.
Časovni termin (T)	zgodaj	19,07	6,81	366,76
	pozno	18,99	6,55	351,95
	Sign. F	n.s.	n.s.	n.s.

Po drugi strani pa nismo zabeležili razlik pri različnih časovnih terminih prekinitev, kjer smo pri obravnavah izvajali samo mulčenje. Glede na to kar smo poročali v zgornjih odstavkih, smo pri obravnavi brez zakopavanja imeli manjšo mineralizacijo organske snovi in izgubo vode zaradi izhlapevanja. Moramo pa upoštevati, da zastirka po mulčenju zmanjšuje izgubo vode pri izhlapevanju in ohranja boljše vodno stanje v vinogradu.

Časovni termin in način prekinitev zelenega gnojenja pa nista pomembno vplivala na proizvodnjo pridelka (preglednica 1). Zlasti se je pokazal zelo močan vpliv letnika na vse tri preučene proizvodne parametre; pravzaprav je leta 2021, v primerjavi z manjšim številom grozdov prišlo do zelo pomembnega kompenzacijskoga učinka na povprečno maso jagod, kar je na koncu povzročilo povečanje proizvodnje za približno 2 kg/rastlino. Pri preučevanju učinka metode prekinitev, lahko poudarimo da je metoda zakopavanja zelenega pokrova imela pozitiven učinek na povprečno maso jagod, kar pa ni zadostovalo za bistveno višjo vrednost pridelka na rastlino. Tudi, kar se tiče izbire časovnega termina, ni prišlo do pomembnih rezultatov, čeprav je mogoče opaziti nekoliko višje vrednosti povprečne mase jagod in proizvodnje pri obravnavah, kjer smo izvajali prekinitev ozelenitve zgodaj in smo dokazali, da će prekinemo konkurenčnost med ze-

lenim pokrovom in pridelkom, spodbujamo rast in s tem proizvodnjo pridelka.

Kar se tiče tehnoloških parametrov grozdja ob trgatvi, pri obeh letnih nismo zabeležili razlik v akumulaciji topnih suhih snovi, medtem ko smo opazili razlike pri podatkih titracijske kisline (večja v 2020 v primerjavi z letom 2021) in predvsem pri stopnjah pH (višje stopnje so zabeležene v letu 2021 v primerjavi z letom 2020). Način prekinitev zelenega gnojenja ni vplival na zgoraj navedene parametre, vendar pa je obravnavo z mulčenjem imela bistveno višje vrednosti kot pa obravnavo z zakopavanjem.

Nazadnje, nismo zasledili posebnih razlik med obravnavami z različnim terminom prekinitev, čeprav je na splošno mogoče opaziti višje vrednosti kopicanja topnih trdnih snovi in, obratno, tendencialno nižje parametre titracijske kisline pri obravnavah s prekinitvijo, ki je bila izvedena zgodaj.

S preučevanjem interakcije med časovnim razporedom in metodami prekinitev je bila kislost bistveno višja pri pozrem zakopavanju, medtem ko je, nasprotno, samo mulčenje, izvedeno v istem časovnem intervalu, zabeležilo bistveno nižje vrednosti. Kar zadeva pH, so trendi ravno nasprotni, vendar so razlike, čeprav pomembne, majhne.

*Preglednica 2: Analiza vpliva letnika, načina in časovnega termina prekinitev na tehnološke parametre zrelosti grozdja ob trgatvi. Podatke smo primerjali po trismerni tehniki analize variance ANOVA (Analysis of Variance test) Sign F. (n.s. statistično neznačilne razlike; ** in ***, statistično značilne razlike med povprečji za $p < 0,05$ oziroma $p < 0,001$). Navajamo interakcije med dejavniki, kadar je vsaj eden izmed parametrov izstopal.*

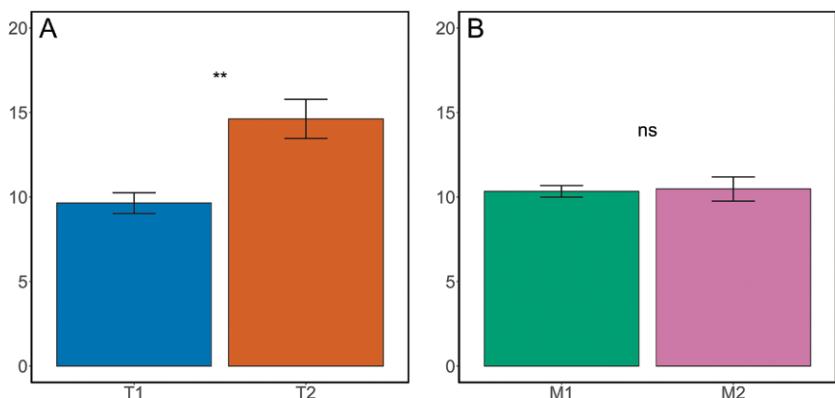
Dejavnik	Stopnja	TSS ($^{\circ}$ Brix)	Titracijske kisline (g/L)	pH
Leto (A)	2020	18,33	4,64	3,27
	2021	18,17	4,40	3,39
	Sign. F	n.s.	*	***
Metoda (M)	zakopavje	18,04	4,52	3,33
	mulčenje	18,46	4,52	3,33
	Sign. F	*	n.s.	n.s.
Časovni termin (T)	zgodaj	18,42	4,45	3,33
	pozno	18,08	4,59	3,34
	Sign. F	n.s.	n.s.	n.s.
Interakcija med M in T	Sign. F	n.s.	*	*

S pregledom metode, oziroma načina prekinitve zelenega gnojenja, je mogoče ugotoviti, da rezultati pridelka po zakopu zelenega pokrova ne glede na časovni termin, kažejo višje vrednosti ekstrahiranega ogljika (EC) in bistveno višje vrednosti ekstrahiranega dušika (EN), medtem ko so si vrednosti vsebine istih elementov v mikrobiomični biomasi (BC in BN) pri obeh obravnavaх, pri mulčenju in zakopavanju zelenega pokrova, zelo podobne. Če primerjamo obravnave z različnim zaključnim časovnim terminom, ni opaziti večjih razlik med pregledanimi parametri, z izjemo rahlega povečanja ekstrahiranega ogljika in dušika pri obravnavi s pozno prekinitvijo, ter tendencialno višje vrednosti istih elementov v mikrobiomični biomasi pri zelenem gnojenju, ki smo ga zaključili in odstranili zgodaj v sezoni.

Metoda, torej način in časovni termin prekinitve zelenega gnojenja pa vplivata na mikrobiomično biomaso ter na njeno aktivnost in dobro stanje, ki ju označujemo z metaboličnim kvocientom qCO_2 . Slika 2 podrobno prikazuje skupni učinek obeh dejavnikov na ta parameter. Samo mulčenje zelenega pokrova ne povzroči bistvenih sprememb pri qCO_2 , medtem ko zakopavanje zelenega pokrova, še posebej pozna obdelava T2, pa zavira aktivnost in mikrobiomično biomaso. To stanje pa se najbrž odraža kot posledica izbora kasnejšega termina in daljše izpostavitve obdelane zemlje visokim temperaturam in sončnem obsevanju v poletnih mesecih, ki povzročijo zmanjšanje mikrobiomične biomase. Hkrati pa pozna obdelava zelenega pokrova, v primerjavi z zgodnjo obdelavo, omejuje ponovno rast podorin, kar pa je dejavnik, ki povečuje mikrobiomični stres (Mondini et al. 2019).

*Preglednica 3: Analiza vpliva načina in časovnega termina prekinitve na nekatere biokemijske indekse tal, ki smo jih preučevali v letu 2021. Podatke smo primerjali po dvosmerni tehniki analize variance ANOVA (Analysis of Variance test) Sign F. (n.s. statistično neznačilne razlike; ** in ***, statistično značilne razlike med povprečji za $p < 0,05$ oziroma $p < 0,01$).*

Dejavnik	Stopnja	EC (µg/g)	EN (µg/g)	BC (µg/g)	BN (µg/g)	qCO_2
Metoda (M)	zakopavanje	92,7	53,3	849	103	12,1
	mulčenje	82,9	38,5	832	109	10,4
	Sign. F	ns	**	ns	ns	*
Časovni termin (T)	zgodaj	86,4	42,0	871	111	10,0
	pozno	89,3	49,8	810	101	12,5
	Sign. F	ns	ns	ns	n.s.	**
Interakcija med M in T	Sign. F	ns	ns	ns	ns	**



Grafični prikaz 2: indeks biomase in mikrobiotska aktivnost v primerjavi pri štirih obravnavah zelenega gnojenja ob koncu sezone 2021. T1 in T2, zgodnje in pozno mulčenje in zakopavanje; M1 in M2, zgodnje in pozno mulčenje. Podatke smo primerjali z analizo variance - ANOVA (n.s., statistično neznačilne razlike; **, statistično značilne razlike za $p < 0,01$) ločeno za primerjavo med obema obdobjema mulčenja (M1 in M2) in za mulčenje in zakopavanje (T1 in T2).

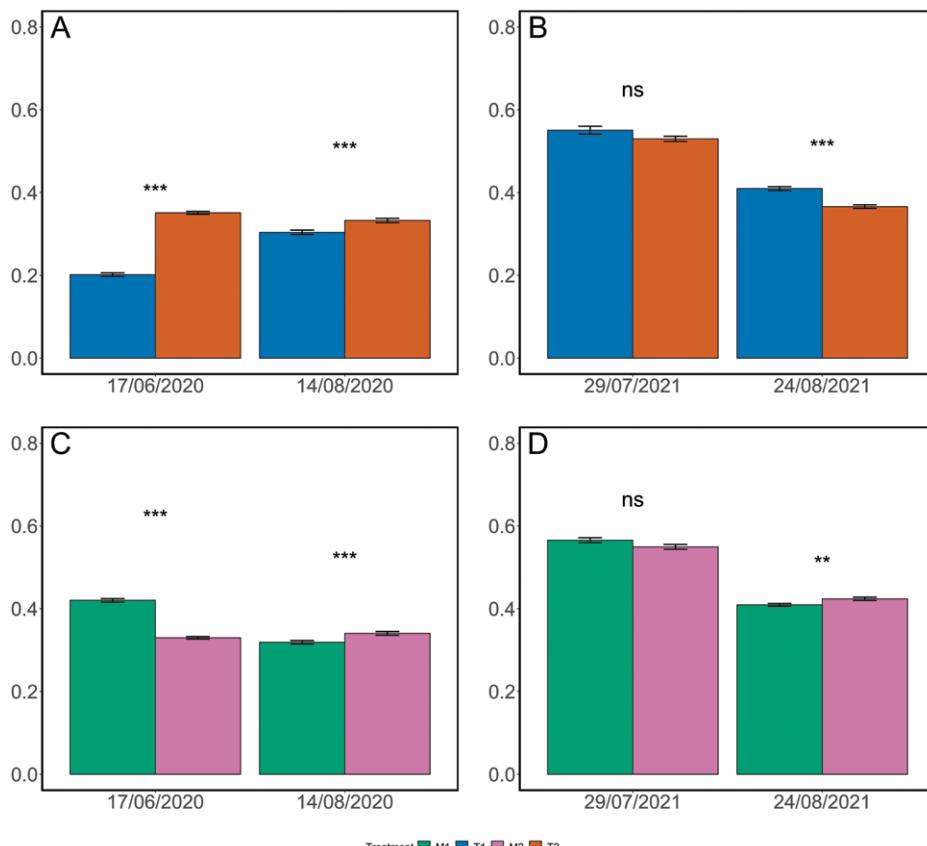
Multispektralni indeksi

Potek multispektralnih podatkov pri obeh metodah upravljanja tal z zelenim gnojenjem smo primerjali z enosmerno analizo variance - ANOVA. Globalno so vsi indeksi odkrili jasne razlike v bujni rasti med T1 in T2 v letu 2021 ter manj izrazite razlike med M1 in M2 v istem letu. Kar zadeva leto 2020, je potek indeksov pokazal nižjo korelacijo s podatki meritev vodnih potencialov, kljub temu pa smo uspeli zagotoviti nekatere poglavite informacije. Povedati je treba, da je spektralna odbojnost vegetacije pogojena s številnimi dejavniki, ki se lahko v vinogradu pojavljajo hkrati.

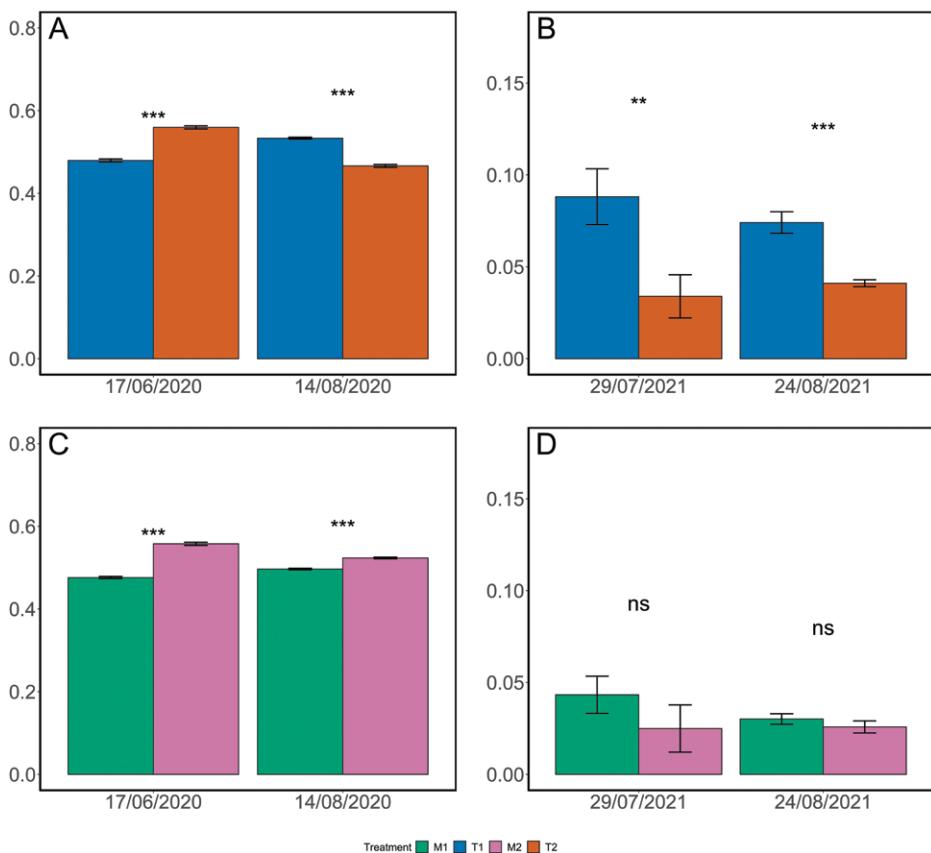
Zaradi tega lahko odbojnost v dveh različnih letih prevzame tudi vrednosti, ki so zelo oddaljene druga od druge. Poleg tega je prvi datum pridobitve podatkov potekal v različnih mesecih v posameznih sezонаh dvoletne študije, kar pa je zaznalo vegetacijo v stopnjah razvoja, ki se ne pokrivajo v celoti. Indeksa, ki sta nam poročala o najboljših rezultatih, sta bila *Optimised Soil-Adjusted Vegetation Index* - OSAVI (optimiziran vegetacijski indeks, prilagojen prsti, grafični prikaz 3) in razmerje med *Transformed Chlorophyll Absorption Ratio* - TCARI (transformiranim absorpcijskim razmerjem klorofila) in indeksom OSAVI (TCARI / OSAVI; grafični prikaz 4). OSAVI je indeks, izračunan s kombinacijo odbojnosti rdečega in bližnjega infrardečega sevanja (NIR), ki je bil razvit za zmanjšanje motenj odbojnosti tal pri fotografijah iz zraka.

V več študijah je bilo dokazano, da OSAVI zagotavlja informacije o vodnem stanju vegetacije in bujne rasti. TCARI / OSAVI vsebuje tudi odboj v zeleni barvi, ki zagotavlja informacije o prisotnosti klorofila in s tem o razvoju vegetacije.

Ob opazovanju gibanja in poteka obeh indeksov je razvidno, da kljub dejству, da je v letu 2020 obstajala razlika med rezultati obravnav M1 in M2, ta razlika je bila le skladna samo z drugo meritvijo obeh let. Nasprotno, podatki obravnave T1 so se v obeh letih zabeležili bujnejšo rast kot pa pri obravnavi T2, čeprav je bila leta 2020 največja bujnosc zaznana šele ob koncu sezone, kar je v skladu z rezultati listnega vodnega potenciala. Pravzaprav bi večja bujnosc vegetacije, ki so jo zaznale fotografije brezpilotnih letal, upravičila večjo transpiracijo in s tem manjši vodni potencial, zaznan pri obravnavi T1.



Grafični prikaz 3: Trend vegetacijskega indeksa OSAVI: A) zakopavanje 2020, B) zakopavanje 2021, C) mulčenje 2020, D) mulčenje 2021. Podatki primerjani z enosmerno analizo variance -ANOVA (ns-statistično neznačilne razlike , ** in *** statistično značilne razlike za $p <0,01$ oziroma $p <0,001$).



Grafični prikaz 4: Trend vegetacijskega indeksa TCARI / OSAVI: A) zakopavanje 2020, B) zakopavanje 2021, C) mulčenje 2020, D) mulčenje 2021. Podatki primerjani po enosmerni tehniki ANOVA (ns - statistično neznačilne razlike, ** in *** statistično značilne razlike za $p < 0,05$ oziroma $p < 0,001$).

POSKUS 2: POLZELCE. SLOVENIJA.

V treh časovnih terminih (21. 6., 21. 7. in 21. 8. 2021) smo spremljali stopnjo vodnega stresa rastlin (Ψ_{steblo}) z uporabo Scholanderjeve komore. Podatki meritev kažejo na večji vodni stres pri kontroli, kjer so bila tla obdelana. Najmanjši vodni stres je bil izmerjen pri obravnavi z ozelenitvijo z mešanico Herby mix A 4, ki je bila sestavljena iz grašice, graha in ovsja. Pri obravnavi z ozelenitvijo z mešanicami Geopro Gold so bile izmerjene vrednosti vodnega stresa višje kot pri Herby mix A 4, Geopro Gold mešanica se je slabo razrasla, kar je verjetno posledica spomladanske setve; jesenska setev bi gotovo pripeljala do večje rasti biomase.

36 Trajna in kratkotrajna ozelenitev vinogradniških tal

Preglednica 4: Razlike v vrednostih vodnega potenciala steba (Ψ_{steba}) v treh primerjanih obravnavah.

Obravnavne	21.06.2021	21.07.2021	21.08.2021
Herby mix A 4	-0,76 (blag)	-0,63 (blag)	-0,88 (zmeren)
Geopro Gold	-0,77 (blag)	-0,70 (blag)	-0,98 (zmeren)
CON	-0,83 (zmeren)	-0,78 (blag)	-1,00 (zmeren)

Od 23. avgusta dalje smo vzorčili grozdje, da bi sledili krivuljam zorenja. Pri zadnjem vzorčenju, 6. septembra 2021, so parametri zorenja grozda pokazali nekaj razlik med tremi obravnavami.

Pri vrednostih kopičenja topnih trdnih snovi ni bilo pomembnih razlik, medtem ko so bile titracijske kisline v primeru kontrole nižja, vrednost pH pa znatno višja.

Vrednosti jabolčne kisline so bile višje pri ozelenitvi s semensko mešanico Herby mix A 4, medtem ko je vrednost vinske kisline bistveno višja pri uporabi ozelenitve z mešanico Geopro Gold in statistično signifikantno najnižja v kontroli (CON). Pri obeh obravnavanjih s setvijo mešanic v primerjavi s kontrolo so vrednosti dostopnega aminokislinskega dušika (YAN) nižje, povprečna masa jagod višja, prav tako je višja tudi vrednost nalaganja sladkorja.

Preglednica 5: Primerjava obravnav z ozelenitvijo s kontrolo: vpliv na tehnološke parameter zrelosti ob trgovci. Podatki so bili obdelani po enosmerni analizi variance ANOVA (n.s., statistično neznačilne razlike; ** in ***, statistično značilne razlike med povprečji za $p < 0,01$ oziroma $p < 0,001$).

Obravnavna	Titrabilna kislota (g/L)	pH	Jabolčna kislina (g/L)	Vinska kislina (g/L)	YAN (mg/L)	Topne trdne snovi (Brix)	Povprečna masa jagode (g)	Nalaganje sladkorja (mg/jagoda)
Geopro Gold	9,03	3,10 b	5,09	6,55 a	137	19,38	2,70	523
Herby mix A 4	9,37	3,10 b	5,86	6,16 b	137	19,37	2,78	539
CON	8,29	3,19 a	5,03	6,01 b	159	19,40	2,52	491
Sign. F	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Dobljeni rezultati se ujemajo z rezultati poskusa na lokaciji Precenicco, saj nam potrjujejo, da obdelava tal poslabša vodno stanje vinske trte, kar vpliva na potek dozorevanja grozdja.

SKLEPI

Rezultati poskusa izvedenega v Precenicco, so pokazali, kako upravljanje s kratkotrajno ozelenitvijo vpliva na vodno stanje trte, manj pa na parametre pridelka in na zorenje grozdja. Uporaba kratkotrajne ozelenitve v vinogradu pa ima pomembne posledice na mikrobiotsko aktivnost tal. Zgodnje zakopavanje zelenega posevka pospeši rast vegetacije, ki postane bolj občutljiva na pomanjkanje vode v poletnih mesecih. Sicer pa ima upravljanje tal samo z mulčenjem zanemarljiv vpliv na ta parameter.

Ugotovili smo, da se pri uporabi poznega zakopavanja poveča qCO_2 , ki poudari mikrobiotski stres z zmanjšanjem biomase in povečanjem zračnosti, oziroma dihanja tal, v primerjavi z isto operacijo, izvedeno v zgodnejši fazi. Ta zadnji rezultat nakazuje, da je morebitna poletna izpostavljenost tal brez vegetacije ali mulčenja praksa, ki se je moramo izogibati, če želimo ohraniti uravnoteženo mikrobiotsko aktivnost prsti, obenem pa tudi omejiti izgube ogljika v ozračju in hkrati zmanjšati porabo vode pri pridelku. Zato je treba prakso zakopavanja ozelenitve, ko želimo spodbuditi vegetacijo vinske trte, izvajati v hladnejših in deževnih obdobjih, da se omogoči tako delna obnova zelenega pokrova za zaščito tal v poletnih mesecih. Z namenom, da bi ohranili mikrobiološke komponente in pa organske snovi v tleh ter zmanjšali vnose (gnojenja in namakanja) je treba obdelavo tal čim bolj omejiti.

ZAHVALA

Delo na projektu Acquavitis je bilo financirano v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija Interreg 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in iz nacionalnih sredstev.

BIBLIOGRAFIJA

- Anderson T.H., Domsch K.H., (1986) Carbon assimilation and microbial activity in soil J. Plant. Nutr. Soil Sci. 149, 457-468
- Cerdan O., Govers G., Le Bissonnais Y., Van Oost K., Poesen J., Saby N., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F. J. P. M., Raclot D., Ionita I., Rejman J., Rousseva S., Muxart T., Roxo M. J., & Dostal T. (2010). Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data. Geomorphology, 122, 167-177.
- Cerdan O., Poesen J., Govers G., Saby N., Le Bissonnais Y., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F. F. P. M. & Roxo, M. J. (2006). Sheet and rill erosion, in: Soil Erosion in Europe. Boardman J. & Poesen, J. (Eds.). pp. 501-513. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Haramoto E. R., & Gallandt E. R. (2004). Brassica cover cropping for weed management: a review. Renewable agriculture and food systems, 19(4), 187-198.
- Hirschfelt D.J. (1998). Soil fertility and vine nutrition. In Cover Cropping in Vineyards. Ingels C.A., Bugg R.L., McGourty G.T. & Christensen L.P. (Eds.). pp. 61-68. University of California: Oakland, CA, USA
- MacLaren C., Swanepoel P., Bennett J., Wright J., & Dehnen-Schmutz, K. (2019). Cover crop biomass production is more important than diversity for weed suppression. Crop Science, 59(2), 733-748.
- Mondini C., Fornasier F., Sinicco T., Sivilotti P., Gaiotti F. & Mosetti D. (2019). Aumentare la sostanza organica in vigneto con il compost. Informatore Agrario 75(21), 38-42.
- Periè C., Ouimet R., (2008) Organic Carbon, Organic Matter and Bulk Density Relationships in Boreal Forest Can. J. Soil Sci. 88, 315-325
- Rogers T. H. & Giddens, J. E. (1957). Green manure and cover crops. Soil, the yearbook of agriculture, (Ed. A Stefferud) pp, 252-257.
- Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19, 703-707
- Walker D., Baumgartner D., Fitzsimmons K. & Gerber C.P. (2006). Chapter 18: Surface Water Pollution, In Environment & Pollution Science. Eds. I.L. Pepper, C.P. Gerber, and M.L. Brusseau. p. 283.
- Wang X., Wang J., Zhang J., (2012) Comparisons of Three Methods for Organic and Inorganic Carbon in Calcareous Soils of Northwestern China. PLoS ONE 7(8), e44334
- <https://soilhealthinstitute.org/wp-content/uploads/2016/11/case-summary-water-final-101316.pdf>
- <http://www.fao.org/news/story/en/item/357059/icode/>
- <https://greentumble.com/the-role-of-green-manure-in-soil-fertility/>
- <https://4p1000.org/?lang=en>



Uporaba daljinskega zaznavanja za spremljanje vinogradov

Uroš Žibrat^{1a*}, Matej Knapič^{1b}, Alessia Cogato², Alen Mangafić³

^{1a} Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za varstvo rastlin

^{1b} Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in vinarstvo

² Univerza v Vidmu, Oddelek za vede o kmetijstvu, živilstvu, okolju in živalih - Di4A

³ Geodetski inštitut Slovenije

* uros.zibrat@kis.si

POVZETEK

Daljinsko zaznavanje je znanost, ki združuje široko paleto tehnik in senzorjev, ki jim je skupno, da pridobijo določene informacije o proučevanem objektu brez fizičnega kontakta. Oddano ali odbito elektromagnethno sevanje, načeloma svetlobo sonca, merimo s pomočjo senzorjev na različnih platformah (brezpilotnih letalnikih, letalih ali satelitih). S pridobljenimi podatki lahko spremljamo rast in stanje rastlin ter posledično tudi lastnosti trt, kot je fotosintetska aktivnost, prisotnost ali odsotnost škodljivcev in hranilnih snovi ter stanje vode v rastlini. Podatki daljinskega zaznavanja predstavljajo eno od osnov za upravljanje kmetijskih površin z uporabo metod preciznega kmetijstva.

Senzorji na platformah ponujajo različne podatke o spektralnosti, prostorskih komponentah in časovni ločljivosti, ki jih lahko uporabimo za več namenov. Satelitski posnetki so načeloma najboljši za spremljanje velikega obsega (na državnem ali regionalnem nivoju), vendar smo s projektom Acquavitis dokazali, da so podatki primerni tudi za posamezne vinograde. Glavni cilj projekta Acquavitis je bil preučiti, ali lahko z daljinskim zaznavanjem več senzorjev na različnih platformah spremljamo stanje vode v izbranih vinogradih. Za namene analize smo uporabili multispektralno kamero na dronu, dve hiperspektralni kameri 400-2500 nm na ultralahkem letalu in posnetke satelita Sentinel-2. Potrdili smo povezanost med izmerjenim vodnim potencialom trt in podatki, ki so jih zaznali vsi trije senzorji. Razvili smo tudi regresijske modele za določanje vodnega stresa trt, vendar se njihova natančnost razlikuje glede na senzor in stopnjo vodnega stresa. Na splošno velja, da so najbolj natančni modeli tisti, ki smo jih razvili na podlagi podatkov iz hiperspektralnih kamer na ultralahkem letalu. Kljub temu pa velja opozoriti, da je za zanesljivejše spremljanje vodnega stanja v vinogradih treba v vse preizkušene modele vključiti več podatkov s terena.

ABSTRACT

Remote sensing is a science that combines a wide range of techniques and sensors, which have in common to obtain certain information about the studied object without physical contact. Emitted or reflected electromagnetic radiation, usually sunlight, is measured with the sensors from different platforms (unmanned aerial vehicle (UAV), airplane or satellite). Data obtained enables us to monitor plant growth and their condition. Thus we can follow different plant canopy characteristics such as photosynthetic activity, presence or absence of plant pests and plants nutrient or water status. Remote sensing data are one of the basic input data in precision agriculture management.

Sensors on different platform differ in spectral, spatial and time resolution so we use them according to our needs. In general we can say that satellite images are the most useful for monitoring the larger scale

(country or region level) however as was shown in the frame of Acquavitis project could be valuable also for the monitoring of the individual vineyards. The main focus of remote sensing application in the frame of Acquavitis project is to use different sensors on different platforms to monitor water status in selected vineyards. We used multispectral camera on UAV, two hyperspectral cameras covering reflection from 400-2500 nm on ultralight airplane and Sentinel 2 satellite images. Correlations between measurements of plant water potential and remote sensing data from all 3 sensors were confirmed. Regression models for determination of water stress of vines were developed however models accuracy differs between the sensors and from the level of expressed water stress. In general most accurate models were obtained from hyperspectral data recorded with ultralight airplane however more field data should be included in the models of all tested sensors to be able to build reliable method to monitor water status in vineyards.

DALJINSKO ZAZNAVANJE

Daljinsko zaznavanje je znanost, ki združuje široko paleto tehnik in senzorjev, ki jim je skupno, da pridobijo določene informacije o proučevanem objektu brez fizičnega kontakta. Z razdalje merimo oddano ali odbito elektromagnetno sevanje. Velik del tehnik temelji na analizi odboja svetlobe sonca in ker smo v projektu uporabljali te tehnike, se bomo v nadaljevanju omejili le na njih.

Optični senzorji uporabljajo svetlobni spekter (Slika 1) od ultravioletne do daljne infrardeče svetlobe (15×10^3 nm do 350×10^3 nm). Ljudje zaznamo svetlobo v tako imenovanem vidnem delu spektra, od 400 do 700 nm. Bližnji infrardeči del spektra (NIR) se giblje od 700 do 1000 nm, kratkovalovni infrardeči pa od 1000 do 2500 nm (SWIR). Senzorje, ki zajemajo signal valovnih dolžin večjih od 2500 nm uvrščamo med čiste infraredeče ozziroma termične senzorje, ki zajemajo signal v različnih spektralnih območjih. Ob stiku med svetlobo in predmeti lahko pride do treh učinkov; svetloba se lahko odbija od predmeta, preseva skozi predmet ali se v predmetu absorbira. Ob prehodu skozi različne medije, kot je atmosfera, svetloba trči ob delce v tem mediju (na primer vodne kaplje in prah) in se razprši. Vrsta in količina sisanja sta odvisna od velikosti delcev (npr. delci, manjši od valovne dolžine, povzročajo Rayleighovo sisanje, odvisno od valovne dolžine, ki pretežno razprši modre valovne dolžine, zaradi česar je nebo modro), in ju je treba upoštevati pri aplikacijah daljinskega zaznavanja. Optični senzorji za daljinsko zaznavanje merijo skupen učinek glavnih treh pojavov, čemur pravimo spek-

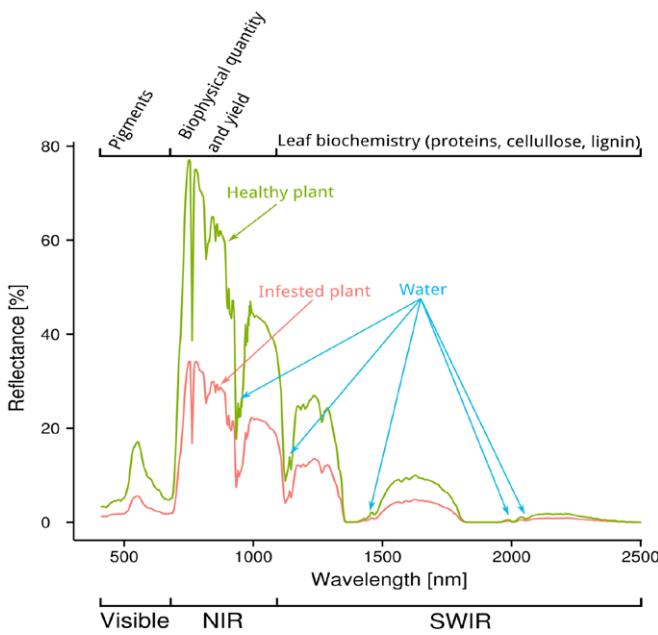
tralna odbojnost, pogosto tudi odbojnost. Odbojnost pri različnih valovnih dolžinah in njihova razmerja so značilna za predmete (npr. rastline, tla in voda) in omogočajo njihovo prepoznavanje. Ta edinstvena in značilna odbojnost se imenuje spektralni podpis, t.j. spektralna odbojnost kot funkcija valovne dolžine. Spektralni podpisi vegetacije so odvisni od optičnih lastnosti nadzemnih delov rastlin, njihovih biofizičnih in biokemičnih lastnosti, osvetlitve, učinkov ozadja in geometrije opazovanja.

Sodobni optični senzorji ustvarjajo sorazmerno velike količine kompleksnih podatkov, zato temelji analiza podatkov daljinskega zaznavanja na ustreznih informacijskih in tehnoloških rešitvah. Napredne metode analize podatkov so ključnega pomena za učinkovito uporabo podatkov daljinskega zaznavanja za odkrivanje stanja rastlin. Te dejavnike je treba oceniti najmanj enako natančno, kot z uporabo tradicionalnih metod, vendar z manj napora in potrebnega časa. Zaradi kompleksnosti in velikih količin podatkov se pri analizi podatkov in določanju stanja rastlin v večji meri uporabljajo metode strojnega učenja.

Tradicionalne prakse kmetijskega upravljanja predpostavljajo homogeno porazdelitev rastnih pogojev, kot tudi rastlinskih ško-dljivcev in bolezni, vendar je njihova porazdelitev najpogosteje heterogena. Omejitve običajnih pridelovalnih tehnologij lahko optimiziramo z uporabo metod preciznega kmetijstva. Precizno kmetijstvo je sistem upravljanja, ki uporablja različne senzorje in platforme za zagotavljanje pravočasnih in natančnih podatkov z večjih površin. Daljinsko zaznavanje spada med osrednje metode preciznega kmetijstva, saj omogočajo oceno in spremljanje rastnih pogojev, kar omogoča pravočasno in ciljano ukrepanje.

Spektralnost

Ljudje vidimo sončno svetlobo z uporabo dveh vrst fotoreceptorjev v mrežnici naših oči. Paličaste celice so občutljive na absolutno raven svetlobe, čepkaste celice pa ločijo med barvami. Na mrežnici imamo tri vrste čepkastih celic, vsaka se bolj odziva na določeno valovno dolžino vidne svetlobe. S-čepki se odzivajo na kratkovalovno (modro) svetlobo, M-čepki na srednjevalovno (zeleno) in L-čepki na dolgovalovno (rdečo) svetlobo. Ljudje barvo zaznavamo kot kombinacijo teh treh spektralnih pasov. Temu pravimo tudi barvni sistem RGB (angl. Red-Green-Blue oziroma Rdeča-Zelena-Modra), ki ga uporabljam v elektronskih napravah (npr. računalniških zaslonih).



Grafični prikaz 1:
Spektralni podpisi
zdravih in bolnih
rastlin, zajeti s
hiperspektralnim
senzorjem. Zaradi
visoke spektralne
ločljivosti
hiperspektralnih
senzorjev (torej
visokega števila
spektralnih pasov)
lahko pasove, kjer
atmosferska voda
absorbira svetlogo.

Optični senzorji uporabljajo enak sistem, torej svetlogo razdelijo na spektralne pasove različnih širin. Te senzorje delimo glede na število spektralnih pasov in valovne dolžine, ki jih zajemajo, v pet skupin: (1) RGB (na primer fotoaparati), (2) multispektralni (med 4 in 20 pasovi), (3) hiperspektralni (več sto pasov), (4) topotropni (različno število pasov, valovne dolžine nad 2500 nm) in (5) fluorescenčni slikovni senzorji (valovne dolžine pod 400 nm). Ne glede na sistem je standardiziran postopek pridobivanja podatkov ključnega pomena za doseganje visoke natančnosti in ponovljivosti. Nizka natančnost zaznavanja je pogosto posledica nizke kakovosti slike (npr. slaba prostorska ločljivost), manjšega števila spektralnih pasov in neustreznosti časa zajema podatkov (npr. rastlinski spektralni podpisi se spreminjajo s fenološkim razvojem).

Na spektralne podpise rastlin vpliva več dejavnikov povezanih s posameznimi področji svetlobnega spektra. V vidnem delu spektra (400 - 700 nm) prevladujejo pigmenti (npr. klorofil, karotenoidi, antocianini). V bližnjem infrardečem območju (NIR, 700 - 1000 nm) na odboj v večji meri vplivata morfologija in struktura listov, medtem ko je odboj v kratkovalovnem infrardečem delu (SWIR, 1000 - 2500 nm) odvisen od vsebnosti vode v rastlinskem tkivu in metabolitov (npr. celuloza in beljakovine). Rastline odbijajo približno polovico vhodne svetlobe v območju NIR; klorofil je skoraj prozo-

ren pri valovnih dolžinah nad 700 nm. Rastlinske celice delujejo kot osnovni kotni reflektorji, zato je mogoče meriti spremembe v strukturi rastlinskega tkiva. Na primer, rastline v stresu bodo imele nižji odsev v območju NIR. Z analizami spektralnih podpisov lahko odkrijemo spremembe in jih uporabimo za karakterizacijo fiziološkega stanja rastline in oceno genotipno specifičnih odzivov na biotske in abioticske strese.

Pri analizi multispektralnih podatkov se bolj kot absolutne vrednosti ali spremembe odboja v posameznem pasu valovne dolžine, uporablajo vegetacijski in spektralni indeksi. Indeksi predstavljajo razmerja odboja posameznega valovnega območja. Najbolj pogosti so indeksi, ki poleg odboja v bližnjem infrardečem delu spektra vključujejo še odboj v vidnem delu svetlobnega spektra. Takšni so denimo vegetacijski indeks normaliziranih razlik (NDVI), zeleni vegetacijski indeks normaliziranih razlik (GNDVI) in indeks preprostega razmerja določenih pigmentov (PSSR). Različni indeksi različno uspešno ocenijo posamezen dejavnik vegetacije. Primernost za oceno posameznega dejavnika se spreminja hkrati z razvojem vegetacije, kar otežuje povsem avtomatično izbiro indeksa za oceno stanja vegetacije. V odvisnosti od proučevanega dejavnika lahko multispektralno slikanje uporabimo za potrditev terenskih ocen in za izdelavo vmesnih ocen med prvo in zadnjo terensko oceno proučevanega dejavnika.

Prostorska komponenta

Prostorska ločljivost, t.j. velikost rasterskih celic, je pomembna komponenta optičnih senzorjev daljinskega zaznavanja, in hkrati njihova velika omejitev. Ločljivost optičnih senzorjev opisuje koliko podrobnosti lahko razberemo iz posamezne slike in je seveda tudi pogojena z oddaljenostjo senzorja ob slikanju. Velikosti rasterskih celic segajo od nekaj centimetrov do več deset metrov, odvisno od senzorja. Na splošno velja, da imajo senzorji na brezpilotnih letalnikih najboljše ločljivosti (nekaj centimetrov), senzorji na satelitih pa najslabše (merjeno v metrih); senzorji na letalih so vmes (velikost celic od pol metra do metra in več). Čeprav pridobimo z brezpilotnimi letalniki podatke najvišje prostorske ločljivosti, lahko posnamemo le omejene površine, na primer posamezne vignograde. V kolikor nas zanimajo večje površine, je primernejša uporaba letalskega ali satelitskega slikanja.

Izbira platforme daljinskega zaznavanja je odvisna od površine, ki jo želimo pregledati ter želene natančnosti. Slaba prostorsko ločljivost, torej velike rastrske celice, bo privredla do t.i. mešanih po-

datkov, kjer bo ena celica nosila informacijo različnih objektov. Na primer, satelit Sentinel-2 ima rasterske celice velikost najmanj 10 m, odvisno od spektralnega pasu. Pri tej velikosti zajamemo v eni rasterski celici različne rastline (na primer vinsko trto in travo), tla, ter vse ostale predmete (na primer stebre). Znotraj tako velikih rasterskih celic lahko rastline, ki nas zanimajo, pokrivajo manjšo površino kot drugi predmeti (na primer trava), kar otežujejo določanje zdravstvenega stanja rastlin, kot je vinska trta. Z uporabo brezpilotnih letalnikov in letal lahko to težavo omilimo, saj omogočajo ločevanje med različnimi predmeti. Iz slik z dovolj visoko prostorsko ločljivostjo lahko izluščimo rasterske celice, ki nosijo podatke vinske trte, s čimer izboljšamo zanesljivost metod določanja stanja rastlin.

Časovna ločljivost

Časovna ločljivost predstavlja pogostost zajema podatkov daljinskega zaznavanja, kjer visoka ločljivost pomeni kratek čas med posameznimi slikanji. Spektralne lastnosti predmetov se lahko s časom spreminjajo, kar lahko zaznamo s primerjavo slik v časovni vrsti. Slednje je posebej pomembno za določanje stanja rastlin, saj omogoča odkrivanje težav v vinogradih pred pojavom vidnih znakov, na primer simptomov okužb z zlato trsno rumenico ali sušnega stresa rastlin.

Zajem slik z visoko časovno ločljivostjo je najlažji z uporabo satelitov. Konstelacija Sentinel-2 zajema slike katerekoli točke na Zemlji vsake 3 dni, torej 120 slik letno. Čeprav zaradi vremenskih razmer, torej pokritosti z oblaki, ne bodo uporabni vsi posnetki, jih je v rastni sezoni primernih vsaj 20, kar omogoča razmeroma natančno in hitro določanje sprememb. Zajem slik z brezpilotnimi letalniki in letali zahteva večji človeški napor in več časa, kar pomeni za večkratni zajem slik tudi večje stroške.

Spremljanje vinogradov

Metode daljinskega zaznavanja so bile že večkrat uporabljeni v vinogradništvu. Tako lahko spremljamo rast in vitalnost vinske trte, gnojilne poskuse, zdravstveno stanje rastlin, ter ocenjujemo kakovostne parametre grozdja. Standardni fotoaparati so najcenejši in najbolj dostopni sistemi za daljinsko zaznavanje. in Zagotavljajo spektralne informacije v samo treh pasovih (rdeči, zeleni in modri) in lahko z ustrezno predobdelavo podatkov ustrezno ocenijo različne parametre, ki nas zanimajo v vinogradništvu. Čeprav je

zaradi slabše spektralne ločljivosti zanesljivost ocene obravnavanega parametra omejena, lahko z ustreznimi kompleksnimi metodami analiz podatkov dosežemo spremenljive natančnosti modelov. Na primer, količino pridelka grozdja lahko ocenimo z več kot 85 % natančnostjo. Nekoliko slabše rezultate povezanosti podatkov odboja RGB kamere pri oceni kakovostnih parametrov grozdja (masa, kislina in fenolni indeks; $R^2 \sim 0,7$).

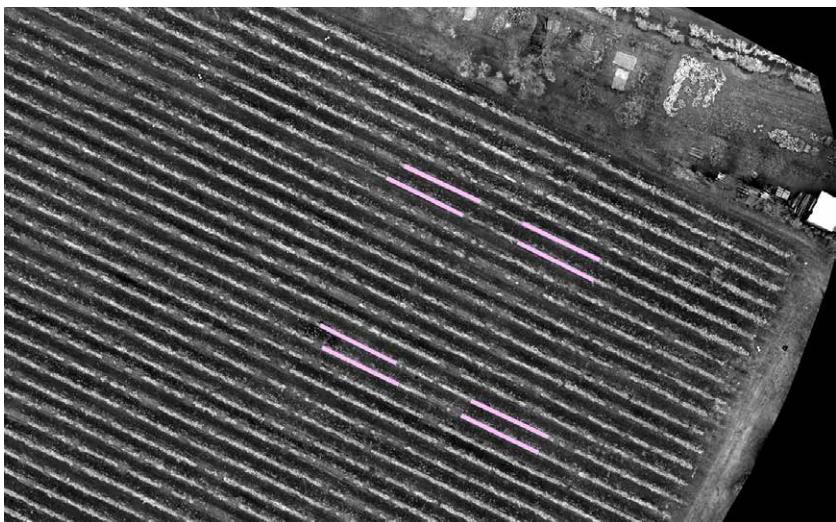
Multispektralni senzorji na brezpilotnih letalnikih imajo zaradi boljše spektralne ločljivosti in odlične prostorske ločljivosti veliko uporabnost pri klasifikaciji bujnosti oziroma splošne kondicije vinske trte. S temi podatki lahko oblikujemo različne obdelovalne cone v vinogradih. Večspektralni senzorji so bili uspešno uporabljeni za določanje preskrbljenosti vinske trte z vodo. Vendar modeli niso nujno splošno uporabni, temveč je potreben razvoj modelov na večji količini podatkov v časovni vrsti, iz več let, da zajamemo čim širšo variabilnost vinske trte.

Boljše rezultate o oceni preskrbljenosti vinske trte z vodo dosegajo hiperspektralne kamere. Tako smo denimo z uporabo hiperspektralnih kamer kmetijskega inštituta uspeli 100% zanesljivo ločiti nemakane trte od optimalno namakanih, medtem ko je bila ta zanesljivost ločevanja manjša pri trtah, ki so bile namakane s polovičnim odmerkom vode. Daljinsko zaznavanje za odkrivanje bolezni v vinogradih se v zadnjih letih uporablja vse pogosteje, pri čemer so raziskave osredotočene predvsem na odkrivanje okužb zlate trsne rumenice. Za upravljanje z boleznimi imajo večjo uporabno vrednost raziskave na terenu, kjer so poleg spektralnih podatkov na voljo tudi prostorski podatki, torej natančne koordinate rastlin. Novo razvite metode odkrivanja trsnih rumenic uporabljajo multi- in hiperspektralne sisteme, nameščene na premičnih platformah, brezpilotnih letalnikih in satelitih. Za hitrejšo obdelavo posnetkov in odkrivanje rumenic, so raziskovalci razvili tudi namenske vegetacijske indekse. Med ostalimi boleznimi je bilo največ pozornosti namenjene odkrivanju eske in z zvijanjem listov vinske trte povezanih virusov.

SPREMLJANJE VINOGRADOV V OKVIRU PROJEKTA ACQUAVITIS

Multispektralno slikanje z brezpilotnimi letalniki

Pri vrednotenju poskusa namakanja v vinogradu v Komnu smo uporabili multispektralno kamero, nameščeno na brezpilotnem letalniku. Multispektralna kamera zajema elektromagnetno sevanje v petih pasovih (modra, zelena, rdeča, robno rdeča, bližnje infrardeča), z visoko prostorsko ločljivostjo (pri višini leta 50 m je velikost posamezne rastrske celice 2 cm). Ker vidno polje kamere ne zajame celotnega vinograda naenkrat, je potrebno izvesti let in slikanje po v naprej določenem načrtu, kjer določimo tudi mesta, kjer bodo zajeti podatki. Tako za posamezen vinograd naredimo tudi več kot 1000 posnetkov. Le-te moramo nato združiti v t.i. mozaik, s čimer dobimo multispektralni posnetek celotnega vinograda. Iz tega posnetka smo izluščili samo tiste rastrske celice, ki nosijo informacijo vinske trte. Te podatke smo združili z natančnimi meritvami GNSS/GPS in tako razdelili rastrske celice vinske trte med posamezne rastline, ki so bile vključene v namakальнem poskusu.



Slika 5: Slika vinograda Komen rdeče valovne dolžine z lokacijami poskusa.

Iz petih spektralnih pasov smo izračunali 41 vegetacijskih, spektralnih in barvnih indeksov. Slednji so posebej pomembni, saj jih lahko uporabimo tudi s senzorji RGB, ki so manjši in cenejši. Te indekse smo uporabili za razvoj modelov strojnega učenja za določanje vodnega stanja rastlin. Podatke smo razdelili v dve skupini, prva je bila za učenje algoritma, druga za testiranje, model pa

smo validirali s ponovljeno navzkrižno validacijo. Dimenzionalnost podatkov smo zmanjšali z metodo delnih najmanjših kvadratov.

Z multispektralnim slikanjem smo dosegli najboljšo zanesljivost določanja namakanih rastlin v juliju 2021, z 89,8% pravilnih klasifikacij. V avgustu je bilo pravilno uvrščenih 76,4% primerov. Podobne rezultate smo dosegli v vinogradu Precenicco, kjer smo uporabili 4-kanalno multispektralno kamero. V letu 2020 ni bilo pogojev, ki bi omogočali izvedbo poskusa namakanja, saj zaradi dobro razporejenih padavin v času rasti, ni prišlo do večjega pomanjkanja vode v tleh.

Letalsko hiperspektralno slikanje

Letalsko hiperspektralno slikanje smo izvedli 3x, avgusta leta 2020 ter julija in avgusta leta 2021. Slikanje smo izvedli v sodelovanju s podjetjem Aerovizija d.o.o. Matevža Lenarčiča. Uporabili smo hiperspektralni kamери, ki skupaj zajemata signal valovnih dolžin 400 - 2500 nm, v 448 spektralnih pasovih. Podrobnejše smo obdelali podatke poskusa v vinogradu Precenicco, kjer se spremeljal vpliv različne obdelave tal na obseg vodnega stresa vinske trte.

Slike vinograda smo razdelili na posamezne enote, da smo iz njih izolirali spektralne podpise vinskih trt. Ker je v hiperspektralnih podatkih veliko šuma in odvečnih informacij, smo jih ustrezno obdelali (na primer z izračunom derivatov Savitzky-Golay), ter z metodami manjšanja dimenzionalnosti podatkov izračunali nove spremenljivke (na primer z metodo delnih najmanjših kvadratov - diskriminantno analizo). Končne klasifikacijske modele za določanje načina obdelave tal (5 razredov) smo razvili z metodo podpornih vektorjev. Najboljše nastavitev t.i. hiperparametrov algoritma smo poiskali po metodi mrežnega iskanja, vse modele pa smo testirali z delitvijo podatkov na dva dela. Prvi del je bil namenjen učenju algoritma, drugi testiranju. Za razvoj modelov smo uporabili ponovljeno navzkrižno validacijo. Tako smo za vsa tri leta skupno razvili 78750 modelov strojnega učenja in med njimi poiskali najboljše.

Najvišjo uspešnost določevanja načina obdelave tal smo dosegli avgusta 2021, kjer je bilo 92,3% rastlin pravilno uvrščenih. Avgusta 2020 in Julija 2021 smo dosegli podobna rezultata, približno 73% uspešnost klasifikacij. Z združevanjem razredov v 3 večje razrede (kontrola in dva razreda obdelave) smo zanesljivosti za avgust 2020 in julij 2021 povečali do 80%, med tem ko je za avgust 2021 ostala enaka. Ti rezultati kažejo, da lahko z razmeroma visoko



zanesljivostjo določimo načine obdelave tal z uporabo letalskega hiperspektralnega slikanja.

Poleg modelov za določanje vrste obdelave tal smo razvili tudi regresijske modele za določanje vodnega potenciala oziroma sušnega stresa rastlin. V osnovi smo uporabili enak postopek, kot za določanje skupin, le da smo za izračun regresij uporabili metodo najmanjših skupnih kvadratov. Naši rezultati kažejo, da lahko z uporabo letalskega hiperspektralnega slikanja z razmeroma visoko natančnostjo določimo sušni stres posameznih rastlin.

Slika 2: Posnetek vinograda v Precenicco s hiperspektralno kamero kratkovalovnega infrardečega spektra.

Preglednica 1: Rezultati regresijskih analiz. Št. Komponent je število novo ustvarjenih spremenljivk po metodi delnih najmanjših kvadratov. RMSEP je koren povprečne kvadratne napake (nižja vrednost je boljša). Var je odstotek obrazložene variance v podatkih. R² je koeficient determinacije (med 0 in 1, višja vrednost je boljša).

Mesec in leto	št. komponent	RMSEP	Var [%]	R ²
Avgust 2020	8	0,0894	96,25	0,96
Julij 2021	4	0,1454	87,26	0,87
Avgust 2021	4	0,1773	92,03	0,92

Satelitsko multispektralno slikanje

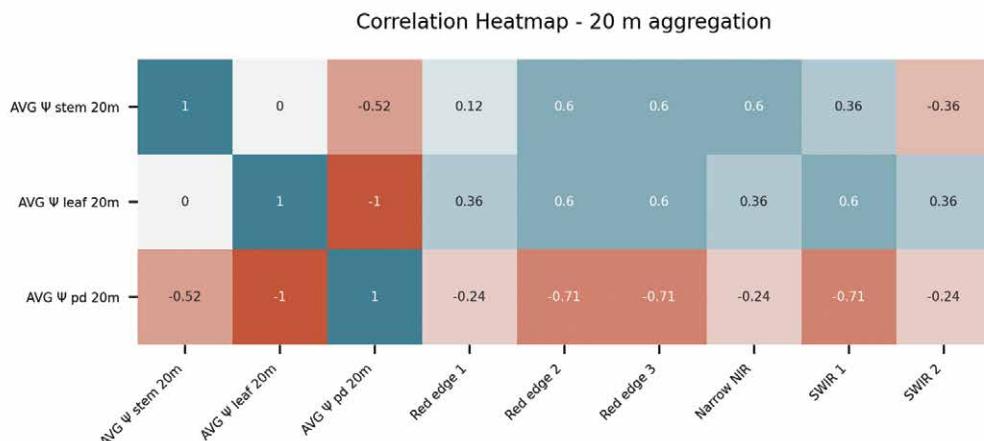
Na osnovi multispektralnih posnetkov konstelacije Sentinel-2 smo spremljali vinograde na območju Precenicca, Barkole in Budihnija. Sentinel-2 je konstelacija dveh satelitov programa Copernicus, Evropske vesoljske agencije. Satelita Sentinel-2A in Sentinel-2B zajemata multispektralne podatke z optičnim senzorjem, ki zajema 13 kanalov. Posnetki so zajeti na spektralnem območju vidne svetlobe, bližnje infrardeče in kratkovalovne infrardeče. Na delu bližnje infrardeče svetlobe imamo več kanalov, ki se razlikujejo glede na njihovo spektralno ločljivost in vsak od teh nam lahko poda zanimi-

ve informacije pri spremljanju rastlin. Prav tako nam kratkovalovni pasovi povejo več o vodni in mineralni sestavi različnih materialov. Kanali vidne svetlobe in bližnje infrardeče so zajeti z 10 metrsko ločljivostjo, medtem ko ostali z 20 metrsko. To pomeni, da en piksel znaša 10 m x 10 m za prve kanale, kar pomeni 100 m² in 20 m x 20m, oz. 400 m² za preostale. Časovna ločljivost konstelacije je 2 do 5 dni, kar pomeni da imamo za isto območje na voljo nove podatke vsakih 2 do 5 dni (odvisno od geografske širine).

Vodni potencial listov, merjenih pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$), minimalni vodni potencial ($\Psi_{\text{list opoldan}}$), kot tudi vodni potencial stebla ($\Psi_{\text{steblo opoldan}}$), predstavljajo zanesljivo in hitro pridobljeno oceno vodnega statusa trt v povezavi z vodo, dostopno rastlinam ter meteorološkimi pogoji. Vodni potencial lista predstavlja energijo vode v listnem mesofilu. Analizirali smo korelacije med izmerjenim Ψ in različnimi kanali ter indeksi, izpeljanimi iz satelitskih posnetkov.

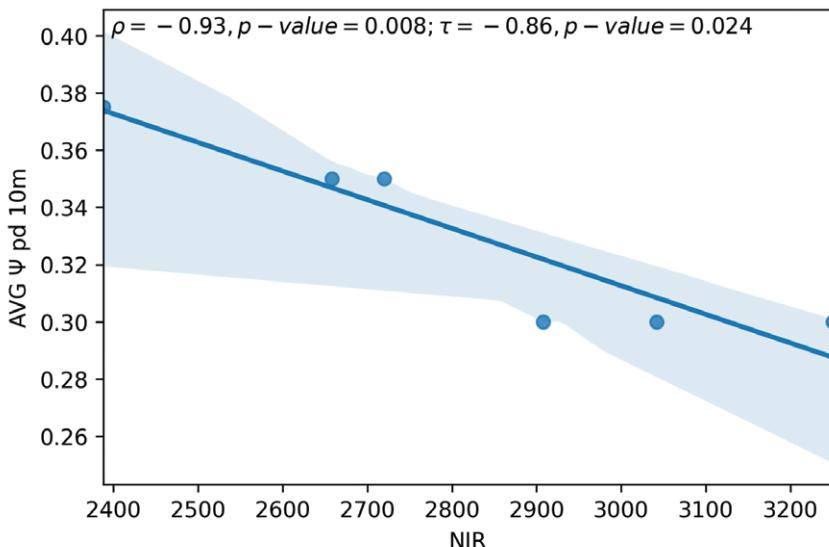
Terenske meritve v Preceniccu so potekale 8. 8. 2020, 29. 7. 2021, 26. 8. 2021, medtem ko terenske meritve v Barkoli in Budihniju 28. 5. 2020, 12. 8. 2020, 9. 9. 2020 in 22. 6. 2021. V prvem koraku smo prenesli Sentinel-2 posnetke za dneve meritev, ter jih nato predobdelali v ustrezeno obliko in jim pripisali vrednosti odbojev podatkovni bazi meritvah vodnega potenciala. Preverili smo povezanost opazovanj s Pearsonovim in Kendallovim korelacijskim koeficientom ter ovrednotili značilnost vzorcev s p-vrednosti. Rezultate smo še vizualno ovrednotili s pregledom krivulj regresijskih analiz.

V korelogramu (grafični prikaz 2) lahko opazimo da sta vodni potencial lista in pred zoro močno korelirani z nekaterimi valovnimi dolžinami. Lahko opazimo izrazito povezanost na infrardečih spektrih.



Grafični prikaz 2: Korelogram: Sentinel-2 20 m in vodni potencial (Barkola, Budihni).

Na grafičnem prikazu 3 lahko vidimo regresijsko krivuljo med merjenim vodnim potencialom pred zoro in bližnje infrardečim pasovom. Lahko opazimo zelo močno povezanost in p-vrednosti, ki prikazujeta statistično značilnost vzorca (manjši sta od 0,05).



Grafični prikaz 3: Regresijska krivulja: vodni potencial pred zoro in bližnje infrardeči pas.

Večina izračunanih stopenj značilnosti je pokazala, da so izračunane korelacije znotraj vzorca značilne, ampak da bi za zelo robustno sklepanje na nova opazovanja potrebovali dodatne meritve. To bi pomenilo, da bi nam zadostna baza terenskih meritev kombiniranih s Sentinel-2 posnetki dovolila, da z določeno stopnjo zaupanja pridobimo oceno vodnega potenciala lista in vodnega potenciala pred zoro.

SKLEPI

Spremljanje vinogradov v okviru projekta Acquavitis z metodami daljinskega zaznavanja je pokazalo veliko aplikativno uporabnost teh za spremljanje vodnega potenciala oz. sušnega stresa v rastlinah. Različni inštrumenti omogočajo pridobivanje različnih informacijah, ki se razlikujejo glede na natančnost, podrobnost in časovno komponento v odvisnosti od platforme, na kateri inštrument leti. Letalsko snemanje in snemanje z brezpilotnimi letalniki omogoča zelo natančne in zahtevne meritve v poljubnem času, medtem ko satelitsko snemanje omogoča zajem večjih površin s

frekvenco snemanja na par dni. Na območju večjih vinogradov je lahko sinergija obeh platform zelo učinkovit inštrument za spremljanje stanja rastlin ter hitro ukrepanje.

ZAHVALA

Delo na projektu Acquavitis je bilo financirano v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija Interreg 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in iz nacionalnih sredstev.



Spremeniti vodo v vino: kako prilagoditi namakanje za izboljšanje kakovosti vin

Alberto Calderan^{1,2}, Alessandro Pichierri^{1,2}, Riccardo Braidotti¹, Alessia Cogato¹, Giorgio Alberti¹, Enrico Peterlunger¹, Franco Meggio³, Andreja Vanzo⁴, Klemen Lisjak⁴, Paolo Sivilotti^{1*}, Patricija Muzlovic^{*}

¹ Univerza v Vidmu, Oddelek za kmetijsko-živilsko, okoljsko in živalsko znanost

² Univerza v Trstu, Oddelek za vede o življenju

³ Univerza v Padovi, Oddelek za agronomijo, živali, prehrano, naravne vire in okolje,

⁴ Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in vinarstvo

* paolo.sivilotti@uniud.it

* LetteraB sas, consulenza specialistica, Udine.

POVZETEK

Upravljanje z vodo v vinogradu je pomembno za pridelavo kakovostnega grozinja, vendar pa določitev potreb vinske trte po vodi ni enostavna, še posebej, če želimo v vinogradu vzdrževati stanje vodnega deficitita. V ta namen smo uporabili sistem za podporo pri odločanju, ki določa ustrezeno količino namakalne vode za vzdrževanje želene ravni vodnega statusa trte. Zlasti v poskusu na sorti sivi pinot smo ugotovili, da zmerna stopnja pomanjkanja vode omogoča prihranek večjih količin vode, obenem pa ohranja dobro fiziološko stanje rastlin in nudi primerljivo kakovost grozinja. V drugem poskusu, ki je bil izveden na sorti sauvignon, pa smo izvedli simulacijo vročinskega vala. Dokazali smo, da topotni stres v kombinaciji z vodnim stresom, poslabša kakovost vina, kot smo to zabeležili pri degustaciji vin, četudi se aromatična komponenta vin poveča. Nazadnje smo ocenili potrebe po vodi pri vinski trti merlot khorus, ki je tolerantna na glivične bolezni. Dokazali smo, da je prispevek transpiracije približno 60% evapotranspiracije. Če povzamemo: opravljeni poskusi nam napovedujejo, kako naj bi se soočali s prihodnimi razmerami, ki jih povzročata višanje temperatur in zmanjšanje razpoložljivosti vode. Pridobljeni podatki dajejo smernice, kako optimizirati kakovost grozinja z deficitnim namakanjem v vinogradu. Obenem smo ocenili potrebo vinske trte po vodi tudi pri novih sortah, ki so bolj odporne na bolezni, in uporabili strategijo uravnavanja listne površine, v izogib čezmernemu segrevanju grozinja, ki bi lahko negativno vplivalo na kakovost grozinja in vina.

ABSTRACT

Water management is important in order to obtain quality grapes, but it is not easy to determine the grapevine water requirements, especially if we want to maintain a deficit condition. Therefore, a Decision Support System was used to determine the irrigation volume to apply to the vineyard in order to maintain a certain level of plant water status. In particular, in a trial carried out on Pinot grigio we understood that a moderate water deficit allows to save a considerable volume of water while maintaining a good physiological condition of the plants and a comparable good quality of the grapes. In a second trial, conducted on Sauvignon, a heat wave was simulated and we discovered that when these conditions were combined with drought, it led to a worsening of the quality of the wines perceived at tasting, although the aromatic concentration was higher. Lastly, the water requirements of a grapevine variety resistant to fungal diseases, Merlot Khorus, were assessed and we could demonstrate that the contribution of transpiration was about 60% of the total evapotranspiration.

In summary, the tests carried out allow us to highlight how in a future scenario of increase in temperatures and reduction of water availability, it will be possible to optimize the quality of the grapes using a deficit irrigation approach, evaluating the correct water requirement even for the new diseases resistant varieties, and using canopy management strategies to avoid excessive heating of the grapes which could negatively affect the quality of the grapes and wines.

UVOD

Razpoložljivost vode je ključni dejavnik za rast in fiziologijo vinske trte, ki vpliva tudi na količino pridelka in na kakovost grozdja. Zavedamo se, da je na pridelovalnih območjih, za katera je značilna majhna količina padavin, uporaba namakanja nujno potrebna praksa za ohranjanje ekonomske trajnosti vinogradništva. Vendar pa bo zaradi trenutnih podnebnih sprememb potrebno različno upravljati namakanje na različnih vinogradniških območjih. Povečanje temperatur in zmanjšanje padavin v poletnem obdobju bo povzročalo vedno močnejši vodni stres, ki bo lahko ogrozil produktivnost trte in kakovost grozdja. Dvig temperatur bo zmanjšal razpoložljivost vodnih virov, zato je potrebno zmanjšati vodni odtis z uporabo deficitarnih namakalnih strategij, ki omogočajo optimizacijo učinkovitosti rabe vode. Ta praksa je rutinsko uveljavljena v različnih vinorodnih območjih, kjer ni padavin v celotnem vegetativno-produktivnem obdobju. Uporaba zmanjšanih količin vode omogoča zadrževati vegetativni razvoj rastlin, omejuje izgube zaradi transpiracije in ohranja zadovoljive ravni pridelka in kakovosti grozdja. Vemo pa, da ima čezmerno pomanjkanje vode negativen učinek, ki se odraža v nepopolnem in neuravnoteženem dozorevanju grozdja, predvsem kar se tiče polifenolov in aromatičnih spojin. Pomanjkanje vode, ki ga pričakujemo v prihodnosti, vinogradništvo usmerja k bolj preciznemu gospodarjenju z vodnimi viri. V razmerah zmernega vodnega stresa rastline težijo k zmanjšanju izgube vode, hkrati pa ohranjajo dobro fotosintetično učinkovitost. Tako imenovane strategije deficitnega namakanja (*'deficit irrigation strategies'*) temeljijo na namakalnih načrtih, ki prinašajo le del izgube pridelka zaradi evapotranspiracije med sezono ali v določenih fenoloških fazah (Fereres in Soriano, 2007).

Vpliv vodnega deficitita na razvoj grozdja in na njegovo sestavo se razlikuje glede na obdobje med dozorevanjem. Več raziskovalcev je dokazalo, da je učinek na rast grozdja večji, v primeru vodnega deficitita v zeleni fazi razvoja jagod (McCarthy 1997; Ojeda in sod., 2002), oziroma med nastavkom grozdja in zorenjem. V teh fazah namreč primanjkljaj vode zmanjša delitev in večanje celic. V kasnejših fenofazah pa lahko deficit zmanjša povečevanje jagod. Zmanjšanje velikosti jagod vpliva na pridelek, ker se zmanjša produktivnost rastline (Williams in Matthews 1990). Uporaba vodnega deficitita v obdobju diferenciacije brstov pa vse tja do cvetenja vpliva tudi na produktivnost rastlin v naslednjih sezонаh, ker vpliva na potencialno in dejansko plodnost (Matthews in Anderson 1989).

Razpoložljivost vode vpliva na kakovost grozdja. Glavni primarni metaboliti, ki se nalagajo v grozdju so sladkorji (skupna suha snov), organske kisline in aminokisline. Iz več raziskav je razvidno, da vodni stres poveča vsebnost suhe snovi v grozdju. Vendar pa nekatere raziskave poročajo, da se vsebnost suhe snovi v grozdju ne spremeni zaradi vodnega stresa, ali pa celo nasprotno, da se vsebnost suhe snovi v grozdju zaradi stresa zmanjša. Vinogradniško območje z nižjimi povprečnimi temperaturami lahko z uporabo nadziranega vodnega deficitu kompenzira zmanjšanje pridelka z višjo vsebnostjo suhe snovi; ravno nasprotno, pa bi pomanjkanje vode na območjih z visoko temperaturo lahko povzročilo omejitve pri fotosintezi, ki bi posledično zmanjšala kopiranje sladkorjev v jagodah (Chaves in sod., 2010; Sivilotti in sod., 2005). Organske kisline se akumulirajo pred dozorevanjem, medtem ko se njihova koncentracija postopoma manjša v fazi večanja grozdne jagode in pa z razgradnjijo jabolčne kisline po zorenju. Tudi za te spojine velja, da so si rezultati, pridobljeni v posameznih raziskavah na temo vodnega deficitu, precej različni (Sivilotti in sod., 2005; Buccetti in sod., 2011; Herrera in sod., 2015).

V grozdnih jagodah se kopiči širok spekter polifenolnih spojin, ki jih lahko razvrstimo med: stilbene, antocianine, flavanole in njihove polimerne oblike, imenovane proantocianidini (Castellarin in sod., 2011). VTe spojine se v glavnem kopijo v pečkah in kožicah grozdne jagode. Vodni deficit močno vpliva na kopiranje polifenolov v grozdju; predvsem antocianini (rdeča barvila) so pokazali večjo občutljivost na vodni deficit. V številnih študijah smo zasledili, da so mošti in vina iz grozdja rastlin, ki so bile izpostavljene vodnemu deficitu, imeli intenzivnejšo barvo (Castellarin in sod., 2007a, b; Buccetti in sod., 2011; Herrera in sod., 2015). Vodni deficit pa ne vpliva samo na vsebnost antocianinov v grozdju, ampak tudi na njihovo sestavo (profil) v korist tri-substituiranih antocianinov na B-obroču, kar pomeni večjo stopnjo metilacije (Castellarin in sod., 2007a, b; Ollé in sod., 2011).

Manjši vplivi zaradi pomanjkanja vode pa so bili zabeleženi pri vsebnosti proantocianidinov v grozdju (taninov) (Ojeda et al. 2002; Geny et al. 2003; Roby et al. 2004; Buccetti et al. 2011; Herrera et al. 2015). Pri poskusu, izvedenem v okviru projekta Interreg IT-SI AGRO-TUR II na sorti refošk (Calderan et al. 2021), uvedba dveh različnih režimov vodnega primanjkljaja ni povzročila spremembe v vsebnosti taninov v grozdju. Vendar pa so isti avtorji študije ob podrobnejšem preučevanju strukturnih značilnosti taninov ugotovili povečanje povprečne stopnje polimerizacije (mDP) in odstotka galoilacije (% G)

taninov, ko je bil vodni deficit večji. Stabilizacija flavan-3-olov in proantocianidinov med dozorevanjem grozdja vključuje spremembe v galoilaciji in mDP ter interakcijo proantocianidinov s celičnimi stenami in tonoplastom zaradi kovalentnih in vodikovih vezi. Zato je mogoče domnevati, da lahko grozdje kot odziv na stres sintetizira bolj galoilirane in bolj polimerizirane proantocianidine (večji mDP). Po ocenah sprememb v strukturi celične stene pa so Bindon in Kennedy (2011) ter Bindon et al. (2012) ugotovili, da se adsorpcija taninov na celične stene med dozorevanjem spreminja v korist spojin z vedno večjim mDP. Zato je precej zapleteno določiti koncentracijo taninov, ki se sintetizira med dozorevanjem, saj del le-teh reagira s celično steno v grozdnici jagodi ter jih ne moremo izlužiti iz grozdja. V primeru grozdnih pečk vsebnost taninov med dozorevanjem narašča, a hkrati reagirajo s celičnimi stenami. Poleg tega zaradi dehidracije nekateri tanini oksidirajo, in jih ravno tako ni več mogoče ekstrahirati (Kennedy et al. 2000). Calderan et al. (2021) so ugotovili, da imajo v vino ekstrabilnih taninov v pečkah v primeru večjega vodnega primanjkljaja večje mDP in % G kot pri manjšem vodnem primanjkljaju.

Ena najpomembnejših komponent pri določanju kakovosti vina je zagotovo njegova aromatika. Čeprav je ta tematika izrednega pomena, pa je razpoložljivih informacij o spojinah, ki jo določajo ter kako eksogeni dejavniki spreminjajo sintezo teh spojin v grozdju, bolj malo. Aromo vin določa kompleksen spekter hlapnih sekundarnih metabolitov, ki se sintetizirajo v grozdju, pogosto v obliki nehlapnih prekurzorjev, in se med fermentacijo sprostijo v vino. Podatki, ki so trenutno na voljo, povezujejo predvsem aromatične spojine vina z vplivom okoljskih dejavnikov in vinogradniških tehnik. O vplivu pomanjkanja vode na sintezo hlapnih metabolitov v grozdju pa je malo znanega. Dve študiji, izvedeni v okviru projekta Interreg IT-SI VISO, ugotavljata, da je grozdje, ki je bilo pod vodnim stresom, vsebovalo več posameznih prekurzorjev aromatičnih spojin (Savoi et al. 2016; Savoi et al. 2017). V primeru sauvignona, Peyrot Des Gachons et al. (2005) poročajo o večji vsebnosti cisteinskih prekurzorjev tiolov v grozdju, ki je bilo izpostavljeno zmeremu primanjkljaju vode, medtem ko se je hudo pomanjkanje vode izkazalo omejujoče za sintezo tovrstnih spojin. Druge raziskave ugotavljajo, da pomanjkanje vode spodbuja sintezo vitispirana in β -damascenona, hkrati pa zmanjšuje vsebnosti β -ionona (Qian et al. 2009; Ou et al. 2010). Poleg tega so bili terpenski alkoholi, kot so linalool, citronelol, nerol, geraniol in nerolidol prisotni v višjih koncentracijah v vinih, pridelanih iz grozdja, kjer so bile trte

v vodnem deficitu (Ou et al. 2010). Nekatere neobjavljene študije ugotavljajo, da režim vodnega deficitu, ki je bil uveden v vignogradu pred fazo zorenja, spodbuja biosintezo vseh aromatičnih prekurzorjev v grozdju, medtem ko naj je bilo kasnejše uvajanje vodnega deficitu brez učinka (Faralli, osebna komunikacija).

Učinki vročinskih valov

Razvoj jagod in rast rastline sta tesno povezana z nihanji temperature v okolju (Cramer in sod., 2010). Tudi če trta velja za rastlino, ki se dobro prilagaja na temperaturna nihanja, lahko ekstremen ali dolgotrajen topotni stres povzroči nepopravljivo škodo; lahko vpliva na razvoj in presnovo grozdnih jagod s posledicami, ki se odražajo na kakovosti grozdja in pa na kakovosti pridelanega mošta in vina (Jones in Alves, 2012). Najbolj osupljive učinke opazimo pri fenologiji rastline (Venios in sod., 2020), s predčasnim datumom trgatve tudi za 25 dni (Koch in Oehl, 2018). Zgodnje zorenje pa bo seveda povzročilo pridelavo vin z neuravnoteženim razmerjem med sladkorji in kislinami, z aromatičnimi značilnostmi, ki niso značilne za proizvodno območje. Glavni fiziološki učinek visokih temperatur pa je zmanjšanje fotosinteze (Sharma in sod., 2019). Pri vinski trti je optimalna temperatura za fotosintezo od 25 °C do 35 °C, pri vrednostih nad 35 °C pa se aktivirajo zaščitni mehanizmi; nad 40 °C je fotosintetski aparat nepopravljivo poškodovan (Kun in sod., 2018). Zaviranje fotosinteze lahko zmanjša pridelavo, saj sta velikost in teža jagod manjši (Greer in Weedon, 2013).

Učinki vročinskih valov na kakovost pridelave so ponavadi tesno povezani s sočasnim pomanjkanjem vode (Zarrouk in sod., 2016). Martinez-Luscher in sod. (2020) so z analizo učinka dveh različnih vodnih režimov pri sorti cabernet sauvignon potrdili, da je bilo po štiridnevnom vročinskem valu poškodovanih 25% jagod. Visoke temperature povzročijo, da vsebuje mošt večjo koncentracijo sladkorjev in posledično dobimo vina s presežkom alkohola. Nasprotno, z naraščajočo temperaturo se vsebnost skupnih kislin zmanjšuje, ker se jabolčna kislina presnavlja veliko hitreje, zlasti pri temperaturah nad 40 °C (Keller, 2010). V neposredni korelaciji s skupnimi kislinami se spreminja tudi pH vrednost. V zrelem grozdju se v stresnih razmerah povečuje vsebnost kalija, zato se zniža pH vrednost in posledično tudi vsebnost skupnih kislin (Bernardo in sod., 2018).

Biosinteza antocianinov je optimalna pri temperaturi okrog 30 °C, nad 35 °C pa je zavirana. Antocianini so zelo dovetni za topotno razgradnjo (Venios in sod., 2020), saj se v pogojih ekstremne vroči-

ne poveča aktivnost peroksidaz. Zaradi nenehnega naraščanja temperatur je problem tudi ločevanje med tehnološko in fenolno zrelostjo. Prihaja do situacij, v katerih se vsebnost sladkorjev nenadoma precej hitreje povečuje kot vsebnost antocianinov. To pripelje do situacij, v katerih tehnološka zrelost ne ustreza fenolni (Yan in sod., 2020). Vpliv visokih temperatur na tanine grozja pa še ni natančno opredeljen (Pastore in sod., 2017; Yan in sod., 2020).

Pri vinski trti vpliv temperature na aromatične spojine še ni dobro preučen in do danes še nismo odkrili vseh posameznih učinkov temperature na aromatične spojine. Rienth in sod. (2021) navajajo, da se z naraščajočimi temperaturami povečata sinteza in sproščanje terpenov, pa čeprav je optimalna temperatura za njihovo biosintezo med 10 °C in 20 °C. Visoke temperature vplivajo na večjo hlapnost aromatičnih spojin in posledično je njihova izguba večja in hitrejša. Vina, pridelana v hladnih področjih, imajo večjo vsebnost pirazina (Rienth in sod., 2021). Ni pa še jasno, ali visoke temperature vplivajo na razgradnjo norizoprenoidov in metoksipirazinov. Ravno tako so ugotovili večjo vsebnost tiolnih prekurzorjev 3MH (Glut-3MH in Cys-3MH) v grozdju sauvignona, ki je bilo izpostavljeno topotnemu stresu (Kobayashi in sod., 2011). V študiji, ki so jo izvedli Sivilotti in sod. (2017) na enaki sorti, poročajo, da so se po razlistanju (defoliaciji), ki je vplivalo na povečanje temperature grozdov, znatno povečale samo vrednosti Glut-3MH. Študij o vplivu temperature, zlasti na tiolne spojine, je še vedno malo in večinoma, so bile narejene v zadnjih letih. Glede na hitre podnebne spremembe, bodo prihodnje raziskave nedvomno usmerjene v preučevanje vplivov temperature in pomanjkanja vode na kakovost grozja in vina.

Metode preučevanja potreb vinske trte po vodi in deficitarnega namakanja

Med najpogosteje uporabljenia študijska orodja za ocenjevanje vodnih potreb pridelka spada vsekakor lizimeter. To je pripomoček za spremljanje vodne bilance, ki ga sestavlja večja zbirna posoda, postavljena na tehtnico, ki nenehno beleži spremembe teže, povezane s transpiracijo rastlin in z izhlapevanjem tal. Nakup lizimetrične opreme predstavlja precejšen strošek, zato se pogosto raje sklicujemo na referenčno evapotranspiracijo (ET_0), izračunano z meteorološkimi spremenljivkami, in se poslužujemo koeficiente pridelka, ki se spreminja glede na fenološko fazo. Običajno se sklicujemo na koeficiente pridelkov, ki jih je predlagala OZN FAO. Na podlagi zgoraj navedenega bi lahko uravnivali primanjkljaj vode

preprosto tako, da bi rastlini povrnili delež vodnih izgub. Vendar v tem primeru ne bi sledili vodnemu statusu rastline, temveč bi samo povečali razpoložljivost vode v tleh, kar pa bi privedlo do situacij s preveliko dostopnostjo vode za vinsko trto.

Ojeda (2008) je predstavil namakalni model, ki temelji na merjenju vodnega potenciala rastline pred zoro ($\Psi_{pred\ zoro}$). Avtor nakazuje da je potrebno za ustrezeno pridelavo visokokakovostnih rdečih vin v fenoloških fazah od konca cvetenja do trgatve imeti rastlino v rahlem vodnem deficitu (negativne vrednosti $\Psi_{pred\ zoro}$). Vendar vzdrževati določeno stopnjo $\Psi_{pred\ zoro}$ ni povsem enostavno, saj se rastline prilagodijo na novo postavljene pogoje. Tako bi v razmeroma deževnem letu model, ki je bil nastavljen za bolj sušne razmere, odpovedal.

V okviru projekta Interreg IT-SI Acquavitis smo postavili različne raziskovalne poskuse z namenom spremljanja: 1. vrednosti evapotranspiracije pridelka z uporabo lizimetrične platforme in 2. vpliva različnih stopenj vodnega primanjkljaja na kakovost grozdja in vina. Vodni deficit smo spremljali od faze po cvetenju do trgatve. Poleg tega smo s poskusi želeli preveriti zanesljivost komercialnega, računalniško podprtrega, DSS informacijskega sistema za pomoč pri odločanju (Decision Support System -DSS). Nazadnje smo postavili tudi poskus, kjer smo izvajali kombinacijo vodnega in toplotnega stresa, da bi vinogradnikom ponudili odgovor na številna vprašanja glede posledic globalnega segrevanja (*global warming*) na fiziologijo vinske trte ter na kakovost grozdja in vina.

MATERIALI IN METODE

V okviru projekta Acquavitis smo si prizadevali razširiti agronomska znanja, da bi uspešno preprečevali negativne učinke podnebnih sprememb in bolje nadzorovali potrebe rastlin po vodi. Postavili smo več poskusov, s katerimi smo preučevali vplive pomanjkanja vode, tudi v kombinaciji z vročinskimi valovi, na fiziološko stanje vinske trte ter na pridelavo in kakovost grozdja in vin.

POSKUS 1: Videm - sivi pinot

Poskus je bil postavljen z namenom, da bi preučevali razlike v produktivnih zmogljivostih sivega pinota v različnih vodnih režimih. Obenem smo želeli opredeliti način upravljanja z vodo, ki zagotavlja zadovoljivo proizvodnjo in ustrezeno kakovost grozdja z učinkovitejšo rabo vode. Poskus je potekal med junijem in sep-

tembrom 2021, na posestvu »A. Servadei« Univerze v Vidmu. Izvajali smo tri različne režime namakanja med cvetenjem in dozorevanjem grozja v treh sosednjih vrstah. Primerjali smo tri obravnavanja:

- CON: namakalna kontrola z ohranjanjem vodnega potenciala pred zoro ($\Psi_{pred\ zoro}$) in povprečnih vrednosti -0,2 MPa v celotni sezoni.
- MS: zmeren vodni stres. V tem primeru smo nastavili $\Psi_{pred\ zoro}$ na -0,35 MPa v obdobju med cvetenjem in zorenjem.
- SS: močan vodni stres z vzdrževanjem $\Psi_{pred\ zoro}$ na -0,55 MPa v obdobju med cvetenjem in zorenjem.

Z uporabo Vintel® Decision Support System (DSS) sistema za pomoč pri odločanju podjetja ITK smo določili različne namakalne režime. Z uporabo te platforme namreč lahko določimo stopnjo zaželenega $\Psi_{pred\ zoro}$ v različnih fenofazah. Meteorološke podatke smo zbirali s pomočjo kontrolne enote Siap/MICROS »Udine S.O.« (ARPA FVG-OSMER, <http://www.meteo.fvg.it/>), ki je postavljena v neposredni bližini vinograda. Pri vsakem obravnavanju smo imeli 4 ponovitve. Vsaka ponovitev je zajemala 10 rastlin, kjer smo s pomočjo Scholanderjeve komore merili vodni potencial $\Psi_{pred\ zoro}$, in sicer vodni potencial stebla (Ψ_{steblu}) in pa lista (Ψ_{list}). Od začetka zorenja grozja smo spremljali razvoj parametrov (skupno suho snov, skupne kisline in pH vrednost) medtem, ko smo pri trgovci ovrednotili količino pridelka. Grozdje, pridelano na vsaki parceli smo mikrovinificirali in analizirali sortne aromatične spojine v vinih (Comuzzo in sod., 2018) in hlapne tiole (Šuklje et al. 2013). Vina smo senzorično ocenili s pomočjo strokovne ocenjevalne komisije in pokuševalcev iz Furlanije (Slika 2).



Slika 1: Vina sivi pinot pripravljena za organoleptično ocenjevanje

POSKUS 2: San Vito al Tagliamento - glera

Poskus, podoben prejšnjemu, je bil izveden v vinogradu sorte gle-
ra v San Vito al Tagliamento, kjer se tla precej razlikujejo od vi-
demskih. V tem primeru imamo tla, ki so po teksturi glinasta ilovi-
ca in brez skeleta, zato je poleti na voljo veliko vode v vinogradu.
Za razliko od poskusa 1 smo primerjali le dva vodna režima v dveh
sezonah 2020 in 2021. In sicer, primerjali smo obravnavanji:

- CON, kontrola z ohranjanjem vodnega potenciala pred zoro
($\Psi_{\text{pred zoro}}$) in povprečnih vrednostih -0,2 MPa do cvetenja in nato
-0,35 MPa med cvetenjem in zorenjem.
- MS, zmeren vodni stres; v tem primeru je bil $\Psi_{\text{pred zoro}}$ nastavljen na
-0,45 MPa med cvetenjem in zorenjem

Tudi tokrat smo uporabili DSS Vintel® za določitev namakalne-
ga režima, vendar pa smo izvedli samo en namakalni poskus na
sezono. Meteorološke podatke smo zbirali s pomočjo kontrolne
enote Siap/MICROS »San Vito al Tagliamento« (ARPA FVG - OSMER,
<http://www.meteo.fvg.it/>), ki se nahaja približno 2 km stran od
vinograda. Pri vsakem obravnavanju smo imeli štiri ponovitve.
Vsako je sestavljalo 10 rastlin, kjer smo merili Ψ_{steblo} . Od začetka
zorenja grozdja do dozorevanja smo beležili razvoj parametrov
(skupna suha snov, skupne kisline in pH vrednost). Grozdje, pri-
delano v letu 2021, smo mikrovinificirali in izvedli postopek za
pridelavo penin. Tudi v tem primeru smo opravili analize sortnih
aromatičnih spojin (Comuzzo in sod., 2018) in senzorične analize
s pomočjo strokovne ocenjevalne komisije in pokuševalcev vin iz
Furlanije (slika 2).



Slika 2: Strokovna ocenjevalna komisija v sobi za degustacijo Univerze v Vidmu

POSKUS 3. Kombinacija toplotnega in vodnega stresa

Poskus je bi izveden v tržnem vinogradu sorte sauvignon v Sequals (D.O.C. Friuli Grave). Tla vinograda so skeletna ($> 50\%$) in imajo rahlo teksturo. Primerjali smo 4 obravnavanja s 4 ponovitvami na obravnavo na osnovi popolnoma randomiziranega eksperimentalnega načrta. Primerjalne obravnave so bile:

- CON, kontrola
- HS, toplotni stres, oziroma temperaturna obremenitev pridobljena z nanosom EVA folije na obe strani vrste, tako da smo naredili rastlinjak z odprtino na vrhu, ki je povečala temperaturo grozdja (Slika 3)
- WS, vodni stres, ustvarjen s prekrivanjem tal na obeh straneh vrste z EVA folijo WS/HS kombinacija vodnega in toplotnega stresa



Slika 3: Postavitev vodnega in toplotnega obremenitvenega poskusa v vinogradu Sequals. Poševna nastavitev folije na trto je ustvarila toplotno obremenitev, nanos folije direktno na tla pa vodni stres.

Vodni stres smo izvajali od 20. 7. 2021, medtem, ko smo toplotni stres izvajali od 4. 8. 2021. Oba postopka smo zaključili 10. 9. 2021. Pri obravnavah CON in HS smo postavili v trtne krošnje dve vremenski postaji za stalno spremljanje temperature zraka in relativne vlažnosti. V celotnem preskusnem obdobju smo merili opoldan Ψ_{steblo} z uporabo Scholanderjeve komore, medtem ko smo s pomočjo

porometra LI-600 (© LiCor, Inc., NE, ZDA) merili stomatalno prevdnlost (gS) listnih rež. Med zorenjem smo na vsaki parceli vzorčili 60 jagod za analizo tehnoloških parametrov zorenja grozdja (skupne suhe snovi, skupne kisline in pH vrednost). Dodaten vzorec 40 jagod smo vzorčili že v vinogradu v tekoči dušik in jih nato zamrznili na -80 °C za analizo prekurzorjev tiolov v grozdju. Analiza prekurzorjev tiolov je bila izvedena po metodi, opisani v Vanzo in sod. (2017). Zadnje vzorčenje smo izvajali na vsaki parceli ob trgovatvi, tako da smo vzorčili grozde iz zgornjega segrevanega dela (približno 20 cm nad odprtino tople grede) in jih nato mikrovinificirali. Ob koncu fermentacije smo analizirali koncentracijo hlapnih tiolov v vinih po metodi, opisani v Šuklje in sod. (2013). Poskus smo zaključili s senzoričnim ocenjevanjem vin. Skupina strokovnjakov je opravila potrebne analize, da bi ugotovila spremembe, ki so se zgodile pri organoleptičnih in senzoričnih deskriptorjih vin.

POSKUS 4 - Lizimetri

Na kmetijskem podjetju Univerze v Vidmu je postavljenih 16 lizimetrov, kjer smo ocenili porabo vode vinske trte v sezонаh 2020 in 2021 (Slika 3). Poskus je bil izведен na sorti merlot khorus, ki je tolerantna na glivične bolezni. Vsak lizimeter ima zbirno posodo velikosti 1,5 m³, v katero smo leta 2016 posadili vinsko trto. Dva od 16 lizimetrov sta nameščena na tehtnico z visoko ločljivostjo (model FCAL300, © Laumas electronics, ITA), ki je povezana z zapisovalnikom podatkov, ki nenehno zbirja podatke o teži. Tla v sezoni niso bila zatravljena. Da bi se izognili oskrbi s padavinsko vodo, smo uporabili premično streho, ki jo aktivirajo senzorji zaznavanja padavin in tako nudijo zaščito parcelam z lizimetri. Vsak dan so se lizimetri samodejno namakali in trtam vračali količino vode, ki je bila izgubljena v preteklem dnevu. Na ta način je bilo mogoče natančno slediti potrebam vinske trte po vodi. Skupaj z vrednoteњem dejanske evapotranspiracije smo transpiracijo merili neprekinjeno z uporabo senzorjev limfnega pretoka ksilema, ki so bili prav tako povezani z zapisovalnikom podatkov.

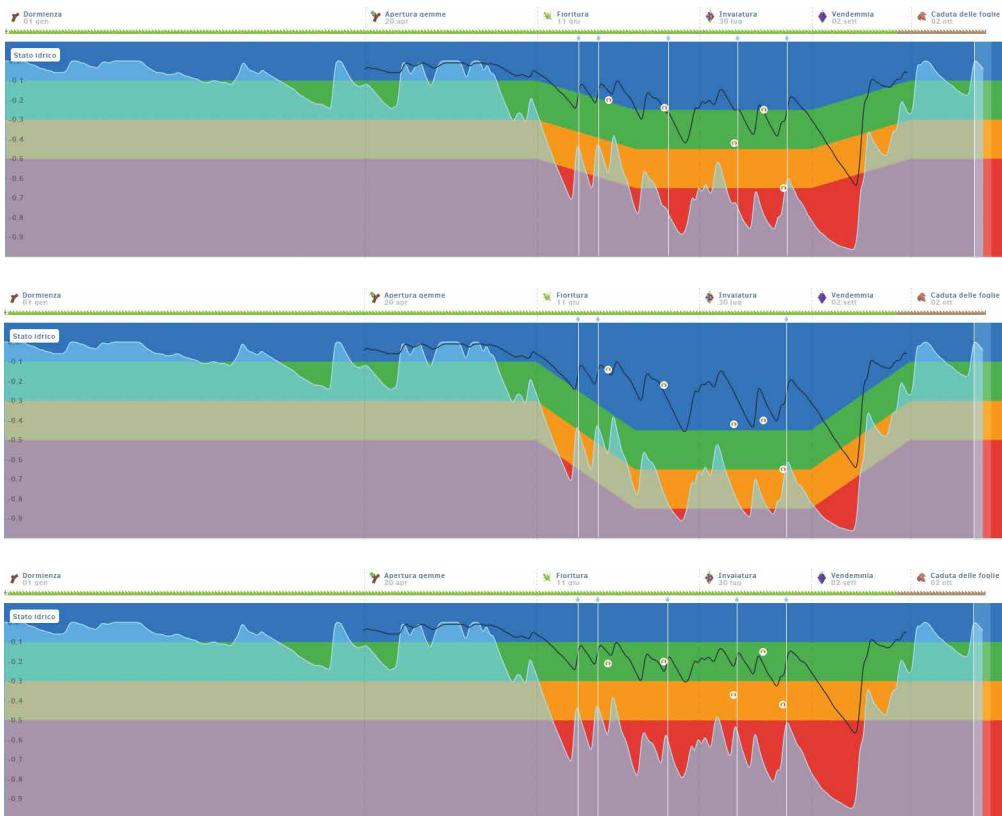


Slika 4: Postavitev lizimetrov na kmetijskem podjetju Servadei. V ozadju se lahko opazi premično streho, ki se aktivira s pomočjo senzorjev zaznavanja padavin že ob prvih kapljah dežja.

REZULTATI

POSKUS 1: Videm - sivi pinot

Med poletno sezono 2021 je bil trend vrednosti vodnega potenciala $\Psi_{\text{pred zoro}}$ padajoč. Ko smo primerjali vrednosti treh namakalnih obravnavanj, smo opazili da so se vrednosti razlikovale zlasti v končnih fazah sezone, za katere so bile značilne omejene količine padavin in visoko izhlapevanje. Dobro namakana obravnava CON je imela višje vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$, kar kaže na boljši vodni status rastlin, kot pa preostali dve obravnavi, kjer so bile rastline podvržene vodnemu primanjkljaju. Indikacije, ki jih je zagotavljal Vintel® DSS, so bile torej učinkovite in sistem je omogočal ustrezno diferenciacijo treh primerjanih namakalnih strategij. Tudi pri namakalnih strategijah CON in MS so bile vrednosti $\Psi_{\text{pred zoro}}$, ki smo jih izmerili na terenu, v skladu z vrednostmi, ki smo jih nastavili na platformi, medtem ko smo pri obravnavi SS v zadnjih poskusnih fazah zabeležili zmerno precenjenost istega parametra (Grafični prikaz 1).



Grafični prikaz 1: Modeli DSS Vintel®, zabeleženi podatki v obravnavah CON (zgoraj), MS (sredina) in SS (spodaj) pri sorti sivi pinot v vinogradu podjetja Servadei Univerze v Vidmu. Nabor ciljnih vodnih potencialov je označen z zeleno barvo, transparentno beli pas označuje razpoložljivo vodo v tleh, črna črta napoveduje $\Psi_{pred zoro}$ in zaokrožuje dejanske izmerjene vrednosti istega parametra. V končni fazi dozorevanja grozdja je večinski delež listja rastlin v obravnavi SS kazal znake staranja, medtem ko smo pri obravnavi MS zabeležili listno staranje samo na nekaterih listih v bližini grozdov (Slika 5).



Slika 5: Stanje vegetacije sredi avgusta pri obravnavanjih CON (zgoraj), MS (sredina) in SS (spodaj).

Trend parametrov zorenja jagod nam je pokazal razliko v kopičenju skupne suhe snovi pri različnih strategijah namakanja (Preglednica 1). V obravnavi CON je bila vsebnost skupne suhe snovi večja kot pa pri obravnavah MS in SS, ki se med seboj nista bistveno razlikovali. Pri ostalih parametrih dozorevanja grozdja tako jasnih razlik nismo zabeležili, moramo pa poudariti bistveno manjše vsebnosti skupnih kislin in večje pH vrednosti v grozdnem soku, kjer smo izvajali strategiji deficitnega namakanja. Tudi pri parametrih količine pridelka opazimo razlike med CON obravnavanjem in strategijah deficitnega namakanja. Povprečna masa grozdov in količina pridelka sta bila nekoliko večja v CON.

*Preglednica 1: Vpliv vodnega režima na količino pridelka in značilnosti dozorevanja grozdja sorte sivi pinot na posestvu podjetja A. Servadei v letu 2021. Podatke smo primerjali z enosmerno analizo variance ANOVA (Analysis of Variance test) sign. F (n.s. neznačilne razlike, ** statistično značilne razlike med povprečji, p <0,01). Ko je bilo ugotovljeno, da so razlike statistično značilne, so bila povprečja primerjana s Student-Newman Keuls testom (p <0,05; enake črke predstavljajo povprečja, ki niso statistično značilno različna).*

		CON	MS	SS	sign. F
Pridelava in količina pridelka	Število grozdov	27,85	26,94	27,97	n.s.
	Pridelek (kg/trti)	3,15	2,76	2,89	n.s.
	Povprečna masa grozda (g)	116,23	102,24	104,66	n.s.
Dozorevan- je grozdja	Skupna suha snov (°Brix)	17,43 a	16,45 b	16,95 b	**
	Skupne kisline (g/L)	8,58	8,51	8,85	n.s.
	PH vrednost	3,21	3,21	3,20	n.s.

Analize aromatičnih spojin in rezultati senzoričnega ocenjevanja vin pa nam niso dali bistvenih razlik med obravnavami. Če podrobno preučimo različne vrednosti aromatičnih spojin, so vrednosti običajno višje pri namakalni strategiji MS, medtem ko se koncentracija terpenov zmanjša v bolj omejujoči namakalni strategiji (SS) (preglednica 2). Približno enako velja za tiole, kjer smo pri obravnavi z višjim vodnim stresom zabeležili nižje vrednosti 3-merkaptohexan-1-ola (3MH) (preglednica 2). Vendar nam organoleptična analiza vin ni omogočila potrditve razlik med tremi primerjanimi obravnavami.

Preglednica 2: Vpliv vodnega režima na koncentracijo glavnih aromatičnih spojin, analiziranih v vinu sivi pinot leta 2021. Podatke smo primerjali z enosmerno analizo variante ANOVA (Analysis of Variance test) sign. F (n.s. statistično neznačilne razlike).

	CON	MS	SS	sign. F
terpeni (ug/L)	39,9	36,2	25,2	ns
nORIZOPRENOIDI (ug/L)	10,1	16,0	14,0	ns
alkoholi (ug/L)	583,5	800,0	693,5	ns
estri (ug/L)	93,3	128,6	89,5	ns
kisline (ug/L)	34,8	37,9	39,3	ns
3-merkaptuheksan-1-ol (3MH)	725,0	734,6	626,0	ns

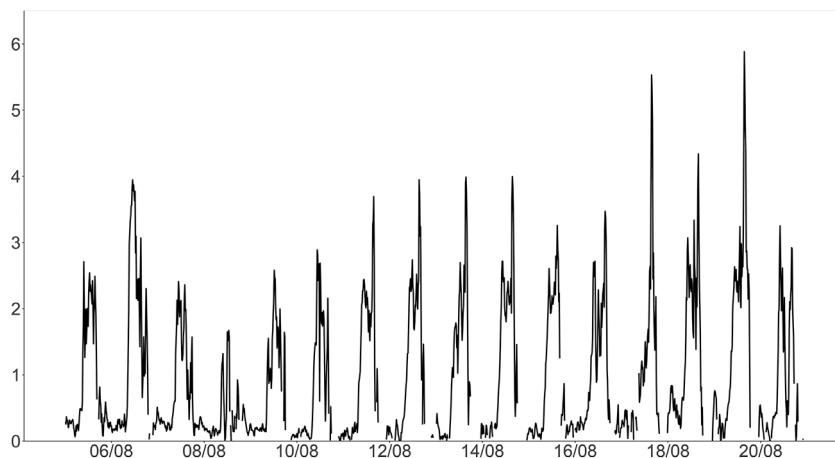
Poskus, ki smo opravili leta 2021 na sivem pinotu, je pokazal, da je pri teh vrstah tal uporaba DSS Vintel® omogočila nadzor Ψ_{steblo} in tudi ustrezno ločila tri različne vodne statuse. Glede na dobljene rezultate je očitno, da je strategija MS omogočila prihranek znatne količine vode (približno 35 mm), rastline pa so ostale v dobrem fiziološkem stanju. Tudi vina so bila ocenjena kakovostno enako, kot pa tista, pridelana v vinogradih, kjer smo izvajali strategijo namakanja CON.

POSKUS 2: San Vito al Tagliamento - glera

Namakalni preizkus, ki smo ga izvajali zaporedno v dveh letih, nam ni omogočil razlikovanj med obravnavama, saj so močno ilovnata tla v poletnih mesecih zadrževala vodo v vinogradu in omogočala rastlinam optimalno razpoložljivost vode. Pogoji vodnega stanja pri obravnavah se tako niso razlikovali. V tem dvoletnem obdobju je bil zato izveden samo en namakalni poseg pri obravnavi CON, kar pa ni zadostovalo, da bi lahko izmerili razlike v trendu $\Psi_{\text{pred zoro}}$ ali pri krivuljah dozorevanja. Leta 2021 je bilo pridelano grozdje mikrovinificirano in izveden je bil postopek za pridelavo penine. Strokovna ocenjevalna komisija ni zabeležila razlik pri senzoričnem ocenjevanju vin, ki so bila pridelana iz grozdja različnih strategij namakanja. Pogoji v vinogradu torej niso omogočali ovrednotenje razlik med uporabljenima strategijama namakanja. Poskus bomo ponovili v zelo sušnem obdobju, ki bo omogočilo diferenciacijo obravnavanj.

POSKUS 3: Kombinacija termičnega in vodnega stresa

Rezultati poskusa, ki smo ga izvajali v vinogradu Sequals, so podarili učinke vodnega, toplotnega stresa ter njune kombinacije na različne fiziološke vidike trte in grozdja sorte sauvignon. Na vodni status rastlin, ki smo ga merili s Ψ_{steblo} , je v glavnem vplival vodni stres, medtem ko je simulacija vročinskih valov imela bolj omejen učinek. Med simulacijo toplotnega vala se je temperatura pri odprtini rastlinjaka, kjer so se nahajali grozdni sklopi, povečala za 4 oziroma 5 °C v osrednjih urah dneva. V ostalih urah dneva pa ni bilo opaziti povečanj, kakor tudi nismo zabeležili temperaturnih sprememb ponoči (grafični prikaz 2).



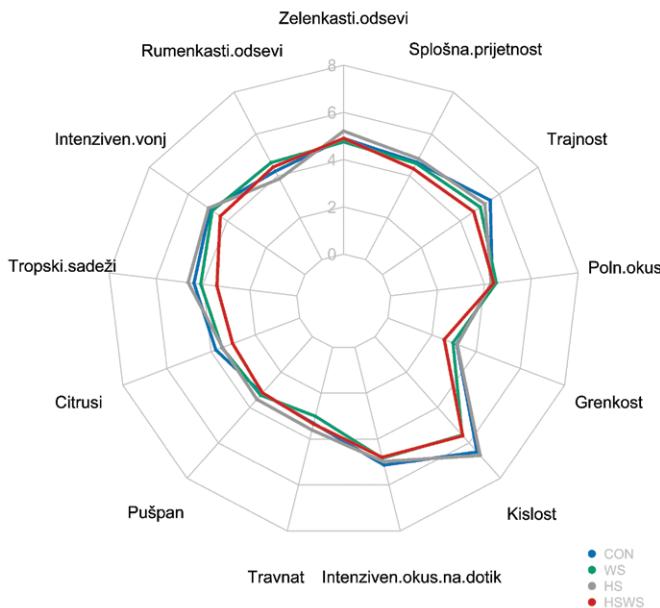
Grafični prikaz 2: Povečanje temperatur pri odprtini rastlinjaka v grozdnem pasu, kjer smo izvajali toplotni stres.

Med dozorevanjem grozdja, nismo opazili bistvenih razlik pri akumulaciji skupne suhe snovi med posameznimi obravnavanji. Sicer pa je bila vsebnost skupnih kislin manjša v obravnavah WS in WS / HS (Preglednica 3).

Preglednica 3: Vpliv toplotnega stresa (HS), vodnega stresa (WS) in kombiniranega stresa (WS / HS) na tehnološke parametre dozorevanja grozdja in na koncentracijo prekurzorjev tiolov ob času trgatve sorte sauvignon v Sequals leta 2021. Podatke smo primerjali z enosmerno analizo variance ANOVA (Analysis of Variance test) sign. F (n.s. statistično neznačilne razlike, ** statistično značilne razlike med povprečji pri $p < 0,01$). Ko je bilo ugotovljeno, da je test statistično značilen, so bila povprečja analizirana s testom Student-Newman Keuls ($p < 0,05$; enake črke predstavljajo povprečja, ki niso statistično značilno različna).

	CON	HS	WS	WS/HS	sign. F
Skupna suha snov (°Brix)	20,8	20	20,2	20,4	ns
Skupne kisline (g/L)	10,9 a	10,6 a	9,25 b	9,38 b	**
pH vrednost	3,12	3,1	3,12	3,13	ns
Cys4MMP	2,33	2,87	1,91	3,39	ns
CysMH	0,36	0,31	0,55	0,90	ns
G4MMP	0,20	0,22	0,23	0,43	ns
G3MH	0,36 b	0,26 b	0,48 b	0,67 a	**

Vsebnost prekurzorjev tiolov je bila večja pri kombiniranem obravnavanju WS / HS, čeprav smo večje vrednosti zabeležili tudi pri prekurzorjih 3MH v obravnavi, kjer smo izvajali samo vodni stres. Podobno kot pri analizi grozdja, je tudi analiza vin, narejenih iz enakega grozdja, potrdila, da je bila koncentracija 3MH povečana pri obravnavaHS, WS in WS / HS. Po drugi strani, pa se ni pokazala jasna korelacija med vsebnostjo prekurzorjev v grozdju in koncentracijami 4MMP v vinu (podatki niso prikazani). Strokovna senzorična komisija je pri ocenjevanju vin poudarila nekatere razlike: zlasti zaznavanje kislosti je bilo bistveno manjše pri vinih iz obravnava WS in WS / HS. Pri zadnji obravnavi (WS/HS) pa so ocene komisije »kaznovale« intenzivnost vonja po tropskih sadežih in citrusih, to je deskriptorje, ki opisujejo predvsem kakovostne lastnosti sauvignona (grafični prikaz 3). Rezultati tega poskusa nam pomagajo razumeti vpliv podnebnih sprememb na fiziologijo rastlin in na kakovost grozdja. Nakazujejo nam, da vročinski valovi, ki bodo vse bolj značilni za čezmejna območja, lahko negativno vplivajo na kakovost vin, zlasti če ne bomo vinogradov namakali na ustrezni način.



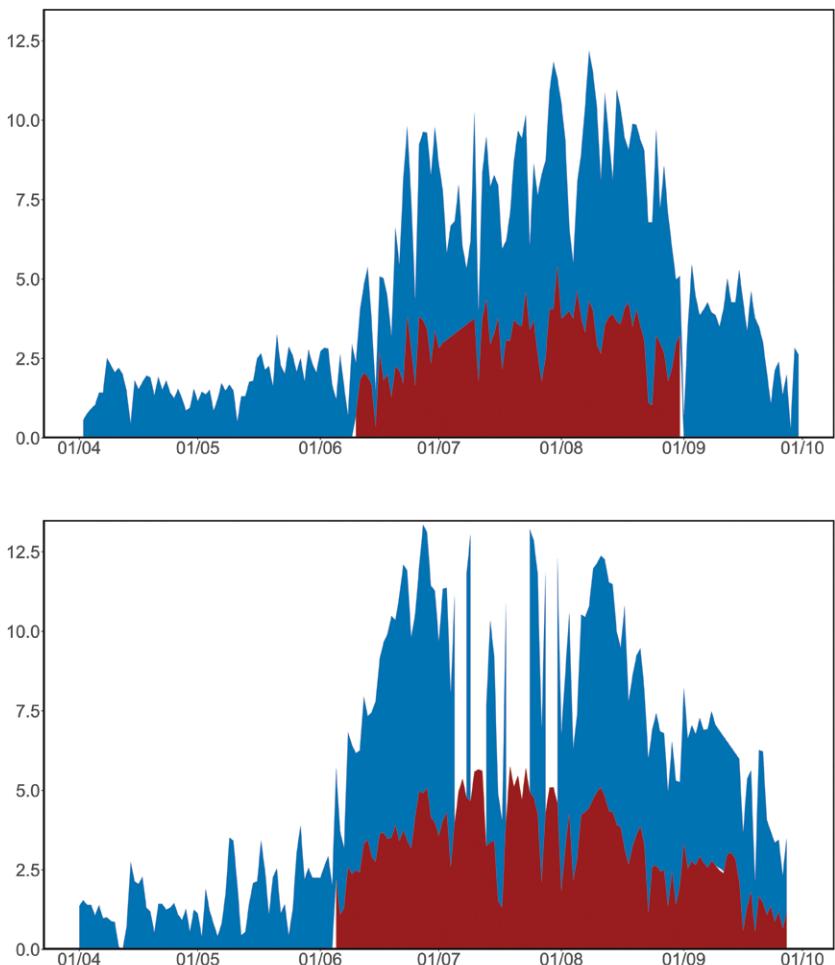
Grafični prikaz 3: Vpliv toplotnega stresa (HS), vodnega stresa (WS) in kombinacije (WS / HS) na organoleptične deskriptorje vina sauvignon, pridelanega iz grozdja v Sequalsu.

POSKUS 4: lizimetri

Poskus, opravljen na lizimetrih, je pokazal, da je potencialna poraba vode v pogojih gojenja trt v Furlaniji Julijski krajini lahko zelo visoka, zlasti pri novih hibridnih sortah, ki so odporne na glivične bolezni. Študij razvoja sorte merlot khorus, ki še nikoli ni bila preučevana iz vidika vodnih potreb, nam kaže na znatno porabo vode, ki pa je sorazmerna z obilno rastno močjo te sorte. Zlasti v poletnem obdobju je njena povprečna dnevna potreba po evapotranspiraciji znašala 4,9 mm oziroma 6,1 mm v letih 2020 in 2021 (grafični prikaz 4). Ta razlika je bila povezana predvsem z različnimi okoljskimi potrebami po izhlapevanju, ki je bilo v letu 2021 veliko večje zaradi visokih temperatur in nizke relativne vlažnosti.

Upoštevajoč samo transpiracijsko komponento, merjeno s senzorji pretoka ksilema, je ta znašala v povprečju 60% dvoletne vodne bilance, preostali delež pa je bil vezan na izgubo vode zaradi izhlapevanja tal ali globokega pronicaanja. Zbrani fiziološki podatki dveh sezont so nam omogočili oceniti zelo dober vodni status rastlin z vrednostmi Ψ_{steblo} , ki nikoli niso padle pod -0,5 MPa. Meritve, pridobljene z lizimetri, kažejo, da so potrebe vinske trte po vodi na raziskovalnem območju veliko večje od tistih, ki jih FAO ocenjuje za preostala območja. Verjetno je to povezano z okoljskimi

razmerami, ki omogočajo večjo vegetativno rast rastlin in s tem večjo izgubo vode s transpiracijo. Poznavanje dejanskih potreb vinske trte po vodi na naših območjih je koristno za ustrezno nastavitev deficitnega namakanja. Tovrstne nastavitve lahko postanejo pretirano omejujoče, če upoštevamo le splošno ocenjene vrednosti vodnih potreb vinske trte.



Grafični prikaz 4: Trend evapotranspiracije trte na lizimetrih (v modri barvi) in samo transpiracije (v rdeči barvi) v letih 2020 (zgoraj) in 2021 (spodaj). Podatki o transpiraciji so bili zbrani le v osrednjem delu rastne sezone.

SKLEPI

Podatki, zbrani v dveh poskusnih letih, skupaj z rezultati preostalih preteklih projektov, so nas pripeljali do določenih zaključkov, ki nam so pomagali postaviti nekatere smernice za namakanje vinogradov.

Ena izmed pomembnih stvari, ki izhaja iz pregleda rezultatov, je dejstvo, da pride do sprememb v parametrih kakovosti grozdja le, kadar je vodni stres močan. Ali so te spremembe pozitivne ali negativne, pa je odvisno od sorte in vrste vina, ki ga namaravamo pridelati. Dejstvo, da nismo zabeležili bistvenih razlik med različnimi strategijami namakanja, ne sme biti obravnavano kot negativen rezultat. Ravno nasprotno: ohranjanje kakovosti grozdja in vina z zmanjšanjem/optimiziranjem namakanja je, glede na vse manjšo razpoložljivost vode, zelo pomemben rezultat.

Uporaba DSS, kot je Vintel®, je naši raziskovalni skupini omogočila, da je ustvarila tri situacije vodnega primanjkljaja v obravnavanjih pri sivem pinotu in dve pri gleri. Sistem je bil učinkovit pri napovedovanju količine vode za namakanje, vendar pa potrebuje ustrezno kalibracijo glede na število sezont in pa tudi za različne tipe terena. Zato je potrebno postaviti limitne nivoje namakanja za različne okoliše, tako da bi se izognili fiziološkim poškodbam rastlin in posledično poslabšanju kakovosti grozdja.

S poskusom na lizimetrih smo dokazali, da je potreba vinske trte po vodi v naših čezmejnih pokrajinah veliko večja kot v drugih bolj suhih vinorodnih območjih. To je predvsem povezano s sorntno bujnostjo, ki jo spodbuja obilno deževje, ki se pojavi v razvojni fazi trte.

Nazadnje smo z simulacijo vročinskih valov na lokaciji Spilimbergo lahko preverili, da se kakovost grozdja in vina ob povečanju temperatur za 4-5 °C bistveno ne spremeni niti ob sočasni prisotnosti vodnega stresa. Organoleptična analiza vin pa je pokazala, da vodni stres zmanjša kislost vin in s tem njihovo svežino, v kombinaciji s toplotno obremenitvijo pa so bili »kaznovani« tudi tipični deskriptorji (tropskega) sauvignona. Vinarji lahko, glede na dobljene rezultate pričakujejo, da bodo potrebe po namakanju vedno večje, če bodo hoteli obdržati aromatično kakovost belega grozdja in vina.

Ko govorimo o smernicah, se moramo zavedati da je motečih dejavnikov veliko. Vemo pa, da je potrebno natančno oceniti potrebe vinske trte po vodi in vzdrževati razmere vodnega primanjkljaja v razvojnih fazah trte, od razvoja jagod do dozorevanja grozdja, da bi tako povečali kakovost grozdja in vin.

Tu nam lahko pomaga DSS, ki nam omogoča da povzamemo parametre vodne bilance in razpoložljivosti vode pri rastlini. Glede na sorte, pa nam je jasno, da ni mogoče določiti mejnih primanjkljajev pri penečih vinih in pri aromatičnem belem grozdju, medtem ko le te lahko postanejo temeljne smernice pri sortah rdečega grozinja, zlasti če so namenjena za visokokakovostno pridelavo.

ZAHVALA

Delo na projektu Acquavitis je bilo financirano v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija Interreg 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in iz nacionalnih sredstev.

BIBLIOGRAFIJA

- Bernardo, S., Dinis, L.T., Machado, N. e Moutinho-Pereira, J. 2018. Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review. *Agron. Sustain.* 38, 66.
- Bindon, K.A. e Kennedy, J.A., 2011. Ripening-induced changes in grape skin proanthocyanidins modify their interaction with cell walls. *J. Agric. Food Chem.* 59, 2696-2707.
- Bindon, K.A., Bacic, A. e Kennedy, J.A., 2012. Tissue-specific and developmental modifications of grape cell walls influence the adsorption of proanthocyanidins. *J. Agric. Food Chem.* 60, 9249-9260.
- Bucchetti, B., Matthews, M., Falginella, L., Peterlunger E. e Castellarin, S.D. 2011 Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Sci. Hort.* 128, 297-305.
- Calderan, A., Sivilotti, P., Braidotti, R., Mihelčič, A., Lisjak, K. e Vanzo, A. 2021. Managing moderate water deficit increased anthocyanins concentration and proanthocyanidins galloylation in Refošk grapes in North-Eastern Italy. *Agric. Water Manag.* 246, 106684.
- Castellarin, S.D., Matthews, M., Di Gaspero G. e Gambetta, G.A. 2007a Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berry. *Planta* 227, 101-112.
- Castellarin, S.D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E. e Di Gaspero, G. 2007b Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ.* 30, 138-1399.
- Castellarin, S.D., Buchetti, B., Falginella, L. e Peterlunger, E. 2011 Influenza del deficit idrico sulla qualità delle uve: aspetti fisiologici e molecolari. *Italus Hortus* 18, 63-79.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L. e Lopes, C.M. 2010 Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* 105, 661-676.
- Comuzzo, P., Marconi, M., Zanella, G. e Querzè, M. 2018. Pulsed electric field processing of white grapes (cv. Garganega): Effects on wine composition and volatile compounds. *Food Chem.* 264, 16-23.

- Cramer, G.R. 2010. Abiotic stress and plant responses from the whole vine to the genes. Aust. J. Grape Wine Res. 16: 86-93.
- Ferreres, E. e Soriano, M.A. 2007 Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Exp. Bot. 58, 147-159.
- Geny, L., Saucier, C., Bracco, S., Davidaud, F. e Glories, Y. 2003 Composition and cellular localization of tannins in grape seeds during maturation. J. Agric. Food Chem. 51, 8051-8054.
- Greer, D.H. e Weedon, M.M. 2013. The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. se-millon grapevine performance and berry ripening. Front. Plant Sci. 4, 1-9.
- Herrera, J.C., Buccinetti, B., Sabbatini, P., Zulini, L., Vecchione, A., Peterlunger, E. e Castellarin, S.D. 2015 Effect of Water Deficit and Canopy Management on the Composition of *Vitis vinifera* L. 'Merlot' Grapes and Wines. Aust. J. Grape Wine Res. 21, 254-265.
- Jones, G.V. e Alves, F. 2012. Impact of climate change on wine production: A global overview and regional assessment in the Douro Valley of Portugal. Int. J. Glob. Warm. 4, 383-406.
- Keller, M. 2010. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. Aust. J. Grape Wine Res. 16, 56-69.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A. e Waterhouse, A.L. 2000. Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. Phytochemistry 55, 77-85.
- Kobayashi, H., Takase, H., Suzuki, Y., Tanzawa, F., Takata, R., Fujita, K., Kohno, M., Mochizuki, M., Suzuki, S. e Konno, T. 2011. Environmental stress enhances biosynthesis of flavor precursors, S-3-(hexan-1-ol)-glutathione and S-3-(hexan-1-ol)-L-cysteine, in grapevine through glutathione S-transferase activation. J. Exp. Bot. 62, 1325-1336.
- Koch, B. e Oehl, F. 2018. Climate change favors grapevine production in temperate zones. Agric. Sci. 9, 247-263.
- Kun, Z., Bai-hong, C., Yan, H., Rui, Y. e Yu-an, W. 2018. Effects of short-term heat stress on PSII and subsequent recovery for senescent leaves of *Vitis vinifera* L. cv. Red Globe. J. Integr. Agric. 17, 2683-2693.
- Martínez-Lüscher, J., Chen, C. C. L., Brillante, L. e Kurtural, S. K. 2020. Mitigating Heat Wave and Exposure Damage to "Cabernet-Sauvignon" Wine Grape with Partial Shading Under Two Irrigation Amounts. Front. Plant Sci. 11, 579192.
- Matthews, M.A. e Anderson, M.M. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. Am. J. Enol. Vitic. 40, 52-60.
- McCarthy, M.G. 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv Shiraz (*Vitis vinifera* L.). Aust. J. Grape Wine Res. 3, 2-8.
- Ojeda, H. 2008. Qualitative precision irrigation in the vineyard. Infowine 5
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carboneau, A. e Deloire, A. 2002 Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. Am. J. Enol. Vitic. 53, 261-267.
- Ollé, D., Guiraud, J.L., Souquet, J.M., Terrier, N., Ageorges, A., Cheynier, V. e Verries, C. 2011 Effect of pre-and post-veraison water deficit on proanthocyanidin and anthocyanin accumulation during Shiraz berry development. Aust. J. Grape Wine Res. 17, 90-100.
- Ou, C., Du, X., Shellie, K., Ross, C. e Qian, M.C. 2010 Volatile compounds and sensory attributes of wine from cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.) grown under differential levels of water deficit with or without a kaolin-based, foliar reflectant particle film. J. Agric. Food Chem. 58, 12890-12898.
- Pastore, C., Dal Santo, S., Zenoni, S., Movahed, N., Allegro, G., Valentini, G., et al. (2017).

- Whole plant temperature manipulation affects flavonoid metabolism and the transcriptome of grapevine berries. *Front. Plant Sci.* 8, 929.
- Peyrot des Gachons, C., Leeuwen, C. V., Tominanga, T., Soyer, J. P., Gaudillère, J. P., Dubourdieu, D. 2005. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis Vinifera* L. cv Sauvignon blanc in field conditions: influence of water and nitrogen deficit in aroma potential. *J. Sci. Food Agric.* 85, 73-85.
- Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Boghi, C., Walker, R.P., Fiamani, F. e Castellarin, S.D. 2021. Grape Berry Secondary Metabolites and Their Modulation by Abiotic Factors in a Climate Change Scenario-A Review. 12, 643258
- Roby, C., Harbertson, J.F., Adams, D.A. e Matthews, M.A. 2004 Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Aust. J. Grape Wine Res.* 10, 100-107.
- Qian, M. C., Fang Y. e Shellie K. 2009. Volatile Composition of Merlot Wine from Different Vine Water Status. *J. Agric. Food Chem.* 57, 7459-7463
- Savoi, S., Wong, D.C.J., Degu, A., Herrera, J.C., Buccetti, B., Peterlunger, E., Fait, A., Mattivi, F. e Castellarin, S.D. 2017. Multi-omics and integrated network analyses reveal new insights into the systems relationships between metabolites, structural genes, and transcriptional regulators in developing grape berries (*Vitis vinifera* L.) exposed to water deficit. *Front. Plant Sci.* 8, 1124.
- Savoi S., Wong D. C. J., Arapitsas P., Miculan M., Buccetti B., Peterlunger E., Fait A., Mattivi F. e Castellarin S. D. 2016. Transcriptome and metabolite profiling reveals that prolonged drought modulates the phenylpropanoid and terpenoid pathway in white grapes (*Vitis vinifera* L.). *BMC Plant Biology* 16, 67.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., et al. 2019. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: A review. *J. Plant Growth Regul.* 39, 509-531.
- Sivilotti, P., Falchi, R., Herrera, J. C., Skvarc, B., Butinar, L., Sternad Lemut, M., et al. (2017). Combined effects of early season leaf removal and climatic conditions on aroma precursors in Sauvignon Blanc grapes. *J. Agric. Food Chem.* 65, 8426-8434.
- Sivilotti, P., Bonetto, C., Paladin, M. e Peterlunger, E. 2005 Effect of soil moisture availability on Merlot: from leaf water potential to grape composition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56, 9-18.
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A. e Banilas, G. 2020. Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. *Plants* 2020, 9, 1754.
- Williams, L.E. e Matthews, M.A. 1990 Grapevine. In: Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy Series No. 30. Am. Soc. Agronomy (Madison, WI, USA), 1019-1055.
- Yan, Y., Song, C., Falginella, L. e Castellarin, S.D. 2020. Day temperature has a stronger effect than night temperature on anthocyanin and flavonol accumulation in Merlot (*Vitis Vinifera* L.) grapes during ripening. *Front. Plant Sci.* 11, 1095.
- Zarrouk, O., Brunetti, C., Egipto, R., Pinheiro, C., Genebra, T., Gori, A., et al. 2016. Grape ripening is regulated by deficit irrigation/elevated temperatures according to cluster position in the canopy. *Front. Plant Sci.* 7, 1640.



Razumevanje hidrološkega cikla (kroga) za boljše upravljanje namakanja v vinogradništvu: od padavin do tal in nazaj do trte

Luca Zini^{1*}, Mirco Peschutta², Martina Tomasella³, Chiara Calligaris¹, Giuliano Dreossi², Emanuele Forte¹, Davide Lenaz¹, Shaula Martinolli¹, Mauro Masiol², Carlotta Musso³, Barbara Stenni², Philippe Turpaud¹, Matteo Velicogna¹

¹ Univerza v Trstu, Oddelek za matematiko in geoznanosti

² Univerza Ca' Foscari iz Benetk, Oddelek za znanosti o okolju,
informatiko in statistiko

³ Univerza v Trstu, Oddelek za vede o življenju

*zini@units.it

POVZETEK

V Projektu Acquavitis smo z vzorčenjem tal in trt v rastnih sezонаh 2020 in 2021 preučevali načine oskrbe in uporabe vodnih virov v šestih vinogradih, ki pripadajo trem kontekstom z različnimi geološkimi, hidrogeološkimi in podnebnimi značilnostmi. V študiji smo ponazorili rezultate analiz izvedenih v treh vinogradih, ki predstavljajo tri obravnavane kontekste. Lastnosti tal v posameznih vinogradih smo določili z analizo zrnavosti tal in mineraloško analizo. Tla smo vzorčili v najmanj treh različnih poletnih terminih v letu 2020 in 2021 z namenom analize vsebnosti vode, vodnega potenciala in izotopske sestave odvzete vode. Vzporedno z analizo tal, smo vzorčili padavine, površinske in globinske vode (iz vodnjakov ali jam, ki se nahajajo v bližini preučevanih območij). Da bi razumeli katero vodo uporabljajo trte v rastni dobi, smo primerjali izotopsko sestavo vodnih virov s sestavo ksilemskega soka, ekstrahiranega iz poganjkov trte, odvzetih v istih terminskih akcijah vzorčenja. V vinogradu Ceroglie (na italijanskem Krasu) smo v drugem letu študije povečali pogostost vzorčenja, da bi tako preverili vpliv posameznih padavin na napajanje zemlje in porabo vode trt. Izvedene so bile geofizikalne raziskave z namenom, da bi določili debelino talnih horizontov. Pridobljeni rezultati kažejo, da vinska trta črpa vodo predvsem iz površinskih slojev tal. Obilica padavin spomladji in/ali poleti v obdobju dvoletnega opazovanja pa je vplivala na naše ugotovitve, saj so zemljišča bila dobro oskrbljeno z vodo.

ABSTRACT

The Project Acquavitis investigated soil water recharge and its utilization by grapevines in 6 vineyards belonging to 3 contexts characterized by different geological, hydrogeological, and climatic characteristics during the growing seasons of 2020 and 2021. Here, we present the results obtained in 3 vineyards, each one representing a different context. The soils of each vineyard have been characterized from a granulometric and mineralogical point of view. Soil samples were collected at least three times during summer 2020 and 2021 to measure the soil water content and water potential and to analyze the oxygen and hydrogen isotopic composition of soil water. Together with soils, precipitations, surface water and groundwater (from wells or caves in proximity of the studied areas) were also sampled. For understanding which water, the grapevines exploit during the growing season, the isotopic composition of the waters was compared to xylem sap extracted from grapevine branches during the same sampling periods. In the Ceroglie vineyard (in the Italian Karst), sampling frequency was incremented during 2021 for determining the influence of single precipitation events on soil water recharge and soil water use from vines. Geophysical surveys were also conducted to determine soil depth in the area. The obtained results suggest that, in general, grapevines mainly utilize water from the upper soil layers. This was influenced by the good water availability in soils due to the relatively abundant rainfall in spring and/or summer during the two years of this study.

UVOD

V sredozemskem območju se vinska trta tradicionalno goji brez umetnega namakanja, saj je njena odpornost na vodni stres dobro poznana. Vendar pa so podnebne spremembe v zadnjih desetletjih povzročile povečanje suhih in vročih poletnih obdobij (IPCC 2021), kar pa je spodbudilo spremjanje tradicionalnih vinogradniških praks. Uporaba namakalnih tehnik za oskrbo vodnih potreb vinske trte je vedno bolj pogosta, še posebej v obdobjih omejene dostopnosti vodnih virov, obenem pa je potrebno vodne vire varovati in uporabo vode čim bolj optimizirati. Razumevanje načinov oskrbe in uporabe talne vode, še posebej v podtalju, in pa ovrednotenje vodnega stanja vinske trte, nam omogočata, da ustrezno določimo resnične potrebe po vodi v vinogradu. V današnjem kontekstu ta praksa predstavlja odlično orodje za racionalno načrtovanje namakanj in za varčevanje z vodnimi viri. Žal pa se je še premalo poslužujemo pri kmetijskih panogah, še zlasti v vinogradništvu (Savi et al. 2018, 2019).

V predstavljeni študiji smo v dveh zaporednih vegetacijskih sezонаh preučevali načine oskrbe rastlin in uporabe vodnih talnih virov v 6 vinogradih, ki pripadajo 3 kontekstom z različnimi geološkimi, hidrogeološkimi in podnebnimi značilnostmi. Dve lokaciji sta bili izbrani v kraškem okolju (Ceroglie in Komen), dve v kontekstu, za katerega je značilen podhorizont s flišem na površju (Budihni in Potok-Stronc v Vipavski dolini) in pa dve v meddolinskem kontekstu na ravnini (Capriva) in spodnji nižini (Precenicco). Zemljevid preučevanih območij je prikazan na sliki 1.

Lastnosti tal v posameznih vinogradih smo določili z analizo zrnovosti tal in mineraloško analizo. Tla smo vzorčili v najmanj treh različnih poletnih terminih, da smo tako spremljali njihovo vsebnost vode.

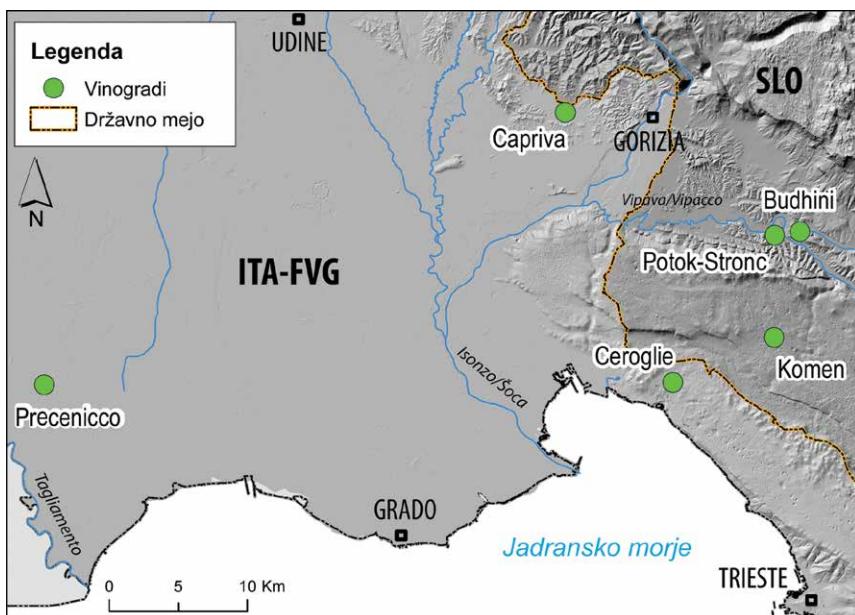
Da bi dojeli načine oskrbovanja tal z vodo na terenu, smo uporabili izotopsko metodo, ki omogoča natančno identifikacijo specifičnih padavin. Vsaka vrsta padavin ima namreč svoj poseben *izotopski podpis* (ali izotopsko sestavo). Na naših zemljepisnih širinah je za izotopsko sestavo padavin značilna izrazita sezonskost z maksimumi poleti in minimumi pozimi (Masiol et al. 2021). Voda med infiltracijo v podtalje ohranja svoj izotopski podpis. Če torej spremljamo padavinske vode hkrati s tistimi, ki so dostopne v tleh in tistimi, ki jih absorbirajo rastline (vode v ksilemskem soku, ki smo ga odvzeli iz poganjkov trte), je mogoče ugotoviti, katere

vode uporablja trta v določenem obdobju sezone, in kdaj so se te vode akumulirale in nasičile v podtalju. Iz tega vidika pa je vinska trta odličen pridelek za preučevanje globinske kapacitete korenin, saj lahko razvije koreninske sisteme precejšnjih velikosti. Ti lahko v okoljih kot je kraško, segajo več metrov globoko (Savi et al. 2019). S kombinacijo teh tehnik in s spremeljanjem vodnega stanja v tleh in rastlinah v poletnih mesecih pa je mogoče razumeti, kdaj je potrebno vinograd namakati oz. kdaj je dostopne vode v tleh dovolj za ustrezeno rast in razvoj trte, da se zagotovi optimalna pridelava grozdja.

PREUČEVANA OBMOČJA

Za vsak geološki kontekst smo izbrali reprezentativno lokacijo. V nadaljevanju so predstavljeni posamezni dobljeni rezultati za tri izbrane vinograde, in sicer za Precenicco, Potok-Stronc in Ceroglie (slika 1).

Vinograd Precenicco se nahaja v najbolj zahodnem predelu spodnje nižine Furlanije Julijanske krajine, ki ga zaznamujejo drobnozrnati kvartarni nanosi, kot so melj in ilovica, povprečna količina padavin približno 900-1000 mm/leto, poletja z visokimi temperaturami in malo padavin.



Slika 1 Preučevana območja: 6 lokacij, ki so obravnavane v študiji.

Drugo preučevano območje (imenovano Potok-Stronc) se nahaja v bližini kraja Dornberk na lokaciji Stronc pri Potoku. Vinograd se razvija sorazmerno z nizem umetnih teras vzdolž Vipavske doline. Za gričevnato območje je značilna prisotnost kamnin v flišnem faciesu (menjavanje laporja in peščenjaka) s prstjo debeline povprečno en meter, pod katero se nahaja skalnata gmota, ki je najprej razčlenjena in razdeljena, nato pa postopoma vedno bolj kompaktna. Povprečna količina padavin je 1400-1500 mm/leto, poletja pa lahko dosežejo visoke temperature.

Vinograd Ceroglie se nahaja na planoti klasičnega krasa, na območju v bližini obale. Postavljen je na kraškem terenu, ki ima le za par decimetrov debelo prst. Površinski sloj prekrivajo večinoma strnjena in intenzivno kraško apnenčasta, skalnata tla. Razpoke in korozijske votline v kamninski gmoti so pogosto zapolnjene z zemljo. Povprečna količina padavin je okoli 1000-1100 mm/leto. Poletja dosežejo visoke temperature, padavin je malo.

MATERIALI IN METODE

Poleti 2020 in 2021, smo v rastni vegetacijski dobi trte izvedli vsaj 3 akcije vzorčenja vod in ksilemskega soka v vsakem vinogradu. Na lokaciji Precenicco smo jemali vzorce tal z mehanskim vrtalnikom, da smo lahko dosegli globino enega metra. Na lokaciji Potok-Stronc smo z mehanskim bagrom naredili približno 2 metra globok jarek, na lokaciji Ceroglie pa smo ročno skopali jarek, da smo dosegli apnenčasti sloj na globini 60 in 80 cm (sliki 2A in 2B). V povprečju smo jemali vzorce tal na globini 20 cm. Vsak vzorec smo nemudoma hermetično zapakirali v vrečke, da smo preprečili izhlapevanje vode in posledično frakcioniranje izotopov. Tako zapakirane vzorce smo shranili pri -18 °C.

Glede na to, da je za kraško območje značilna prisotnost žepov prsti v jamah in večjih talnih razpokah, ki se pojavljajo zaradi zakrasevanja in kraških procesov, smo že zeleli raziskati, če rastline dosegajo in črpajo tudi te vodne zaloge. V ta namen smo na lokaciji Ceroglie poleg vzorčenja z jarkom, odvezeli vzorce vod tudi v bližnji jami »Scheggia« do globine približno 7 metrov. Poleg tega smo v drugem letu študije povečali pogostost vzorčenja na lokaciji Ceroglie, da bi preverili vpliv posameznih padavin pri vsaki ponovni oskrbi terena z vodo. Spomladi in poleti 2021 so se vzorčne akcije izvajale v povprečju vsakih 15 dni. Na lokaciji Ceroglie smo

izvedli tudi serijo geofizikalnih raziskav, katerih cilj je bil določiti debelino slojev tal.

Na zbranih vzorcih smo opravili analizo zrnavosti tal, mineraloško analizo, vodni potencial in vsebnost vode. Ekstrahirani vodi iz tal pa smo določili izotopsko razmerje kisika in vodika.

Vzporedno z vzorčenjem tal smo vzorčili še padavine, površinske vode in vode iz vodnjakov v bližini študijskih območijh.

Analiza zrnavosti tal in mineraloške analize

Analizo zrnavosti tal smo izvajali s sejanjem z uporabo sita za frakcije, ki so večje od 1 mm, in s pomočjo laserskega difraktometra MALVERN Mastersizer 2000 za drobnejše frakcije.

Mineraloške analize smo opravljali z X-žarkovno difraktometrijo za prah. Pri tem smo uporabljali predvsem difraktometer STOE D500 s CuK α sevanjem in grafitnim monokromatorjem. Pogoji delovanja so bili 20 mA in 40 kV, kot 2 θ med 2 in 50°, s korakom (step) 0,01° in časom štetja 2 s/korak (step). Analizirali smo vzorce melja (4-63 μ m) in pa vzorce ilovice, oziroma gline (<4 μ m). Za analizo glin smo uporabili preparate, ki smo jih nato obdelali z etilenglikolom in segreli na 550 °C.

Vzorčenje padavin

V vsakem poskusnem vinogradu projekta smo zbirali padavine meščno z merilniki dežja (dežemerji), ki so v skladu z navedbami Mednarodne agencije za jedrsko energijo (IAEA- International Atomic Energy Agency, 2014) opremljeni s sistemom proti izhlapevanju (Gröning et al. 2012), da se prepreči izotopsko frakcioniranje vzorcev (slika 2D). Leta 2021 je bil v Ceroglie postavljen dodaten merilnik dežja za zbiranje posameznih padavin. Vzorce smo hranili v hladnem in temnem prostoru, da smo jih zaščitili pred morebitnimi spremembami. Izotopske analize vzorcev vode so bile izvedene z uporabo spektrometra IRMS (*Isotope Ratio Mass Spectrometer*) Thermo-Fisher Delta Plus Advantage, ki zagotavlja vrednosti izotopskih razmerij $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ plina, izotopsko uravnotežene z vzorci vode (Horita et. al. 1989).

Merjenje vodnega potenciala in vsebnosti vode

Da bi merili vodni potencial in vsebnosti vode, smo vzorce tal najprej odmrznili, nato pa homogenizirali z lopatico. Dve alikvoti pribl. 5-6 g, brez skeleta, smo preložili v posebne posodice za vzorčenje in tako merili vodni potencial (Ψ_{tla} , MPa) z uporabo rosiščnega higrometra (WP4C, Decagon Devices Inc.). Na istih vzorcih smo potem določili vsebnost vode, oziroma razmerje med svežo maso, odvzeto tik pred merjenjem vodnega potenciala s precizno tehtnico, in suho maso, izmerjeno po 48-urnem sušenju v sušilniku pri 70 °C.

Poleg meritev vodnega potenciala tal so bile izvedene meritve vodnega potenciala s Scholanderjevo tlačno komoro na listih, vzorčenih pred zoro ($\Psi_{pred\ zoro}$). To je parameter, ki se uporablja kot indeks rastlinam razpoložljive vode v tleh. Za vsako lokacijo in vsak datum vzorčenja tal in ksilemskih sokov smo vzorčili 6 trtnih listov med 3:30 in 5:30 uro (sončni čas).

Analiza vsebnosti vode v tleh

Izotopske analize vsebnosti vode v tleh smo izvajali z uporabo dveh različnih tehnik:

- **Kriogena vakuumska destilacija** (CVD: *Cryogenic Vacuum Distillation*), s katero vodo, ki je prisotna v alikvotu 10-15 g prsti ekstrahiramo, tako da izkoristimo temperaturno razliko približno 300 °C med ekstrakcijsko cevjo, postavljeno v vrelo vodno kopel, in zbiralno cevjo, ki je potopljena v tekoči dušik (-196 °C). Cevi sta med seboj povezani in v njima se predhodno ustvari podtlak najmanj 6.6×10^{-2} mbar. Ekstrakcija traja 50 min. Ko je postopek končan, se led, ki je prisoten v zbiralni cevi, stopi. Pridobljen vzorec je v tekočem stanju, tako da se ga lahko analizira s pomočjo laserskega spektroskopa CRDS (*Cavity Ring-Down Spectroscopy*) PICARRO L2130-i, povezanega s sistemom samodejnega vzorčevalnika in uparjalnika. Instrument zagotavlja izotopske vrednosti vzorca upanjene vode z optično metodo, tako da primerja časovne ugasnitve bližnje infrardečih laserskih impulzov, ki so oddani znotraj merilne komore v prisotnosti in odsotnosti vzorca.
- **Tehnika induksijskega modula** (IM: *Induction Module*), ki se izvaja z uporabo elektromagnetne induksijske pečice. Segreva se majhno količino vzorca tal, tako da voda v vzorcu izhlapi. Hlapi preidejo v laserski spektroskop CRDS. Izotopske vrednosti vzorcev smo kalibrirali z uporabo posebej pripravljenih standardov, s tem da smo vzorcev tal sušili v peči pri 105 °C 24 ur in naknadno rehidrirali z dvema različnima vodama z znano izotopsko sestavo.

Vzorčenje ksilema

Ksilemski sok smo ekstrahirali iz trtnih poganjkov na terenu s pomočjo vakuumske črpalke (slika 2C). Ko smo poganjke odrezali in odstranili vse liste, da bi čim bolj zmanjšali transpiracijo, smo postavili odrezano osnovo v majhno ekstrakcijsko komoro, ki vsebuje vialo za zbiranje soka. Z uporabo vakuma (približno -0,7 bar) in postopnim odrezovanjem majhnih segmentov od vrha do osnove poganjka, se je v viali zbral sok iz ksilemski kanalov poganjka. Za vsak vinograd in vzorčenje je bilo odvzetih 3-5 vial na parcelo (vrsto), skupaj cca. 9-15 vial na vinograd. Viale smo hrаниli v hladilni torbi, dokler se nismo vrnili v laboratorij, kjer smo jih nato shranili pri -18°C . Tudi izotopske analize ksilema so bile izvedene z uporabo IM. Sistem je dejansko opremljen z dvema vložkoma, ki absorbirata in oksidirata organske snovi, raztopljene v vzorcu ksilema, tako da so motnje v analizah čim manjše.

Geofizikalne raziskave

Da bi ocenili debeline talnih horizontov na lokaciji Ceroglie, smo uporabili tri geofizikalne metode, tako da smo jih med seboj in-



Slika 2. Vzorčenje: A) Jarek v Potok-Stronc; B) hermetično zapakirana talna jedra v Precenicco; C) odvzemanje ksilemskega soka v Komnu; D) Merilniki dežja v Ceroglie.

tegrirali. Elektromagnetometer CMD-2 (GF Instruments), merilnik upornosti Syscal Pro (Iris Instruments), povezan z 48 elektrodami, razmaknjene na razdaljo enega metra in georadar (*GPR - Ground Penetrating Radar* ProEx, Malå Geosciences), ki se dopolnjuje z zaščitenima antenama z dosegom 250 in 500 MHz. Vsi podatki so bili obdelani in spremenjeni (z omejitvijo v geoelektrične podatke) ter primerjani, da bi lahko ugotovili globino karbonatne matične podlage in njen prostorski obseg.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Zrnavost in mineraloška karakterizacija tal

Analizirani vzorci izražajo različne relativne vsebnosti proda, peska, melja in ilovice, oziroma gline. Ta različna razmerja v zrnavosti tal so značilna za območja vzorčenja in nam pogosto nakujujejo analitične trende (glede na globino). V vzorcih iz vinograda Ceroglie prevladuje melj (približno 60%), nato ilovica (23% - 29%) in pesek, ki narašča z globino (9% - 17%). Prodhnata frakcija je zelo malo zastopana. Vzorci, odvzeti v jami, imajo različne značilnosti, ki so izraz posameznih mest vzorčenja. V bolj površinskih vzorcih je prevladujoča granulometrična frakcija prod (povezan z razpadanjem kamninske gmote). Sledijo mu melj, pesek in ilovica. Globlji vzorci pa so precej podobni tistim, ki smo jih odvzeli v vinogradu.

Tekstura tal v Precenicco ima stalno variacijo granulometričnih razredov od površine do približno 1 m globine. Površinski horizonti tal so bolj muljasti (60%), ilovice pa je z globino vse več (do 60%). Pesek je malo prisoten (manj kot 10%), proda pa praktično ni.

V vzorcih Potok-Stronc je prevladujoč granulometrični razred prod, oziroma grobi pesek (48%-72%), sledi melj (14% - 23%), pesek (6% - 22%) in nazadnje ilovica (7% - 8%). V bolj površinskih horizontih tal je ilovice nekoliko več kot peska (8% proti 6%), medtem ko je v globini, v povprečju pod 130 cm, že prisoten spremenjeni del podhorizonta, kjer prevladuje skelet in skala.

Analizirali smo tudi vzorce meljaste frakcije. Najpogostejsi mineral je kremen. Glinenec je v omejenih količinah prisoten v nekaj vzorcih, medtem ko so karbonati prisotni predvsem v vzorcih, odvzeti v jami Ceroglie in v vinogradu Precenicco. Mineraloška analiza ilovnate frakcije je omogočila opazovanje prisotnosti različnih vrst mineralov, vključno s smektitom, vermikulitom, kloritom in verjetno kaolinitom.

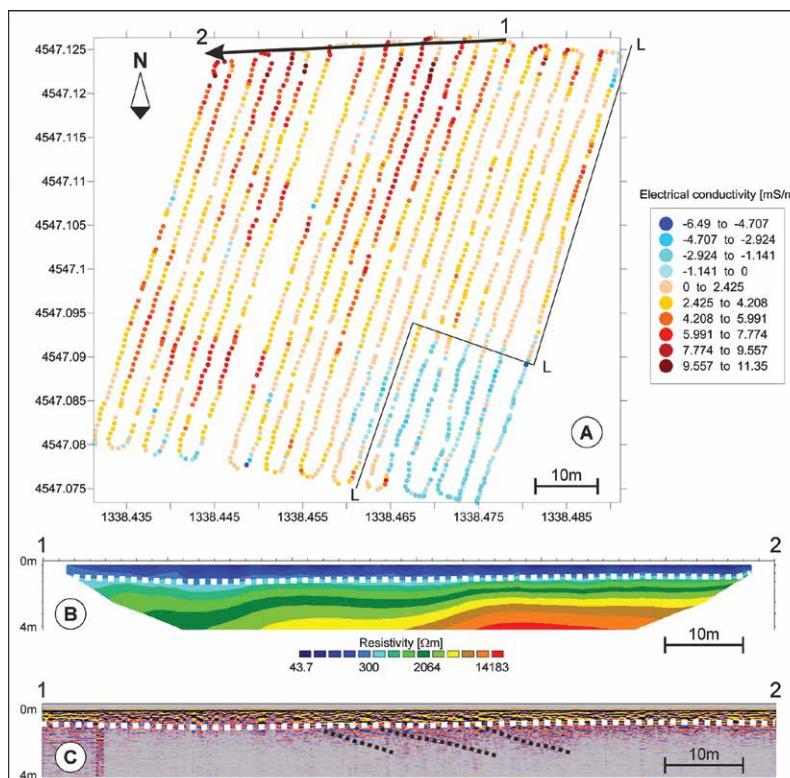
Kar zadeva vzorce v vinogradu Ceroglie, pa smo zabeležili razlike med vzorci v vinogradu, in tistimi, ki smo jih vzorčili v jami. V meljasti frakciji vzorca v vinogradu prevladuje kremen, v jami pa sta prisotna tudi kalcit in dolomit. V ilovnati frakciji ni večjih razlik. V tleh sta prisotna klorit in vermekulit. Našli pa smo tudi nedoločljive mešane plasti ilovice in kaolinita.

Kar zadeva vzorce melja na lokaciji Potok-Stronc, je glavni mineral kremen. Glinenec je prav tako prisoten v vseh vzorcih, vendar očitno podrejen. Sledovi kalcita so prisotni le v dveh najglobljih vzorcih. V ilovnati frakciji so mešane plasti ilita / vermekulita.

Vzorci, zbrani v vinogradu Precenicco, so edini, pri katerih se mineralogija spreminja z globino, saj je kalcit v vzorcih do 70 cm globine komaj prisoten, medtem ko ga je v vzorcih pod to globino zelo veliko. Glinenec ima poseben trend, saj ga je do 50 cm globine komajda, nato pa med 50 in 90 cm narašča, določene sledi pa smo opazili tudi pod to globino. Glavni mineral je vedno kremen. Kar zadeva ilovnato, oziroma glineno frakcijo, so v vseh vzorcih prisotni klorit, ilit in kaolinit.

Geofizikalna karakterizacija v vinogradu Ceroglie

Na kraških območjih, kjer so tla zelo tanka oziroma globine sploh ni, je pomembno določiti vsebnost skeleta in debelino horizontov, saj to vpliva na količino razpoložljive vode, ki je dostopna rastlinam. S tega vidika smo se lotili poskusov na lokaciji Ceroglie z integracijo treh različnih geofizikalnih metod: elektromagnetometer, georadar (GPR) in električna tomografija, ki nam je omogočala raziskovati podtalje na vedno večjih globinah, vendar pa postopoma pri nižjih ločljivostih. Elektromagnetometer, ki meri globalno prevodnost le v prvem 1,5 m topografske površine, nudi relativno oceno debelino talnih horizontov. Raziskave so pokazale prisotnost debelejših horizontov na severnem in zahodnem predelu vinograda, medtem ko se je kamnina pojavila tik pod površjem na jugovzhodnem predelu (slika 3A). Podatki GPR, ki omogočajo prodor tja do 34 m v globino, pa so nam potrdili prisotnost apnenčaste podlage (bela črtkana črta) na globini 0.7 - 1.0 m. V zahodnem predelu vinograda smo zabeležili tudi značilnosti kamninske gmote, ki se je prikazala tik pod površjem (črtkana črna črta na sliki 3C). Meritve so bile potrjenje tudi s pridobljenimi profili upornosti (grafično prikazana poenostavitev na sliki 3B), ki pod nizko uporno ravnjo ($\rho < 100 \Omega\text{m}$) identificirajo prst, s postopno višjimi upornostmi (1-10 $\text{k}\Omega\text{m}$) pa horizonte, ki se v našem primeru nanašajo na apnenec, ki je z naraščajočo globino postopoma vse bolj kompakten.



Slika 3: Povzetek rezultatov celovitih geofizikalnih raziskav. A) (navidezne) vrednosti električne prevodnosti, pridobljene z elektromagnetometrom FDEM; B) Upornostni odsek (resnični) vzdolž transepta 1-2; 250 MHz GPR profil vzdolž transepta 1-2. Lestvica B) in C) sta enaki. Polna črna črta (L) označuje južno in vzhodno mejo trte; bela pikčasta črta označuje vrh apnencev; črne pikčaste črte označujejo nekatere notranje plastovitosti apnencev.

Izotopska sestava padavin, tal in ksilemskih sokov

V okviru projekta ACQUAVITIS smo obravnavali 6 vzorčevalnih mest. Analizirali smo izotopsko sestavo kisika in vodika v naslednjih vzorcih:

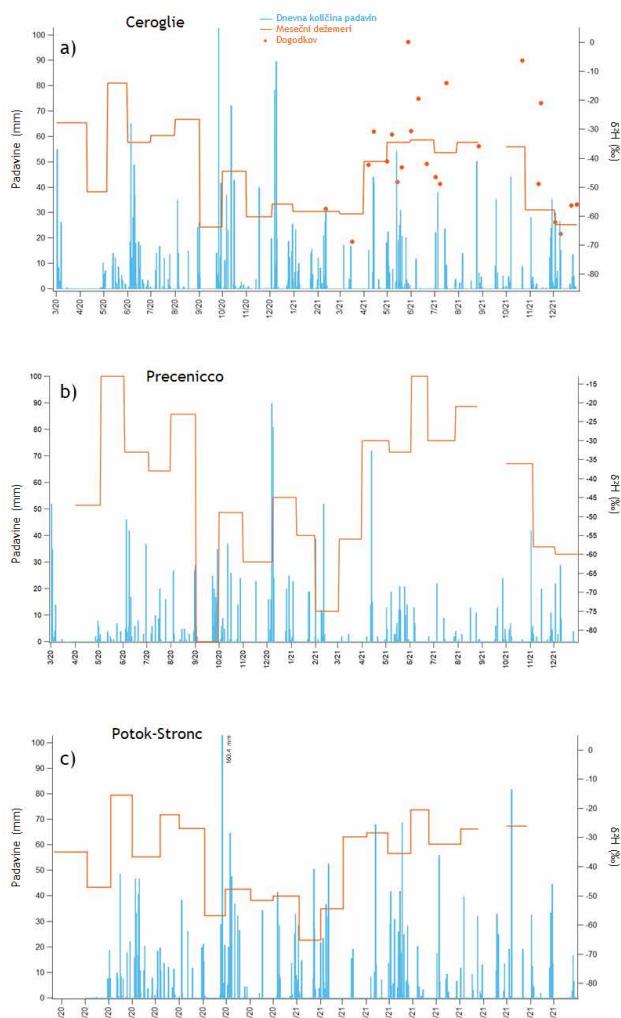
- 246 vzorcev vode, ki vključujejo predvsem padavine, vodo, odvzeto iz kanalov, jarkov, vodnjakov in kapnico iz Jame pri lokaciji vinograd Ceroglie;
- 333 vzorcev talne vode;
- 467 vzorcev ksilemskega soka.

Izotopska sestava se navaja v delta enotah (δ), kar predstavlja odstopanje v delih na tisoč izotopskega razmerja R ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ o $^{2}\text{H}/^{1}\text{H}$) v vzorcu v primerjavi z enakim razmerjem v referenčnem

standardu Dunaj - standardna povprečna oceanska voda (V-SMOW: Vienna-Standard Mean Ocean Water).

Čeprav so nam po opravljenih izotopskih analizah na voljo tako podatki $\delta^{18}\text{O}$ kot $\delta^2\text{H}$, smo se odločili, da bomo v študiji predstavili le slednje, saj se domneva, da so te vrednosti bolj zanesljive. Kisik v vodi, ki je dostopna v tleh za rastline, namreč sodeluje v številnih reakcijah, kot je na primer izmenjava z dušikovimi oksidi med procesi nitrifikacije in denitrifikacije, ali s karbonati med procesi raztopljanja (Scandellari in Penna 2017). Ti procesi pa lahko povzročijo frakcioniranja, ki lahko spremenijo prvotne vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ dostopne vode v tleh.

Na sliki 4, je prikazana izotopska sestava vodika padavin ($\delta^2\text{H}$). Dnevne padavine poskusnih vinogradov v Ceroglie (TS) in v Precenicco (UD), oba v Furlaniji-Julijski krajinai, so imele, tako po pogostosti kot po intenzivnosti dogodkov, podobne padavinske porazdelitve. Leto 2020 je bilo bolj deževno v obeh primerih, še posebej so bile padavine izrazite poleti. V letu 2021, pa smo v pridelovalni sezoni zabeležili več občasnih padavin.



Slika 4: Spremembe $\delta^2\text{H}$ mesečnih (oranžne prekinjene črte) in dnevnih količin padavin, namerjenih z vremenskimi postajami (modri histogrami) postavljeni v bližini lokacij Potok-Stronc, Precenicco in Ceroglie v obdobju 2020-2021. Za lokacijo Ceroglie so navedeni tudi izotopski podatki posameznih padavin (oranžne točke), zbrani v letu 2021.

Izotopska sestava ($\delta^2\text{H}$) kaže jasno sezonskost padavin, kar je še bolj očitno za lokacijo Precenicco, z maksimumi pozno pomladi in poleti, maja 2020 in junija 2021, ter minimumi sredi zime, februarja 2021. Zgornje vrednosti in njihov sezonski trend so v skladu s tistimi, ugotovljenimi v drugih študijih za severovzhodno Italijo (Masiol et al. 2021). Zelo negativna vrednost $\delta^2\text{H}$ za mesec september 2020 (-63,7‰ za Ceroglie in -83,4‰ za Precenicco) predstavlja anomalijo glede na vrsto zabeleženih deževnih obdobij, ki so se zgodili ob koncu meseca. Njihov izvor bomo preučevali v prihodnosti (slika 4). Izotopska sestava padavin je dejansko povezana s temperaturo kondenzacije, pa tudi z izvorom padavin in s tirnico zračnih mas (Dansgaard 1964).

Povprečna letna izotopska sestava, ponderirana s količino padavin za lokacijo Ceroglie, ob upoštevanju časovnega termina dveh let (junij 2020-maj 2022), je -43,0‰ za $\delta^2\text{H}$. Za lokaciji Precenicco in Potok-Stronc sta ob upoštevanju časovnega termina enega leta (junij 2020-maj 2021) vrednosti $\delta^2\text{H}$ -45,6‰ oziroma e -44,2‰.

Za lokacijo Potok-Stronc v Vipavski dolini je razporeditev padavin, v primerjavi z zgoraj opisanima vinogradoma, relativno drugačna. Tudi v tem primeru je bilo manj padavin poleti 2021 kot v preteklem letu. Izotopska sestava $\delta^2\text{H}$ kaže na vidno, a manj izrazito sezonskost, kot smo to zabeležili na lokacijah v Furlaniji-Julijski krajini. Maksimumi so bili zabeleženi maja 2020 in junija 2021, v skladu z zgoraj navedenimi vinogradji. Najnižjo vrednost (-65,2‰) smo zabeležili v januarju 2021 in je bolj negativna od vrednosti, ki smo jo zaznali v istem obdobju v italijanskih vinogradih. Na lokaciji Potok-Stronc tudi nismo naleteli na tako izrazito anomalijo v septembru 2020, ki v tem primeru, čeprav je njena vrednost bolj negativna od vrednosti v sosednjih mesecih, ne predstavlja najnižje vrednosti nabora podatkov. Obdobje nizkih količin padavin, ki je skupno vsem trem območjem, nastopi med drugo polovico februarja in prvim delom aprila 2021. Za mesec april 2021 so značilne bistveno višje izotopske vrednosti v primerjavi z neposredno predhodnim obdobjem na vseh treh lokacijah (slika 4).

Ocena razpoložljivosti vode za rastline

Rezultati izotopskih značilnosti padavin, tal in ksilema za lokacije Ceroglie, Precenicco in Potok- Stronc ter podatki o vodnem potencialu tal in vodnem potencialu v poskusnih vinogradih pred zoro, obravnavanih v študiji, so prikazani na slikah 5, 6 in 7.

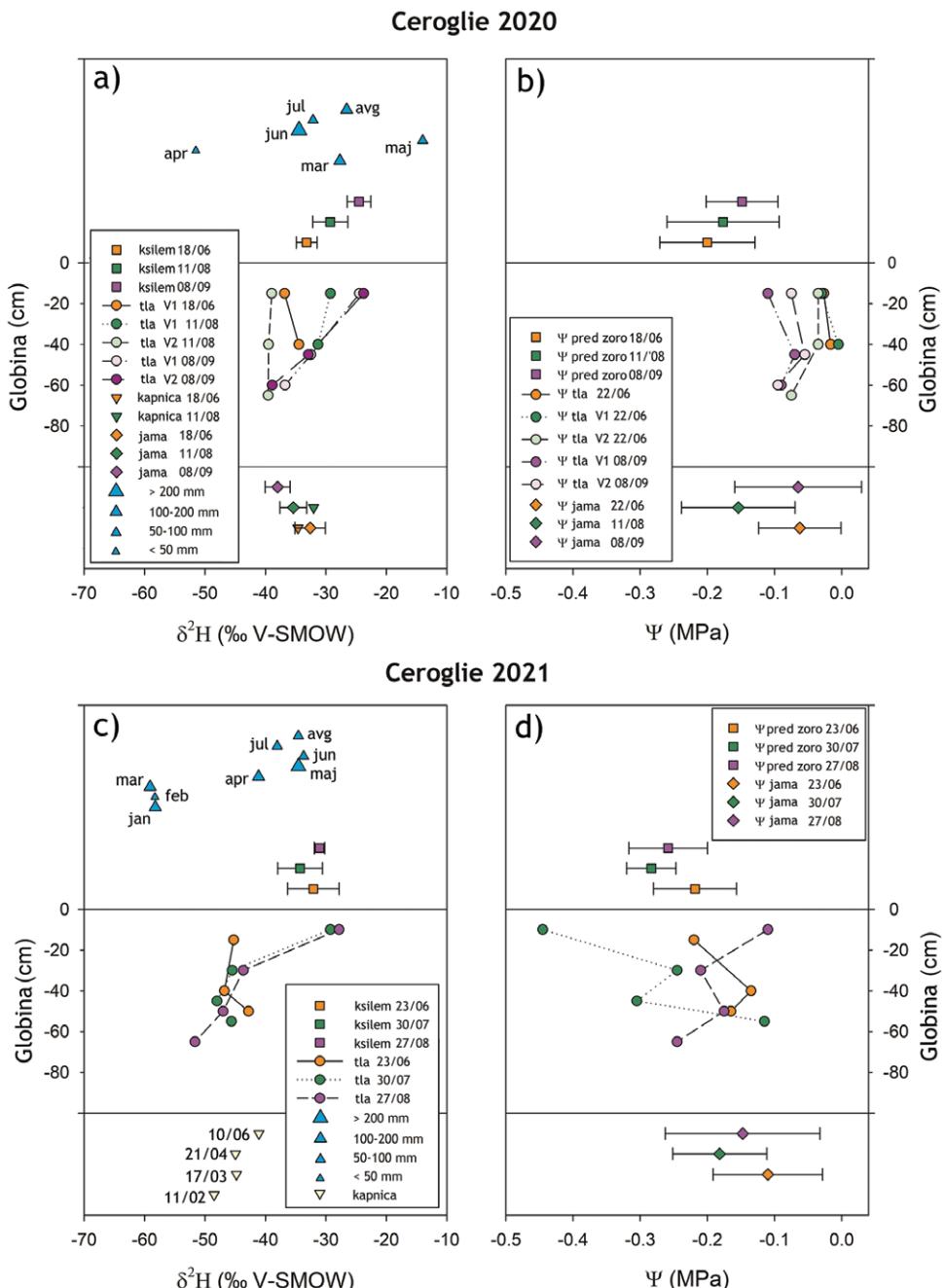
CEROGLIE

Poletje 2020 je bilo še posebej deževno, saj smo v dežemeru, na meščenem v vinogradu Ceroglie, nabrali 228 mm dežja v juniju in 152 mm v avgustu. Izotopske vrednosti vode, zbrane v dežemerih (junij $\delta^2\text{H} = -34,5\text{\textperthousand}$ in avgust $\delta^2\text{H} = -26,6\text{\textperthousand}$) se dobro ujemajo s povprečno vrednostjo ksilemskih sokov, ki so bili vzorčeni v enakem obdobju v juniju ($\delta^2\text{H} = -33,2\text{\textperthousand}$) in avgustu ($\delta^2\text{H} = -29,3\text{\textperthousand}$). Izotopske vrednosti dostopne vode v tleh, vzorčene junija in avgusta, ne kažejo velikih variacij glede na globino, medtem ko je pri septembrskem vzorčenju vidna izrazita negativizacija izotopskega podpisa (slika 5a).

Če primerjamo podatke v jarkih V1 in V2 z dne 11. 08. 2020 je razvidno, da je možna določena prostorska variabilnost v samem vinogradu, ki pa je v septembru nismo zabeležili (primerjava podatkov V1 in V2 z dne 08. 09. 2020 na sliki 5a). Vsekakor pa nam zbrani podatki povedo, da je vinska trta rabilna predvsem vodo, ki je prisotna v najbolj površinskih plasteh tal. Vrednosti vodnega potenciala tal, so bile redko negativne (vedno višje od $-0,15 \text{ MPa}$) in potrjujejo visoko razpoložljivost vode v tleh skozi poletno sezono. Med sezono in z naraščajočo globino meritev se vrednoti skoraj niso spreminjale. V skladu s temi podatki so tudi vrednosti vodnega potenciala pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$) (slika 5b), ki potrjujejo, da rastline niso bile pod vodnim stresom. Izvedene meritve so v podporo podatkom o izotopih, ki nakazujejo, da je vinska trta uporabljala najbolj površinsko vodo.

V letu 2021 pa je porazdelitev padavin bila drugačna kot v preteklem letu, saj je bilo več padavin med aprilom (140 mm) in majem (237 mm) kot pa v poletnih mesecih. Izotopska sestava vode v tleh v juniju ne kaže velikih sprememb na različnih globinah, medtem ko je opazna negativizacija vrednosti tal v juliju in avgustu, zlasti pri prehodu od 10 do 30 cm v globino (slika 5c).

Zanimivo je, da so izotopski podpisi vode, razpoložljive v tleh vinograda, ves čas konstantni in pa podobni podpisom, vzorčenih na večmetrskih globinah Jame v bližini vinograda. Vrednosti $\delta^2\text{H}$ teh vod so vmesne - spadajo nekje v sredino med vrednosti zimskih in pa zgodnje pomladanskih padavin (april). Nasprotno, pa so vrednosti jamskih vod (tal in kapnice), odvzete v začetku poletja 2020, razlikujejo od splošnih vrednosti zimskih padavin. Te so po navadi bolj negativne, vendar žal podatki za leto 2020 niso dosegljivi. Izotopski podpis jamskih vod je podoben podpisu junijskih padavin.



Slika 5: Izotopski podpisi ($\delta^2\text{H}$) padavin, talnih vod, kapnice in ksilemskega soka (a, c). Vodni potencial tal v vinogradu (Ψ_{tla}), sedimentov vzorčenih v jami (Ψ_{jama}) in vodni potencial pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$) (b, d), izmerjen na lokaciji Ceroglie.

Ta mesec se je še posebej razlikoval po obilnih padavinah, ki so najverjetneje napolnile tla in votline jame.

Izotopska sestava ksilemskih sokov junija 2021 je podobna izotopski sestavi padavin v aprilu, maju in juniju, vendar se bistveno razlikuje od sestave talne vode, odvzete v istem mesecu. Lahko domnevamo, da je v tem obdobju vinska trta raje uporabljala vodo padavin, ki so se časovno nedavno infiltrirale v tla, kot pa že obstoječo dostopno vodo v prsti. Ta pojav se lahko zasledi v posebej deževnih obdobijih (Hervé-Fernández et al. 2016; Liu et al. 2022). Po drugi strani pa smo opazili, da izotopska sestava ksilemskih sokov v juliju in avgustu ustreza sestavi dostopne vode v najbolj površinskem delu tal in pa padavinam v istem obdobju. Konec julija in konec avgusta 2021 so izotopske vrednosti sokov bolj negativne kot vrednosti površinskih talnih voda, kar nakazuje, da je vinska trta v glavnem uporabljala vodo na globini približno 20-30 cm (slika 5c).

Podatki vodnega potenciala tal (Ψ_{tla}) poleti 2021 z vrednostmi med -0,3 in -0,1 Mpa splošno kažejo na manjše zmanjšanje razpoložljivosti vode v tleh v primerjavi s prejšnjim letom, s koncem julija pa na dosledno zmanjšanje vode v prvih 20 cm tal.

Vodni potencial rastlin pred zoro ($\Psi_{pred\ zoro}$) z vrednostmi med -0,3 in -0,2 Mpa tudi nakazuje rahlo zmanjšanje razpoložljivosti vode v tleh za vinsko trto v primerjavi z junijem in vrednostmi v letu 2020 (slika 5d).

PRECENICCO

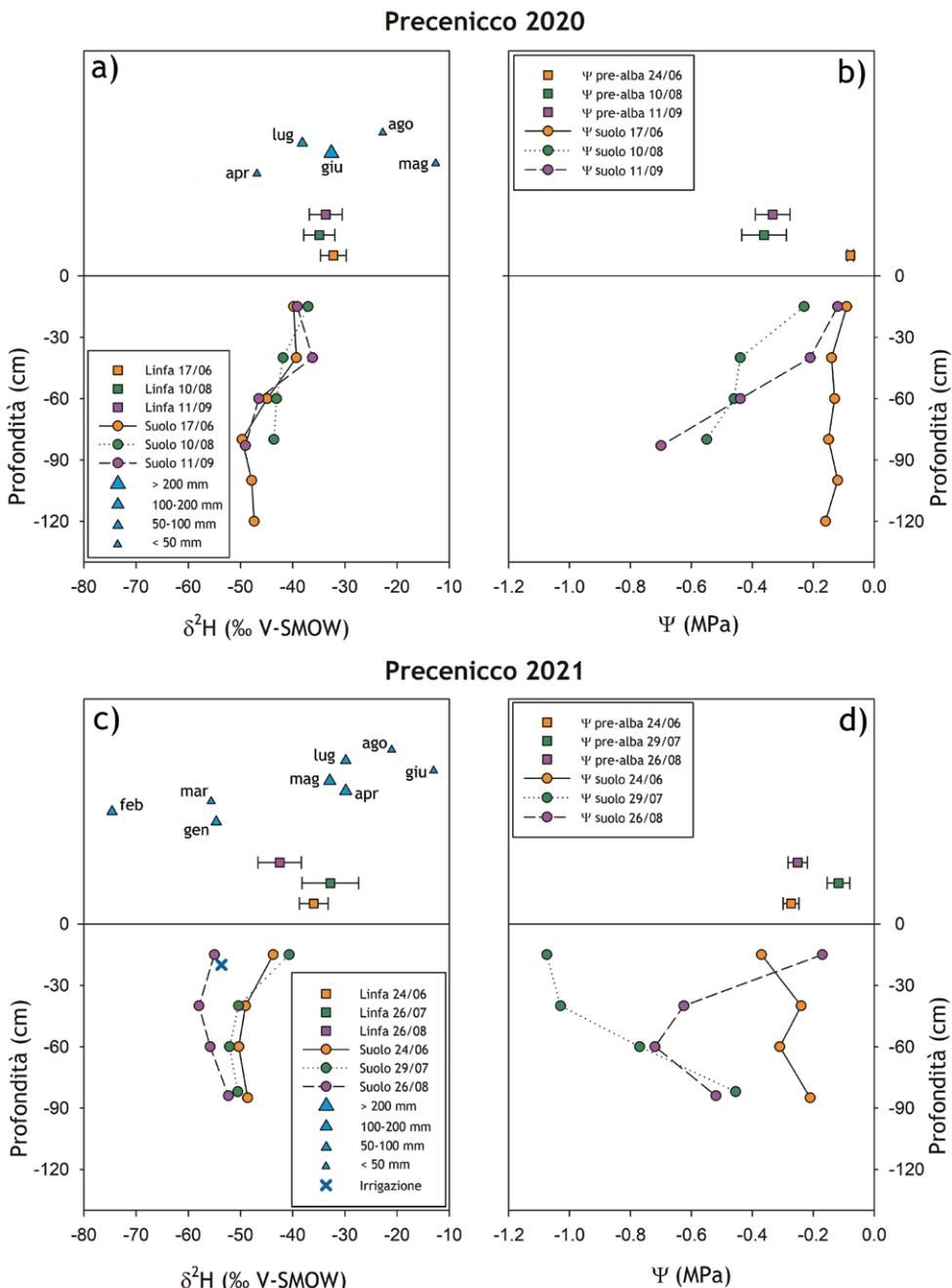
Izotopski podpis vode vzdolž talnih profilov leta 2020 nam z naraščajočo globino prikazuje negativizacijo vrednosti. Z opazovanjem izotopskih vrednosti ksilemskih sokov lahko sklepamo, da je trta tudi v tem vinogradu poleti 2020 uporabljala predvsem vodo iz najbolj površinskih plasti (slika 6a).

Vrednosti vodnega potenciala se ujemajo z izotopskimi podatki in kažejo na visoko razpoložljivost vode v najbolj površinskih plasteh vinograda v poletnih mesecih. Zlasti v juniju so tla skoraj dosegla vodno nasičenost, z večinoma pozitivnimi meritvami Ψ_{tla} zaradi velike količine padavin. Glede na podatke akcij vzorčenja v avgustu in septembru menimo, da imajo bolj površinske plasti večjo razpoložljivost vode kot globlji horizonti. Najverjetneje je to posledica, pogostih, čeprav količinsko manjših padavin, ki se pojavljajo v teh

mesecih in ne morejo pronicati do globin (slika 6b). Vrednosti $\delta^{2}\text{H}$ talnih vzorcev v letu 2020 so manj negativne od vrednosti vzorcev odvzetih v letu 2021: razpon variabilnosti dejansko prehaja približno od -35% ÷ -50% do -40% ÷ -60%. Izotopska sestava ksilema v juniju in avgustu 2020 je podobna junijski in julijski sestavi iz leta 2021 (sliki 6a in 6c).

V avgustu 2021 so vrednosti talne vode in ksilema bile bistveno bolj negativne od vrednosti padavin v istem mesecu ter v prejšnjih poletnih in poznih pomladanskih mesecih. To je posledica trikratnega namakanja (edini primer pri obravnavanih vinogradih) s količino 20 mm vode na posamezno namakanje, ki smo ga izvedli v treh različnih dneh: 30. junija, 29. julija (po vzorčenju) in 12. avgusta 2021.

V primerjavi z junijskimi vrednostmi 2021, pa namakanje ni posebej spremenilo vrednosti talne vode v juliju 2021 (slika 6c). V primerjavi z junijski podatki, vodni potenciali tal splošno kažejo na zmanjšanje razpoložljivosti vode v tleh v juliju in avgustu 2021. Vseeno, so vrednosti pred zoro $\Psi_{\text{pred zoro}}$ malo negativne ($> -0,3 \text{ MPa}$), tudi in zlasti v mesecih juliju in avgustu. Ti podatki so verjetno odraz občasnih padavin in namakanja (slika 6d).



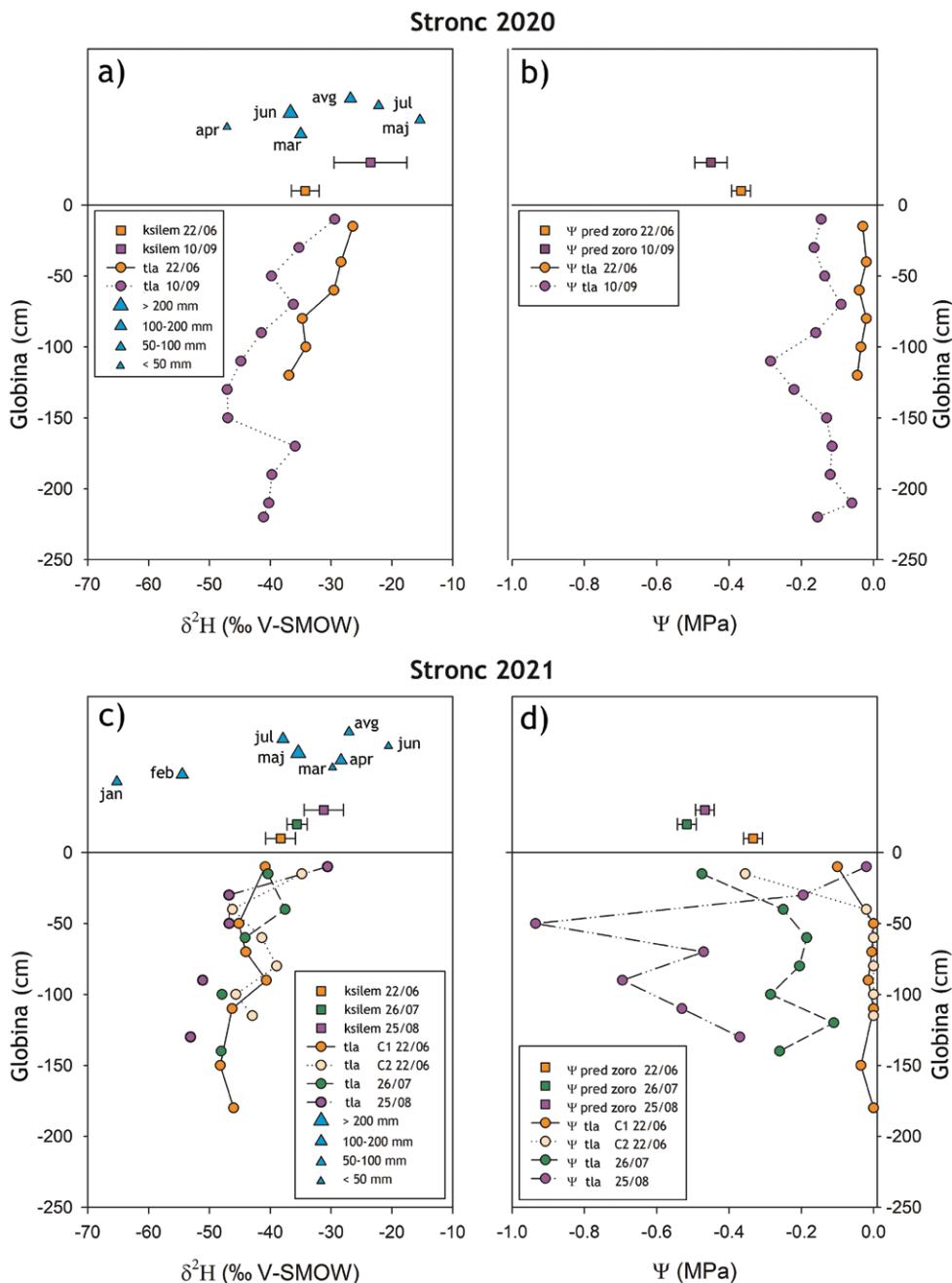
Slika 6: Izotopski podpisi ($\delta^2\text{H}$) padavin, talne vode, namakalne vode in ksilemskega soka (a, c). Vodni potencial tal vinograda (Ψ_{tal}) in vodni potencial rastlin pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$) (b, d) izmerjeni na lokaciji Precenicco. Profili tal (vsebnost in potencial, izotopi tal, ksilem in podatki padavin, površinske vode, kapnica, jama ali namakanje).

POTOK-STRONC

Tudi na lokaciji Potok-Stronc je bilo poletje 2020 še posebej dežvno, saj so junija zabeležili 283 mm, avgusta pa 185 mm padavin. Povprečna izotopska sestava junijskih ksilemskih sokov ($\delta^2\text{H} = -34,3\%$) se je ujemala z izotopsko vrednostjo padavin v istem obdobju ($\delta\text{H} = -36,7\%$). Vrednosti septembrskih ksilemskih vzorcev (srednja vrednost $\delta\text{H} = -23,5\%$) so bile bolj variabilne, najverjetneje zaradi vplivov izotopskih sestav padavin junija ($\delta\text{H} = -22,2\%$; 53 mm) in avgusta ($\delta\text{H} = -26,8\%$; 185 mm). Vrednosti talnih vzorcev δH pa so bili z naraščajočo globino vedno bolj negativni. Povprečna vrednost izotopa junijskih sokov ($\delta^2\text{H} = -34,3\%$) se je približala izotopski vrednosti vode v tleh na -80 cm ($\delta^2\text{H} = -34,8\%$) (slika 7a). Vodni potencial tal je imel malo negativnih vrednosti, ki so bile vedno višje od -0,2 MPa (razen septembra na globini 110-130 cm). To nakazuje na visoko razpoložljivost vode za rastline v tleh in le rahlo zmanjšanje dostopne vode v septembru v primerjavi z junijem (Slika 7b). Kar zadeva septembrsko vzorčenje, ni ujemanja med vrednostmi ksilemskega soka in vrednostmi tal, razen na površini. V vrednosti septembarskih vzorcev ksilema je vidno opazna velika variabilnost vrednosti δH (slika 7a).

Menimo, da nizke količine padavin v juniju 2021 niso vplivale na izotopsko sestavo vode v tleh in v ksilemu, odvzetega v istem mesecu. Verjetno je, da so bila tla še vedno nasičena z vodo zaradi obilnih padavin v maju ($\delta\text{H} = -35,4\%$; 223 mm) in da je trta črpała to padavinsko vodo (povprečna izotopska vrednost sokov $\delta^2\text{H} = -38,3\%$).

Povprečna izotopska vrednost sokov ($\delta^2\text{H} = -35,6\%$) se je konec julija približala izotopski vrednosti talne vode na globini 40 cm ($\delta^2\text{H} = -37,6\%$); vodo v tej plasti je mogoče pripisati padavinam v juliju ($\delta^2\text{H} = -37,9\%$). Konec avgusta pa so se izotopske vrednosti talnega jedra do globine 40 cm izrazito progresivno znižale, verjetno zaradi površinske evapotranspiracije. Če ocenimo povprečno izotopsko vrednost ksilemskih sokov v koncu avgusta ($\delta^2\text{H} = -31,1\%$) je jasno, da se je vinska trta posluževala vode, ki je bila dostopna v sloju najbolj površinske prsti (-10 cm; $\delta^2\text{H} = -30,6\%$) in jo je mogoče pripisati avgustovskim padavinam ($\delta^2\text{H} = -27,1\%$) (Slika 7c).



Slika 7. Izotopski podpisi ($\delta^2\text{H}$) padavin, talne vode in ksilemskega soka (a,c). Vodni potencial tal v vinogradu (Ψ_{tla}) in vodni potencial pred zoro ($\Psi_{\text{pred zoro}}$) (b, d. Meritve izvedene v v vinogradu Potok-Stronc.

V juniju je bil vodni potencial tal blizu ničle, kar pomeni, da se je stanje terena približalo vodni nasičenosti zaradi obilnih majskih padavin. V naslednjih mesecih smo bili priča progresivnemu zmanjševanju vodnega potenciala, predvsem v globljih horizontih, ki je v avgustu dosegel vrednosti Ψ_{tla} med -1,0 in -0,4 MPa.

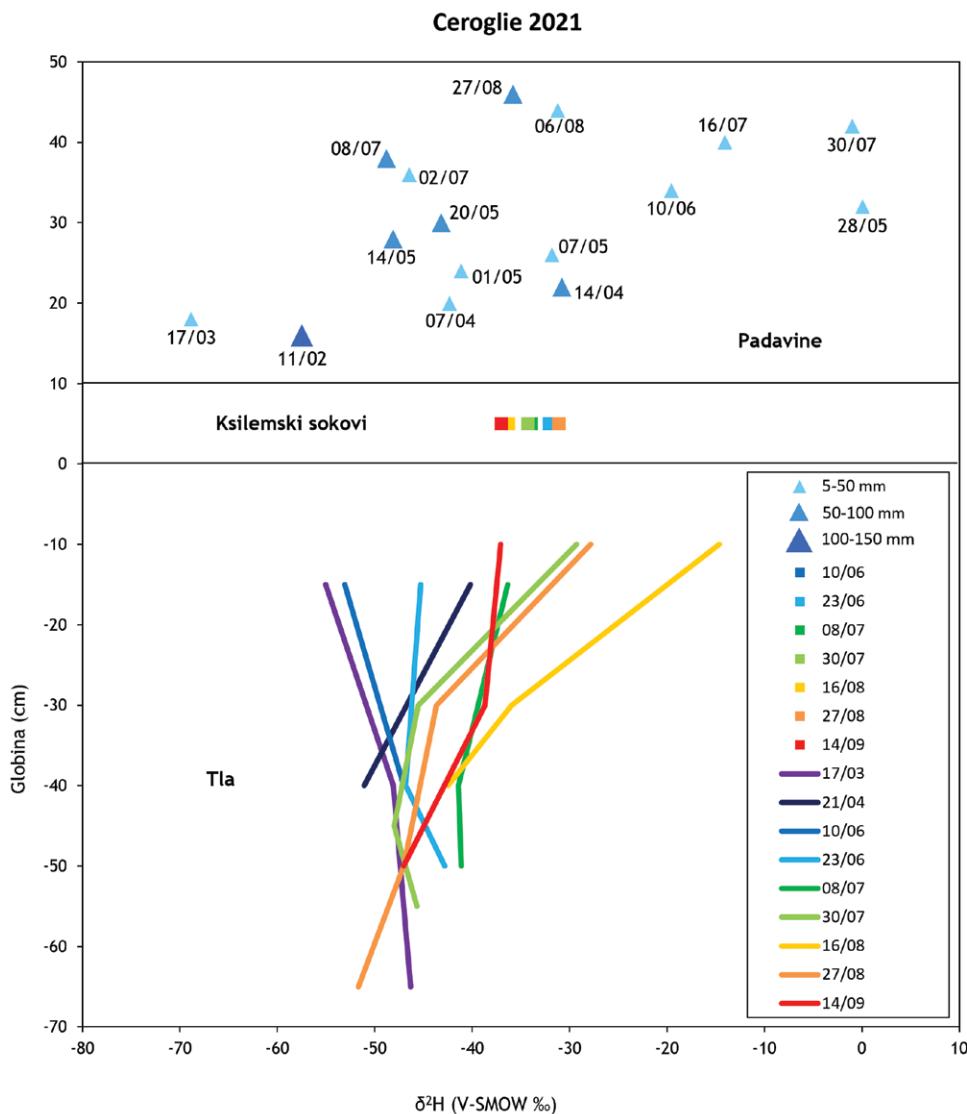
Vendar pa je deževje v avgustu ponovno namočilo tla do globine 40 cm, kjer smo zabeležili vrednosti Ψ_{tla} višje od -0,2 MPa (slika 7d). To pojasnjuje tudi izotopske podatke, saj menimo, da so rastline konec avgusta črpale ravno to površinsko vodo.

DODATNO VZORČENJE NA LOKACIJI CEROGLIE

Grafični prikaz na sliki 8 prikazuje vrednosti $\delta^2\text{H}$ razpoložjive vode v tleh, v ksilemu in posameznih padavinskih dogodkih, zabeleženih v vinogradu Ceroglie v letu 2021. Pri vrednosti tal, opazimo, da so izotopske sestave vode v površinskem sloju zelo variabilne; na eni strani je to odraz variabilnosti izotopske sestave padavin, ki skoraj izključno vplivajo na površinski sloj, ko gre za manj obilne padavine. Po drugi strani pa so te spremenljivosti posledica evapotranspiracije tal in konsekvenčne izotopske frakcionacije.

Vrednoti $\delta^2\text{H}$ vode vzorcev različnih talnih jarkov se približujejo vrednostim -45‰, ko gre za globine večje od 40 cm. Te vrednosti so blizu povprečne letne vrednosti, ponderirane glede na količino padavin na lokaciji Ceroglie, ki znaša $\delta^2\text{H}$ -43,0‰. Kar 6 padavinskih dogodkov ima vrednosti $\delta^2\text{H}$ med približno -40 in -50‰; od tega so 3 s količinami vode med 50 in 100 mm.

Očitno je, da se je izotopska sestava večinskega deleža vode, ki je pronicaла v tla v obdobju poskusov, približala zgoraj navedenim podatkom in da se je ta voda ohranjala in krožila na globinah tal. Po drugi strani pa so izotopski podpisi ksilemskih sokov malo spremenljivi, saj vrednosti spadajo v interval -30 ‰ - -40 ‰. So pa v povprečju manj negativni kot pa tisti v tleh.



Slika 8. Izotopski podpisi ($\delta^2\text{H}$) padavin, v količini nad 5 mm, ksilemskih sokov in vode tal, vzorčenih na lokaciji Ceroglie v letu 2021 (glavna vzorčna akcija in dodatno vzorčenje).

SKLEPI

Kljub neobičajnim padavinam, ki so se pojavile predvsem poleti 2020, smo v raziskavi uspeli opredeliti model podzemnega kroženja vode in načinov, ki jih vinska trta uporablja za črpanje vode. Pozna jesen in pomlad sta bila obdobji z največ padavinami, ki smo jih zabeležili na raziskanih območjih. V teh letnih časih nizke temperature in zmanjšana vegetativna aktivnost spodbujajo infil-

tracijo deževnice, ki tako oskrbi tla z vodo tudi do globin. Poletne padavine pa ponavadi dosežejo le površinske sloje tal, saj rastline vodo takoj izkoristijo za vegetativno aktivnost.

Razumevanje teh procesov smo razjasnili zlasti v drugem letu projekta, ko smo povečali vzorčenje na lokaciji Ceroglie in zabeležili poleti na trtah zmeren vodni stres zaradi pomanjšanja količin padavin na nekaterih lokacijah. Na koncu lahko potrdimo, da je v vinogradu odločilna spomladanska oskrba z vodo. Brez te, pride do pomanjkanja potrebnega vodnega vira, ki lahko zagotovi samooskrbo rastlin.

Spremenljivost zrnavosti in debeline tal skupaj s stopnjo razdrobljenosti in morebitnim zakrasevanjem kamninske gmote pa ustvarja svojevrsten geološki in hidrogeološki kontekst v posameznem vinogradu. Vodna razpoložljivost rastlinam se razlikuje na vsaki lokaciji: v vinogradu v Precenicco je več ali manj homogena do globine enega metra tal; v vinogradu Potok-Stronc do prvih dveh metrov; v vinogradu Ceroglie pa do prvih 60-70 cm in potencialno celo globlje, v žepih prsti kraških jam in razpok, ki so posledica zakrasevanja. Razumevanje hidrogeološkega modela v posameznem vinogradu, skupaj s spremeljanjem vodnega statusa tal in vinske trte nam tako omogoča ugotoviti dejanske potrebe rastlin.

Tovrstni multidisciplinarni pristop, ki smo ga uporabili v posameznih vinogradih, bi lahko usmeril uporabo in upravljanje namakalnih praks tako, da bi se ugotavljalo in določevalo obdobja dejanskih potreb rastlin po vodi. To bi lahko zmanjšalo porabo vode, hkrati pa ohranilo želeno pridelavo in kakovost pridelka.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se prof. Giorgiu Albertiju in g. Diegu Chiabà za tehnično podporo pri izkopih talnih profilov na lokacijah Precenicco in Capriva. Delo na projektu Acquavitis je bilo financirano v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija Interreg 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in iz nacionalnih sredstev.

BIBLIOGRAFIJA

- Dansgaard W. 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus 16:436-468.
- Gröning M., Lutz H.O., Roller-Lutz Z., Kralik M., Gourcy L., Pöltenstein L. 2012. A simple rain collector preventing water re-evaporation dedicated for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ analysis of cumulative precipitation samples. J. Hydrol. 448-449:195-200.
- Hervé-Fernández P., Oyarzún C., Brumbt C., Huygens D., Bodé S., Verhoest N.E.C., Boeckx P.J.H.P. 2016. Assessing the ‘two water worlds’ hypothesis and water sources for native and exotic evergreen species in south-central Chile. Hydrol. Proc. 30:4227-4241.
- Horita J., Ueda A., Mizukami K., Takatori I. 1989. Automatic δD and $\delta^{18}\text{O}$ analyses of multi-water samples using H_2 - and CO_2 -water equilibration methods with a common equilibration set-up. Int. J. Radiat. Appl. Instrumentation. Part A. 40:801-805.
- IAEA. 2014. IAEA/GNIP precipitation sampling guide V2.02 September 2014.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Masson-Delmotte et al. (Eds.). Cambridge, UK & New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Liu Y., Zhu G., Zhang Z., Sun Z., Yong L., Sang L., Zhao K. 2022. Isotopic differences in soil-plant-atmosphere continuum composition and control factors of different vegetation zones on the northern slope of the Qilian Mountains. Biogeosciences. 19:877-889.
- Masiol M., Zannoni D., Stenni B., Dreossi G., Zini L., Calligaris C., Karlicek D., Michelini M., Flora O., Cucchi F., Cucchi F., Treu F. 2021. Spatial distribution and interannual trends of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, and deuterium excess in precipitation across North-Eastern Italy. J. Hydrol. 598:125749.
- Savi T., Petruzzellis F., Martellos S., Stenni B., Dal Borgo A., Zini L., Lisjak K., Nardini A. 2018. Vineyard water relations in a karstic area: deep roots and irrigation management. Agric. Ecosyst. Environ. 263: 53-59.
- Savi T., Petruzzellis F., Moretti E., Stenni B., Zini L., Martellos S., Lisjak K., Nardini A. 2019. Grapevine water relations and rooting depth in karstic soils. Sci. Tot. Env. 692:669-675.
- Scandellari F., Penna D. 2018. Gli isotopi stabili nell’acqua fra suolo, pianta e atmosfera. Italus Hortus 24:51-67.



Iz laboratorija v vinograd: nova digitalna orodja za prenos znanja in trajnostno vinogradništvo - platforma Acquavitis

Klemen Lisjak¹, Paolo Sivilotti², Barborič Blaž³

¹ Kmetijski inštitut Slovenije, Oddelek za sadjarstvo, vinogradništvo in vinarstvo

² Univerza v Trstu, Oddelek za znanosti o življenju

³ Geodetski inštitut Slovenije

* klemen.lisjak@kis.si

POVZETEK

Kmetijstvo se sooča z velikimi izzivi. Podnebne spremembe, ki se odražajo v vedno pogostejših sušnih obdobjih in visokih temperaturah, povečujejo okolijski stres, slednji pa vpliva bodisi na naravne kot tudi na kmetijske ekosisteme (zlasti sektor z visokim t.i. *water exploitation index*) s posebnim poudarkom na vinogradništvu. Z razvojem informacijske tehnologije v zadnjih letih postaja digitalizacija eno pomembnejših orodij za upravljanje vinogradov in vinskih kleti. Nove tehnologije nam pomagajo pri reševanju nekaterih ključnih vprašanj v sektorju, kot so trajnost, podnebne spremembe, sledljivost in odpornost. Veliko ciljev razvoja kmetijstva v Evropi je vezanih na digitalne inovacije. Od njih se med drugim pričakuje, da bodo prispevale k soočanju z družbenimi izzivi, kot sta varstvo okolja in trajnost, na primer z učinkovitejšo rabo virov in porabo energije [1-3]. Obravnavano čezmejno območje Primorske in Furlanije Julijske krajine, natančneje Vipavska dolina, Kras in Furlanija, je s svojimi geološko-geomorfološkimi in socialno-ekonomskimi značilnostmi (majhna kmetijska gospodarstva) posebno ranljivo. Pogostejša vroča in sušna poletja, ki se pojavljajo v zadnjih desetletjih (npr. v letih 2003, 2012 in 2015) so pokazala na občutljivost kmetijsko-proizvodnih sistemov na skrajne in neobičajne vremenske razmere. V ta namen smo v okviru projekta razvili digitalno platformo Acquavitis za spremljanje glavnih agrometeoroloških parametrov in boljše upravljanje vinogradov.

ABSTRACT

Agriculture is facing major challenges. Climate change, which is reflected in increasingly frequent dry periods and high temperatures, increases environmental stress, and the latter affects both natural and agricultural ecosystems (especially the sector with a high so-called "water exploitation index"), with a special emphasis on viticulture. With the development of information technology in recent years, digitization is becoming one of the most important tools for managing vineyards and wine cellars. New technologies are helping us to address some of the key issues in the sector, such as sustainability, climate change, traceability, and resilience. Many goals for the development of agriculture in Europe are linked to digital innovation. Among other things, they are expected to contribute to facing social challenges such as environmental protection and sustainability, for example through more efficient use of resources and energy consumption [1-3]. The cross-border project area of Primorska and Friuli Venezia Giulia Region, more specifically the Vipava Valley, Karst and Friuli with its geological-geomorphological and socio-economic characteristics (small agricultural holdings), has become particularly vulnerable. The more frequent hot and dry summers that have occurred in recent decades (e.g., in 2003, 2012 and 2015) have shown the sensitivity of agricultural production systems to extreme and unusual weather conditions. For this purpose, as part of the project activities, we developed the digital platform Acquavitis for monitoring the main agrometeorological parameters and better vineyard management.

UVOD

Digitalne platforme predstavljajo celovitejši in hiter dostop do informacij o stanju na terenu iz več različnih virov. To omogoča boljše razumevanje aktualne problematike in hitrejše odzive pri sprejemanju ukrepov v vinogradih (pravilna raba vode glede na vodni stres vinske trte, izbira časa škropljenja itd). Napačni oz. prepočasni odzivi v vinogradu vplivajo na ekonomiko in trajnost panoge (nepravilna raba vode, škropiv itd). Za dosego primerne kakovosti vin in trajnostno gospodarjenje, moramo čim bolj načinčno spremljati celoten proces pridelave od grozdja do vina (precizno vinogradništvo in vinarstvo).

Raziskave v zadnjih letih so pokazale, da imajo podnebne razmere posameznega letnika in regionalne razlike v tipih in sestavi tal ključno vlogo na sestavo grozdja in vina (Urvieta et al., 2021). Zaradi klimatskih sprememb je ključno 'real-time' spremjanje agrometeoroloških parametrov, zdravja vinske trte in kakovosti grozdja določenega okoliša: tako na letni ravni kot v krajšem (10-letnem) ali daljšem (30-letnem) časovnem obdobju. Z digitalnimi orodji je spremjanje klimatskih parametrov hitro, avtomatsko, zbrani podatki pa so zelo pomembni pri načrtovanju novih vinogradov. Digitalizacija in strojna obdelava podatkov omogočata hiter prenos informacij do končnega uporabnika - vinogradnika ter na ta način boljšo kontrolo vinogradov, izvedbo vinogradniških opravil ter lažjo odločitev, ki jo mora vinogradnik sprejemati na dnevni ali letni ravni. Sodobno vinogradništvo nenehno povečuje standardizacijo bolj izpopolnjenih tehnologij, ki vključujejo satelitske posnetke, GNSS/GPS tehnologijo, robote, temperaturo, vлагo in druge senzorje. Ves ta napredek pomaga, da je kmetijstvo učinkovitejše, varnejše in okolju prijaznejše (OIV, 2021).

Vinogradništvo je tradicionalna panoga, a kljub temu je v zadnjih letih deležna dinamičnih sprememb, predvsem na področjih informatizacije, digitalizacije, novih tehnologij (precizno vinogradništvo), načinov pridelave, marketinških orodij itn., s skupnimi cilji, kot so (i) zmanjšanje stroškov pridelave, (ii) zmanjšanje okoljskega odtisa ter (iii) povečanje trženja vina. V zadnjem desetletju se je na področju vinogradništva in vinarstva odvijalo kar nekaj raziskovalnih in strokovnih projektov tako na nacionalni ravni, kot v okviru čezmejnih projektov, ki so vključevali različne parcialne in kompleksne študije na različnih nivojih vinogradniške-vinarske panoge. Rezultati raziskav in projektov so se odrazili tako v splošnih publikacijah, kot so brošure in zborniki, kot

v znanstvenih člankih in revijah. Kljub temu, pa so izkušnje pokazale, da je za prenos znanj iz vinogradniških poskusov in laboratorijskih raziskav potreben bolj hiter in preprost prikaz, ki bo lažje razumljiv za končne uporabnike, kot so vinogradniki, vinarji, prebivalstvo, itd. Z vizualizacijo rezultatov je prenos znanj hiter in preprost.

V okviru projekta Acquavitis je eden od ciljev postavitev dvojezične interaktivne platforme, s katerim želimo vinogradnike na čezmejnem območju informirati o meteoroloških podatkih, vodnem stresu v vinogradih, vodnem stanju v tleh in rastlini, satelitskimi posnetki in drugimi vizualnimi posnetki s pomočjo dronov in letal. Prav tako je cilj boljši prikaz rezultatov projekta s pomočjo video predstavitev in video predavanj iz simpozijev organiziranih v okviru projekta.

Platforma oz. portal Acquavitis (www.acquavitis.eu) omogoča sistemsko zbiranje agrometeoroloških parametrov, geovizualizacijo satelitskih, okoljskih in ostalih prostorskih podatkov, ki so nam v pomoč pri interpretaciji podatkov o vodnem stresu v vinogradih ter vodnem stanju v tleh in rastlinah.

Acquavitis portal je sestavljena iz štirih modulov in sicer iz modula:

- Temperatura in klima
- Vodni stres
- Satelitski, okoljski in ostali prostorski podatki ter
- Analize in raziskave



Slika 1: Prikaz glavnih menujev (modulov) na platformi Acquavitis

MODUL 1: 'TEMPERATURA IN KLIMA'

V okviru modula 1 (temperatura in klima) prikazujemo meteoroške podatke iz 8 vremenskih postaj na čezmejnem območju ter glavne agrometeorološke indekse v določenih časovnih intervalih in letih.

Za določeno vremensko postajo lahko dobimo naslednje podatke:

- Podatke o temperaturi - minimalne, maksimalne, povprečne dnevne temperature
- Grafični prikaz tedenske vsote padavin in tedenske vsote izračunane evapotranspiracije.
- Grafični prikaz tedenskega deficitu ali presežka vode
- Grafični prikaz dnevnega števila ur na 10°C in izračunenga Winklerjevaga indeksa
- Prikazujemo lahko tudi indexe hladnih noči

Podatke lahko tudi tabelično prikažemo in sicer prikazujemo Tabelični prikaz vsot padavin, evapotranspiracije, obsevanja, ur nad 10°C ter povprečij povprečne, minimalne in maksimalne dnevne temperature.



Slika 2: Indeks hladnih noči (september 2021) za čezmejno območje projekta Acquavitis.

Na platformi je možnost izvoza podatkov v .csv datoteki, kar bodo lahko uporabili različni deležniki (specialisti za vinogradništvo, raziskovalci, študentje) pri svojih raziskavah in pripravi strokovnih in znanstvenih publikacij. S tem prispevamo k odprtji znanosti

in odprtih podatkov za raziskave. Z rezultati bomo pridobili znanje in podatke, ki bodo v pomoč vinogradnikom, specialistom in strokovnim službam pri obnovah vinogradov, zasaditvi pravilno izbranih sort grozinja na prava tla ter pri prilagajanju vinogradništva in vinarstva na vse bolj intenzivno spremjanje podnebja.

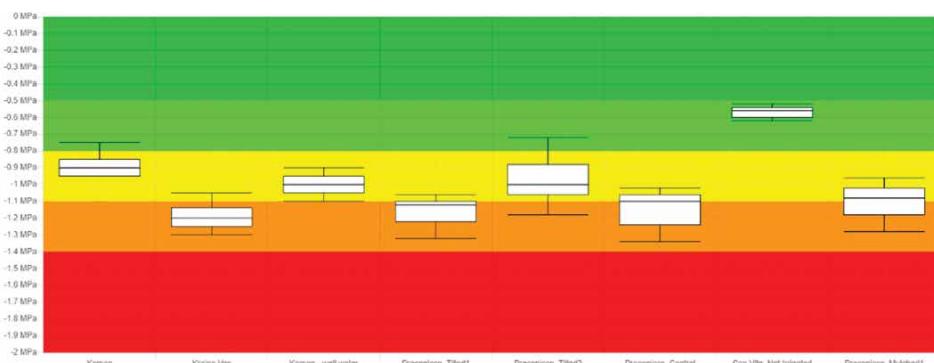
Z namenom spremnjanja klimatskih sprememb, npr. temperature, količine padavin ter evapotranspiracije skozi leta je na portalu izdelano letno poročilo, z glavnimi agrometeorološkimi karakteristikami danega letnika v primerjavi z preteklimi letniki. Uporabnikom bo tako prikazana informacija, ki mu bo prikazala karakteristike letnika in primerjave med letniki.

MODUL 2: VODNI STRES

V okviru Modula 2 (vodni stres) prikazujemo meritve vodnega stresa v izbranih vinogradih na čezmejnem območju. Izberemo vinograd. Podatke prikazujemo grafično z box-plot prikazi in sicer meritve vodnega stresa glede na izbrano časovno obdobje.

Stopnje vodnega stresa so prikazane barvno: brez stresa, blag stres, zmeren stres, močan stres, pretiran stres.

Prikazujemo meritve vodnega potenciala pred zoro, grafično in tabelarično, meritve vodnega potenciala lista opoldan, meritve vodnega potenciala steba opoldan.



Slika 3: prikaz vodnega stresa (meritve vodnega potenciala steba opoldan - Ψ_{steblo}) v vinogradih v obdobju 9.-15. avgust 2021.

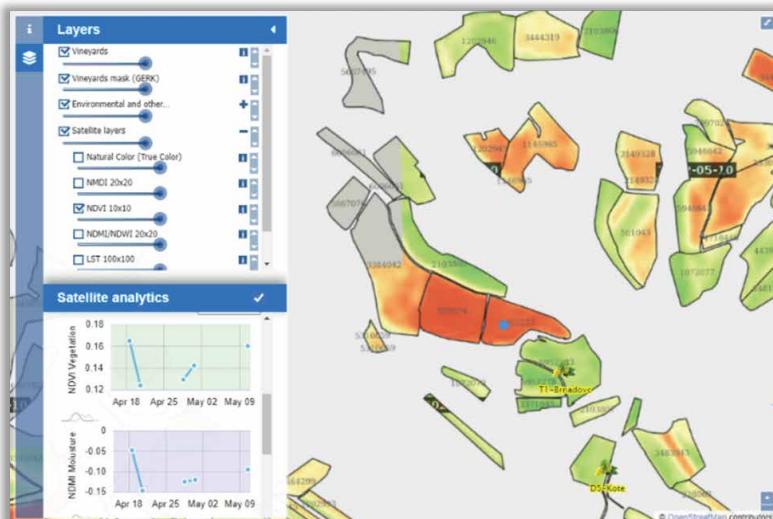
MODUL 3: SATELITSKI, OKOLJSKI IN OSTALI PROSTORSKI PODATKI

Naslednji modul je 'Satelitski, okoljski in ostali prostorski podatki', kjer prikazujemo satelitske posnetke, okoljske in ostale podatke, ki so nam v pomoč pri interpretaciji podatkov o vodnem stresu v vinogradih ter vodnem stanju v tleh in rastlinah.

Podnebne spremembe, ki se odražajo v vedno pogostejših sušnih obdobjih in visokih temperaturah, povečujejo okoljski stres, slednji pa vpliva bodisi na naravne kot tudi na kmetijske ekosisteme (zlasti sektor z visokim t.i. "water exploitation index") s posebnim poudarkom na vinogradništvu. Na GIS platformi ki je odprtega dostopa za vse uporabnike, je za vinograde v čezmejnem območju poleg okoljskih in ostalih prostorskih podatkov možnost ogleda satelitskih posnetkov (Sentinel-2) z vključenimi indeksi, kot je indeks vlage v tleh, indeks vlage v rastlinah, infrardeči spektri, itd. Raziskave v okviru preteklih faz projekta Acquavitis so pokazale dobro ujemanje med kratkovalovnim infrardečim kanalom in vodnim potencialom vinske trte, kar dokazuje uporabnost satelitskih podatkov v praksi.

Spletni vmesnik sestavlja interaktivna karta z osnovno topografsko podlago, ki jo je možno prekrivati s posameznimi tematskimi soji in sicer s satelitskimi posnetki, kjer prikazujemo:

- Normalizirani sušni indeks
- Normalizirani diferencialni indeks vlažnosti
- Normalizirani diferencialni Vegetacijski indeks in
- Temperaturo površja



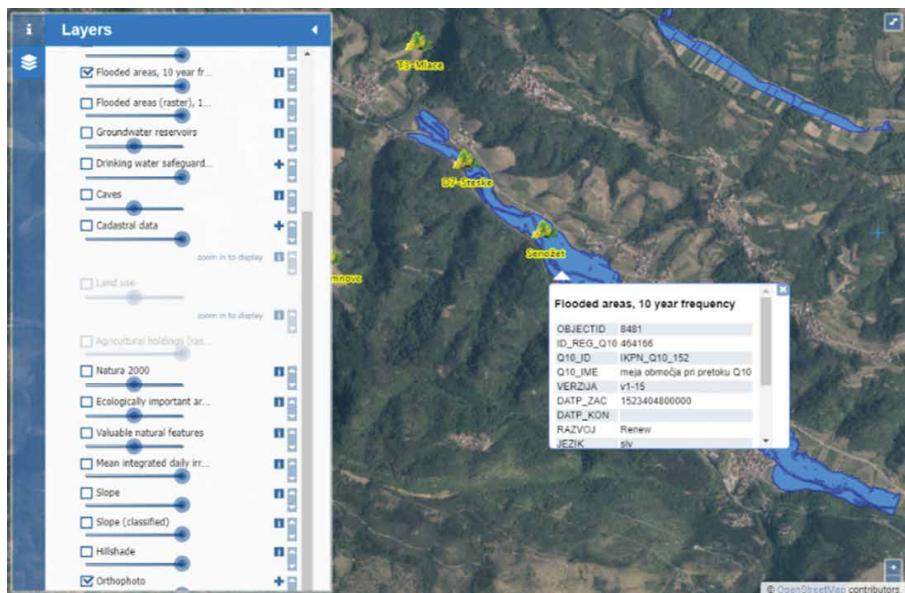
Slika 4: Prikaz satelitskih vrednosti na vinogradniških območjih.

Prikaz slojev upravljamo prek orodne vrstice, kjer lahko izbiramo tudi časovno obdobje v katerem želimo podatke prikazati. S pomočjo časovnega traku lahko na karti prikazujemo vrednosti slojev iz različnih časovnih obdobij. Izberemo časovno obdobje. Ob kliku na določeno lokacijo na karti lahko pridobimo vrednosti vseh slojev za izbrano časovno obdobje na tej lokaciji, pri čemer se vrednosti prikažejo na grafu. Ob ponovnem kliku na drugo lokacijo lahko pregledno primerjamo vrednosti obeh lokacij, s čimer nam je omogočeno izvajanje osnovnih analiz med dvema izbranimi točkama. Podatki so tudi grafično prikazani.

Satelitske posnetke lahko s klikom izklopimo in se posvetimo okolijskim podatkom. Med okolijskimi podatki prikazujemo različne podatke, kot so karta prsti, poplavna območja, vodna telesa, podzemne vode, vodovarstvena območja pitne vode, Jame in brezna. Prikazujemo tudi zavarovana območja NATURA2000 in ostala zavarovana območja narave, ki so na tem območju.

Prikazujemo tudi podatke zemljiškega katastra in območja GERK-ov oziroma kmetijskih gospodarstev v vektorski obliki, kjer lahko s klikom na GERK poizvedujemo o lastnostih GERK-a. Prikazujemo tudi rastrski prikaz kmetijskih gospodarstev.

Za celotno območje so na voljo tudi digitalni ortofoto posnetki. Vse podatke prevzemanjo preko spletnih servisov Geodetske uprave, Agencije RS za okolje in iz našega strežnika.



Slika 5: Prikaz okoljskih podatkov na ortofoto podlagi.

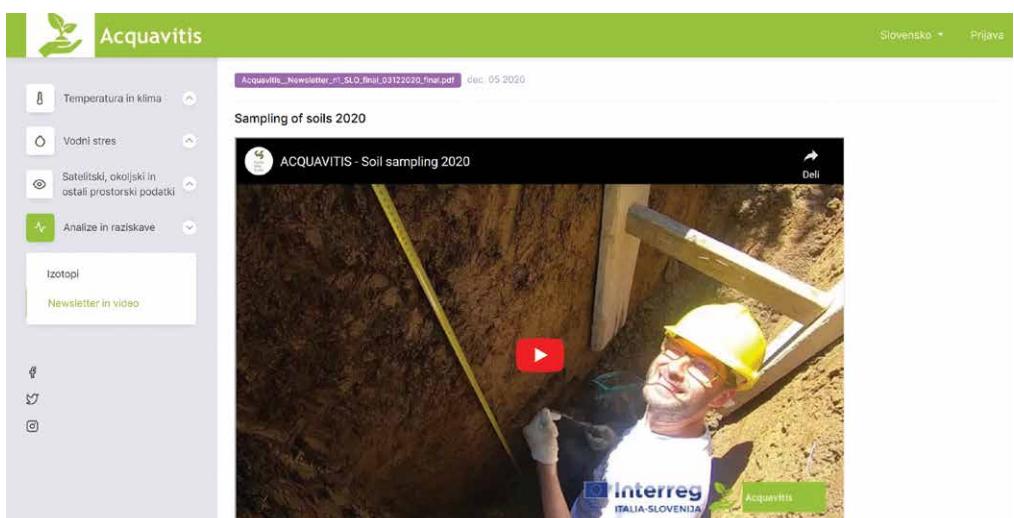
Preglednica 1: Seznam podatkov v GIS pregledovalniku Modula 3.

Območje Slovenije	Območje Italije	Angleški prevod
GERK	/	Agricultural holdings
RABA tal	Carta dell'uso del suolo Corine Land Cover FVG 2000	Land use
ZKP	Catasto	Cadastral data
poplavna območja (Q10)	/	Flooded areas, 10 year frequency
območja pogostih poplav	/	Area of frequent floods
pedološka karta (DPK25)	Carta dei suoli Trieste e Pordenone	Soil map
vodna telesa	/	Water bodies
podzemne vode	Corpi idrici sotterranei	Groundwater bodies
vodonosni sistemi	/	Groundwater reservoirs
vodovarstvena območja (državni, vrelčni, občinski nivo)	Acque potabili / aree protette delle acque potabili	Drinking water safeguard zones (statal, well and municipality level)
jame	/	Caves
natura 2000	/	Natura 2000
ekološko pomembna območja	/	Ecologically important areas
naravne vrednote	/	Valuable natural features
DOF050	Ortofoto 2012 AGEA 0,5m	Orthophoto, 0,5m
OpenStreetMap	OpenStreetMap	OpenStreetMap
Naklon 25 x 25	Pendenza	Slope
Naklon 25 x 25 (klasificiran)	Pendenza (classificata)	Slope (classified)
sončno obsevanje 25 x 25	Radiazione solare	Solar irradiation
senčen model reliefa	Modello delle ombre	Hillshade

Območje Slovenije	Območje Italije	Angleški prevod
NDVI 10 x10 (Normalizirani diferencialni vegetacijski indeks)	NDVI 10 x10	NDVI 10 x10 (Normalized Difference Vegetation Index)
NDMI/NDWI 20 x 20 (Normalizirani diferencialni indeks vlažnosti)	NDMI/NDWI 20 x 20	NDMI/NDWI 20 x 20 (Normalized Difference Moisture Index)
NMDI 20 x 20 (Normalizirani sušni indeks)	NMDI 20 x 20	NMDI 20 x 20 (Normalized Multiband Drought Index),
LST 100 x 100 (Temperatura površja)	LST 100 x 100	Land Surface Temperature
Posnetek površja v naravnih barvah	Colori naturali (colori reali)	Natural color (True color)

MODUL 4: ANALIZE IN RAZISKAVE

Zadnji modul predstavlja modul analiz in raziskav. Tukaj v izbranem vinogradu grafično in tabelarično prikazujemo objave, strokovne članke, novice, predavanja iz simpozijev in projektno filme. S klikom na menu pridemo tudi do novic (newsletter) in strokovnih brošur v pdf. formatu, medtem ko so predavanja prikazana v power point formatu ali kot posnetek predavanj iz webinarjev izvedenih v okviru projekta. Z posebej pripravljenim modulom omogočamo hiter prenos rezultatov in sklepov raziskav v poljudnem jeziku uporabnikov. To je pomembno za obveščanje, ozaveščanje, promocijo, kapitalizacijo rezultatov in zagotovite nadaljevanja inovativnih pristopov k trajnostnemu vinogradništву na čezmejnem območju.



Slika 6: Prikaz filmov izdelanih v okviru aktivnosti projekta.

Z namenom dviga stopnje interakcije z javnostjo, zbiranja komentarjev s strani prebivalstva in prikaza aktivnosti projekta smo pripravili in vzpostavili profile na vseh glavnih družbenih omrežjih kot so Facebook, Twitter in Instagram. Izvajalo se bo tudi neprestano posodabljanje spletnne strani in Facebook profila, vključno z vsemi novicami in doseženimi cilji v času celotnega poteka projekta.

ZAKLJUČEK

Hitre klimatske spremembe opozarjajo, da je razvijanje strategij za krepitev odpornosti in prožnosti nanje nujno potrebno tudi v čezmejnem okolju. Obravnavano čezmejno območje je zara-di podnebnih, geomorfoloških in ekonomskih značilnosti (majhne kmetije) zelo ranljivo. Digitalizacija, avtomatski zajem agro-meteoroloških podatkov, njihova strojna obdelava in hitro razumljiva vizualizacija vinogradnikom omogočajo hitrejše ukrepanje in boljše prilagajanje tako na kratki rok (kontrola sušnega stresa in pravilna poraba vode), kot na daljši rok (npr. pravilna posaditev sort in podlag na določene lege).

V okviru projekta je bil namensko razvit skupni spletni portal (www.acquavitis.eu), ki je preko inicialnega prevzema podatkov uporabljen za informiranje pridelovalcev o agro-meteoroloških podatkih pridobljenih iz 8 metodoloških postaj ter vodnem statusu v vinogradih v čezmejni regiji. Namen spletne platforme je shranjevanje, obdelava in različna vizualizacija podatkov, ki spodbuja mala in srednje velika vinogradniška podjetja k inovativnim pristopom in tehnologijam pravilne porabe vode.

Digitalizacija je prepoznana kot eden od glavnih trendov, ki bo v bližnji in dolgoročni prihodnosti preoblikoval družbo in svetovni gospodarski sistem. Današnje vinogradništvo nenehno povečuje standardizacijo bolj izpopolnjenih tehnologij, ki vključujejo satelitske posnetke, GNSS/GPS tehnologijo, robote ter temperaturo, vlago in druge parametre. Ves ta napredek pomaga, da je kmetijstvo učinkovitejše, varnejše in okolju prijaznejše. K temu sodi tudi večja izobraženost vseh deležnikov, ki se ukvarjajo z vinogradništvom. Vedenje o klimatskih parametrih določenega okoliša in letnika omogoča deležnikom, ki predstavljajo in prodajajo vino (sommelierji, blogerji, natakarji) boljše znanje o karakteristikah dežele, samega letnika, okoliša in na tak način izboljšuje konkurenčnost panoge.

Spremljanje agrometeoroloških parametrov in ostalih (satelitskih) indeksov, ki jih prikazuje portal Acquavitis bo olajšalo odločitve pri razvoju sektorja tudi v prihodnje. Več informacij v realnem času pomeni tudi prožnejše načine gospodarjenja, hitrejše odzivanje na klimatske spremembe in boljšo prilagoditev vinogradnikov na razmere, ki jih objektivno za čezmejno področje prikazuje portal s podatki.

ZAHVALA

Delo na projektu Acquavitis je bilo financirano v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija Interreg 2014-2020 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in iz nacionalnih sredstev.

BIBLIOGRAFIJA

European Commission. COM(2020) 66 Final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A European Strategy for Data; European Commission: Brussels, Belgium, 2020.

European Commission. COM(2018) 237 Final. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Artificial Intelligence for Europe; European Commission: Brussels, Belgium, 2018.

European Commission. COM(2021) 118 Final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: 2030 Digital Compass: The European Way for the Digital Decade; European Commission: Brussels, Belgium, 2021.Jones, G. V. Climate, terroir and wine: What matters most in producing a great wine? EARTH 59, 36-43 (2014).

Urvieta R., Jones G., Buscema F., Bottini R., Fontana A. 2021. Terroir and vintage discrimination of Malbec wines based on phenolic composition across multiple sites in Mendoza, Argentina. Scientific Reports 11(1):2863

ZAKLJUČKI IN PERSPEKTIVE

Avtorji: vsi partnerji udeleženi na projektu

Podnebne spremembe, ki se odražajo v vedno pogostejših sušnih obdobjih in visokih temperaturah, povečujejo okolijski stres, slednji pa vpliva tako na naravne kot tudi na kmetijske ekosisteme (zlasti sektor z visokim t.i. "water exploitation index") kot je vinogradništvo. Obravnavano čezmejno območje Primorske in Furlanije Julijske krajine, natančneje Vipavska dolina, Kras, Brda in Furlanija s svojimi geološko-geomorfološkimi in socialno-ekonomskimi značilnostmi (majhna kmetijska gospodarstva), je postalo posebno ranljivo. Pogostejša vroča in sušna poletja, ki se pojavljajo v zadnjem desetletju (2012, 2015, 2018 in 2022) so pokazala na občutljivost bodisi gozdnih kot tudi kmetijsko-proizvodnih sistemov na skrajne in neobičajne vremenske razmere. Zadnje sušne razmere močno odstopajo od običajnih. Po podatkih Evropskega observatorija za sušo, se skoraj polovica (47%) Evrope sooča s primanjkljajem vode v tleh. Nizki vodostaji rek, jezer in rezervoarjev povzročajo skrbi tako pri vodi za namakanje kot pri preskrbi s pitno vodo. Hitre klimatske spremembe, ki vodijo v pomanjkanje padavin, nadpovprečno visokih temperatur zraka (nad 35 °C) in večjega izhlapevanja opozarjajo, da je razvijanje strategij za krepitev odpornosti in prožnosti nanje nujno potrebno.

Cilj projekta Acquavitis je bil razvoj in preizkušanje inovativnih tehnologij in smernic za zaščito in učinkovito rabo vodnih virov ter načrtovanje ukrepov ob nepredvidenih dogodkih in klimatskih spremembah. Izmenjava izkušenj med raziskovalnimi ustanovami, testiranje novih tehnologij ter prenos znanja bo vinogradniškim kmetijam pomagal pri trajnostnem in racionalnem gospodarjenju z vodo v vinogradništvu. V različnih delovnih sklopih so raziskovalci in specialisti različnih področij prispevali svoja znanja in izkušnje s katerimi smo prišli do pomembnih rezultatov in zaključkov. V nadaljevanju prispevka so na kratko predstavljeni glavni rezultati in perspektive, ki smo jih dosegli s projektom.

PORTAL ACQUAVITIS

Interaktivni portal Acquavitis (www.acquavitis.eu) omogoča sistemsko zbiranje agrometeoroloških parametrov, geovizualizacijo satelitskih, okolijskih in ostalih prostorskih podatkov, ki so nam v pomoč pri interpretaciji podatkov o vodnem stresu v vinogradih ter vodnem stanju v tleh in rastlinah. S hitrimi in preglednimi informacijami se lahko pripravimo na vse pogostejše ekstremne razmere, kot je pomanjkanje vode v vinogradništvu.

Acquavitis portal je sestavljena iz štirih modulov in sicer iz modula:

- Temperatura in klima
- Vodni stres
- Satelitski, okolijski in ostali prostorski podatki ter
- Analize in raziskave

V okviru modula 1 (**temperatura in klima**) prikazujemo meteorološke podatke iz 8 vremenskih postaj na čezmejnem območju ter glavne agrometeorološke indekse v določenih časovnih intervalih in letih. Že samo s spremeljanjem padavin v zimskem in pomladnjem času lahko napovemo težave z vodo v poletnjem času. Primer hitre informacije iz portala Acquavitis pokaže, da smo za vremensko postajo Bilje v letu 2022 imeli v zimsko-pomladnjem obdobju (od 1. januar do 1. junij 2022) samo 187,1 L dežja; medtem ko je bilo v letu 2021 v enakem časovnem obdobju kar 562,8 L dežja. Hitra informacija, ki vinogradniku lahko nakazuje nadalje ukrepe predvsem glede namakanja.

Na strani '**vodni stres**' prikazujemo meritve vodnega stresa v izbranih vinogradih na čezmejnem območju. Prikazani so rezultati za leto 2020 in 2021. Model oz. program pa omogoča dodajanje in spremeljanje meritev tudi v prihodnosti.

'Satelitski, okolijski in ostali prostorski podatki', kjer prikazujemo satelitske posnetke, okoljske in ostale podatke, ki so nam v pomoč pri interpretaciji podatkov o vodnem stresu v vinogradih ter vodnem stanju v tleh in rastlinah. Prikazujemo normalizirani sušni indeks, normalizirani diferencialni indeks vlažnosti, normalizirani diferencialni vegetacijski indeks in temperaturo površja. Med okolijskimi podatki prikazujemo različne podatke, kot so karta prsti, poplavna območja, vodna telesa, podzemne vode, vodovarstvena območja pitne vode, Jame in brezna. Prikazujemo tudi zavarovana območja NATURA2000 in ostala zavarovana območja narave, ki so na tem območju.

V okviru modula 'analize in raziskave' lahko grafično in tabelarično prikazujemo objave, strokovne članke, novice, predavanja iz simpozijev in projektne filme.

KROŽENJE VODE

Ko se soočamo s sušo, oskrbo in racionalno porabo vode je ključno tudi zanje o kroženju vode. V dveh letih projekta nam je izotopska metoda, uporabljena za padavinske vode, tla in ksilemske sokove, omogočila razumevanje, kako vinska trta obnavlja in uporablja podtalnico. Izpostavljen je bil pomen zimskih in spomladanskih padavin pri polnjenu tal z vodo tudi v najglobljih plasteh. Poletne padavine se praviloma vpijejo le v najbolj površinske plasti tal in jih vinska trta takoj izkoristi. Zimsko-pomladansko napajanje zato predstavlja dodaten strateški vir predvsem v hudih sušnih obdobjih. Razumevanje teh procesov je bilo mogoče tudi zaradi dodatne kampanje vzorčenja, izvedene za lokacijo Ceroglie v letu 2021, ki nam je omogočila korelacijo posameznih padavinskih dogodkov z večjim številom vzorcev tal in ksilemskih sokov. Podatki z višjo časovno ločljivostjo omogočajo boljše razumevanje ekohidroloških procesov, vendar je treba upoštevati, da ima vsak vinograd svojevrstne značilnosti, ki so odvisne tako od geomorfologije/geologije rastišča kot od posebnosti rastline (npr. starost vinograda), uporabljeni vinograd, kultivar in podlaga). S tem v mislih se je metoda, razvita v okviru tega projekta, izkazala za učinkovito in zato predstavlja veljavno orodje za analizo posamezne lokacije.

SPREMLJANJE VODNEGA STATUSA VINSKE TRTE

Spremljanje vodnega statusa vinske trte s pomočjo tlačne komore je pomembno orodje za kvantificiranje nivoja vodnega stresa ter za optimalno in učinkovito upravljanje namakanja v rastni sezoni. Zato so v dvoletnem obdobju 2020-2021 merili vodni potencial pred zoro (kazalnik razpoložljivosti vode v tleh za rastline), minimalni dnevni vodni potencial listov (kazalnik največjega vodnega stresa, ki ga trpi trta) in najmanjši dnevni vodni potencial stebla (Ψ_{steblo}) v šestih glavnih vinogradih projekta Acquavitis. Poleg tega smo spremļjali vodni potencial stebla (Ψ_{steblo}) vinske trte v 14 vinogradih sorte Merlot v Vipavski dolini, kjer smo primerjali vinograde na terasah in gričih (n=7) ter v ravninske vinogradih (n=7). V dveh letih študije niso bile poudarjene nobene posebne kritičnosti glede razpoložljivosti vode v tleh za rastline, vendar je bilo v najbolj

vročih mesecih (konec julija in konec avgusta) leta 2021 opaženo izrazito povečanje vodnega stresa glede na meritve Ψ_{steblo} v treh od šestih študijskih mest, ki so dosegle zmeren do visok vodni stres. Prav tako so vodni stres v juliju in avgustu izkazovale trte na terasastih vinogradih Vipavske doline. Rezultati so pokazali, da se je vodni stres trte izrazil v manjšem pridelku po trti (od 25 do 60%) na terasastih vinogradih v primerjavi z nižinskim vinogradom. Na drugi strani so vina sorte merlot na terasah v povprečju vsebovala več skupnega suhega ekstrakta in pepela, več antocianov (barvil) in za 20-35% več taninov v primerjavi z vini iz grozdja nižinskih vinogradov Vipavske doline.

V okviru projekta smo izvedli tudi nekaj metodoloških preizkusov za pravilno merjenje vodnega potenciala. Iz teh testov je bilo ugotovljeno, da je čas ohranjanja listov med obiranjem in meritvijo vodnega potenciala listov odvisen od proučevane sorte in/ali dosegene ravni vodnega stresa. To poudarja pomen razvoja posebnih protokolov v posameznih vinogradih pred izvajanjem terenskega monitoringa.

DALJINSKO UPRAVLJANJE ZA SPREMLJANJE VODNEGA STRESA V VINOGRADIH

Daljinsko zaznavanje je veda, ki uporablja širok nabor tehnik in senzorjev, katerih skupna značilnost je pridobivanje določenih informacij o preučevanem objektu brez fizičnega stika. Odbito elektromagnetno sevanje, običajno sončna svetloba, se meri s senzorji z različnih platform (brezpilotni letalnik, letalo ali satelit). Pridobljeni podatki nam omogočajo spremljanje rasti rastlin in njihovega stanja. Tako lahko spremljamo različne značilnosti rastlin, kot so fotosinteza aktivnost, prisotnost ali odsotnost rastlinskih škodljivcev ter stanje hranil ali vode v rastlinah. Podatki daljinskega zaznavanja so eden od osnovnih vhodnih podatkov pri upravljanju preciznega kmetijstva.

Senzorji na različnih platformah se razlikujejo po spektralni, prostorski in časovni ločljivosti, zato jih uporabljamo glede na naše potrebe. Na splošno lahko rečemo, da so satelitski posnetki najbolj uporabni za spremljanje na širšem območju (na ravni države ali regije), vendar so, kot je bilo prikazano v okviru projekta Acquavitis, lahko koristni tudi za spremljanje posameznih vinogradov. Glavni poudarek uporabe daljinskega zaznavanja v okviru projekta Acquavitis je uporaba različnih senzorjev na različnih platformah

za spremljanje stanja vode v izbranih vinogradih. V vinogradu v Komnu smo uporabili multispektralno kamero in hiperspektralni kameri na brezpilotnem letalniku, ki skupaj zajemata signal valovnih dolžin 400 - 2500 nm. Potrjene so bile korelacije med meritvami vodnega potenciala rastlin in podatki daljinskega zaznavanja iz vseh treh senzorjev. Razviti so bili regresijski modeli za določanje vodnega stresa vinske trte, vendar se natančnost modelov razlikuje med senzorji in od stopnje izraženega vodnega stresa. Na splošno so bili najbolj natančni modeli pridobljeni iz hiperspektralnih podatkov, posnetih z ultralahkim letalnikom, vendar bi bilo treba v modele vseh testiranih senzorjev vključiti več terenskih podatkov, da bi lahko izdelali zanesljivo metodo za spremljanje stanja vode v vinogradih.

Na osnovi multispektralnih posnetkov konstelacije Sentinel-2 smo spremljali vinograde na območju Precenicca, Strnc in Budihnija. Sentinel-2 je konstelacija dveh satelitov programa Copernicus, Evropske vesoljske agencije. Satelita Sentinel-2A in Sentinel-2B zajemata multispektralne podatke z optičnim senzorjem, ki zajaema 13 kanalov. Posnetki so zajeti na spektralnem območju vidne svetlobe, bližnje infrardeče in kratkovalovne infrardeče. Vodni potencial listov merjenih pred zoro ($\Psi_{pred\ zoro}$), minimalni vodni potencial ($\Psi_{list\ opoldan}$), kot tudi vodni potencial stebla ($\Psi_{steblo\ opoldan}$), predstavljajo zanesljivo oceno vodnega statusa trt v povezavi z rastlinam dostopno vodo ter meteorološkimi pogoji. Ugotovili smo, da je vodni potencial lista pred zoro močno koreliran z nekaterimi valovnimi dolžinami. Povezanost je izrazita v infrardečih spektrih.

V prihodnosti lahko pričakujemo širšo uporabo podatkov daljinskega zaznavanja za ugotavljanje stanja vode v rastlinah. Kot je bilo potrjeno tudi v okviru našega projekta, so multispektralni, in še posebej hiperspektralni podatki, za ta namen zelo uporabni. Sinergija letalskega snemanja, snemanja z brezpilotnimi letalniki ter satelitskih posnetkov je lahko zelo učinkovit instrument za spremljanje stanja rastlin na različno velikih območjih ter hkrati omogoča ustrezno ukrepanje v pridelavi in predelavi grozdja.

RACIONALNO NAMAKANJE IN UPRAVLJANJE TAL

Vrednotenje smernic za namakanje predstavlja izviv za vinarje, ker je vključenih veliko spremenljivk in se letni časi med seboj zelo razlikujejo. V okviru projekta je uporaba DSS Vintel® omogočila sledenje različnim namakalnim strategijam in bilo je mogoče preveriti, kako je zmeren vodni stres od cvetenja do trgatve omogočil ohranjanje vinske trte v dobrem fiziološkem stanju. Pridelek se je nekoliko zmanjšal, vendar to ni ogrozilo kakovosti grozdja. Na drug strani, je več mejnih vrednosti vodnega stresa povzročilo škodo na rastlinah, kar je nato vplivalo tudi na kakovost grozdja in vin.

Racionalna raba vode v vinogradništvu vključuje tudi ustreznost in trajnostno obdelavo tal. Tako smo v okviru projekta namenili raziskavam tehnologij zelenega gnojenja, kjer s posevkami različnih mešanic trav in/ali leguminoz zadržujemo vлагo v tleh. Ukrep lahko koristimo tako v primeru preobiljenjih padavin spomladi, kjer zasevke pustimo rasti bolj visoko in s tem izboljšamo evapotranspiracijo in sušenje tal ali v drugem ekstremu v suši, kjer z upogibanjem (rolanjem) omogočimo boljšo pokritost in vlažnost tal dalj časa.

V okviru poskusov upravljanja tal opravljenih v vinogradu Glera v Preceniccu, smo preverili vpliv načina in časa prenehanja zelenega gnojenja (zatravitve) na stanje vode v trti in na dihanje tal. Na splošno mulčenje zelenih posevkov omogoča ohranjanje boljšega vodnega stanja, saj zatravitev z mulčano travo postane zastirka, ki zmanjša izgubo vode zaradi izhlapevanja zemlje. V primeru, da se izvede zakop posevkov prezgodaj, to vpliva na večjo bujnost rasti vinske trte in tako postane bolj občutljiva na vodni stres tekom poletja. Če pa opravimo zakop posevkov v bolj vročih mesecih, spodbuja dihanje tal in izgubo organske snovi. S takim upravljanjem tal zmanjšamo vodni stres vinske trte v poletnih sušnih mesecih.

Opravljeni testi kažejo, kako je treba odpornost vinograda doseči s kombiniranjem upravljanja tal in namakanja. Skrbno ravnanje s tlemi lahko omogoči trti v prvih mesecih cikla, da razvije bolj omejeno krošnjo z manjšo porabo vode, medtem ko upravljanje deficitnega namakanja omogoča optimizacijo porabe vode in zagotavlja dostenjno pridelavo brez poslabšanja kakovost grozdja in vina.

V okviru projekta smo preučevali tudi vpliv kombiniranega vodnega in toplotnega stresa pri sorti sauvignon. Rezultati so pokazali, da tako toplotni kot vodni stres sicer povečata vsebnost

prekurzorjev tiolov v grozdju in hlapnih tiolov (3MH) v vinu, ampak celokupna senzorika vin je pokazala poslabšano oceno vina v kombiniranem vodnem in topotnem stresu. Prav tako je vodni stres povečal spojine neznačilnega starikave note (2AAP) in potencial starikavosti.

ZAKLJUČEK

Hitre klimatske spremembe opozarjajo, da je razvijanje strategij za krepitev odpornosti in prožnosti nanje nujno potrebno tudi v čezmejnem okolju. Poleg višjih temperatur v prihodnosti se spreminja tudi dinamika in sezonska količina padavin, kar bo prinašalo suše, poplave, toče in druge ekstremne vremenske pojave. Zato je zelo pomembno, da se lahko z novimi orodji, znanji in izkušnjami ki smo jih razvili v okviru projekta lažje pripravimo na izredne vremenske pojave, ki nas v prihodnosti vse bolj čakajo.



Quantificazione dello stato idrico nei vigneti Acquavitis nel biennio 2020-2021

Martina Tomasella^{1*}, Andrea Nardini¹, Alenka Mihelčič², Alberto Calderan^{1,3}, Riccardo Braidotti³, Alessandro Pichierri^{1,3}, Carlotta Musso¹, Francesco Petruzzellis¹, Tamara Rusjan⁴, Paolo Sivilotti³, Klemen Lisjak².

¹ Università di Trieste, Dipartimento di Scienze della Vita

² Istituto Agrario della Slovenia - Dipartimento di frutticoltura, viticoltura ed enologia

³ Università degli studi di Udine - Dipartimento di Scienze agroalimentari, ambientali e animali

⁴ Camera per l'agricoltura e le foreste della Slovenia Istituto agricolo forestale di Nova Gorica

*martina.tomasella@units.it

RIASSUNTO

Il monitoraggio dello stato idrico è un importante strumento per quantificare il livello di stress raggiunto dalle viti e per una gestione ottimale ed efficiente dell’irrigazione. In questo studio abbiamo in primo luogo messo a punto un protocollo per una corretta stima del potenziale idrico fogliare nella vite su alcune cultivar di interesse, determinando il tempo massimo di conservazione delle foglie prima della misura. In secondo luogo, durante le stagioni vegetative del 2020 e del 2021 abbiamo misurato il potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$, indicatore dello stato energetico dell’acqua nel suolo), il potenziale idrico fogliare minimo giornaliero (Ψ_{\min} , indicatore dello stress idrico massimo sofferto dalle viti) e il potenziale idrico minimo giornaliero del fusto (Ψ_{fusto}) nei sei vigneti principali del progetto Acquavitis, ubicati in Italia e in Slovenia. Infine, nella valle del fiume Vipacco, abbiamo comparato i livelli di stress idrico raggiunti nell'estate 2021 in vigneti posti sui terrazzamenti con quelli dei vigneti ubicati nella piana alluvionale.

Le due stagioni di monitoraggio non sono risultate particolarmente aride, con $\Psi_{\text{pre-alba}}$ mai inferiori a soglie di stress idrico severo. Tuttavia, considerando il livello di stress massimo raggiunto nella stagione in termini di Ψ_{fusto} , sono emerse differenze tra le due stagioni vegetative. Mentre nel 2020 non è mai stato raggiunto uno stress moderato-severo ($\Psi_{\text{fusto}} < -1.1 \text{ MPa}$) in nessuno dei vigneti, nel 2021 tre dei sei siti (Budihni, Potok-Stronc e Precenicco) hanno mostrato un decremento pronunciato di Ψ_{fusto} nei mesi più caldi (fine luglio e fine agosto), raggiungendo livelli di stress moderato-severo. Infine, nella valle del Vipacco i vigneti posti sui terrazzamenti hanno sofferto un maggiore stress idrico rispetto ai vigneti nella piana alluvionale, probabilmente a causa delle diverse caratteristiche dei suoli legate all'elevato contenuto di scheletro nei siti terrazzati.

ABSTRACT

Water status monitoring is an important instrument to quantify the stress level reached by vines and to optimize irrigation management. In this study, we first set up a protocol for the correct estimation of leaf water potential in some vine cultivars of interest, determining the maximum time of leaf storage before measurement. Then, during the growing seasons 2020 and 2021 we measured the pre-dawn water potential ($\Psi_{\text{pre-dawn}}$, proxy of water status in the soil), daily minimum leaf water potential (Ψ_{\min} , proxy of maximum water stress suffered by vines) and the daily minimum stem water potential (Ψ_{stem}) in the six main vineyards of the Acquavitis project, located both in Italy and Slovenia. At last, in the Vipava valley, we compared the water stress levels reached in 2021 in vineyards from terraces with those from valleys.

The two monitoring seasons were not particularly arid, with $\Psi_{\text{pre-dawn}}$ never indicating severe water stress levels. However, considering the maximum stress level reached in terms of Ψ_{stem} , differences emerged among the two growing seasons. While in 2020 none of the vineyards reached moderate-to-severe stress (i.e., $\Psi_{\text{stem}} < -1.1 \text{ MPa}$), in 2021 three sites (Budihni, Potok-Stronč and Precenicco) showed a pronounced decrease in Ψ_{stem} in the warmest months (end July and end August), reaching moderate-to-severe stress levels. At last, in the Vipava valley, vineyards on terraces suffered higher drought stress compared to those in the valley, probably due to different soil characteristics related to the higher skeletal content in the terraces.

INTRODUZIONE

La produttività della vite in termini di sviluppo vegetativo e di produzione di frutti con determinate caratteristiche chimico-fisiche dipende strettamente dalla disponibilità d'acqua e, in particolare, dallo stato idrico della pianta nel corso della stagione vegetativa. I cambiamenti climatici in corso determinano un aumento della frequenza, durata e intensità di eventi anomali e in particolare di periodi estivi siccitosi e caldi anche e soprattutto nell'area Mediterranea (Spinoni et al. 2018), mettendo così a rischio la produzione vitivinicola (Hannah et al. 2013).

In questo contesto, il monitoraggio e il controllo dello stato idrico dei vigneti rappresentano una promettente strategia per l'ottimizzazione della quantità e della qualità della produzione vitivinicola transfrontaliera. Ciò va di pari passo con la necessità di salvaguardare al meglio la risorsa idrica, intervenendo con l'irrigazione solo quando strettamente necessario (Romero et al. 2022).

Lo stato idrico della vite è comunemente valutato tramite misure di potenziale idrico fogliare. Il potenziale idrico assume valori negativi e decresce all'aumentare del livello di disidratazione della pianta e quindi dello stress idrico. Nell'arco di una giornata, anche in un suolo saturo d'acqua, il potenziale idrico della pianta subisce delle fluttuazioni dovute sia alle condizioni di temperatura e di umidità relativa dell'aria, sia alla regolazione degli scambi gassosi a livello di stomi nelle foglie. A partire dall'alba e in assenza di stress, gli stomi si aprono progressivamente e il potenziale idrico diminuisce come conseguenza della perdita d'acqua, dovuta all'evaporazione dalla foglia verso l'atmosfera. Il potenziale fogliare minimo giornaliero (Ψ_{min}) viene raggiunto intorno a mezzogiorno ed è l'indice del massimo livello giornaliero di stress sofferto dalle

piante. Un altro parametro importante, misurato sempre a mezzogiorno, è il potenziale del fusto (Ψ_{fusto}), che viene stimato su foglie avvolte in buste di plastica o pellicola coperte da carta argentata per un certo periodo di tempo prima del campionamento e della misura. In questo modo, bloccando la traspirazione, il potenziale idrico della foglia va ad equilibrarsi con quello del fusto.

Durante la notte, in quasi totale assenza di traspirazione poiché gli stomi sono chiusi, il potenziale idrico della foglia tende ad equilibrarsi con quello del suolo in prossimità delle radici. Per questo motivo, il potenziale idrico misurato nelle foglie raccolte prima dell'alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) è spesso utilizzato come indice della disponibilità d'acqua per le piante nel suolo, ed è un importante parametro di riferimento per gestire l'eventuale irrigazione nei vigneti ed evitare eccessivi livelli di stress idrico (Savi et al. 2019).

Il potenziale idrico viene comunemente misurato in campo tramite camera a pressione di Scholander su foglie recise, opportunamente avvolte in pellicola immediatamente prima della raccolta per evitarne anche la più minima disidratazione, che porterebbe ad una sovrastima del livello di stress della vite. Spesso le misure di potenziale idrico da effettuare in vigneto sono numerose, per ottenere una sufficiente informazione spaziale sul livello di stress idrico. Inoltre, l'intervallo di tempo per la raccolta delle foglie è limitato a specifiche ore del giorno (ad esempio nell'arco di due ore al picco giornaliero dello stress per la misura di Ψ_{\min}). Per questo motivo, tali misure non possono sempre essere effettuate immediatamente dopo la raccolta di ciascuna foglia. Di recente, è emerso come le procedure di misura e di conservazione dei campioni prima della misura possano determinare una stima scorretta dello stato idrico delle piante (Rodriguez-Dominguez et al. 2022). Tuttavia, test metodologici effettuati nella vite sono molto scarsi (Levin 2019) e specifici test di confronto tra varietà diverse e in diversi periodi della stagione vegetativa non sono stati ancora effettuati.

Nell'ambito del precedente progetto Interreg ITA-SLO "Agotur II", le misure di potenziale idrico condotte nel 2018 e 2019 in 10 diversi vigneti del Carso, hanno evidenziato una risposta eterogenea dei singoli vigneti a periodi caldi e poco piovosi con conseguenti effetti sulla qualità delle uve (Petruzzellis et al. 2021). Inoltre, diversi studi su varietà a bacca sia bianca che rossa hanno riscontrato importanti relazioni tra il livello di stress idrico e la produzione e qualità di uve e vini, soprattutto nel periodo di maturazione degli

acini (Castellarin et al. 2007, Savoi et al. 2017). Da ciò, si evince l'importanza del monitoraggio dello stato idrico nei singoli vigneti per la gestione e l'ottimizzazione della loro produttività.

In questo articolo sono riportati alcuni dei risultati principali relativi al monitoraggio dello stress idrico nei vigneti del progetto Acquavitis, riguardanti: i) la messa a punto di protocolli per la corretta stima del potenziale idrico delle viti, ii) l'analisi dello stato idrico dei sei vigneti principali del progetto durante la stagione vegetativa (Giugno-Settembre) nel 2020 e nel 2021, iii) il confronto dello stato idrico di vigneti posti su terrazzamenti a Flysch con quello di vigneti posti sulla piana alluvionale nella valle del fiume Vipacco.

MATERIALI E METODI

Test per il corretto monitoraggio del potenziale idrico

Uno dei primi test effettuati aveva lo scopo di determinare il tempo massimo che può essere tollerato tra la raccolta delle foglie e la misura del potenziale dell'acqua minimo (Ψ_{\min}) tramite camera a pressione. I test sono stati effettuati in parallelo in tre vigneti ubicati in contesti geomorfologici diversi. Uno è coltivato a Refosk a Ceroglie (Carso Italiano), uno a Pinot grigio e Merlot Kanthus® presso l'Azienda Agricola Universitaria Servadei dell'Università di Udine (Friuli), e il terzo a Merlot in un vigneto sito nei pressi di Potok (valle del Vipacco). I test sono stati eseguiti tra il 2020 e il 2021 sia in tarda primavera in assenza di stress idrico, che in tarda estate (fine agosto-inizio settembre) in condizioni di stress idrico moderato.

In 5 piante per vigneto, tra le 12:00 e le 14:00 (ora solare), sono state raccolte nello stesso momento quattro foglie, per un totale di 20 foglie. Ψ_{\min} è stato misurato immediatamente dopo la raccolta (tempo 0) in una delle foglie di ciascuna pianta, mentre le altre tre sono state immediatamente riposte in un sacchetto contenente carta umida, a sua volta preservato in una borsa frigo. Le altre 3 foglie per pianta sono state misurate 1, 2 e 3 ore dopo la raccolta.

Il monitoraggio dello stato idrico nei vigneti Acquavitis

Lo stato idrico delle viti è stato monitorato durante il corso delle stagioni vegetative del 2020 e 2021 nei sei vigneti principali del progetto Acquavitis (3 in Italia, 3 in Slovenia). Due vigneti sono ubicati nel Carso (a Ceroglie e a Komen, coltivati a Refosk), due nella valle del fiume Vipacco su un terrazzamento artificiale (in località Stronc, denominato Potok-Stronc) e nella piana alluvionale (a Budihni), coltivati a Merlot, uno nel Collio (a Capriva del Friuli, coltivato a Sauvignon) e uno nella bassa pianura friulana (a Precenicco, coltivato a Glera). In ciascun vigneto sono state individuate tre aree sperimentali per la raccolta delle foglie, corrispondenti a porzioni di filare.

Le misure sono state condotte tra giugno e inizio settembre, in concomitanza con i campionamenti di suoli, linfe e acque per le analisi isotopiche (si veda il capitolo Capire il ciclo idrologico per una migliore gestione dell'irrigazione in viticoltura: dalle precipitazioni al suolo e di nuovo alla vite). I campionamenti sono stati condotti in giornate soleggiate e sono stati pianificati sulla base delle condizioni meteorologiche, assicurandosi dell'assenza di precipitazioni importanti nei giorni precedenti le misure. Nel 2020, le misure sono state condotte nella seconda metà di giugno, nella prima metà di agosto e a inizio settembre, mentre nel 2021 a fine giugno, fine luglio e fine agosto. In ciascuna campagna sono stati misurati $\Psi_{\text{pre-alba}}$, il potenziale idrico fogliare minimo (Ψ_{min}) e il potenziale idrico del fusto a mezzogiorno (Ψ_{fusto}). Per il $\Psi_{\text{pre-alba}}$, sono state prelevate, tra le 3:30 e le 5:30 (ora solare), due foglie per ciascuna area sperimentale (6 foglie in totale per vigneto), mentre per gli altri parametri ne sono state raccolte 4 per area sperimentale (in totale 12 Ψ_{min} e 12 Ψ_{fusto} per vigneto) tra le 12:00 e le 14:00 (ora solare). Per Ψ_{fusto} , le foglie sono state avvolte in pellicola e successivamente in foglio di alluminio almeno 1 ora prima della raccolta.

Lo stato idrico dei vigneti nella valle del Vipacco

Nella valle del Vipacco è stato condotto uno studio specifico per confrontare lo stato idrico dei vigneti posti sui terrazzamenti a flysch con quello dei vigneti posti a nella piana alluvionale. Per questo studio sono stati selezionati 5 vigneti coltivati sui terrazzamenti (a Mlace, Stronc, Zelodi, Brnadovc, Gmajna) e 5 vigneti coltivati nella piana alluvionale (Cvetroz, Steske, Budihni, Kote e Bice). A giugno, luglio e agosto 2021 è stato misurato il valore di Ψ_{fusto} tra le 12:00 e le 14:00, in 12 foglie per vigneto.

Analisi statistiche

Tutte le analisi statistiche sono state effettuate tramite software R. Dopo aver verificato gli assunti di normalità e omogeneità delle varianze, l'effetto del tempo di conservazione delle foglie sulla stima di Ψ_{\min} e le differenze tra date di campionamento per $\Psi_{\text{pre-alba}}$ e Ψ_{fusto} per ogni vigneto e anno di monitoraggio sono stati analizzati applicando un test ANOVA attraverso la funzione “aov”. Quando il test risultava significativo ($\alpha = 0.05$), è stato applicato il test post-hoc Tukey HSD attraverso la funzione “TukeyHSD” nel pacchetto “stats”. Quando l'assunto di omogeneità delle varianze risultava violato, sono stati calcolati i modelli “Generalised Least Squares” (GLS) tramite la funzione “gls” nel pacchetto “nlme” (Pinheiro et al. 2016). Per test significativi, è stata utilizzata l'analisi post-hoc Tukey's Honestly Significant Differences, con la correzione di Bonferroni-Holm.

La differenza in Ψ_{fusto} tra i vigneti della valle del Vipacco è stata determinata tramite il test non-parametrico Kruskall-Wallis seguito, quando significativo, dal test post-hoc Kruskall-Wallis con la correzione di Bonferroni, utilizzando il pacchetto “agricolae”.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Test per il corretto monitoraggio dello stato idrico in vigneto

Uno degli obiettivi di questo studio era quello di determinare il tempo massimo di conservazione delle foglie dalla raccolta in campo alla misura del potenziale idrico in diverse varietà di vite e in diversi periodi della stagione vegetativa. In generale, emerge che tale intervallo di tempo dipende dal livello di stress raggiunto e, soprattutto, dalla varietà analizzata. La figura 1 mostra alcuni dei risultati più emblematici, relativi ai test condotti su Pinot grigio e su Merlot a fine maggio 2020, ed è esemplificativa delle differenze tra cultivar. Nel pinot grigio, già dopo un'ora dalla raccolta Ψ_{\min} era diminuito di 0.2 MPa (da -0.44 MPa a -0.66 MPa), e a 3 ore di ben 0.4 MPa, indicando una significativa e marcata sovrastima del livello di stress idrico. Al contrario, nel Merlot, non vi era una variazione significativa di Ψ_{\min} neanche dopo 3 ore dal campionamento. Tali dinamiche si sono presentate nelle due cultivar anche a tarda stagione quando i livelli di stress idrico erano maggiori (dato non mostrato). Si può ipotizzare che queste differenze siano dovute alle diverse caratteristiche strutturali

delle foglie nelle due varietà, che determinano per esempio una diversa variazione del potenziale idrico a parità di volume di acqua perso (Sack et al. 2003).

I risultati ottenuti mettono in evidenza la necessità di definire questi protocolli nei vigneti prima delle campagne di monitoraggio, per stabilire le tempistiche di misura sulla base della cultivar in esame. Ciò permette di ottenere una corretta valutazione dello stato idrico delle piante di vite durante la stagione estiva, utile per indirizzare correttamente la gestione dell'irrigazione in vigneto.

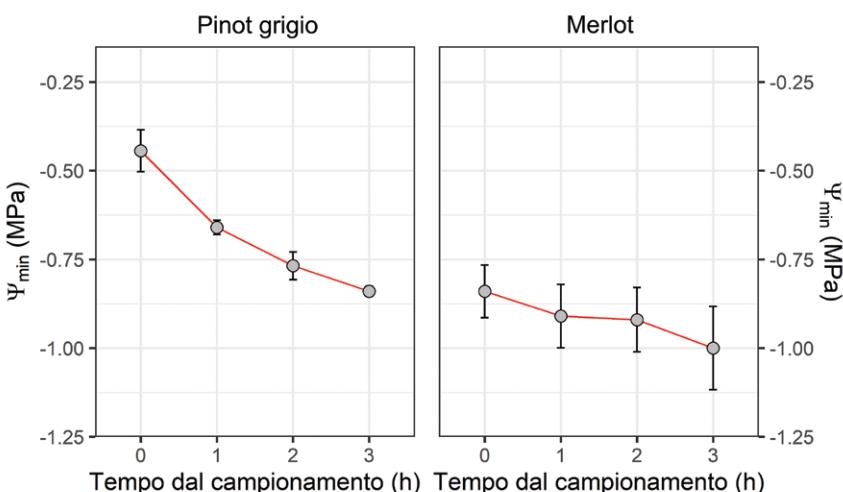


Figura 1 - Media e deviazione standard dei valori di potenziale dell'acqua mimino (Ψ_{\min}) all'aumentare del tempo di conservazione delle foglie dal campionamento alla misura tramite camera a pressione. I test illustrati sono stati condotti su Pinot grigio presso l'Azienda Servadei dell'Università di Udine e su Merlot presso Potok-Stronc a fine maggio 2020. Lettere diverse indicano differenze significative tra i tempi di conservazione delle foglie prima della misura del potenziale.

Lo stato idrico dei vigneti Acquavitis nei due anni di monitoraggio

Il secondo obiettivo di questo studio era quello di quantificare il livello di stress idrico raggiunto nei sei principali vigneti Acquavitis nel corso dell'estate 2020 e 2021. In questo articolo sono riportati i valori di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ e Ψ_{fusto} nelle tre campagne principali condotte in ciascuna stagione vegetativa. Le Fig. 2 e 3 riassumono l'andamento stagionale di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ e Ψ_{fusto} , rispettivamente, raggruppati per vigneto e per anno di studio.

Per la vite, sono stati definiti in letteratura diversi livelli di stress idrico sulla base di valori soglia di $\Psi_{\text{pre-alba}}$, dove $\Psi_{\text{pre-alba}}$ superiori a -0.2 MPa (vicini allo zero), indicano un buono stato idrico, mentre

valori più negativi indicano stress medio-basso ($-0.4 < \Psi_{\text{pre-alba}} < -0.2$ MPa), moderato ($-0.6 < \Psi_{\text{pre-alba}} < -0.4$ MPa), severo ($-0.8 < \Psi_{\text{pre-alba}} < -0.6$ MPa), e grave ($\Psi_{\text{pre-alba}} < -0.8$ MPa) (Ojeda 2008). Da ciò si evince come in entrambi gli anni di monitoraggio i vigneti presi in esame abbiano mantenuto uno stato idrico abbastanza favorevole, raggiungendo in alcuni casi livelli di stress moderato ma mai severo. L'estate 2020, in particolare, è risultata piuttosto piovosa e ciò si è tradotto in valori di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ generalmente poco negativi. Il vigneto di Ceroglie, nel Carso italiano, ha mantenuto il migliore stato idrico, con valori medi mai inferiori a -0.2 MPa nel corso della stagione. Komen ad agosto e settembre, e Capriva e Potok-Stronc a settembre sono gli unici vigneti ad aver raggiunto nel 2020 un livello di stress moderato. I valori di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ di giugno 2021 risultavano simili a quelli misurati a giugno dell'anno precedente, tranne per il vigneto di Precenicco che aveva raggiunto un livello di stress idrico lievemente maggiore nel 2021.

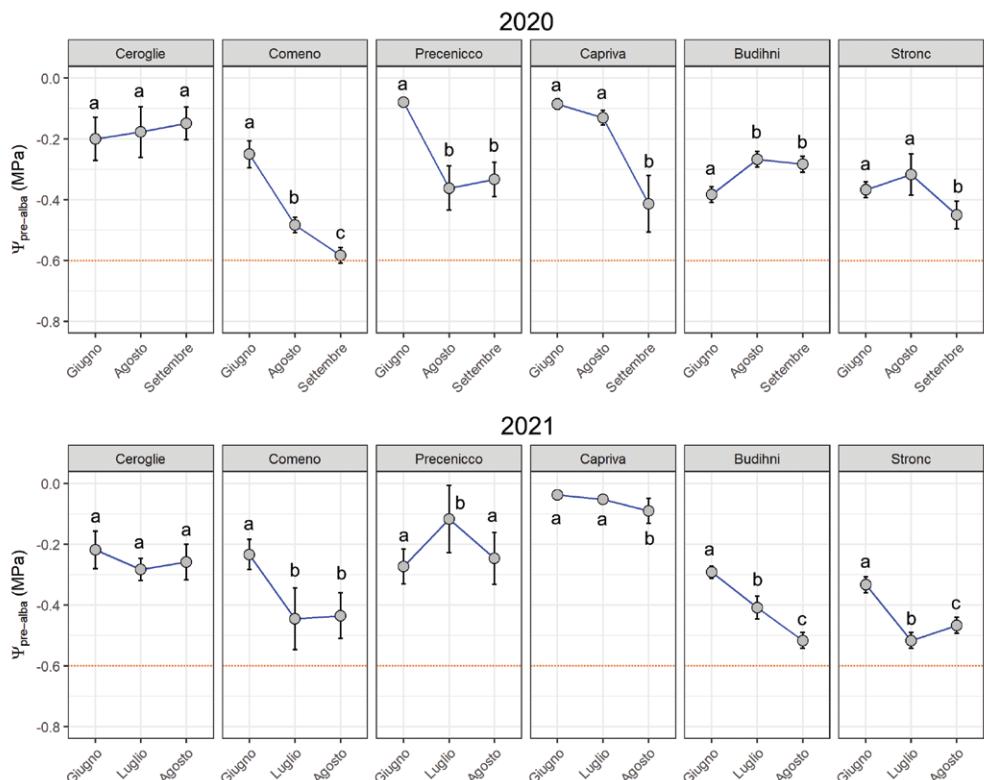


Figura 2 - Andamento del potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) misurato nei sei vigneti di monitoraggio nel corso delle stagioni vegetative 2020 e 2021. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative tra le date di campionamento per ogni vigneto ($p\text{-value} < 0.05$). La linea orizzontale arancione indica il limite superiore del livello di stress idrico considerato severo per la vite.

I vigneti italiani (Ceroglie, Precenicco e Capriva) non hanno subito variazioni importanti di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ con il progredire della stagione, mantenendo valori sempre superiori a -0.3 MPa. Il vigneto di Precenicco, in particolare, è stato irrigato tramite subirrigazione a goccia per quattro volte nel corso dell'estate. E' ragionevole concludere che il mantenimento di un buono stato idrico a luglio e agosto sia dovuto in questo caso anche agli apporti irrigui. Nei tre siti sloveni, invece, una riduzione significativa dello stato idrico è stata riscontrata a luglio e agosto, raggiungendo livelli di stress moderati (compresi tra -0.4 e -0.6 MPa). Tuttavia, è stato dimostrato che condizioni di stress moderato dall'allegagione alla maturazione delle uve possono migliorare la produzione e la qualità delle uve stesse (Castellarin et al. 2007, Savoi et al. 2017).

Secondo van Leeuwen et al. (2009), un potenziale idrico del fusto a mezzogiorno (Ψ_{fusto}) superiore a -0.6 MPa indica il mantenimento di un buono stato idrico nella vite, mentre valori più negativi indicano stress medio-basso ($-0.9 < \Psi_{\text{fusto}} < -0.6$ MPa), moderato ($-1.1 < \Psi_{\text{fusto}} < -0.9$ MPa), moderato-severo ($-1.4 < \Psi_{\text{fusto}} < -1.1$ MPa) e severo ($\Psi_{\text{fusto}} < -1.4$ MPa). Nel 2020 i valori medi di Ψ_{fusto} nei vigneti presi in esame non erano mai inferiori a -1.1 MPa, con variabilità tra i siti. Nell'estate 2021, alcuni siti hanno mostrato un decremento pronunciato nei mesi più caldi (fine luglio e fine agosto), raggiungendo livelli moderato-severi di stress a Precenicco a fine Agosto (-1.2 MPa) e nei due vigneti situati nella valle del Vipacco (Budihni e Potok-Stronč) sia a luglio che ad agosto. Invece, i siti carsici Ceroglie e Comeno e quello nel Collio (Capriva) non hanno mai raggiunto valori al di sotto di -1.0 MPa nel corso della stagione. Questa variabilità tra siti potrebbe in parte dipendere dalla disponibilità d'acqua nel suolo (stimata con $\Psi_{\text{pre-alba}}$), ma anche dalle condizioni atmosferiche di temperatura e umidità dell'aria nonché dalle caratteristiche fisiologiche delle cultivar prese in esame. Bisogna sottolineare, infine, come cultivar e portinnesti diversi possano avere una diversa resistenza allo stress idrico e in particolare una diversa vulnerabilità del sistema di trasporto dell'acqua nello xilema allo stress idrico (e.g. Pouzoulet et al. 2020). Pertanto, sarebbe auspicabile in futuro determinare soglie di stress ad-hoc per le diverse cultivar prese in esame.

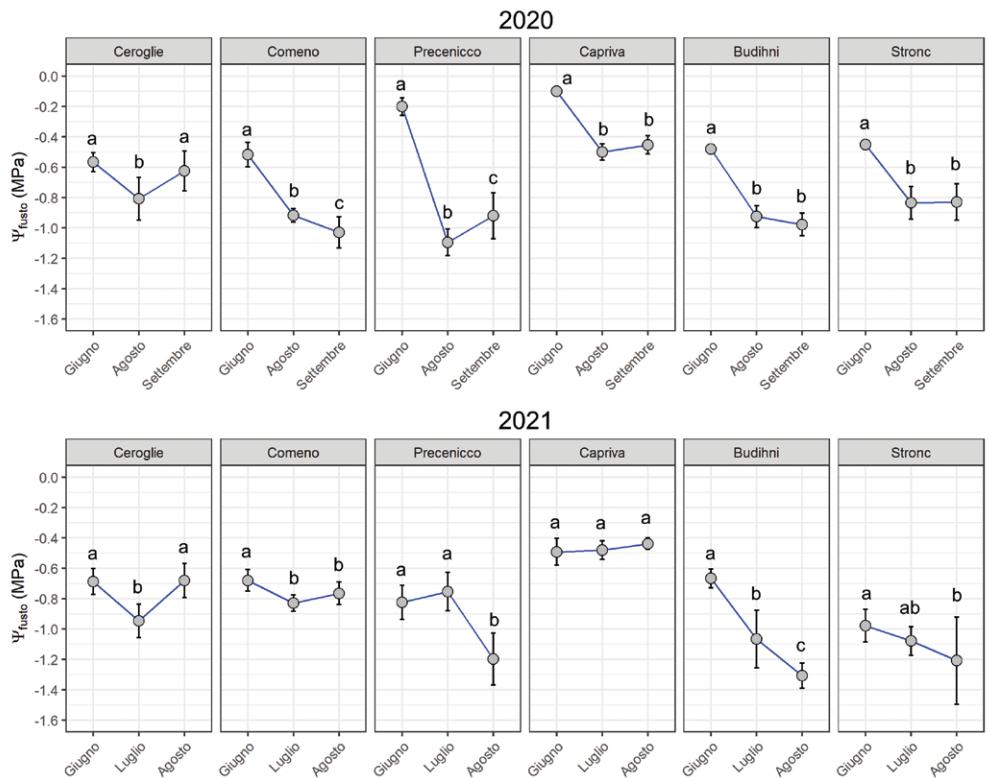


Figura 3: Andamento del potenziale idrico del fusto (Ψ_{fusto}) misurato nei sei vigneti di monitoraggio nel corso delle stagioni vegetative 2020 e 2021. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative tra le date di campionamento per ogni vigneto ($p\text{-value} < 0.05$).

Lo stato idrico dei vigneti nella Vipavska dolina (alle del Vipacco)

Un terzo studio specifico era mirato al confronto dello stato idrico di vigneti posti su terrazzamenti a flysch con quello di vigneti ubicati nella piana alluvionale del fiume Vipacco nell'estate del 2021. Per tutte le date di campionamento sono emerse differenze statisticamente significative tra vigneti in termini di Ψ_{fusto} (Figura 4). Già in giugno i vigneti nella piana alluvionale mostravano un minore stress idrico rispetto ai vigneti sui terrazzamenti. Questa differenza è diventata ancor più pronunciata con il proseguire della stagione. Seguendo van Leeuwen et al. (2009) le viti in giugno mostravano un buono stato idrico, ad eccezione di Budihni, Potok-Stronc e Gmajna. In luglio, le viti nella piana soffrivano di stress medio-basso (a Kote e Bice) o moderato (a Cvetrož, Steske e Budihni), mentre quelle nei terrazzamenti mostravano livelli di stress idrico da moderato-severo a severo. Ad agosto, i vigneti a valle avevano raggiunto uno stress moderato-severo, mentre quelli sui terrazzamenti uno stress severo.

A causa dell'elevata percentuale di scheletro grossolano nei suoli a flysch sui terrazzamenti (fino all'80%), si può assumere che il suolo in tali circostanze sia molto permeabile all'acqua. Suoli con un'elevata percentuale di scheletro hanno una maggiore porosità, minor potenziale di matrice e una minore capacità di ritenzione idrica rispetto ai suoli dei vigneti ubicati nella valle alluvionale. Tali differenze potrebbero fortemente influenzare lo stato idrico delle viti (Whalley et al. 2013) e spiegare le differenze riscontrate.

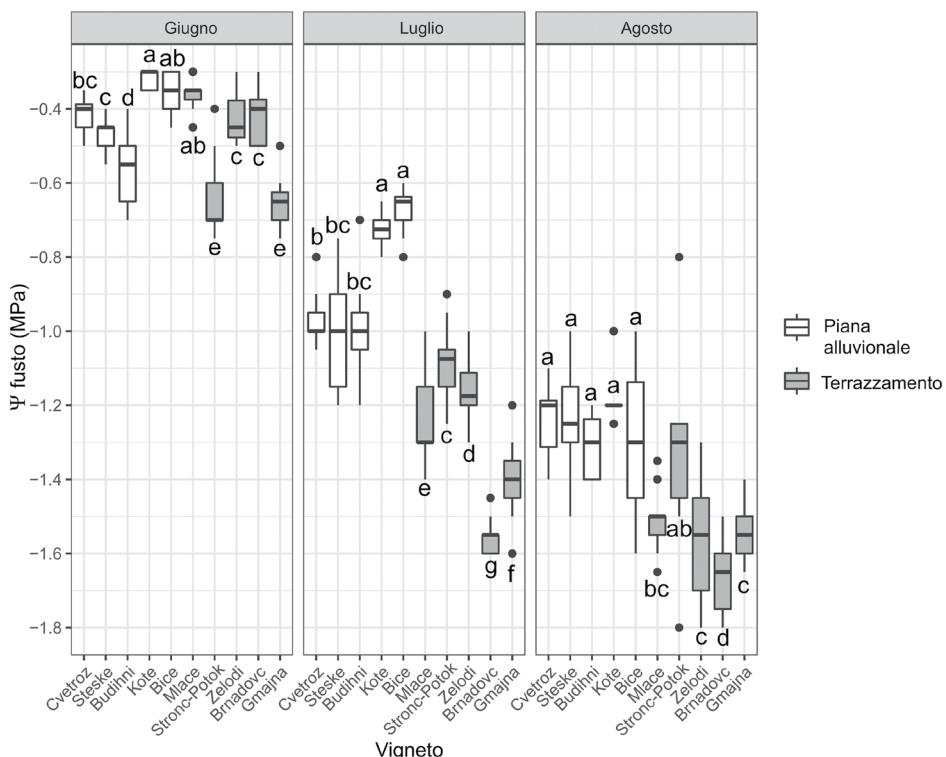


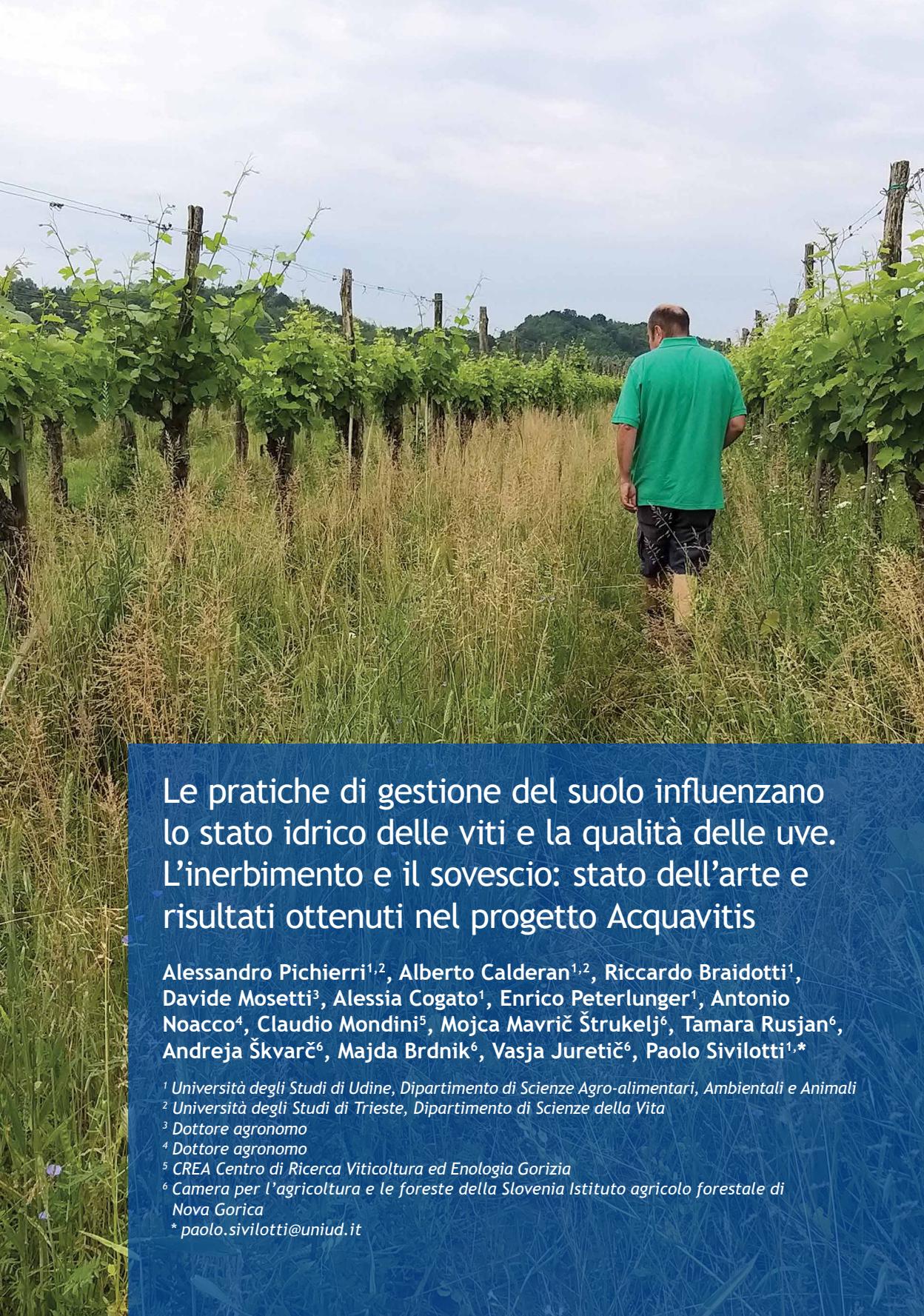
Figura 4 - Mediana, 25° e 75° percentile del potenziale idrico del fusto (Ψ_{fusto}) misurato nei dieci vigneti di monitoraggio nella valle del fiume Vipacco nel corso della stagione vegetativa 2021. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative tra i vigneti nello stesso periodo di campionamento ($p\text{-value} < 0.05$).

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche nell'ambito del progetto Acquavitis sono state finanziate dal Fondo europeo di sviluppo regionale - Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Slovenia 2014-2020 e da fondi nazionali.

BIBLIOGRAFIA

- Castellarin S.D., Pfeiffer A., Sivilotti P., Degan M., Peterlunger E., Di Gaspero G. 2007. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ.* 30(11):1381-1399.
- Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V., Shaw M.R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R.J. 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110:6907-6912.
- Levin A.D. 2019. Re-evaluating pressure chamber methods of water status determination in field-grown grapevine (*Vitis* spp.). *Agric. Water Manag.* 221:422-429.
- Ojeda H. 2008. Qualitative precision in the vineyard. *Infowine* n.5 (www.infowine.com).
- Petruzzellis F., Natale S., Bariviera L., Calderan A., Mihelčič A., Reščić J., Sivilotti P., Šuklje K., Lisjak K., Vanzo A., Nardini A., 2022. High spatial heterogeneity of water stress levels in Refosk grapevines cultivated in Classical Karst. *Agricultural Water Management* 260, 107288.
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D. & R Core Team. 2019. *Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Pouzoulet, J., Pivaroff, A.L., Scudiero, E., De Guzman, M.E., Rolshausen, P.E., Santiago, L.S., 2020. Contrasting adaptation of xylem to dehydration in two *Vitis vinifera* L. sub-species. *VITIS - Journal of Grapevine Research* 59(2):53-61.
- Rodriguez-Dominguez C.M., Forner A., Martorell S., Choat B., Lopez R., Peters J.M.R., Pfautsch S., Mayr S., Carins-Murphy M.R., McAdam S.A.M., Richardson F., Diaz-Espejo A., Hernandez-Santana V., Menezes-Silva P.E., Torres-Ruiz J.M., Batz T.A., Sack L. 2022. Leaf water potential measurements using the pressure chamber: Synthetic testing of assumptions towards best practices for precision and accuracy. *Plant Cell Environ.* pce.14330.
- Romero P., Navarro J.M., Ordaz P.B. 2022. Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agric. Water Manag.* 259:107216
- Sack, L., Cowan, P.D., Jaikumar, N., Holbrook, N.M., 2003. The ‘hydrology’ of leaves: co-ordination of structure and function in temperate woody species. *Plant Cell Environ.* 26:1343-1356.
- Savi T., Petruzzellis F., Moretti E., Stenni B., Zini L., Martellos S., Lisjak K., Nardini A. 2019. Grapevine water relations and rooting depth in karstic soils. *Sci. Tot. Env.* 692:669-675.
- Savoi S., Wong D.C.J., Degu A., Herrera J.C., Bucchetti B., Peterlunger E., Fait A., Mattivi F., Castellarin, S.D. 2017. Multi-omics and integrated network analyses reveal new insights into the systems relationships between metabolites, structural genes, and transcriptional regulators in developing grape berries (*Vitis vinifera* L.) exposed to water deficit. *Frontiers Plant Sci.* 8:1124.
- Spinoni J., Vogt J.V., Naumann G., Barbosa P., Dosio A. 2018. Will drought events become more frequent and severe in Europe? *Int. J. Climatol.* 38:1718-1736.
- van Leeuwen C., Trégoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J.P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Oeno One.* 43(3):121-134.
- Whalley W.R., Ober E.S., Jenkins M. 2013. Measurement of the Matric Potential of Soil Water in the Rhizosphere. *J. Exp. Bot.*, 64 (13): 3951-3963.



Le pratiche di gestione del suolo influenzano lo stato idrico delle viti e la qualità delle uve. L'inerbimento e il sovescio: stato dell'arte e risultati ottenuti nel progetto Acquavitis

Alessandro Pichierri^{1,2}, Alberto Calderan^{1,2}, Riccardo Braidotti¹,
Davide Mosetti³, Alessia Cogato¹, Enrico Peterlunger¹, Antonio
Noacco⁴, Claudio Mondini⁵, Mojca Mavrič Štrukelj⁶, Tamara Rusjan⁶,
Andreja Škvarč⁶, Majda Brdnik⁶, Vasja Juretič⁶, Paolo Sivilotti^{1,*}

¹ Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agro-alimentari, Ambientali e Animali

² Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze della Vita

³ Dottore agronomo

⁴ Dottore agronomo

⁵ CREA Centro di Ricerca Viticoltura ed Enologia Gorizia

⁶ Camera per l'Agricoltura e le foreste della Slovenia Istituto agricolo forestale di Nova Gorica

* paolo.sivilotti@uniud.it

RIASSUNTO

La gestione del suolo ha importanti influenze sullo stato idrico delle piante e sulla produzione e qualità delle uve. Il sovescio è una tecnica che sempre più sta riscuotendo interesse poiché permette di gestire la vigoria delle piante e di migliorare la fertilità dei suoli. Nell'ambito del progetto Interreg IT-SI Acquavitis, sono state messe in campo due prove per valutare 1. l'effetto della tempistica e modalità della terminazione del sovescio, e 2. l'effetto della tipologia di miscuglio dell'erbaio. La prima prova è stata condotta a Precenicco su un vigneto di Glera in tre stagioni consecutive ed è emerso come il momento di interramento del sovescio abbia delle ripercussioni sullo stato idrico della vite e sulla respirazione del suolo, mentre la sola trinciatura porti a risultati pressoché identici in relazione alla tempistica di terminazione. Nella seconda prova messa in campo nel 2021 a Polzelce si è potuto verificare come la copertura vegetale migliori la situazione idrica delle piante di vite rispetto alla lavorazione, mantenga valori di peso medio delle bacche superiori, e valori di pH e di azoto prontamente assimilabile inferiori. I risultati ottenuti nelle due prove consentono quindi di evidenziare il ruolo positivo del sovescio nel migliorare la resilienza del vigneto, condizione sempre più ricercata per far fronte all'aumento di temperature e alla riduzione della disponibilità di acqua a cui sempre più ci si sta abituando in un'epoca di cambiamenti climatici.

ABSTRACT

Soil management has important influences on the plant water status, on yield and on grape quality. Green manuring is a technique that is gaining more and more interest as it allows to manage the vigour of the plants and improve the fertility of the soils. As part of the Interreg IT-SI Acquavitis project, two trials were set up to evaluate 1. the effect of the appropriate timing and method of termination of the green manure, and 2. the effect of the typology of grass/crops mix used. The first trial was carried out in Precenicco on a Glera vineyard in three consecutive seasons and we understood that the timing we tilled the green manure crop has repercussions on the plant water status and on the soil respiration, while by mulching the crops almost identical results in relation to the timing of termination were ascertained. In the second trial carried out in 2021 in Polzelce it was possible to verify how the vegetation cover improves the plant water status in comparison to the interrow tillage, maintains higher average weight of the berries, lower pH and yeast amino nitrogen values. The results obtained in the two trials therefore allow to highlight the positive role of green manure in improving the resilience of the vineyard, an increasingly sought-after condition to cope with the increase in temperatures and the reduction in the water availability to which more and more people are getting used to in an era of climate change.

INTRODUZIONE

La gestione del suolo è una tematica che sempre più sta trovando interesse in agricoltura poiché ogni anno 32,5 miliardi di tonnellate di terreno vengono mediamente perse a causa dell'erosione. Oltre a questo, altri fattori quali la salinizzazione, il compattamento, l'acidificazione e l'inquinamento hanno contribuito a degradare, negli ultimi 4 decenni, il 30 % dei suoli lavorabili (<http://www.fao.org/news/story/en/item/357059icode>). Il suolo rappresenta una risorsa fondamentale per l'umanità, poiché da esso si ricava il 95 % degli alimenti, e ha la straordinaria capacità di immagazzinare il triplo del carbonio presente in atmosfera. Relativamente a quest'ultimo aspetto, le potenzialità di accumulo di carbonio nel suolo sono così elevate che basterebbe un suo incremento annuo dello 0,4 % per arrestare l'aumento di CO₂ nell'atmosfera (<https://4p1000.org/?lang=en>). L'agricoltura moderna ha dunque un'un'importante responsabilità, poiché può impiegare soluzioni tecniche sostenibili per prevenire la perdita di suolo, contribuendo a evitare quanto previsto dalle stime dell'UN FAO, secondo cui, in assenza di un'inversione di tendenza, rimarrebbero solo 60 stagioni di produzione prima della completa desertificazione del pianeta.

La viticoltura in Europa rappresenta il comparto agricolo con le maggiori perdite per erosione di suolo, che ammontano a oltre 10 t/ha per anno (Cerdan et al. 2006; 2010) a causa dell'eccessiva antropizzazione del territorio e del mantenimento della coltura lungo ampi periodi di tempo, con modalità gestionali che favoriscono condizioni predisponenti a fenomeni negativi. Nel contesto viticolo, l'agricoltore può tentare di preservare e migliorare le caratteristiche dei propri terreni; tali soluzioni comprendono l'apporto di ammendanti, la riduzione di lavorazioni pesanti del suolo e la gestione del manto erboso lungo l'interfilare. L'inerbimento limita le perdite del suolo poiché diminuisce la velocità del vento e la temperatura a livello superficiale, aumenta la sostanza organica e riduce l'intensità dell'effetto ruscellamento. Sebbene possa sembrare irrilevante, è interessante notare come raddoppiando la velocità di ruscellamento superficiale la perdita di sedimenti e nutrienti aumenti di circa 64 volte (Walker et al., 2006); questo fa pensare che anche una piccola riduzione della velocità di ruscellamento possa tradursi in un importante miglioramento per quanto concerne la preservazione del suolo.

La diminuzione della perdita di suolo e quindi della relativa sostanza organica, contribuisce a rallentare i fenomeni legati al cam-

biamento climatico, poiché contiene l'anidride carbonica rilasciata in atmosfera e mantiene la fertilità originale del suolo formatasi normalmente in diverse migliaia di anni. Inoltre, il mantenimento della sostanza organica favorisce una maggiore autonomia e resilienza dell'agro-ecosistema, riducendo la necessità di interventi di concimazione e di irrigazione.

Tra le diverse tipologie di inerbimento meritano menzione il sovescio, anche detto concimazione verde, e le più generiche colture di copertura (*cover crops*). Sebbene il sovescio sia molto simile alle colture di copertura, differisce da esse poiché viene seminato con l'intento di terminare la vegetazione entro un dato periodo di tempo (sempre inferiore ad un anno) al fine di migliorare le proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo. Le colture di copertura, invece, sono principalmente coltivate in maniera permanente e hanno lo scopo principale di prevenire e/o ridurre l'erosione del suolo.

In generale non sempre è possibile impostare l'inerbimento desiderato; spesso la scelta dell'inerbimento è conseguenza di un trade-off tra obiettivi prefissati ed esigenze legate alle specifiche situazioni. Per questo, la scelta tra sovescio o cover crops deve essere preceduta da un'analisi di fattibilità che consideri la competizione del cotico erboso con la coltura principale, sia in termini di nutrienti che di risorse idriche. In situazioni di campo dove l'apporto irriguo è limitato e/o la fertilità del terreno è scarsa, sarebbe da preferire il sovescio alle cover crops in quanto, crescendo durante i periodi di tempo quando l'attività della vite è minima tra la vendemmia e i primi stadi successivi al germogliamento, andrebbe a competere poco con la vite durante le fasi di maggiore crescita vegetativa. È importante però ricordare che affinché il sovescio abbia un risultato apprezzabile, dovrebbe essere seminato nelle zone dove le precipitazioni annue raggiungono almeno 450 mm, suddivisi principalmente tra l'autunno e l'inverno (Di Lorenzo, 2000; Rogers and Giddens, 1957).

Nelle indagini di fattibilità dovrebbero essere condotte delle analisi riguardanti: le tempistiche di intervento, la scelta delle essenze in funzione delle loro caratteristiche, la disponibilità di attrezzature aziendali ed il costo opportunità dei fertilizzanti.

La semina autunnale del sovescio può essere effettuata da ottobre fino a dicembre a seconda degli ambienti e dei miscugli utilizzati. Il momento corretto di semina ha un'importante influenza sul risultato finale in termini sviluppo della biomassa e conseguente efficacia dal punto di vista del suolo. Se da un lato l'epoca di semina del so-

vescio non ha influenze dirette sulla vite, il momento e le modalità di terminazione risultano essere tra i fattori di decisione aziendale che maggiormente condizionano il suo effetto. In casi estremi, un errato momento di terminazione potrebbe provocare un calo della produzione e, quindi, potenzialmente della qualità del vino, anche se generalmente gli effetti su queste caratteristiche sono abbastanza limitati. Nella pratica comune, la terminazione del sovescio viene effettuata tra maggio e giugno (prima della fioritura della vite), evitando di raggiungere la maturazione dei semi almeno che non si sia utilizzata una coltura auto-riseminante. Se l'erbaio viene terminato all'inizio della fioritura delle specie di cui è composto, allora il sovescio sarà caratterizzato da un minor contenuto di lignina e da una decomposizione più rapida; al contrario, se la terminazione viene effettuata in post-fioritura, la decomposizione sarà più lenta. Una volta effettuata la terminazione, il passaggio successivo consiste nel suo interramento, solitamente alla profondità massima di 15-20 cm, ovvero nello strato di suolo microbiologicamente più attivo e dove vi è una buona presenza di ossigeno. Nel caso in cui il terreno sia particolarmente secco, sarebbe preferibile lasciare l'erbaio a disidratare in superficie per almeno 2-3 giorni prima di interrarlo.

Una volta terminato, il sovescio entra nella fase di decomposizione. Una parte di carbonio viene perso sotto forma di CO₂, che contribuisce a modificare il pH del suolo verso valori prossimi alla neutralità. La decomposizione del materiale organico non è altro che la mineralizzazione, ovvero il processo attraverso il quale i nutrienti vengono resi disponibili alle piante sotto forma minrale. È chiaro che il tasso di mineralizzazione è condizionato dalla tipologia di suolo, dalle caratteristiche ambientali, dalle essenze del sovescio e dal loro stadio di sviluppo. Le specie che hanno un maggior contenuto di lignina, quali le graminacee, presentano una degradazione più lenta ma formano una sostanza organica più stabile; al contrario, le leguminose che hanno un rapporto C/N inferiore, permettono di ottenere una sostanza organica più labile, caratterizzata da una mineralizzazione più spinta. In alcuni casi, la combinazione di più essenze quali leguminose e graminacee, può creare una sinergia tale da comportare un *overyielding* del sovescio e ottenere un corretto equilibrio tra carbonio e azoto.

Il sovescio seminato in autunno, quando la coltura principale non è in attiva crescita, permette di immagazzinare negli strati superficiali del suolo gran parte dei nutrienti che altrimenti verrebbero persi. Il relativo incremento della sostanza organica migliora le proprietà fisiche, chimiche e biologiche dello stesso e garantisce

una maggiore fertilità, nonché una maggiore ritenzione idrica (un aumento di punto percentuale di sostanza organica nel terreno corrisponde ad un aumento di acqua disponibile di 41291 litri/ha; (https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stel-prdb1082147.pdf)). Un suolo con costante e differenziata attività ipogea rappresenta un substrato favorevole per la proliferazione di micorrize e microrganismi che migliorano le performance delle colture principali. Non di meno, l'adozione di essenze con apparati radicali ad architettura eterogenea permette l'esplorazione del suolo lungo diversi profili limitando un importante fattore da considerare per l'approvvigionamento e la disponibilità di nutrienti e di acqua delle viti, il compattamento.

Tra gli altri vantaggi ascrivibili al sovescio, possiamo annoverare l'insediamento di insetti utili assicurando loro un riparo e nutrizione, l'apporto di nutrienti ex-novo come nel caso delle leguminose, il contenimento dello sviluppo di infestanti e l'azione biocida espletata dalle Brassicacee. È chiaro che per ottenere una buona efficacia è necessario impiegare essenze selezionate in purezza o in consociazione, poiché la flora spontanea potrebbe svilupparsi in maniera aleatoria apportando limitati vantaggi dal punto di vista dei servizi ecosistemici.

Nella scelta delle specie da utilizzare per il sovescio, si fa riferimento principalmente a tre famiglie: le *Poaceae* (o *Graminacee*), le *Fabaceae* (o leguminose) e le *Brassicaceae* (o crucifere). L'utilizzo di specie di una o dell'altra famiglia ha degli effetti diversi poi sul sistema vigneto.

GRAMINACEE. Appartengono a questa famiglia molte specie rustiche, che presentano radici fascicolate, fibrose che possono raggiungere i 100 cm di profondità, e si adattano a diverse condizioni climatiche. Hanno un notevole sviluppo e quindi consentono di ottenere un notevole quantitativo di biomassa nel breve periodo, il che le rende molto competitive nei confronti delle infestanti massimizzando l'accumulo di carbonio nei propri tessuti vegetali. È necessario contenere la loro "fame di azoto" e le relative implicazioni che ne potrebbero derivare da una eccessiva competizione con la vite. Come ricordato sopra, competono per i nutrienti, e l'elevato contenuto di lignina impedisce un loro rilascio nell'immediato.

LEGUMINOSE. Spesso sono caratterizzate da un apparato radicale fittonante che può aumentare l'infiltrazione dell'acqua a livello del terreno. Vengono impiegate principalmente per la loro abilità di fissare l'azoto atmosferico attraverso la simbiosi tra i batteri del ge-

nere *Rhizobium* e le radici. In suoli poveri, antropizzati e con scarsa biodiversità potrebbe essere utile applicare un inoculo di rizobi in concomitanza con la semina del sovescio per favorire la loro presenza nel terreno. La fissazione dell'azoto è influenzata oltre che dalla specie di leguminosa, anche dalla concentrazione di azoto nel suolo. Infatti, la simbiosi e l'attività con i rizobi sono favorite solo con contenuti di azoto moderati; in caso contrario, la pianta tenderebbe ad utilizzare l'azoto già presente nel terreno. In terreni con livelli medio-elevati si potrebbe forzare l'azotofissazione consociando le leguminose con le graminacee. Queste ultime, assorbendo notevoli quantità di azoto durante il loro sviluppo, potrebbero competere con le leguminose per i nutrienti, stimolando l'attività dei rizobi (Hirschfelt, 1998).

BRASSICACEE. Queste piante sono contraddistinte da un'alta competitività dovuta ad una notevole produzione di biomassa e dalla produzione di glucosinolati, che vengono immagazzinati poi nei loro tessuti. L'idrolisi enzimatica dei glucosinolati produce dei composti biologicamente attivi ad azione biofumigante. Tali composti, la cui composizione varia in funzione delle specie, ritardano la germinazione dei semi, stressano lo sviluppo delle piante infestanti e diminuiscono la presenza di patogeni nel terreno, senza influire in maniera eccessiva sul microbiota utile del suolo. L'idrolisi avviene successivamente alla rottura dei tessuti, e i composti attivi derivati dai glucosinolati non persistono per lungo tempo nel terreno; per sfruttare le loro proprietà sarebbe utile interrare immediatamente il sovescio, evitando di attendere la sua disidratazione in campo. Le brassicacee presentano inoltre radici fittonanti che possono penetrare in profondità nel terreno espletando un'importante azione decompattante.

È, infine, necessario ricordare che il sovescio rappresenta una pratica di concimazione verde che riesce ad apportare solamente un terzo della sostanza organica mineralizzata annualmente, e parte di questa non è nemmeno molto stabile e quindi potrebbe contribuire per una quota molto bassa di humus. La rimanente quota di sostanza organica andrebbe in qualche modo ripristinata da altre fonti organiche non sempre così facilmente reperibili sul mercato, e non sempre di buona qualità.

Nell'ambito del progetto Acquavitis, la tematica del sovescio è stata affrontata in due direzioni, volendo porre l'attenzione da un lato sulla modalità/tempistica di terminazione di uno stesso sovescio, e dall'altro sugli effetti promossi da diverse miscele di sovescio.

MATERIALI E METODI

PROVA 1: PRECENICCO. ITALIA

In questa prova si è voluto esaminare l'effetto combinato di modalità e tempistica di terminazione, poiché, a nostro sapere, nella letteratura viticola questi due fattori non sono mai stati confrontati in maniera interattiva (nella foto 1 si può vedere lo sviluppo del sovescio ad inizio giugno 2021).



Foto 1: Sviluppo del sovescio negli interfilari di glera a Precenicco

In un vigneto di glera nella zona di Precenicco è stata impostata una prova con il fine di valutare l'effetto delle modalità/tempistiche di terminazione del sovescio sullo stato idrico delle piante, sulla produzione, sulla qualità delle uve, e soprattutto, sulla modifica delle proprietà chimico-fisiche e microbiologiche dei suoli a seguito di alcuni anni di semine reiterate in campo. Il terreno del vigneto presenta una tessitura argilloso-franca, con uno sviluppo radicale in profondità fino a circa 1 m, al di sotto del quale si ha l'affioramento della falda. In questo caso, il sovescio applicato era composto da Graminacee 28% (*Triticosecale*), Leguminose 38% (10 % *Trifolium squarrosum*, 10% *Vicia sativa*, 7% *Vicia minor*, altre minori), Brassicacee 29% (9% *Atmoracia rusticana*, 8% *Sinapis alba*, altre) e Idrofilacee 5% (*Phacelia tanacetifolia*). La composizione del sovescio è stata scelta allo scopo di ottenere diversi effetti:

- la rimozione di eccessi di acqua nelle fasi iniziali della stagione per permettere una buona partenza della vite in primavera;
- la competizione con la vite negli stadi iniziali di crescita per

- evitare uno sviluppo eccessivamente vigoroso della vegetazione;
- un aumento della sostanza organica utile a migliorare l'aerazione del suolo e permettere l'attività microbica e l'assorbimento degli elementi minerali da parte della pianta;
 - un effetto migliorativo sulla struttura degli strati inferiori del terreno per permettere l'approfondimento radicale, il drenaggio dell'acqua in eccesso, e migliorare la resilienza delle viti nella stagione estiva.

All'interno del vigneto è stato impostato un piano sperimentale con 4 parcelloni. Ogni parcellone era rappresentato da un filare di viti e dai due interfilari adiacenti, e in maniera alternata uno dei due è stato seminato in tre stagioni successive nell'autunno a seguito della vendemmia (18/10/18, 31/10/19, 23/10/20). Ogni parcellone rappresentava una tesi a confronto, ovvero una diversa combinazione di modalità e tempistica di terminazione del sovescio: M1, sovescio trinciato alla fioritura della maggior parte delle specie (17/05/19, 20/05/20, 03/06/21; foto 2); M2, sovescio trinciato circa un mese dopo M1 (16/06/19, 19/06/20, 24/06/21); T1, sovescio trinciato e interrato come in M1 (foto 3); T2, sovescio trinciato e interrato come in M2. All'interno di ogni parcellone sono state identificate 4 parcelle da 10 piante, sulle quali sono stati misurati il potenziale idrico del fusto (Ψ_{fusto}), l'evoluzione dei parametri di maturazione delle uve (solidi solubili, acidità titolabile e pH) e i parametri di produzione alla vendemmia. Inoltre, in ciascuna delle parcelle nell'interfilare dove era presente il sovescio, nel 2021 è stato raccolto un campione rappresentativo di suolo.



Foto 2: Sovescio appena trinciato a Prencenocco nella tesi T1 il 03 giugno 2021.



Foto 3: Sovescio appena lavorato nella tesi T2 a Precenico il 19 giugno 2020.

I campioni di suolo sono stati setacciati umidi (a 2 mm) e conservati a 4 °C fino all'analisi. Questi sono stati analizzati per il C organico totale (TOC), azoto estraibile (EN), carbonio estraibile (EC), respirazione basale del suolo e il carbonio e azoto della biomassa microbica (BC e BN). Il TOC è stato misurato per combustione a 550 °C per 2 ore (Periè C. e Ouimet, 2008; Wang et al., 2012). L'azoto estraibile è stato determinato inseguito ad estrazione utilizzando un rapporto 1:4 (p/v) di terreno con una soluzione 0,5 M di K_2SO_4 . Il contenuto di azoto negli estratti è stato misurato utilizzando un analizzatore TOC-TN (TOC-VCSN Shimadzu). La respirazione basale del suolo è stata determinata ogni 6 ore utilizzando un sistema per il campionamento e la misurazione automatizzati (mediante gascromatografia) della CO_2 dello spazio di testa accumulata negli specifici contenitori isolati per incubazione del suolo a 20 °C per 10 giorni. Il carbonio della biomassa microbica è stato determinato mediante il metodo di estrazione per fumigazione (Vance et al., 1987). Inoltre, è stato calcolato il quoziente metabolico ($q\text{CO}_2$, $\text{C-CO}_2/\text{BC}$) che è il rapporto tra la frequenza respiratoria basale del suolo e la biomassa microbica C, ovvero la quantità oraria di C-CO_2 prodotta per unità di carbonio della biomassa microbica (Anderson et al., 1986).

I dati del 2019 sono stati omessi poiché una grandinata ha condizionato significativamente sia l'efficienza delle foglie che la produzione.

Nelle due stagioni 2020 (17/06 e 14/8) e 2021 (29/7 e 24/8) sono stati acquisiti dati multispettrali da drone sul quale era installata

una fotocamera multispettrale Parrot Sequoia. Le immagini sono state catturate alle 12:00, ora locale, in condizioni meteorologiche ottimali. Le immagini sono state successivamente elaborate per la creazione degli ortomosaici, dai quali sono stati ricavati i dati di riflettanza nelle singole bande, ossia verde, rosso, red edge e vicino infrarosso (NIR). Successivamente, tali dati sono stati utilizzati per calcolare alcuni indici di vegetazione significativi.

PROVA 2: POLZELCE. SLOVENIA.

La prova è stata messa in campo in un vigneto di malvasia istriana messo a dimora nel 2014, innestato su kober 5BB, situato tra i paesi Slap e Lože, a 130 m s.l.m., con esposizione Nord-Est ed una pendenza media dell'8%. Il vigneto presenta una densità d'impianto di 4000 piante/ha (2,5 m tra le file e 1,0 m sulla fila) ed è allevato a Guyot semplice. La prova è stata effettuata nel 2021 mettendo a confronto tre diverse miscele di sovescio primaverile in un piano sperimentale randomizzato che comprendeva 3 repliche di 12 viti per ciascun trattamento. In totale l'esperimento comprendeva 108 viti.

I trattamenti a confronto sono stati:

- **Herby mix A 4** (RV Venturoli, Pianoro, Bologna). Sovescio di Graminacee e Leguminose (*Avena sativa*, *Pisum sativum*, *Vicia sativa*- 100 kg/ha, semina il 18 marzo 2021; foto 4)
- **Geopro Gold** (Semfor). Sovescio di Brassicacee (*Sinapis alba*, *Brassica juncea* e *Brassica nigra* - 15 kg/ha, semina il 18 marzo 2021)
- **CON.** Controllo. Terreno lavorato, non inerbito

Prima della semina è stato prelevato un campione di terreno per analizzare le caratteristiche chimico-fisiche del suolo. Il sito della prova presenta un suolo pesante argilloso marnaceo, moderatamente acido (pH = 5,6) e con media sostanza organica (1,53%). Le analisi hanno verificato una dotazione bassa di fosforo (classe A), media di potassio (classe B) e buona di magnesio (classe C).

Il 6 giugno il sovescio verde con la miscela Herby mix A 4 è stato trinciato, mentre il sovescio con la miscela Geopro Gold no, poiché presentava una crescita non molto abbondante. Lo stesso giorno abbiamo interrato il sovescio Geopro Gold, mentre il giorno successivo quello della miscela Herby mix A 4, utilizzando un aratro a dischi.

Durante la stagione è stato monitorato il potenziale idrico del fusto (Ψ_{fusto}), il peso medio delle bacche e i parametri di maturazione delle uve durante la maturazione (solidi solubili, acidità titolabile e pH), e l'azoto prontamente assimilabile.



Foto 4: Sviluppo del sovescio Herby mix A 4 nella primavera 2021 poco prima della trinciatura.

RISULTATI

PROVA 1: PRECENICCO. ITALIA

Durante le estati 2020 e 2021, ad intervalli regolari è stato monitorato il potenziale idrico del fusto per seguire l'evoluzione dello stato idrico delle piante. Nella figura 1 si può osservare l'effetto della tempistica di terminazione del sovescio nelle tesi trinciate e lavorate (in alto) e trinciate (in basso).

La lavorazione precoce del terreno (T1) in entrambe le annate ha comportato un peggioramento dello stato idrico delle piante. È possibile che l'eliminazione precoce del sovescio, riducendo nelle fasi iniziali la competizione per l'acqua e per i nutrienti abbia stimolato lo sviluppo vegetativo della vite rispetto alla terminazione più tardiva, e di conseguenza abbia comportato una maggiore richiesta di acqua nelle fasi successive.

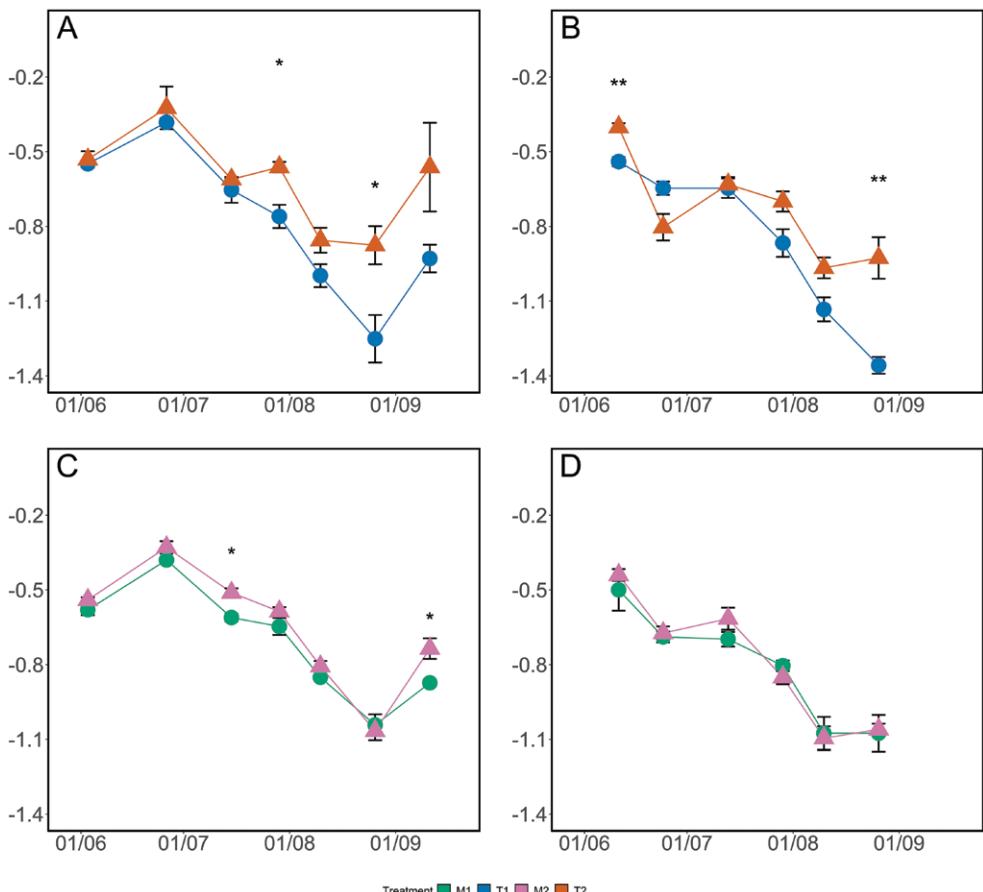


Figura 5: Effetto della modalità e della tempistica di terminazione sul potenziale idrico del fusto durante le stagioni 2020 (A, C) e 2021 (B, D). M1 e M2, trinciatura precoce e tardiva; T1 e T2, trinciatura e interramento precoce e tardivo. Le barre indicano l'errore standard.

Inoltre, la lavorazione del suolo promuove la mineralizzazione della sostanza organica che, liberando elementi nutritivi in questa fase ancora di attiva crescita per la vite, favorisce anch'essa un maggior sviluppo della chioma. In questa tipologia di terreno caratterizzato da frazioni granulometriche limoso-argillose, le piogge battenti che hanno caratterizzato la prima decade di giugno 2020 possono aver promosso la formazione di una crosta superficiale che ha limitato l'infiltrazione dell'acqua nelle fasi seguenti amplificando la condizione di stress idrico nel caso dell'interramento precoce. Inoltre, altri due aspetti devono essere tenuti in considerazione; prima di tutto la lavorazione tende ad aumentare l'evaporazione di acqua dal suolo e quindi riduce la quota di acqua disponibile per l'assorbimento da parte della coltura, inoltre,

lavorando il terreno precocemente, durante la stagione estiva si ha una ricrescita, seppur parziale, di una copertura erbacea che va a competere per l'acqua. Nel caso della lavorazione tardiva, l'effetto battente della pioggia nel 2020 non si è verificato poiché il sovescio è stato lavorato a seguito del fronte di piogge di inizio giugno. Nel 2021 la minore piovosità dell'inizio giugno e dei mesi successivi non ha favorito una diversa ricrescita vegetativa come visto nella stagione precedente, e le differenze di stato idrico tra le due epoche di interramento sono emerse più in ritardo, e solo a fine stagione è emersa una riduzione molto forte del potenziale idrico nel caso della terminazione più precoce.

*Tabella 1: Analisi dell'effetto dell'annata, della modalità e dell'epoca di terminazione sui parametri di produzione. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a tre vie (n.s., differenze non significative; ** e ***, medie significativamente differenti rispettivamente per $p<0.01$ e $p<0.001$). Le interazioni tra fattori non sono risultate significative e perciò non sono state riportate.*

fattore	livello	numero di grappoli	produzione (kg/pianta)	peso medio grappolo (g)
anno (A)	2020	20.19	5.63	281.16
	2021	17.87	7.73	437.55
	<i>Sign. F</i>	**	***	***
modalità (M)	interramento	18.56	6.69	366.80
	trinciatura	19.50	6.66	351.91
	<i>Sign. F</i>	n.s.	n.s.	n.s.
tempistica (T)	precoce	19.07	6.81	366.76
	tardiva	18.99	6.55	351.95
	<i>Sign. F</i>	n.s.	n.s.	n.s.

La sola trinciatura del sovescio non ha invece messo in evidenza differenze tra le due epoche di terminazione. In relazione a quanto evidenziato poco sopra, evitare l'interramento ha portato ad una minore mineralizzazione della sostanza organica e delle perdite di acqua per evaporazione. Inoltre, va considerato che la trinciatura produce una sorta di pacciamatura che riduce le perdite per evaporazione mantenendo una migliore condizione idrica nel vigneto.

L'epoca e la modalità di terminazione del sovescio non hanno influenzato invece in maniera significativa le componenti della produzione (tabella 1). In particolare, è emerso un effetto molto forte

dell'annata su tutti e tre i parametri produttivi esaminati; nel 2021 infatti, a fronte di un numero di grappoli inferiore vi è stato un effetto di compensazione altamente significativo sul peso medio dei grappoli che ha portato alla fine ad un aumento produttivo di circa 2 kg/pianta. Esaminando l'effetto della modalità di terminazione, sebbene si possa evidenziare un tendenziale effetto positivo dell'interramento del sovescio sul peso medio dei grappoli, questo non è stato sufficiente a produrre un valore significativamente maggiore della produzione per pianta. Anche per quanto concerne il momento della terminazione non sono emersi dei risultati significativi, sebbene si possano notare valori leggermente superiori del peso medio dei grappoli e della produzione nel caso delle tesi gestite più precocemente ad evidenziare come eliminando la competizione precocemente si stimoli la crescita e quindi la produzione.

A livello di parametri tecnologici delle uve alla raccolta, nelle due annate non è emersa differenza in termini di accumulo di solidi solubili, mentre significative sono state le differenze in termini di acidità titolabile (maggiore nel 2020 rispetto al 2021) e soprattutto di pH (maggiore nel 2021 rispetto al 2020). La modalità di terminazione del sovescio non ha invece avuto effetto su questi ultimi parametri, ma valori significativamente maggiori sono emersi nel caso della tesi trinciata rispetto alla lavorazione. Infine, non sono state evidenziate differenze per quanto concerne la tempistica di terminazione, anche se si possono osservare valori tendenzialmente maggiori nel caso della terminazione precoce per quanto riguarda l'accumulo di solidi solubili e, al contrario, tendenzialmente minori per il parametro acidità titolabile. Esaminando l'interazione tempistica x modalità di terminazione, l'acidità è risultata significativamente più alta nel caso del lavorato tardivamente mentre, al contrario, la sola trinciatura effettuata nella stessa tempistica ha mostrato valori significativamente minori. Per quanto concerne il pH, i trend sono esattamente opposti, ma le differenze, sebbene significative, sono di minore entità.

Tabella 2: Analisi dell'effetto dell'annata, della modalità e dell'epoca di terminazione sui parametri di maturazione tecnologica delle uve alla raccolta. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a tre vie (n.s., differenze non significative; * e ***, medie significativamente differenti rispettivamente per $p<0.05$ e $p<0.001$). Le interazioni sono state riportate solamente quando almeno uno dei parametri è risultato significativo.

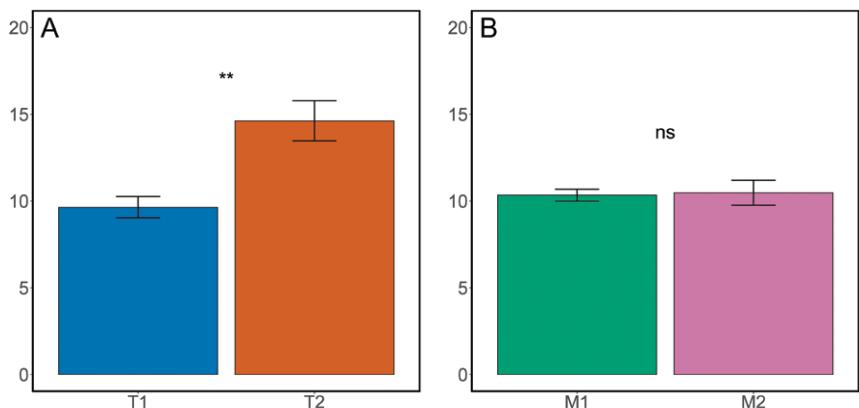
fattore	livello	TSS (°Brix)	acidità titolabile (g/L)	pH
anno (A)	2020	18.33	4.64	3.27
	2021	18.17	4.40	3.39
	Sign. F	n.s.	*	***
modalità (M)	interramento	18.04	4.52	3.33
	trinciatura	18.46	4.52	3.33
	Sign. F	*	n.s.	n.s.
tempistica (T)	precoce	18.42	4.45	3.33
	tardiva	18.08	4.59	3.34
	Sign. F	n.s.	n.s.	n.s.
interazione M x T	Sign. F	n.s.	*	*

Esaminando le modalità di terminazione, si può osservare come, a prescindere dall'epoca, l'interramento del sovescio evidenzia valori maggiori di carbonio estraibile (EC) e significativamente più alti di azoto estraibile (EN), mentre per quanto concerne il contenuto degli stessi elementi nella biomassa microbica (BC e BN), i valori risultano molto simili tra sovescio trinciato e interrato. Confrontando le tempistiche di terminazione, non emergono delle grosse differenze tra i parametri esaminati, se non un lieve aumento del carbonio e dell'azoto estraibili nel caso dell'epoca più tardiva, e valori tendenzialmente più alti degli stessi elementi nella biomassa microbica quando il sovescio è stato rimosso più presto nella stagione. La biomassa microbica e la sua attività e benessere, descritti dal quoziente metabolico, qCO_2 , risultano influenzati sia dalla modalità che dalla tempistica di terminazione del sovescio. In dettaglio, in figura 2 viene riportato l'effetto combinato dei due fattori su questo parametro. La sola trinciatura del sovescio non porta a sostanziali modifiche del qCO_2 , mentre nel caso dell'interramento l'attività e la biomassa microbica sono invece sfavoriti dalla lavorazione tardiva T2. Questa condizione potrebbe essere dovuta al fatto che il suolo lavorato tardivamente viene esposto

a temperature e irraggiamenti più elevati in pieno periodo estivo, che causano una riduzione della biomassa microbica. Contemporaneamente, la lavorazione tardiva rispetto a quella precoce, limita la ricrescita del cotico erboso, fattore che aumenta lo stress microbico (Mondini et al. 2019).

*Tabella 3: Analisi della modalità e dell'epoca di terminazione su alcuni indici biochimici del suolo indagati nel 2021. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a due vie (n.s., differenze non significative; * e **, medie significativamente differenti rispettivamente per p<0,05 e p<0,01).*

fattore	livello	EC ($\mu\text{g/g}$)	EN ($\mu\text{g/g}$)	BC ($\mu\text{g/g}$)	BN ($\mu\text{g/g}$)	qCO_2
modalità (M)	interramento	92.7	53.3	849	103	12.1
	trinciatura	82.9	38.5	832	109	10.4
	<i>Sign. F</i>	ns	**	ns	ns	*
tempistica (T)	precoce	86.4	42.0	871	111	10.0
	tardiva	89.3	49.8	810	101	12.5
	<i>Sign. F</i>	ns	ns	ns	ns	**
interazione M x T	<i>Sign. F</i>	ns	ns	ns	ns	**



*Figura 6: indice di biomassa e attività microbica nelle quattro gestioni del sovversivo a confronto a fine stagione 2021. T1 e T2, trinciatura e interramento precoce e tardivo; M1 e M2, trinciatura precoce e tardiva. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA (n.s., differenze non significative; **, differenze significative per p<0.01) separatamente per il confronto tra le due epoche di trinciatura (M1 e M2) e di trinciatura e interramento (T1 e T2).*

Indici multispettrali

L'andamento dei dati multispettrali nelle due modalità di gestione del sovescio è stato confrontato con una ANOVA a una via. Globalmente, tutti gli indici hanno individuato chiare differenze di vigore tra T1 e T2 nel 2021 e differenze meno marcate tra M1 e M2 nello stesso anno. Per quanto riguarda il 2020, l'andamento degli indici ha mostrato una minore correlazione con quello dei potenziali idrici, pur fornendo alcune valide informazioni. Va detto che la riflettanza spettrale della vegetazione è condizionata da molti fattori che possono verificarsi contemporaneamente in vigneto. Per tale motivo, la riflettanza in due anni diversi può assumere valori anche molto distanti tra di loro. Inoltre, nei due anni dello studio, la prima data di acquisizione è avvenuta in mesi diversi, rilevando la vegetazione in fasi di sviluppo non del tutto sovrapponibili. Gli indici che hanno riportato migliori risultati sono stati L'Optimised Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI; figura 3) e il rapporto tra il Transformed Chlorophyll Absorption Ratio e l'OSAVI (TCARI/OSAVI; figura 4). L'OSAVI è un indice calcolato combinando la riflettanza nel rosso e nel vicino infrarosso (NIR) sviluppato per minimizzare il disturbo della riflettanza del suolo nelle immagini aeree. In diversi studi l'OSAVI ha dimostrato di fornire informazioni sullo stato idrico della vegetazione e sul vigore. Il TCARI/OSAVI contiene anche la riflettanza nel verde, fornendo informazioni sulla presenza di clorofilla e, quindi, sullo sviluppo della vegetazione.

Osservando i trend dei due indici, risulta evidente che, malgrado nel 2020 vi fosse una differenza tra M1 e M2, tale differenza è risultata coerente solamente nella seconda misura di entrambe le annate. Al contrario, T1 ha dimostrato di essere più vigoroso di T2 in entrambi gli anni, anche se nel 2020 il maggior vigore è stato rilevato solo a fine stagione, in concordanza con i risultati del potenziale idrico fogliare. Infatti, il maggior vigore della vegetazione individuato dalle immagini del drone giustificherebbe una maggiore traspirazione e, quindi, il potenziale idrico inferiore rilevato in T1.

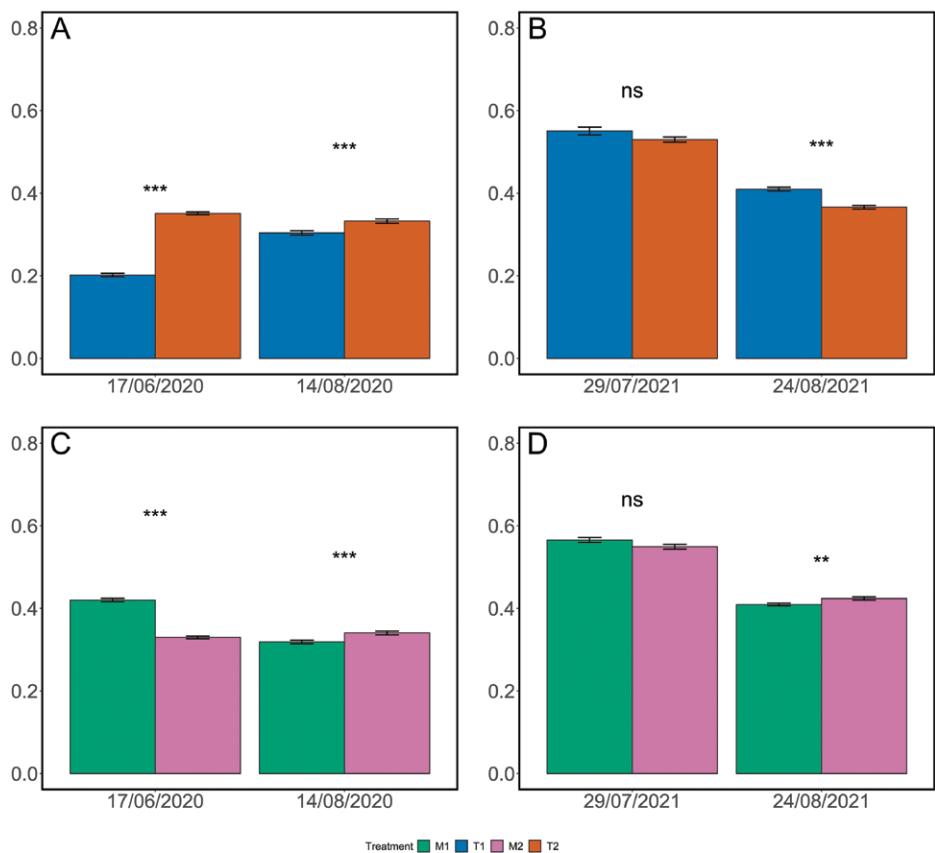


Figura 7: Trend dell'indice di vegetazione OSAVI: A) interramento 2020, B) interramento 2021, C) trinciatura 2020, D) trinciatura 2021. Dati sottoposti ad ANOVA ad una via (ns, ** e *** indicano differenze non significative o significative rispettivamente per $p<0.01$ e $p<0.001$).

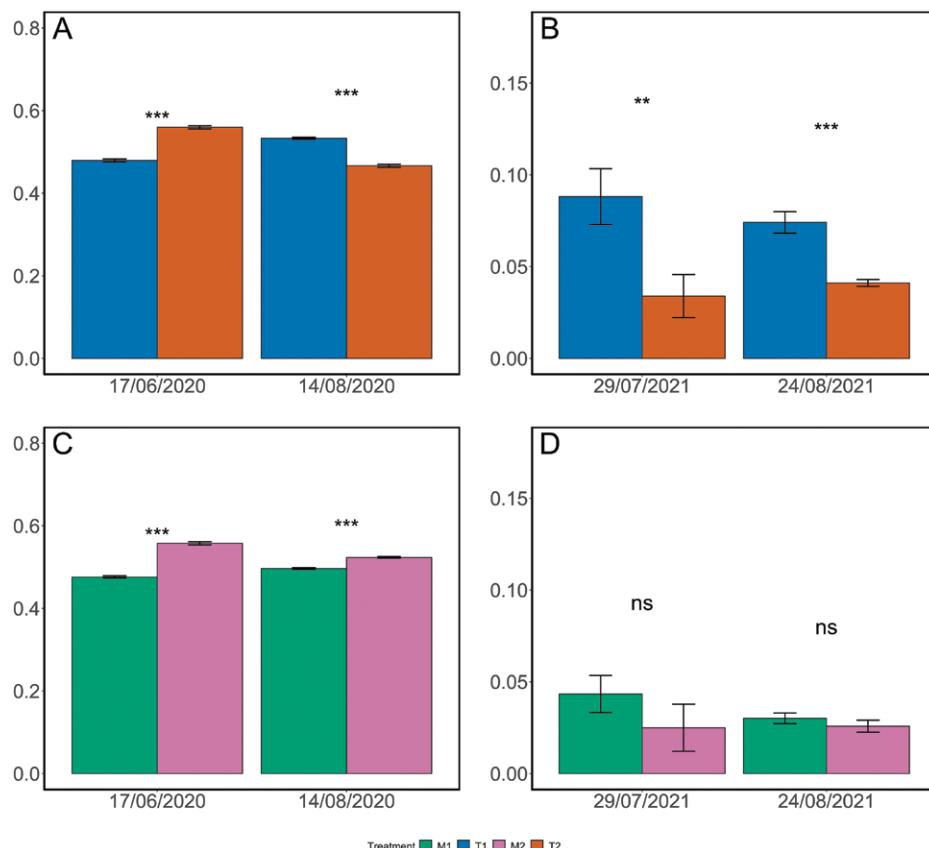


Figura 8: Trend dell'indice di vegetazione TCARI/OSAVI: A) interramento 2020, B) interramento 2021, C) trinciatura 2020, D) trinciatura 2021. Dati sottoposti ad ANOVA ad una via (* e *** indicano differenze significative rispettivamente per $p<0.05$ e $p<0.001$).

PROVA 2: POLZELCE. SLOVENIA

In tre momenti nel corso della stagione (21 giugno, il 21 luglio ed il 21 agosto 2021) è stato monitorato il livello di stress idrico delle piante (Ψ_{fusto}) utilizzando la camera di Scholander.

I dati raccolti indicano una situazione di stress idrico maggiore, nel caso della tesi di controllo lavorata. Lo stress più lieve è stato registrato con il trattamento con il sovescio Herby mix A 4 costituito da veccia, pisello ed avena. I valori dello stress idrico sono stati maggiori nel caso del trattamento fatto con la miscela Geopro Gold rispetto a quello eseguito con la miscela Herby mix A 4. La minore crescita ottenuta nel caso del sovescio Geopro Gold è da imputare alla semina primaverile; infatti, la semina autunnale avrebbe portato sicuramente ad una crescita di biomassa superiore.

Tabella 4: Differenze nei valori si potenziale idrico del fusto (Ψ_{fusto}) nelle tre tesi a confronto.

tesi	21/06/2021	21/07/2021	21/08/2021
Herby mix A	-0.76 (lieve)	-0.63 (lieve)	-0.88 (moderato)
Geopro Gold	-0.77 (lieve)	-0.70 (lieve)	-0.98 (moderato)
CON	-0.83 (moderato)	-0.78 (lieve)	-1.00 (moderato)

A partire dal 23 agosto, sono stati raccolti campioni di uve al fine di seguire le curve di maturazione. Alla data del 6 settembre, data di vendemmia, i parametri di maturazione delle uve hanno mostrato alcune differenze tra le tre tesi a confronto. In particolare, l'accumulo di solidi solubili è stato il medesimo, mentre tendenzialmente l'acidità titolabile è risultata inferiore nel caso della tesi CON. In questa stessa tesi è risultato significativamente maggiore il valore del pH.

Entrando nello specifico della composizione acidica, l'acido malico ha evidenziato valori tendenzialmente superiori nel caso del sovescio Herby mix A, mentre significativamente più alta è stata la concentrazione di acido tartarico nel caso del sovescio Geopro Gold, e statisticamente meno significativa nella tesi CON. In entrambi i casi, confrontando i due sovesci con il CON lavorato, si possono osservare valori tendenzialmente inferiori di APA, e al contrario un peso medio acino e uno sugar loading maggiori nelle tesi con sovescio rispetto alla tesi lavorata.

Tabella 5: tesi di sovescio a confronto con un controllo lavorato: effetto sui parametri di maturità tecnologica alla vendemmia. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a una via (n.s., differenze non significative; ** e ***, medie significativamente differenti rispettivamente per $p<0.01$ e $p<0.001$).

tesi	acidità titolabile (g/L)	pH	acido malico (g/L)	acido tartarico (g/L)	APA (mg/L)	solidi solubili (Brix)	peso medio acino (g)	sugar loading (mg/bacca)
Geopro Gold	9.03	3.10 b	5.09	6.55 a	137	19.38	2.70	523
Herby mix A	9.37	3.10 b	5.86	6.16 b	137	19.37	2.78	539
CON	8.29	3.19 a	5.03	6.01 b	159	19.40	2.52	491
Sign. F	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

I risultati ottenuti sono in accordo con quanto trovato nella prova di Precenicco, poiché confermano che la lavorazione peggiora la condizione idrica delle piante, e quindi può portare ad una diminuzione dei parametri di produzione.

CONCLUSIONI

I risultati della prova condotta a Precenicco hanno evidenziato come la gestione del sovescio influenzi lo stato idrico della vite, lievemente i parametri produttivi e di maturazione delle uve, ma ha delle ripercussioni importanti sull'attività microbica del suolo. L'interramento precoce del sovescio promuove la crescita della vegetazione che diviene più suscettibile alla mancanza d'acqua estiva. Diversamente, la gestione con la sola trincatura presenta un'influenza trascurabile su questo parametro. A livello di suolo è stato osservato come nel caso dell'interramento tardivo si ha un aumento del qCO_2 evidenziando uno stress microbico con riduzione della biomassa e aumento della respirazione del suolo rispetto alla stessa operazione effettuata in una fase più precoce. Quest'ultimo risultato fa capire che potenzialmente l'esposizione estiva del suolo senza vegetazione o una copertura pacciamante sia una pratica da evitare se vogliamo mantenere un'equilibrata attività microbica nel suolo, limitando contemporaneamente le perdite di carbonio in atmosfera e contemporaneamente ridurre il consumo idrico della coltura. Quindi, preferibilmente la pratica di interramento, nel caso di necessità agronomiche indirizzate alla stimolazione della vegetazione della vite, dovrebbe essere realizzata in periodi più freschi e piovosi per permettere una ricostituzione parziale del cotico a protezione dei mesi estivi. Con l'obiettivo di preservare la componente microbiologica, conservare la sostanza organica nel suolo e ridurre gli input (concimazioni e irrigazioni), le lavorazioni del suolo dovrebbero essere limitate al minimo.

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche nell'ambito del progetto Acquavitis sono state finanziate dal Fondo europeo di sviluppo regionale - Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Slovenia 2014-2020 e da fondi nazionali.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson T.H., Domsch K.H., (1986) Carbon assimilation and microbial activity in soil J. Plant. Nutr. Soil Sci. 149, 457-468
- Cerdan O., Govers G., Le Bissonnais Y., Van Oost K., Poesen J., Saby N., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F. J. P. M., Raclot D., Ionita I., Rejman J., Rousseva S., Muxart T., Roxo M. J., & Dostal T. (2010). Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data. Geomorphology, 122, 167-177.
- Cerdan O., Poesen J., Govers G., Saby N., Le Bissonnais Y., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F. F. P. M. & Roxo, M. J. (2006). Sheet and rill erosion, in: Soil Erosion in Europe. Boardman J. & Poesen, J. (Eds.). pp. 501-513. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Haramoto E. R., & Gallandt E. R. (2004). Brassica cover cropping for weed management: a review. Renewable agriculture and food systems, 19(4), 187-198.
- Hirschfelt D.J. (1998). Soil fertility and vine nutrition. In Cover Cropping in Vineyards. Ingels C.A., Bugg R.L., McGourty G.T. & Christensen L.P. (Eds.). pp. 61-68. University of California: Oakland, CA, USA
- MacLaren C., Swanepoel P., Bennett J., Wright J., & Dehnen-Schmutz, K. (2019). Cover crop biomass production is more important than diversity for weed suppression. Crop Science, 59(2), 733-748.
- Mondini C., Fornasier F., Sinicco T., Sivilotti P., Gaiotti F. & Mosetti D. (2019). Aumentare la sostanza organica in vigneto con il compost. Informatore Agrario 75(21), 38-42.
- Periè C., Ouimet R., (2008) Organic Carbon, Organic Matter and Bulk Density Relationships in Boreal Forest Can. J. Soil Sci. 88, 315-325
- Rogers T. H. & Giddens, J. E. (1957). Green manure and cover crops. Soil, the yearbook of agriculture'. (Ed. A Stefferud) pp, 252-257.
- Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19, 703-707
- Walker D., Baumgartner D., Fitzsimmons K. & Gerber C.P. (2006). Chapter 18: Surface Water Pollution, In Environment & Pollution Science. Eds. I.L. Pepper, C.P. Gerber, and M.L. Brusseau. p. 283.
- Wang X., Wang J., Zhang J., (2012) Comparisons of Three Methods for Organic and Inorganic Carbon in Calcareous Soils of Northwestern China. PLoS ONE 7(8), e44334
- <https://soilhealthinstitute.org/wp-content/uploads/2016/11/case-summary-water-final-101316.pdf>
- <http://www.fao.org/news/story/en/item/357059/icode/>
- <https://greentumble.com/the-role-of-green-manure-in-soil-fertility/>
- <https://4p1000.org/?lang=en>



Telerilevamento nel monitoraggio dei vigneti

Uroš Žibrat^{1a}, Matej Knapič^{1b}, Alessia Cogato², Alen Mangafić³

^{1a} Istituto agrario della Slovenia, Dipartimento di protezione delle

^{1b} Istituto agrario della Slovenia, Dipartimento di frutticoltura, viticoltura ed enologia

² Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agro-alimentari, Ambientali e Animali

³ Istituto geodetico della Slovenia

RIASSUNTO

Il telerilevamento è un approccio scientifico che combina una vasta gamma di tecniche e sensori, accomunati dalla capacità di ottenere determinate informazioni sul soggetto studiandolo senza contatto fisico. Le radiazioni elettromagnetiche emesse o riflesse, generalmente la luce solare, possono essere misurate dai sensori installati su diverse piattaforme (aeromobili a pilotaggio remoto, aerei o satelliti). Grazie ai dati captati si può monitorare la crescita delle piante e le loro condizioni, permettendo, dunque, di seguire le proprietà vegetative, come le attività di fotosintesi, la presenza o assenza di parassiti e nutrienti nelle piante e lo stato dell'acqua. A tal proposito i dati ottenuti con il telerilevamento costituiscono un'informazione fondamentale nella gestione dei terreni agricoli grazie all'applicazione di metodi dell'agricoltura di precisione.

Ciascun sensore delle varie piattaforme fornisce una risoluzione spettrale, spaziale e temporale diversa, mettendo a disposizione i requisiti necessari per analizzare quanto dovuto. Si potrebbe affermare che in generale, le immagini satellitari sono quelle più adatte al monitoraggio su larga scala (a livello nazionale o regionale). Eppure gli studi svolti nell'ambito del progetto Acquavitis hanno riscontrato l'applicabilità di tali rilevamenti anche per quanto concerne il monitoraggio dei singoli vigneti. Nella cornice di Acquavitis, il telerilevamento si concentra particolarmente sull'applicabilità dei sensori su varie piattaforme per il monitoraggio dello stato idrico nei vigneti interessati. Per il progetto è stata utilizzata la camera multispettrale installata su un drone, due camere iperspettrali 400-2500 nm su un aereo ultraleggero e le immagini satellitari rilevate da Sentinel-2. Lo studio ha confermato il legame tra le misurazioni del potenziale idrico delle piante ed i dati rilevati dai tutti e tre i sensori. I modelli di regressione per determinare lo stress idrico nelle viti sono stati sviluppati nonostante l'accuratezza discordante tra i sensori ed i diversi livelli di stress idrico. Nell'insieme si può constatare come i modelli più precisi sono stati ottenuti dai dati iperspettrali captati dall'aereo ultraleggero. Tuttavia, i modelli di tutti i sensori sperimentati dovrebbero includere un numero più elevato di dati rilevati sul campo per creare un metodo che permetterebbe il monitoraggio affidabile dello stato dell'acqua nei vigneti.

ABSTRACT

Remote sensing is a science that combines a wide range of techniques and sensors, which have in common to obtain certain information about the studied object without physical contact. Emitted or reflected electromagnetic radiation, usually sunlight, is measured with the sensors from different platforms (unmanned aerial vehicle (UAV), airplane or satellite). Data obtained enables us to monitor plant growth and their condition. Thus we can follow different plant canopy characteristics such as photosynthetic activity, presence or absence of plant pests and plan-

ts nutrient or water status. Remote sensing data are one of the basic input data in precision agriculture management.

Sensors on different platform differ in spectral, spatial and time resolution so we use them according to our needs. In general we can say that satellite images are the most useful for monitoring the larger scale (country or region level) however as was shown in the frame of Acquavitis project could be valuable also for the monitoring of the individual vineyards. The main focus of remote sensing application in the frame of Acquavitis project is to use different sensors on different platforms to monitor water status in selected vineyards. We used multispectral camera on UAV, two hyperspectral cameras covering reflection from 400-2500 nm on ultralight airplane and Sentinel 2 satellite images. Correlations between measurements of plant water potential and remote sensing data from all 3 sensors were confirmed. Regression models for determination of water stress of vines were developed however models accuracy differs between the sensors and from the level of expressed water stress. In general most accurate models were obtained from hyperspectral data recorded with ultralight airplane however more field data should be included in the models of all tested sensors to be able to build reliable method to monitor water status in vineyards.

TELERILEVAMENTO

Il telerilevamento è un approccio scientifico che combina una vasta gamma di tecniche e sensori con la capacità comune di ottenere determinate informazioni sul soggetto studiato senza contatto fisico. In pratica vengono misurate a distanza le onde elettromagnetiche emesse o riflesse. Gran parte delle tecniche del telerilevamento si basa sull'analisi della luce solare riflessa, e siccome il progetto si avvale proprio di questi metodi, abbiamo deciso di focalizzarci proprio su essi.

I sensori ottici utilizzano lo spettro ottico (Figura 1) dalla luce ultravioletta (lunghezze d'onda dai 100 ai 400 nm) ai raggi infrarossi lontani (15×10^3 nm fino a 350×10^3 nm). D'altro canto, l'uomo può captare la luce della cosiddetta parte visibile dello spettro tra i 400 ai 700 nm. L'infrarosso vicino (NIR) è compreso tra i 700 ai 1000 nm, invece le onde infrarosse corte o SWIR hanno un range tra i 1000 e i 2500 nm. I sensori che rilevano i segnali delle lunghezze d'onda oltre i 2500 nm vengono detti infrarossi chiari o sensori termici e possono captare il segnale da diverse zone spettrali. Il contatto tra la luce e l'oggetto può causare tre effetti: il riflesso della luce dall'oggetto, la trasmissione della luce attraverso l'oggetto oppure l'assorbimento della luce da parte dell'oggetto. Durante il suo pas-

saggio attraverso i vari media, quali l'atmosfera, la luce urta con le particelle presenti nel mezzo (come le gocce d'acqua o la polvere) per poi disperdersi. La tipologia e la quantità di diffusione ottica dipendono dalla dimensione delle particelle (ad esempio le particelle di dimensioni minori rispetto alla lunghezza d'onda provocano lo scattering di Rayleigh soggetto alla lunghezza d'onda che prevalentemente diffonde la luce blu, tingendo il cielo color celeste). I sensori ottici applicati nel telerilevamento misurano l'effetto totale dei tre fenomeni principali, conosciuti comunemente come riflettanza. Ciascun oggetto (ad esempio le piante, il suolo, l'acqua) si distingue per la sua riflettanza su diverse lunghezze d'onda e secondo i rapporti con essa, permettendo l'identificazione delle materie. Questa caratteristica specifica di ciascun oggetto viene chiamata firma spettrale, ovvero la riflessione nelle diverse lunghezze d'onda. Nella vegetazione, le firme spettrali sono scaturite dalle proprietà ottiche delle parti superficiali, dalle loro qualità biofisiche e biochimiche, dall'illuminazione e dalla geometria d'osservazione.

I sensori ottici di ultima generazione hanno la capacità di generare una quantità relativamente elevata di dati complessi. L'analisi del telerilevamento è dunque fondata su informazioni e soluzioni tecnologiche rilevanti. I metodi innovativi di analisi dei dati sono di vitale importanza per l'applicazione efficace delle informazioni ottenute attraverso il telerilevamento nell'individuazione delle condizioni della vegetazione. Pur comprendendo fattori che devono essere valutati con la stessa precisione dei metodi tradizionali, il telerilevamento implica meno fatica e tempistiche più brevi rispetto ai primi. In seguito alla complessità e il numero elevato di informazioni, le analisi dei dati per la definizione delle condizioni della vegetazione vengono sottoposte prevalentemente alle tecniche di apprendimento automatico.

Le prassi tradizionali di gestione agricola comportano una distribuzione omogenea delle condizioni di crescita, così come degli organismi infestanti e delle patologie vegetali. Ciononostante, spesso la distribuzione rimane eterogenea. Essendo un sistema di gestione che si avvale di molteplici sensori e piattaforme per la raccolta tempestiva di dati essenziali e precisi acquisiti da un'area più ampia, l'agricoltura di precisione potrebbe ottimizzare anche le limitazioni delle tecnologie tradizionali di rilievo. Il telerilevamento rappresenta una delle metodologie principali dell'agricoltura di precisione che consente la valutazione e il monitoraggio delle condizioni di crescita e supporta l'attuazione tempestiva di interventi mirati.

Firma spettrale

L'uomo vede la luce solare grazie a due tipi di fotorecettori presenti nella retina. I bastoncelli sono cellule sensibili al livello assoluto di luce, invece i coni distinguono i colori. La retina dispone di tre tipi di coni, ciascuno sensibile a una determinata lunghezza d'onda: quelli sensibili alla luce (blu) a onda corta, alla luce (verde) a onda media e quelli alla luce (rossa) a onda lunga. L'occhio umano percepisce il colore come la combinazione di queste tre bande spettrali. Si tratta del modello di colori RGB (dall'inglese red-green-blue o rosso-verde-blu) utilizzato dai dispositivi elettrici (schermi).

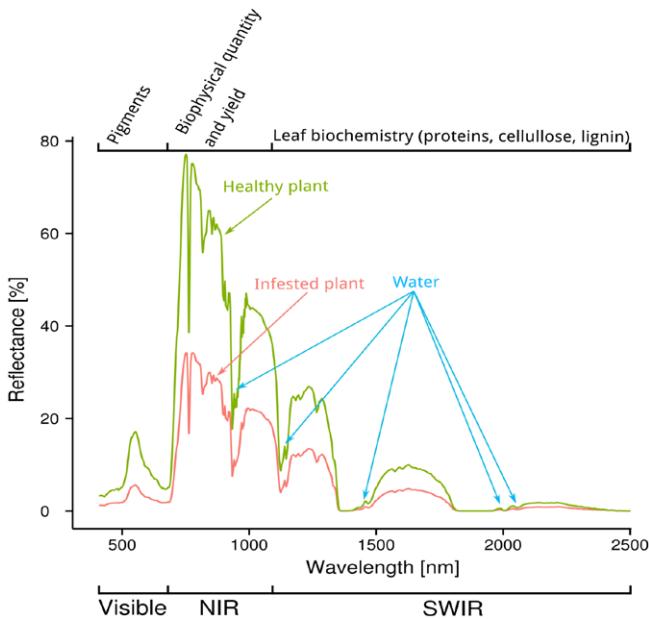


Figura 1: Le firme spettrali di piante sane e infette captate dal sensore iperspettrale. Grazie all'elevata risoluzione dei sensori iperspettrali (quindi all'alto numero di bande spettrali), è possibile scartare le bande in cui l'acqua atmosferica assorbe la luce.

I sensori ottici si avvalgono del medesimo sistema, dunque distribuiscono la luce su bande spettrali di larghezze varie. Tali sensori vengono suddivisi in cinque gruppi rispetto al numero di bande e lunghezze d'onda che rilevano: (1) RGB (a esempio la macchina fotografica), (2) multispettrali (cattura da 4 a 20 bande), (3) iperspettrali (più di 100 bande), (4) termici (il numero di bande varia, la lunghezza d'onda è di minimo 2500 nm) e (5) sensori di fluorescenza (lunghezza d'onda inferiore ai 400 nm). Indipendentemente dal sistema,

la procedura standardizzata del rilevamento dei dati rimane importantissima per l'alta precisione e ripetitività delle informazioni. Una precisione inferiore è spesso risultato di un'immagine di bassa qualità (scarsa risoluzione spaziale), un numero ridotto di bande spettrali e delle tempistiche inadeguate del rilevamento (perché con lo sviluppo fenologico le firme spettrali delle piante cambiano).

Esistono diversi fattori legati a ciascun campo dello spettro che influiscono sulle firme spettrali delle piante. Lo spettro visivo (dai 400 ai 700 nm) è condizionato prevalentemente dai pigmenti (come la clorofilla, i carotenoidi, gli antociani), invece nell'infrarosso vicino (NIR, 700-1000 nm) il riflesso è condizionato ampiamente dalla morfologia e dalla struttura del fogliame, l'infrarosso a onde corerte (SWIR, 1000-2500 nm) è influenzato dal contenuto d'acqua nel tessuto vegetale e dai metaboliti (quali la cellulosa e proteine). Le piante riflettono circa la metà della luce assorbita nella zona NIR e alle lunghezze d'onda superiori ai 700 nm la clorofilla risulta pressoché trasparente. Le cellule vegetali agiscono come riflettori angolari di base, per cui permettono la misurazione delle alterazioni nella struttura del tessuto vegetale, così le piante affette da stress avranno una riflessione più bassa nella zona NIR. Grazie alle analisi delle firme spettrali è possibile rilevare i mutamenti e applicarli nella caratterizzazione della condizione fenologica della pianta e nella valutazione delle risposte agli stress sia di tipo biotico sia abiotico specifiche del genotipo.

Nell'analisi dei dati multispettrali vengono usati maggiormente gli indici di vegetazione e spettrali rispetto ai valori assoluti o i cambiamenti di riflettanza in ciascuna banda di lunghezza d'onda. Gli indici ritraggono i rapporti della riflettanza di ciascuna regione d'onda. I più frequenti sono gli indici che oltre alla riflettanza nell'infrarosso vicino comprendono anche la riflettanza nella parte visibile dello spettro. Rientrano tra questi il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), il *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI) e il *Pigment Specific Simple Ratio* (PSSR). Vari indici possono valutare diversi fattori che caratterizzano lo stato della vegetazione con diverso successo. L'idoneità alla valutazione dei singoli fattori varia parallelamente con lo sviluppo della vegetazione il che ostacola la selezione completamente automatica dell'indice utilizzato per determinare la situazione vegetativa. In concomitanza con il fattore analizzato, è possibile avvalersi del rilevamento multispettrale anche per confermare le valutazioni sul campo, oltre che per la realizzazione di valutazioni intermedie tra la prima e l'ultima analisi sul campo del fattore considerato.

Componente spaziale

Nel telerilevamento, la risoluzione spaziale, ovvero la dimensione delle celle del raster, è una componente fondamentale dei sensori ottici nonché una sua limitazione abbastanza importante. Oltre a essere naturalmente condizionata dalla distanza del sensore nel momento del rilevamento, la risoluzione dei sensori ottici definisce quanti dettagli è possibile decodificare dall'immagine. A seconda del sensore, le dimensioni delle celle del raster possono spaziare da qualche centimetro e raggiungere oltre dieci metri. È generalmente noto che gli aeromobili a pilotaggio remoto vantano sensori di risoluzione migliore (qualche centimetro) rispetto a quelli satellitari (misurati in metri). Hanno, invece, una qualità media i sensori degli aeroplani (dimensioni della cella del raster da mezzo metro fino a un metro e oltre). Pur ottenendo dati di migliore risoluzione spaziale, i cosiddetti droni possono rilevare solo immagini di un'area limitata, come ad esempio un solo vigneto. Qualora desiderassimo catturare una superficie più vasta, si consiglia l'utilizzo di immagini aeree o satellitari.

La scelta della piattaforma di telerilevamento dispende dall'area che si desidera analizzare e dal grado di precisione. Una risoluzione spaziale scarsa con le celle del raster grandi può generare i cosiddetti dati misti in cui una cella porterebbe informazioni di oggetti diversi. A seconda della banda spettrale, il satellite Sentinel-2, ad esempio, dispone di raster di minimo 10 metri. Con dimensioni tali una cella potrebbe considerare diverse piante (sia la vite sia l'erba), il suolo e tutti gli altri oggetti rilevati (pali compresi). Nelle celle del raster così grandi, le piante interessate possono ricoprire un'area più ridotta rispetto agli altri oggetti captati (superficie erbosa) complicando la valutazione della condizione vegetativa della *Vitis vinifera*. Invece i droni e gli aeroplani permettono la distinzione tra i vari oggetti rilevati. Grazie alle immagini di risoluzione spaziale abbastanza alta è possibile estrarre le celle del raster portanti i dati sulle viti per aumentare l'affidabilità dei metodi che permettono di definire la condizione delle piante.

Risoluzione temporale

Per risoluzione temporale si intende la frequenza con cui i dati vengono telerilevati, in cui risoluzione alta significa che tra un rilevamento e l'altro percorre un lasso di tempo più breve. Nel tempo, le qualità spettrali degli oggetti possono cambiare e sono dunque

individuabili attraverso il confronto tra due immagini captate in tempi diversi. Si tratta di un aspetto abbastanza rilevante, specie per quanto concerne la condizione delle piante poiché aiuta a identificare gli eventuali problemi presenti nei vigneti ancor prima che si manifestino segnali visibili, come i sintomi di infezioni con la flavescenza dorata oppure lo stress idrico delle viti.

La risoluzione temporale più alta si ottiene attraverso le immagini satellitari. Il satellite Sentinel-2 rileva immagini da qualsiasi punto della Terra ogni tre giorni, per un totale di 120 immagini all'anno. Seppur non tutte le immagini siano utilizzabili per motivi meteorologici, ovvero a causa della copertura nuvolosa, rimane comunque idoneo un minimo di 20 immagini ottenute durante la stagione di crescita, il che permette di riconoscere i mutamenti con relativa precisione e tempestività. Il telerilevamento tramite droni e aerei richiede uno sforzo umano maggiore, più tempo e di conseguenza anche costi più elevati.

Monitoraggio dei vigneti

Il telerilevamento è stato già applicato diverse volte per il monitoraggio dei vigneti poiché permette di seguire la crescita e la vitalità delle viti, gli esperimenti di fertilizzazione, le condizioni sanitarie delle piante e valutare i parametri qualitativi dell'uva. Le macchine fotografiche tradizionali rappresentano il sistema più economico e accessibile di telerilevamento e permettono di ottenere informazioni spettrali in tre bande soltanto (rossa, verde e blu). Con un adeguato pretrattamento dei dati, si possono ottenere informazioni alquanto rilevanti dei diversi parametri importanti in viticoltura. Pur limitando la valutazione del parametro di interesse a causa di una risoluzione spettrale scarsa, applicando complessi metodi di analisi dei dati è possibile ricavare modelli di esattezza soddisfacente. Ad esempio, è possibile stimare la quantità d'uva con oltre l'85% di precisione. Per quanto concerne la stima dei parametri qualitativi dell'uva (massa, acidità e indice di fenoli; $R^2 \sim 0,7$) la qualità dei dati RGB risulta leggermente più scarsa.

Grazie a una migliore risoluzione spettrale nonché all'ottima risoluzione spaziale, i sensori multispettrali dei droni sono particolarmente utili nella classificazione del vigore e della condizione generale delle viti. Combinando tutte le informazioni è possibile identificare diverse zone nel campo. I sensori multispettrali sono stati adoperati con successo per determinare lo stato idrico delle viti. Tuttavia, i

modelli non sono necessariamente universalmente applicabili poiché devono essere sottoposti a un ulteriore sviluppo fondato su una quantità più cospicua di dati in una serie temporale di diversi anni per catturare la più ampia variabilità possibile delle viti.

Offrono risultati migliori relativi allo stato idrico delle viti le camere iperspettrali. Infatti, quelle dell'Istituto agrario della Slovenia hanno permesso di separare con una precisione del 100% le viti irrigate da quelle non sottoposte all'irrigazione; meno attendibile è stato individuare le viti irrigate con il 50% d'acqua. Negli ultimi anni il telerilevamento viene applicato sempre più frequentemente per lo screening di patologie del vigneto, in particolare della flavescenza dorata. Nella gestione delle malattie rimangono più sensati e applicabili gli studi sul campo, dove è possibile ottenere, oltre ai dati spettrali, anche informazioni spaziali sotto forma di coordinate precise sulla localizzazione della pianta affetta. I metodi innovativi per il rilevamento della flavescenza dorata si avvalgono dei sistemi multispettrali e iperspettrali installati su piattaforme mobili, droni e satelliti. Inoltre, sono stati sviluppati degli appositi indici di vegetazione che accelerano il processamento delle immagini e la conseguente individuazione della flavescenza. Tra le altre patologie delle viti, particolare attenzione è stata rivolta al mal dell'esca, oltre che ai virus che provocano l'accartocciamento del fogliame.

MONITORAGGIO DEI VIGNETI NELL'AMBITO DEL PROGETTO ACQUAVITIS

Rilevamento multispettrale con aeromobili a pilotaggio remoto

Durante la valutazione dell'esperimento d'irrigazione nel vigneto ubicato a Komen è stata utilizzata una fotocamera multispettrale installata sul drone. Il dispositivo ha rilevato le radiazioni elettromagnetiche in cinque bande (blu, verde, rosso, red edge, infrarosso vicino) di alta risoluzione spaziale (celle del raster di 2 cm all'altitudine di 50 m). Siccome il campo visivo della fotocamera non coglie l'intero vigneto in un'immagine sola si sono dovuti pianificare in anticipo i sorvoli, i rilevamenti e i punti in cui captare i dati. Per ciascun vigneto sono stati ottenuti fino a oltre mille immagini, integrate successivamente in un mosaico fino a ottenere l'immagine multispettrale dell'intero vigneto. Da tale prodotto sono stati estratti solo i pixel del raster portatori di informazioni relative alla *Vitis vinifera*. I dati sono stati uniti alle misurazioni di precisione GNSS/GPS, che hanno permesso di

dividere le celle del raster contenenti le viti in piante sottoposte all'esperimento d'irrigazione.

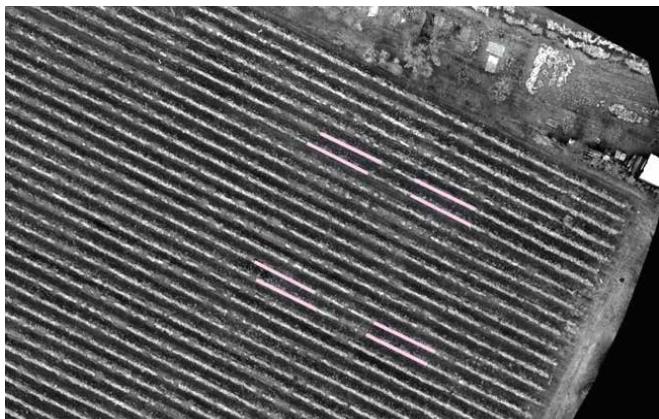


Figura 2: Immagine del vigneto di Komen: lunghezza d'onda rossa con le località dell'esperimento.

Dalle cinque bande spettrali sono stati calcolati 41 indici di vegetazione, spettro e colore, quest'ultimi sono particolarmente significativi poiché possono essere utilizzati anche con sensori RGB di dimensioni piccole e costi ridotti. Gli indici sono stati applicati durante lo sviluppo di modelli di apprendimento automatico per l'individuazione delle condizioni idriche nelle piante. I dati sono stati divisi in due gruppi: il primo è stato usato per l'apprendimento dell'algoritmo, invece il secondo per la sperimentazione. Il modello è stato sottoposto con successo a convalida incrociata. Le dimensioni dei dati sono state ridotte grazie al metodo dei minimi quadrati parziali.

Con l'89,8% di classificazioni corrette, il rilevamento multispettrale ha permesso di definire in maniera maggiormente affidabile l'irrigazione delle piante nel mese di luglio 2021. Per il mese di agosto è stato correttamente catalogato il 76,4% dei casi. Risultati analoghi sono stati prodotti anche per il vigneto di Precenicco in cui è stata usata la fotocamera multispettrale a 4 bande. Le precipitazioni ben distribuite e la mancanza di periodi di scarsità d'acqua durante il periodo vegetativo non hanno permesso di condurre l'esperimento di irrigazione nel 2020.

Rilevamento iperspettrale aereo

Il rilevamento iperspettrale aereo è stato realizzato in collaborazione con la società Aerovizia d.o.o. del noto pilota sloveno Matěvž Lenarčič in tre occasioni, ossia nell'agosto del 2020, e in luglio e agosto 2021, con l'ausilio di due fotocamere iperspettrali che insieme possono captare il segnale a una lunghezza d'onda di 400-2500 nm e in 448 bande spettrali. Sono stati approfonditi i dati ottenuti dal vigneto a Precenicco dove è stato monitorato l'impatto dei diversi metodi gestionali del suolo e il volume dello stress idrico nelle viti.



Figura 3: Immagine iperspettrale dell'infrarosso a onde corte del vigneto a Precenicco.

L'immagine è stata divisa in unità separate per permettere l'isolamento delle firme spettrali delle viti. Siccome i dati iperspettrali presentano una quantità elevata di disturbi e informazioni superflue, sono stati innanzitutto adeguatamente trattati (ad esempio calcolando la derivata di Savitzky-Golay) e sottoposti alle tecniche di riduzione della dimensione dei dati per ottenere le variabili nuove (come il metodo dei minimi quadrati parziali e l'analisi

discriminante). I modelli di classificazioni finali (in 5 gruppi) per l'individuazione della modalità di trattamento del suolo sono stati sviluppati grazie all'algoritmo "macchine a vettori di supporto". Le impostazioni migliori dei cosiddetti iperparametri dell'algoritmo sono state individuate grazie alla griglia di ricerca. Ciascun modello è stato testato attraverso la condivisione dei dati in due parti. La prima è stata usata per l'apprendimento dell'algoritmo, invece la seconda per collaudarlo. Il modello è stato sottoposto alla convalida incrociata. Per i tre anni in questione è stato sviluppato un totale di 78.750 modelli di apprendimento automatico per identificare il migliore possibile.

Con il 92,3% di piante correttamente classificate, il grado di successo più alto nella ricerca delle modalità di trattamento del suolo è stato raggiunto nell'agosto del 2021. Un risultato simile, precisamente il 73% di piante classificate, è stato raggiunto sia per agosto 2020 sia per luglio 2021. Unendo i gruppi in tre grandi classi (controllo e due classi di trattamento) si è provveduto a raggiungere un'affidabilità fino all'80% per agosto 2020 e luglio 2021. Invece, per agosto 2021 la percentuale è rimasta invariata. I dati di cui sopra parlano chiaro: il rilevamento iperspettrale aereo permette di individuare, con un grado di precisione abbastanza alto, i vari tipi di trattamento del suolo.

Sono stati sviluppati, oltre ai modelli utilizzati per stabilire le modalità gestionali del suolo, i modelli di regressione per individuare il potenziale o lo stress idrico nelle piante. In principio è stata applicata la medesima procedura, ma per il calcolo delle regressioni dove è stato utilizzato il metodo dei minimi quadrati comuni. Dai risultati si evince che il rilevamento iperspettrale aereo fornisce dati molto precisi con cui individuare lo stress idrico delle piante.

Tabella 1: Risultati delle analisi di regressione. "n. componenti" rappresenta il numero di variabili nuovamente generate secondo il metodo dei minimi quadrati parziali. RMSEP è la radice dell'errore quadratico medio di previsione (più basso è il valore, migliore è il risultato). Var rappresenta la percentuale della varianza spiegata dei dati. R² è il coefficiente di determinazione (tra 0 e 1, più alto è il valore, migliore è il risultato).

Mese e anno	n. componenti	RMSEP	Var [%]	R ²
Agosto 2020	8	0.0894	96.25	0.96
Luglio 2021	4	0.1454	87.26	0.87
Agosto 2021	4	0.1773	92.03	0.92

Rilevamento multispettrale satellitare

Sulla base delle immagini multispettrali rilevati da Sentinel-2 sono stati monitorati i vigneti a Precenicco, Potok-Stronc e Budihni. Sentinel-2 è costituito da due satelliti sviluppati dall’Agenzia spaziale europea nell’ambito del programma Copernicus. I due satelliti identici Sentinel-2A e Sentinel-2B acquisiscono le immagini multispettro grazie al sensore ottico di 13 bande. Le immagini vengono captate nella zona spettrale del visibile, dell’infrarosso vicino e dell’infrarosso a onda corta. Quest’ultimo si avvale di molteplici canali che si distinguono fra loro in base alla risoluzione spettrale. Ciascuno di essi ha la capacità di fornire informazioni altamente rilevanti per il monitoraggio delle piante. Anche le onde corte possono fornire dati relativi alla composizione idrica e minerale dei materiali. Il visibile e l’infrarosso vicino dispongono della risoluzione di 10 metri, gli altri invece di 20 metri, cioè un pixel equivale a 10 m x 10 m o 100 metri quadri per le prime bande e 20 m x 20 m o 400 metri quadri per le restanti. La risoluzione temporale spazia da 2 a 5 giorni, fornendo immagini della medesima area ogni 2-5 giorni (a seconda della latitudine).

Il potenziale idrico prima dell’alba della foglia ($\Psi_{\text{pre-alba}}$), il potenziale idrico minimo ($\Psi_{\text{delle foglie a mezzogiorno}}$) e il potenziale idrico del fusto ($\Psi_{\text{fusto a mezzogiorno}}$) sono tutti dati affidabili e rapidamente acquisiti che consentono di valutare la condizione idrica nelle viti rispetto alle condizioni meteorologiche e dell’acqua disponibile alle piante. Il potenziale idrico della foglia riflette l’energia dell’acqua nel mesofillo. Si è proceduto con l’analisi delle correlazioni tra il Ψ misurato e i diversi canali e indici ricavati dalle immagini satellitari.

Le misurazioni sul campo nei vigneti di Precenicco si sono tenute l’8 agosto 2020, il 29 luglio 2021 e il 26 agosto 2021, invece quelle a Potok-Stronc e Budihni il 28 maggio 2020, il 12 agosto 2020, il 9 settembre 2020 e il 22 giugno 2021. Il primo step consisteva nel trasferimento delle immagini ottenute da Sentinel-2 per i giorni di misurazione per essere pre-trattate nel formato giusto. Sono stati poi sovrapposti alla banca dati delle misurazioni del potenziale idrico anche i valori di riflettanza. Inoltre, si è osservato il rapporto tra il monitoraggio con i coefficienti di correlazione di Pearson e Kendall per determinare le proprietà dei campioni attraverso il valore p. I risultati sono stati sottoposti all’esame visivo dellerette di regressione.

Dal correogramma (Figura 4) si evince un forte legame tra il potenziale idrico pre-alba della foglia e determinate lunghezze d'onda. Da notare anche la forte correlazione sugli spettri infrarossi Potok-Stronc.

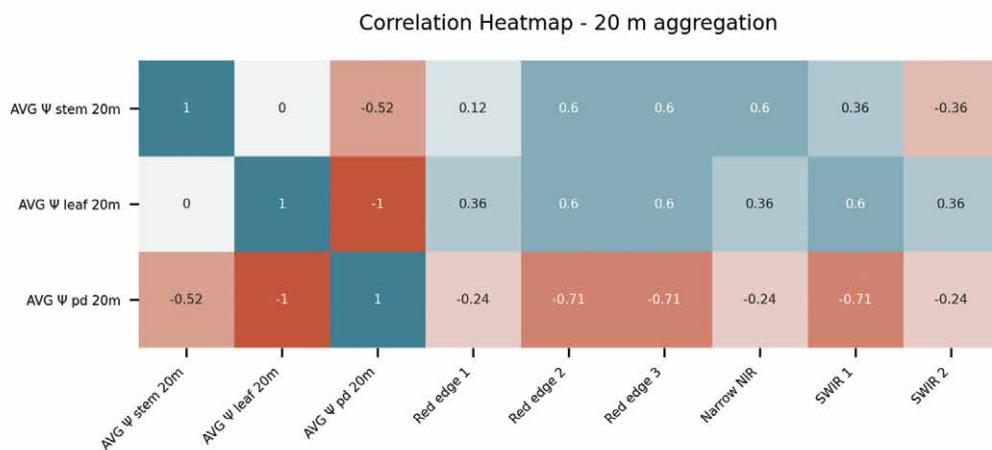


Figura 4: Correogramma: Sentinel-2 20 m e potenziale idrico (Potok-Stronc, Budihni).

La Figura 5 presenta la retta di regressione tra il potenziale idrico misurato pre-alba e l'infrarosso vicino. Si nota la forte correlazione e il valore p che attestano la caratteristica statistica del campione (minore dello 0.05).

La maggioranza dei valori caratteristici conferma la specificità delle correlazioni calcolate all'interno del campione. Tuttavia, per dedurre una conclusione inconfutabile bisognerebbe svolgere ulteriori misurazioni su quanto osservato finora. Ciò significa che una banca dati ricavati da misurazioni sul campo abbastanza cospicua, abbinata alle immagini rilevate da Sentinel-2, potrebbe fornire un certo grado di affidabilità relativa alla stima del potenziale idrico della foglia e del potenziale idrico pre-alba.

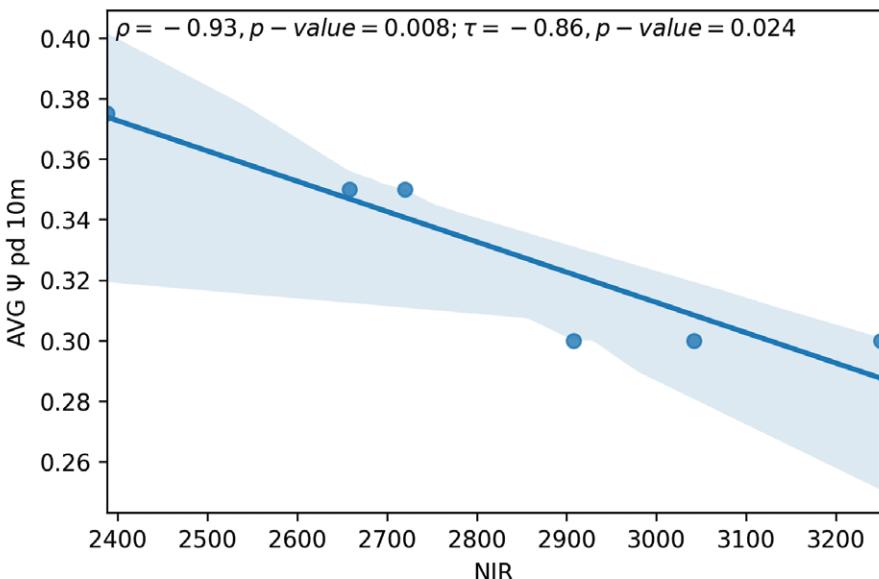


Figura 5: Retta di regressione: il potenziale idrico pre-alba e l'infrarosso vicino.

CONCLUSIONE

Con il monitoraggio dei vigneti nell’ambito del progetto Acquavitis si è rivelata una notevole applicabilità dei metodi di telerilevamento durante il controllo del potenziale o dello stress idrico nelle piante. Esistono vari strumenti tramite cui si ottengono informazioni diverse, che si distinguono per quanto riguarda l’accuratezza, la precisione e la componente temporale a seconda della piattaforma su cui vola lo strumento. Le riprese aeree e gli aeromobili a pilotaggio remoto forniscono rilevamenti estremamente precisi e impegnativi in tempistiche arbitrarie, invece le immagini satellitari possono catturare una superficie più ampia con frequenza di registrazione ogni due giorni. In aree su cui si estendono vasti vigneti, la sinergia di entrambe le piattaforme può fungere da strumento efficace per il monitoraggio delle condizioni vegetali e facilitare interventi tempestivi sulle piante.

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche nell'ambito del progetto Acquavitis sono state finanziate dal Fondo europeo di sviluppo regionale - Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Slovenia 2014-2020 e da fondi nazionali.



Cambiare l'acqua in vino: come modulare l'irrigazione per migliorare la qualità dei vini

Alberto Calderan^{1,2}, Alessandro Pichierri^{1,2}, Riccardo Braidotti¹,
Alessia Cogato¹, Giorgio Alberti¹, Enrico Peterlunger¹, Franco
Meggio³, Andreja Vanzo⁴, Klemen Lisjak⁴, Paolo Sivilotti^{1*}

¹ Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agro-alimentari,
Ambientali e Animali

² Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze della Vita,

³ Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti
Risorse Naturali e Ambiente

⁴ Istituto Agrario della Slovenia

*paolo.sivilotti@uniud.it

RIASSUNTO

La gestione dell'acqua è importante al fine di ottenere uve di qualità, ma non è facile determinare il fabbisogno idrico della vite soprattutto se si vuole mantenere una condizione di deficit. È stato perciò utilizzato un sistema di supporto alle decisioni che determina il volume irriguo da apportare in vigneto per mantenere un determinato livello di stato idrico della vite. In particolare in una prova effettuata su Pinot grigio è emerso come un livello di deficit idrico moderato consenta di risparmiare un notevole volume di acqua mantenendo una buona condizione fisiologica delle piante e una paragonabile qualità delle uve. In una seconda prova, condotta invece su Sauvignon, è stata simulata un'ondata di calore ed è emerso come quando quest'ultima era combinata ad una condizione di stress idrico portava ad un peggioramento della qualità dei vini percepita alla degustazione, sebbene la componente aromatica fosse maggiore. Da ultimo è stato valutato il fabbisogno idrico di una varietà di vite resistente alle malattie fungine, il Merlot Khorus, ed è emerso come il contributo della traspirazione era circa il 60 % dell'evapotraspirazione. In sintesi, le prove condotte permettono di evidenziare come in uno scenario futuro di aumento delle temperature e riduzione della disponibilità idrica, sarà possibile ottimizzare la qualità delle uve utilizzando un approccio di irrigazione in deficit, valutando il corretto fabbisogno idrico anche per le nuove varietà resistenti alle malattie e utilizzando strategie di gestione della chioma per evitare l'eccessivo riscaldamento delle uve che potrebbe agire negativamente sulla qualità delle uve e dei vini.

ABSTRACT

Water management is important in order to obtain quality grapes, but it is not easy to determine the grapevine water requirements, especially if we want to maintain a deficit condition. Therefore, a Decision Support System was used to determine the irrigation volume to apply to the vineyard in order to maintain a certain level of plant water status. In particular, in a trial carried out on Pinot grigio we understood that a moderate water deficit allows to save a considerable volume of water while maintaining a good physiological condition of the plants and a comparable good quality of the grapes. In a second trial, conducted on Sauvignon, a heat wave was simulated and we discovered that when this conditions were combined with drought, it led to a worsening of the quality of the wines perceived at tasting, although the aromatic concentration was higher. Lastly, the water requirements of a grapevine variety resistant to fungal diseases, Merlot Khorus, were assessed and we could demonstrate that the contribution of transpiration was about 60% of the total evapotranspiration.

In summary, the tests carried out allow us to highlight how in a future scenario of increase in temperatures and reduction of water availability,

it will be possible to optimize the quality of the grapes using a deficit irrigation approach, evaluating the correct water requirement even for the new diseases resistant varieties, and using canopy management strategies to avoid excessive heating of the grapes which could negatively affect the quality of the grapes and wines.

INTRODUZIONE

La disponibilità idrica è un fattore cruciale per la crescita e la fisiologia della vite e influenza, inoltre, i livelli di produzione e la qualità delle uve. È chiaro quindi che in diversi areali di produzione caratterizzati da basse precipitazioni, il ricorso all'irrigazione diviene una pratica fondamentale al fine di mantenere la sostenibilità economica della viticoltura. Il cambiamento climatico in atto comunque renderà necessaria l'implementazione dell'irrigazione in diversi areali viticoli poiché l'aumento delle temperature e la riduzione delle precipitazioni nel periodo estivo porteranno a condizioni di stress idrico sempre più forti che potenzialmente potrebbero minare sia la produttività che la qualità delle uve. L'aumento delle temperature causerà inoltre una riduzione delle risorse idriche a disposizione, e quindi sarà necessario minimizzare l'impronta idrica utilizzando strategie di irrigazione in deficit che consentano di ottimizzare l'efficienza d'uso dell'acqua. Questa pratica viene adottata di routine in diversi areali viticoli dove le precipitazioni mancano per tutto il periodo vegeto-produttivo; l'utilizzo di ridotti volumi di acqua permette di contenere lo sviluppo vegetativo, limitando le perdite per traspirazione e mantenendo un soddisfacente livello produttivo e di qualità delle uve. È risaputo però che condizioni di deficit idrico eccessivo risultano negative poiché portano a maturazioni incomplete e sbilanciate, soprattutto per quanto riguarda la componente polifenolica e aromatica.

La scarsità di acqua che ci aspettiamo in futuro ha spostato l'attenzione verso una gestione più precisa della risorsa idrica in viticoltura. In generale, in condizioni di stress moderato le piante tendono a ridurre le perdite d'acqua mantenendo comunque una buona efficienza fotosintetica. Le cosiddette *deficit irrigation strategies* si basano su piani di irrigazione che apportano solo una quota della perdita evapotraspirativa della coltura durante la stagione o durante particolari fasi fenologiche (Fereres e Soriano, 2007).

L'effetto del deficit idrico sullo sviluppo del frutto e sulla sua composizione varia a seconda del periodo di imposizione del deficit. Diversi ricercatori hanno evidenziato che l'effetto sulla crescita

del frutto è maggiore quando il deficit viene imposto nella fase erbacea dello sviluppo dell'acino (McCarthy 1997; Ojeda et al. 2002), ovvero nel periodo tra l'allegagione e l'invaiatura, in quanto può limitare la divisione e la distensione cellulare; se applicato nelle fasi successive invece può ridurre solo la distensione cellulare. La riduzione delle dimensioni della bacca si ripercuote alla raccolta in una riduzione della produttività della pianta (Williams e Matthews 1990). Inoltre, l'applicazione del deficit può influenzare anche la produttività delle piante nelle stagioni successive quando questo avviene nel periodo di differenziazione a fiore delle gemme, influenzando la loro fertilità potenziale e reale (Matthews e Anderson 1989).

La disponibilità idrica incide anche sull'aspetto qualitativo. I principali metaboliti primari accumulati nel frutto sono i solidi solubili, gli acidi organici e gli amminoacidi. In diversi studi emerge chiaramente come lo stress idrico consente di aumentare la concentrazione di zuccheri nelle uve. Non mancano comunque evidenze in cui questa componente non viene modificata o addirittura viene diminuita dallo stress. Un'area di produzione con temperature medie più limitate si avvantaggia di un deficit idrico controllato poiché la riduzione produttiva viene compensata da una maggiore concentrazione di zuccheri; al contrario, in un ambiente molto caldo, il deficit idrico potrebbe causare una limitazione fotosintetica che addirittura potrebbe ridurre l'accumulo di zuccheri nelle bacche (Chaves et al. 2010; Sivilotti et al. 2005). Gli acidi organici si accumulano nella fase che precede l'invaiatura, mentre in post-invaiatura la crescita del frutto e la degradazione dell'acido malico riducono progressivamente la loro concentrazione. Anche per questa componente, i risultati ottenuti in varie sperimentazioni in rapporto al deficit idrico non sono univoci (Sivilotti et al. 2005; Bucchetti et al. 2011; Herrera et al. 2015).

Nelle bacche d'uva si accumula un vasto spettro di composti polifenolici, raggruppabili nelle seguenti classi: stilbeni, flavonoli, antociani, catechine e le loro forme polimeriche chiamate proantocianidine (Castellarin et al., 2011). Questi composti vengono accumulati principalmente nei tessuti del seme e della buccia. Il deficit idrico influenza in modo significativo l'accumulo dei polifenoli del frutto; gli antociani in particolare sono quelli che hanno mostrato più sensibilità al deficit. Molti lavori hanno evidenziato che mosti e vini ottenuti da uve di piante sottoposte a deficit mostravano colorazioni più intense (Castellarin et al. 2007a, b; Bucchetti et al. 2011; Herrera et al. 2015). Il deficit non solo in-

fluenza l'accumulo di antociani nel frutto ma ne modifica anche la composizione, a favore di quelli trisostituiti nell'anello B e con grado di metilazione superiore (Castellarin et al. 2007a, b; Ollé et al. 2011).

Per quanto riguarda le proantocianidine (tannini), queste sono influenzate dal deficit idrico in maniera minore (Ojeda et al. 2002; Geny et al. 2003; Roby et al. 2004; Buccchetti et al. 2011; Herrera et al. 2015). In una prova condotta nell'ambito del progetto Interreg IT-SI AGROTUR II sulla varietà Refošk (Calderan et al. 2021), l'imposizione di due diversi livelli di deficit idrico non ha portato ad una modifica della concentrazione di proantocianidine nelle uve. Esaminando però nel dettaglio le caratteristiche strutturali, gli stessi autori hanno trovato un aumento del grado medio di polimerizzazione (mDP) e della percentuale di galloilazione (%G) delle proantocianidine nella situazione di deficit idrico più limitante. La stabilizzazione dei flavan-3-oli durante la maturazione coinvolge la %G, il mDP e l'interazione con le pareti cellulari e con il tonoplasto grazie sia a legami covalenti che a idrogeno. Quindi, è possibile ipotizzare che, in risposta allo stress, le uve possano sintetizzare proantocianidine maggiormente galloilate e con più alto mDP. A seguito di valutazioni delle modifiche nella struttura della parete cellulare, Bindon e Kennedy (2011) e Bindon et al. (2012) hanno visto che l'assorbimento delle proantocianidine sulle pareti cellulari cambia durante la maturazione, a favore di composti con mDP sempre maggiore. Risulta pertanto abbastanza complicato stabilire qual è la concentrazione di proantocianidine che si sintetizzano durante la maturazione poiché parte di esse, una volta bloccate sulle pareti cellulari, non sono più estraibili. Nel caso dei vinaccioli, fino alla fase translucida vi è un accumulo molto alto di proantocianidine che anche qui possono interagire con le pareti cellulari, ma a seguito della disidratazione parte di esse vengono ossidate e quindi non possono essere estratte (Kennedy et al. 2000). Calderan et al. (2021) hanno osservato che la componente estraibile delle proantocianidine dei vinaccioli nel livello di deficit idrico più limitante presentava livelli di mDP e %G superiori rispetto ad un regime idrico più alto.

Una delle componenti più importanti nel determinare la qualità dei vini è sicuramente quella aromatica. Nonostante la sua importanza, le informazioni a disposizione sui composti che la determinano e su come la sintesi di questi composti nelle uve sia modulata dai fattori esogeni non sono del tutto esaustive. L'aroma dei vini è determinato da un complesso spettro di metaboliti secondari volatili che

vengono sintetizzati nelle uve, spesso sotto forma di precursori non volatili, e trasferiti ai vini durante la fermentazione. Al momento, i dati a disposizione della comunità scientifica riguardano soprattutto la componente aromatica dei vini e l'influenza dei fattori ambientali e delle pratiche agronomiche sulla stessa mentre ancora poco si sa sull'effetto del deficit idrico sull'accumulo dei metaboliti volatili nelle uve. Due studi condotti nell'ambito del progetto Interreg IT-SI VISO hanno messo in evidenza come alcuni precursori aromatici fossero presenti nelle uve in stress idrico a livelli maggiori di concentrazione (Savoi et al. 2016; Savoi et al. 2017). Nel caso del Sauvignon blanc, Peyrot Des Gachons et al. (2005) hanno evidenziato un maggiore accumulo dei precursori tiolici (S-cisteina) nelle uve sottoposte a un deficit idrico moderato mentre un deficit severo si è dimostrato limitante per la produzione di questi composti. Altre ricerche hanno messo in evidenza come il deficit idrico favorisca l'accumulo di vitispirano e β -damascenone mentre diminuisca la concentrazione di β -ionone (Qian et al. 2009; Ou et al. 2010). Inoltre, gli alcoli terpenici, linalolo, citronellolo, nerolo, geraniolo e nerolidolo, erano presenti a concentrazioni maggiori nei vini prodotti da piante sottoposte a deficit (Ou et al. 2010). Alcuni risultati non ancora pubblicati hanno messo in luce che il deficit idrico imposto in pre-invaiatura promuove la biosintesi di tutti i precursori aromatici nelle uve, mentre l'applicazione più tardiva sembra non avere nessun effetto (Faralli, comunicazione personale).

Effetti delle ondate di calore

Lo sviluppo della bacca e la crescita della pianta sono strettamente correlati alle variazioni di temperatura ambientali (Cramer et al., 2010). Anche se la vite viene ritenuta una coltura con una buona capacità di adattamento alle fluttuazioni di calore, uno stress estremo o di lunga durata può causare dei danni irreversibili; può influenzare il corretto sviluppo e il metabolismo delle bacche con conseguenze sulla qualità dell'uva, del mosto e del vino che verrà prodotto (Jones e Alves, 2012). Gli effetti più eclatanti si osservano nella fenologia della pianta (Venios et al., 2020), con anticipi nella data di vendemmia anche di 25 giorni (Koch e Oehl, 2018). Ovviamente una maturazione anticipata porterà alla produzione di vini sbilanciati nel rapporto zuccheri/acidi, con caratteristiche aromatiche non tipiche della zona di produzione. L'effetto fisiologico principale causato dalle alte temperature è la diminuzione della fotosintesi (Sharma et al., 2019). Nel caso della vite, la tempera-

tura ottimale per la fotosintesi va dai 25 °C ai 35 °C, mentre con valori maggiori di 35 °C si attivano dei meccanismi di protezione; al di sopra dei 40 °C l'apparato fotosintetico viene danneggiato irreversibilmente (Kun et al., 2018). L'inibizione della fotosintesi può portare a riduzione della produzione, con una riduzione della dimensione e del peso delle bacche (Greer e Weedon, 2013).

Gli effetti delle ondate di calore sulla qualità della produzione sono strettamente correlati alla possibile concomitanza con il deficit idrico (Zarrouk et al., 2016). Martinez-Luscher et al. (2020), analizzando l'effetto di due regimi idrici differenti in Cabernet Sauvignon, hanno confermato che in seguito a un'ondata di calore della durata di 4 giorni il 25% delle bacche era stato danneggiato. Alte temperature portano ad avere mosti con un'alta concentrazione di zuccheri e di conseguenza vini con eccessi di alcol. Al contrario, con l'aumentare della temperatura diminuisce l'acidità titolabile, questo perché l'acido malico è metabolizzato molto più velocemente soprattutto in situazioni di temperature maggiori di 40 °C (Keller, 2010). Direttamente correlato con l'acidità titolabile, anche il pH subisce delle variazioni. In condizioni di stress la bacca a maturità tende ad aumentare la concentrazione di potassio, quindi il pH e di conseguenza diminuisce l'acidità (Bernardo et al., 2018).

La biosintesi delle antocianine raggiunge un optimum di temperatura a 30 °C, oltre i 35 °C questa viene inibita. Le antocianine sono altamente suscettibili alla degradazione termica (Venios et al., 2020) perché in condizioni di estremo calore viene aumentata l'attività degradativa delle perossidasi. A causa del continuo aumento delle temperature, si osserva anche un disaccoppiamento tra maturità tecnologica e fenolica. Questo effetto porta a situazioni in cui il repentino accumulo degli zuccheri avviene precocemente rispetto all'accumulo degli antociani portando a situazioni in cui la maturità tecnologica non corrisponde a quella fenolica (Yan et al., 2020). Per quanto riguarda l'effetto delle temperature sui tannini, invece, questo non è ancora ben definito (Pastore et al., 2017; Yan et al., 2020).

Nella vite l'impatto della temperatura sugli aromi non è ancora ben chiarito e non sono stati trovati particolari effetti dati dalla sola temperatura. Rienth et al. (2021) affermano che con l'aumentare delle temperature aumenta la sintesi e l'emissione di composti terpenici anche se l'optimum di temperatura per la loro biosintesi va dai 10 °C ai 20 °C. Le alte temperature fanno sì che gli aromi siano più volatili e quindi maggiore e più veloce sarà la loro

perdita. I vini prodotti in regioni fresche hanno un contenuto pirazinico maggiore (Rienth et al., 2021); non è ben chiaro ancora se le alte temperature favoriscono la degradazione dei norisoprenoidi e delle metossipirazine. Infine, è stato osservato un aumento dei precursori del 3MH (Glut-3MH e Cyst-3MH) in bacche di Sauvignon sottoposte a stress termico (Kobayashi et al., 2011), anche se, in uno studio condotto da Sivilotti et al. (2017) sulla stessa varietà, solamente il Glut-3MH è aumentato significativamente a seguito di interventi di defogliazione che promuovevano un aumento termico nella fascia grappoli. Gli studi in merito all'effetto della temperatura, in particolare sui composti tiolici, sono ancora pochi e molto recenti. Sicuramente, in vista dei progressivi cambiamenti climatici questo, come anche l'effetto dello stress idrico, sarà un argomento che verrà più approfondito con studi e ricerche.

Metodi di studio del fabbisogno idrico e irrigazione in deficit

Tra gli strumenti di studio più utilizzati per la valutazione del fabbisogno idrico di una coltura, certamente merita menzione il lisimetro, un container di grandi dimensioni poggiato su una bilancia che registra in continuo le variazioni di peso legate alla traspirazione delle piante e all'evaporazione del terreno. L'acquisto di una struttura lisimetrica rappresenta comunque un esborso monetario non indifferente, per cui molte volte si fa riferimento all'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) calcolata con variabili meteorologiche, e si applica un coefficiente culturale che varia in relazione alla coltura e allo stadio fenologico. Normalmente si fa riferimento ai coefficienti culturali proposti dalla FAO. Sulla base di quanto detto sopra, potremmo impostare una situazione di deficit idrico semplicemente restituendo una percentuale di fabbisogno idrico; facendo così però non seguiamo lo stato idrico della pianta ma la disponibilità di acqua nel terreno e in certi casi potrebbero presentarsi situazioni di stress idrico eccessivo.

Ojeda (2008) ha presentato un modello di irrigazione che si basa sul livello del potenziale idrico prima dell'alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$); nelle fasi fenologiche che vanno dalla fine della fioritura fino alla raccolta delle uve, l'autore indica di considerare valori via via più negativi di questo parametro per ottenere rispettivamente vini rossi semplici o di qualità elevata. Non è semplice comunque mantenere un livello predefinito di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ poiché le piante si adattano alle condizioni imposte, e in climi abbastanza piovosi il modello potrebbe fallire in quanto calibrato in ambienti più aridi.

Nell'ambito del progetto Interreg IT-SI Acquavitis sono state impostate diverse prove con l'obiettivo di determinare: 1. i valori di evapotraspirazione della coltura utilizzando una piattaforma lisimetrica, e 2. l'effetto di due o tre livelli di deficit idrico impostati dalla post-fioritura alla raccolta sulla qualità delle uve e dei vini. Inoltre, con queste prove si voleva verificare l'attendibilità di un *Decision Support System -DSS* commerciale. Infine, è stata messa in campo una prova combinata di stress idrico e termico al fine di dare una risposta ai viticoltori su quali potrebbero essere le ripercussioni del “*global warming*” sulla fisiologia della pianta e sulla qualità delle uve e dei vini.

MATERIALI E METODI

Nell'ambito del progetto Acquavitis si è cercato di ampliare le conoscenze utili a mitigare gli effetti negativi legati ai cambiamenti climatici e a controllare il fabbisogno idrico delle piante. Sono state impostate alcune prove sperimentali per valutare l'influenza della carenza idrica, anche in combinazione con ondate di calore, sullo stato fisiologico delle piante di vite e sulla produzione e qualità delle uve e dei vini.

PROVA 1: Udine - Pinot grigio

Questa prova è nata con lo scopo di indagare le differenze sulle capacità produttive del Pinot grigio sottoposto a differenti regimi idrici, per definire le modalità di gestione del fabbisogno idrico necessarie a garantire una discreta produzione e qualità delle uve, risparmiando al tempo stesso gli input di acqua. La prova è stata condotta tra giugno e settembre 2021, presso l'Azienda Agraria “A. Servadei” dell'Università degli Studi di Udine, applicando su 3 filari contigui 3 regimi idrici differenti tra fioritura e maturazione delle uve. Le tre tesi a confronto sono state:

- CON, controllo irrigato mantenendo il potenziale idrico prima dell'alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) a valori medi di -0.2 MPa per tutta la stagione
- MS, moderato stress idrico; in questo caso il $\Psi_{\text{pre-alba}}$ è stato impostato a -0.35 MPa tra fioritura e maturazione
- SS, stress idrico severo, mantenendo il $\Psi_{\text{pre-alba}}$ a -0.55 MPa tra fioritura e maturazione

Le irrigazioni sono state differenziate utilizzando il sistema di supporto alle decisioni (DSS) Vintel®. Tramite tale modello è possibile definire lungo i vari stadi vegetativi le soglie desiderate di $\Psi_{\text{pre-alba}}$

e ricevere i relativi apporti irrigui consigliati per mantenere ciascuna soglia. I dati meteo utilizzati sono stati raccolti dalla centralina Siap/MICROS di “Udine S.O.” (ARPA FVG-OSMER, <http://www.meteo.fvg.it/>) posta nelle immediate vicinanze del vigneto. Per ogni tesi sono state individuate 4 repliche composte da 10 piante ciascuna, sulle quali è stato misurato il $\Psi_{\text{pre-alba}}$, il potenziale del fusto (Ψ_{fusto}) e quello della foglia (Ψ_{foglia}) utilizzando la camera di Scholander. A partire dall’invaiatura è stata valutata l’evoluzione dei parametri di maturazione delle uve (solidi solubili, acidità titolabile e pH) e i parametri di produzione alla raccolta. Le uve vendemmiate per ogni parcella sono state microvinificate e i vini sono stati sottoposti ad analisi della componente aromatica varietale (Comuzzo et al. 2018), della componente dei tioli (Suklje et al. 2013) e ad analisi sensoriali grazie alla presenza di un panel di esperti del territorio friulano (Foto 1).



Foto 1: Vini di Pinot grigio utilizzati nella valutazione organolettica (in alto) e panel di degustazione in opera presso la sala degustazione dell’Università degli Studi di Udine (in basso).

PROVA 2: San Vito al Tagliamento - Glera

Questa prova, simile alla precedente, è stata condotta in un vigneto di Glera a San Vito al Tagliamento. Il terreno di questo vigneto presenta caratteristiche molto diverse dal precedente. Ha una tessitura franco-argillosa con scheletro assente, per cui vi è parecchia disponibilità di acqua durante l'estate. Diversamente dalla prova 1, sono stati impostati due regimi idrici a confronto nelle due stagioni successive 2020 e 2021. Le tesi a confronto sono state:

- CON, controllo irrigato mantenendo il $\Psi_{\text{pre-alba}}$ a valori medi di -0.2 MPa fino alla fioritura e poi -0.35 MPa fino tra fioritura e maturazione
- MS, moderato stress idrico; in questo caso il $\Psi_{\text{pre-alba}}$ è stato impostato a -0.45 MPa tra fioritura e maturazione

Anche in questa prova le indicazioni di irrigazione sono state fornite dal DSS Vintel® ma diversamente dal sito di Udine, è stato eseguito un solo intervento irriguo per stagione. I dati meteo utilizzati sono stati raccolti dalla centralina Siap/MICROS di “San Vito al Tagliamento” (ARPA FVG-OSMER, <http://www.meteo.fvg.it/>) posta a circa 2 km di distanza dal vigneto. Per ogni tesi sono state individuate 4 repliche composte da 10 piante ciascuna sulle quali è stato misurato il Ψ_{fusto} . A partire dall'invaiatura è stata valutata l'evoluzione dei parametri di maturazione delle uve (solidi solubili, acidità titolabile e pH). Le uve vendemmiate per ogni parcella nel 2021 sono state microvinificate e spumantizzate e i vini sono stati sottoposti ad analisi della componente aromatica (Comuzzo et al. 2018) e ad analisi sensoriale effettuate con lo stesso panel della prova 1.

PROVA 3. Combinazione di stress idrico e termico

Questa prova è stata condotta in un vigneto commerciale di Sauvignon blanc a Seqquals (D.O.C. Friuli Grave). Il terreno dove il vigneto cresce presenta abbondante scheletro (>50%) e una tessitura franca. Sulla prova sono state messe a confronto 4 tesi con 4 repliche/tesi utilizzando un piano sperimentale completamente randomizzato. Le tesi a confronti erano:

- CON, controllo
- HS, stress termico, ottenuto applicando un film EVA su entrambi i lati della fila, ovvero creando una serra aperta in alto che creava un aumento di temperatura a livello dei grappoli (Foto 2)

- WS, stress idrico, ottenuto coprendo il suolo dei due inter-filari con lo stesso film
- WS/HS, stress idrico e termico combinati



Foto 2: Impostazione della prova di stress idrico e termico nel vigneto di Sequals. I teli posizionati obliqui hanno creato lo stress termico, mentre quelli posizionati sul suolo lo stress idrico.

Lo stress idrico è stato applicato dal 20/07/2021, mentre lo stress termico dal 04/08/21; entrambi gli stress sono terminati il 10/09/21. Due stazioni meteorologiche sono state inserite all'interno della chioma delle tesi CON e HS al fine di monitorare in continuo la temperatura dell'aria e l'umidità relativa.

In tutto il periodo della prova sono stati misurati nelle ore centrali della giornata il Ψ_{fusto} utilizzando la camera di Scholander e la conduttanza stomatica (g_s) tramite un porometro LI-600 (©LiCor, Inc., NE, USA). Durante la maturazione da ogni parcella sono stati raccolti campioni di 60 bacche per l'analisi delle componenti tecnologiche di maturazione (solidi solubili, acidità titolabile e pH). Un altro set di 40 bacche è stato raccolto in azoto liquido e subito congelato a -80 °C per l'analisi dei precursori tiolici delle uve. L'analisi di questa componente è stata effettuata utilizzando il protocollo analitico descritto in Vanzo et al. (2017). All'ultima data di campionamento, coincidente con la vendemmia, da ciascuna par-

cella sono state raccolte le uve della fascia riscaldata (circa 20 cm al di sopra della camera aperta) che sono state sottoposte a microvinificazione. Alla fine della fermentazione sono stati raccolti campioni di vino per l'analisi della componente tiolica utilizzando il metodo di Suklje et al. (2013). Inoltre, i vini sono stati esaminati da un panel di esperti per identificare le modificazioni intervenute sui descrittori organolettici e sensoriali dei vini.

PROVA 4 - Lisimetri

Presso l'Azienda Agraria dell'Università degli Studi di Udine è presente un set-up di 16 lisimetri che sono stati utilizzati per valutare il consumo idrico della vite nelle stagioni 2020 e 2021 (Foto 3). La prova è stata condotta utilizzando una varietà resistente alle patologie fungine, il Merlot Khorus. Ogni lisimetro è rappresentato da un container cubico di 1,5 m di lato in cui è stata piantata una vite nel 2016. Due dei 16 lisimetri sono posizionati su bilancia (modello FCAL300, ©Laumas electronics, ITA) ad elevata risoluzione connessa ad un datalogger che raccoglie in continuo i dati del peso. Il suolo è stato mantenuto libero da inerbimento per tutta la stagione. Per evitare l'apporto idrico della pioggia, i lisimetri possono essere coperti da un tetto mobile che viene azionato da un sensore di bagnatura. Ogni giorno i lisimetri sono stati irrigati in automatico restituendo alle viti la quota di acqua persa nella giornata precedente. In questa maniera è stato possibile seguire esattamente le necessità idriche delle viti. Assieme alla valutazio-



Foto 3: Set up di lisimetri presso l'Azienda Agraria Servadei. In fondo si può notare il tetto mobile che viene azionato all'inizio di una pioggia grazie ad un sensore di bagnatura.

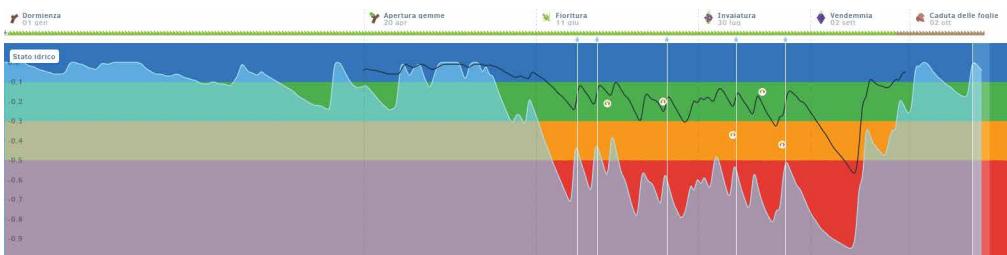
ne dell'evapotraspirazione reale, è stata misurata la traspirazione in continuo utilizzando dei sensori di flusso della linfa xilematica connessi anch'essi ad un datalogger.

RISULTATI

PROVA 1: Udine - Pinot grigio

Durante la stagione estiva 2021, i valori del potenziale idrico $\Psi_{\text{pre-alba}}$ hanno evidenziato un trend con valori in riduzione che si sono differenziati nelle tre tesi di irrigazione a confronto soprattutto nelle fasi finali della stagione, quest'ultima caratterizzata da limitate precipitazioni e da richieste evaporative elevate. La tesi CON ben irrigata ha mostrato valori di $\Psi_{\text{pre-alba}}$ maggiori, indicando uno stato idrico della pianta migliore rispetto alle altre due tesi sottoposte a deficit idrico. Dunque, le indicazioni fornite dal DSS Vintel® sono state efficaci nel differenziare le tre strategie irrigue a confronto. Per quanto concerne le strategie CON e MS i valori del $\Psi_{\text{pre-alba}}$ rilevati in campo sono stati in accordo con quanto previsto dalla piattaforma, mentre è emersa una moderata sovrastima dello stesso parametro per la tesi SS nelle ultime fasi dell'esperimento (Figura 1).





Nelle fasi finali della maturazione delle uve, le piante della tesi SS hanno evidenziato una quota importante di senescenza fogliare, mentre nel caso della tesi MS solamente poche foglie attorno ai grappoli hanno mostrato lo stesso fenomeno (Foto 4).

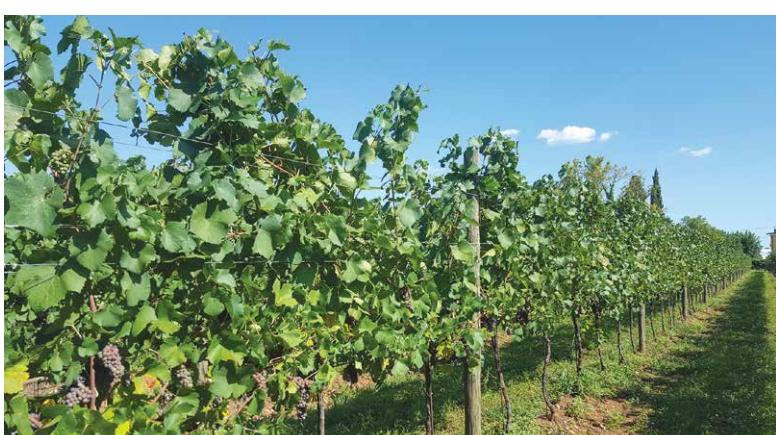




Foto 4: Situazione della vegetazione a metà agosto nelle tesi CON (in alto), MS (al centro) e SS (in basso).

Per ciò che concerne l'andamento dei parametri di maturazione delle bacche, è emersa una differenza netta nell'accumulo di solidi solubili tra le diverse strategie irrigue (Tabella 1). La tesi CON ha evidenziato valori maggiori di solidi solubili rispetto alle strategie MS e SS che non si sono differenziate in maniera significativa. Nonostante non si siano registrate differenze così nette per gli altri parametri della maturazione delle uve, si sottolineano valori tendenzialmente inferiori di acidità titolabile nelle uve delle strategie in deficit idrico. Al contrario, sono stati rilevati valori di pH tendenzialmente più alti nelle stesse uve. Anche per quanto riguarda i parametri produttivi si evidenziano andamenti diversi tra la tesi CON e le tesi sottoposte a stress idrico. Infatti, il peso medio dei grappoli è risultato leggermente superiore nella tesi CON, come pure la produzione per pianta.

Tabella 1: Effetto del regime idrico sulle caratteristiche produttive e di maturazione delle uve del Pinot grigio presso l'Azienda Agraria A. Servadei nel 2021. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a una via (n.s., differenze non significative; ** medie significativamente differenti per $p<0.01$). Quando il test è risultato significativo, le medie sono state separate con il test di Student-Newman Keuls ($p<0.05$; lettere uguali rappresentano medie non significativamente differenti).

		CON	MS	SS	sign. F
caratteristiche produttive	numero grappoli	27.85	26.94	27.97	ns
	produzione (kg/pianta)	3.15	2.76	2.89	ns
	peso medio grappolo (g)	116.23	102.24	104.66	ns
maturazione delle uve	solidi solubili (Brix)	17.43 a	16.45 b	16.95 b	**
	acidità titolabile (g/L)	8.58	8.51	8.85	ns
	pH	3.21	3.21	3.20	ns

Passando ai risultati ottenuti sui vini, le analisi della componente aromatica non hanno evidenziato differenze significative tra le tesi. Esaminando nel dettaglio le diverse classi aromatiche, emergono valori tendenzialmente più alti nella strategia irrigua MS, mentre nella condizione più limitante (SS) si può notare come venga ridotta la concentrazione dei terpeni (Tabella 2). Al pari di quanto appena visto, anche per la componente tiolica sono emersi valori tendenzialmente più bassi di 3-mercaproesano (3MH) nella tesi più in stress (Tabella 2). In ogni caso, l'analisi organolettica dei vini non ha permesso di confermare le differenze tra le tre tesi a confronto.

Tabella 2: Effetto del regime idrico sulla concentrazione delle principali classi aromatiche analizzate nei vini Pinot grigio nel 2021. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a una via (n.s., differenze non significative).

	CON	MS	SS	sign. F
terpeni (ug/L)	39.9	36.2	25.2	ns
norisoprenoidi (ug/L)	10.1	16.0	14.0	ns
alcoli (ug/L)	583.5	800.0	693.5	ns
esteri (ug/L)	93.3	128.6	89.5	ns
acidi (ug/L)	34.8	37.9	39.3	ns
3-mercaptoesano (3MH)	725.0	734.6	626.0	ns

La prova condotta nel 2021 su Pinot grigio ha evidenziato che in questi tipi di terreni l'utilizzo del DSS Vintel® ha permesso di seguire l'evoluzione del $\Psi_{\text{pre-alba}}$ mantenendo tre situazioni di stato idrico ben differenziate. In relazione ai risultati ottenuti è evidente che la strategia MS ha permesso di risparmiare una quota importante di acqua (circa 35 mm), mantenendo le piante in una buona condizione fisiologica. Inoltre, i vini sono risultati qualitativamente al pari della strategia irrigata CON.

PROVA 2: San Vito al Tagliamento - Glera

Questa prova di irrigazione, condotta in due annate successive, non ha permesso di creare due situazioni di stato idrico particolarmente diverse tra le tesi a confronto, principalmente a causa delle caratteristiche dei terreni particolarmente argillosi che hanno mantenuto una situazione idrica ottimale per le piante per tutto il periodo estivo. Infatti, nelle due annate vi è stato un solo

intervento irriguo impostato sulla tesi CON, e questo è stato molto probabilmente insufficiente a creare differenze nel trend del $\Psi_{\text{pre-alba}}$ o nelle curve di maturazione. Nel 2021 le uve raccolte sono state microvinificate e spumantizzate, e il panel non è riuscito a trovare delle differenze tra le due strategie irrigue a confronto. Le condizioni non hanno dunque permesso di ottenere una differenza tra le due strategie irrigue applicate. Pertanto, la prova dovrebbe essere ripetuta in una stagione molto siccitosa per permettere di differenziare le tesi.

PROVA 3: Combinazione di stress idrico e termico

I risultati ottenuti nella prova condotta a Seqals hanno messo in evidenza gli effetti dello stress idrico, di quello termico e della loro combinazione su diversi aspetti fisiologici delle piante di Sauvignon blanc. Lo stato idrico, misurato con il Ψ_{fusto} , è stato influenzato soprattutto dallo stress idrico mentre la simulazione dell'ondata di calore ha avuto un effetto molto più limitato. Durante la simulazione dell'ondata di calore, la temperatura della zona della fascia dei grappoli ha subito un aumento quantificabile tra i 4 e i 5 °C nelle ore centrali della giornata, mentre incrementi più limitati sono stati osservati durante le altre ore del giorno e quasi nulli durante la notte (Figura 2).

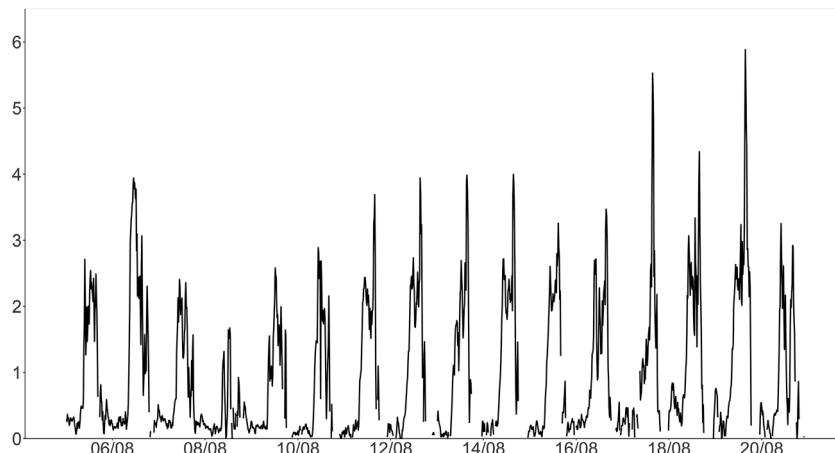


Figura 2: Aumento di temperatura nella zona della fascia grappoli indotta dal trattamento termico imposto.

Durante la maturazione, le uve non hanno evidenziato delle differenze significative tra le tesi a confronto in termini di accumulo di solidi solubili. Diversamente, il livello di acidità titolabile è risultato inferiore nelle tesi WS e WS/HS (Tabella 3).

*Tabella 3: Effetto dello stress termico (HS), dello stress idrico (WS) e combinato (WS/HS) sui parametri tecnologici di maturazione delle uve e sulla concentrazione dei precursori dei tioli alla data di vendemmia del Sauvignon blanc a Seqals nel 2021. I dati sono stati sottoposti ad ANOVA a una via (n.s., differenze non significative, **, differenze significative per p<0.01). Quando il test è risultato significativo, le medie sono state separate con il test di Student-Newman Keuls (p<0.05; lettere uguali rappresentano medie non significativamente differenti).*

	CON	HS	WS	WS/HS	sign. F
solidi solubili (°Brix)	20.8	20.0	20.2	20.4	ns
acidità titolabile (g/L)	10.9 a	10.6 a	9.25 b	9.38 b	**
pH	3.12	3.10	3.12	3.13	ns
Cys4MMP	2.33	2.87	1.91	3.39	ns
CysMH	0.36	0.31	0.55	0.90	ns
G4MMP	0.20	0.22	0.23	0.43	ns
G3MH	0.36 b	0.26 b	0.48 b	0.67 a	**

Il livello di precursori di tioli è risultato più alto nella tesi combinata WS/HS, anche se valori più alti del controllo sono emersi per i precursori del 3MH anche per la condizione di solo stress idrico. Al pari di quanto visto sulle uve, l'analisi effettuata sui vini ottenuti dalle stesse uve ha evidenziato che la concentrazione del 3MH era aumentata nel caso delle tesi HS, WS e WS/HS. Non è emersa invece una chiara correlazione tra livello di precursori e concentrazioni nel vino del 4MMP (dati non riportati). Il panel di degustazione ha evidenziato alcune differenze, e soprattutto la percezione acidica è risultata significativamente più bassa nelle tesi WS e WS/HS. Inoltre, per quest'ultima tesi le valutazioni hanno penalizzato l'intensità olfattiva, il tropicale e l'agrume, descrittori che principalmente descrivono la qualità del Sauvignon blanc (Figura 3). I risultati di questo esperimento permettono di comprendere che il cambiamento climatico potrà influenzare la fisiologia delle piante e la qualità delle uve e che le ondate di calore che sempre più caratterizzeranno gli ambienti trans-frontalieri potrebbero penalizzare la qualità di questi vini soprattutto se non ci sarà modo di irrigare i vigneti.

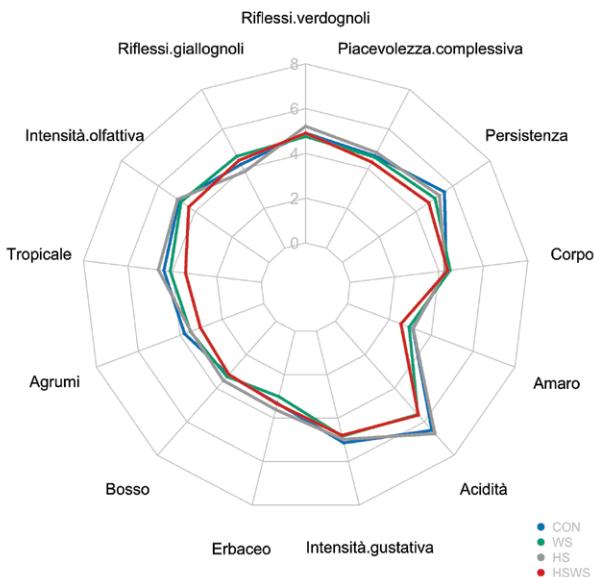


Figura 3: Effetto dello stress termico (HS), dello stress idrico (WS) e combinato (WS/HS) sui descrittori organolettici dei vini Sauvignon blanc prodotti con le uve vendemmiate a Sequals nel 2021.

PROVA 4: lisimetri

La prova condotta presso la struttura lisimetrica ha evidenziato che nelle condizioni di coltivazione del Friuli Venezia Giulia, i consumi idrici potenziali possono essere anche molto elevati, in particolare per le nuove varietà ibride resistenti alle malattie fungine. Dallo studio del comportamento del Merlot Khorus, il cui fabbisogno idrico non era mai stato testato in precedenza, emerge un notevole consumo di acqua che risulta proporzionato all'abbondante vigore varietale. In particolare, durante il periodo estivo il fabbisogno evapotraspirativo medio giornaliero ammontava a 4.9 mm e 6.1 mm rispettivamente nelle annate 2020 e 2021 (Figura 4). Questa differenza era legata principalmente alla diversa domanda evaporativa dell'atmosfera, molto superiore nel 2021, a causa delle elevate temperature e delle basse umidità relative. Considerando la sola componente traspirativa, misurata con i sensori di flusso xilematico, questa ha inciso mediamente per un 60% nei due anni nel bilancio idrico, e la quota residua era legata alla perdita di acqua per evaporazione del suolo o per percolazione profonda.

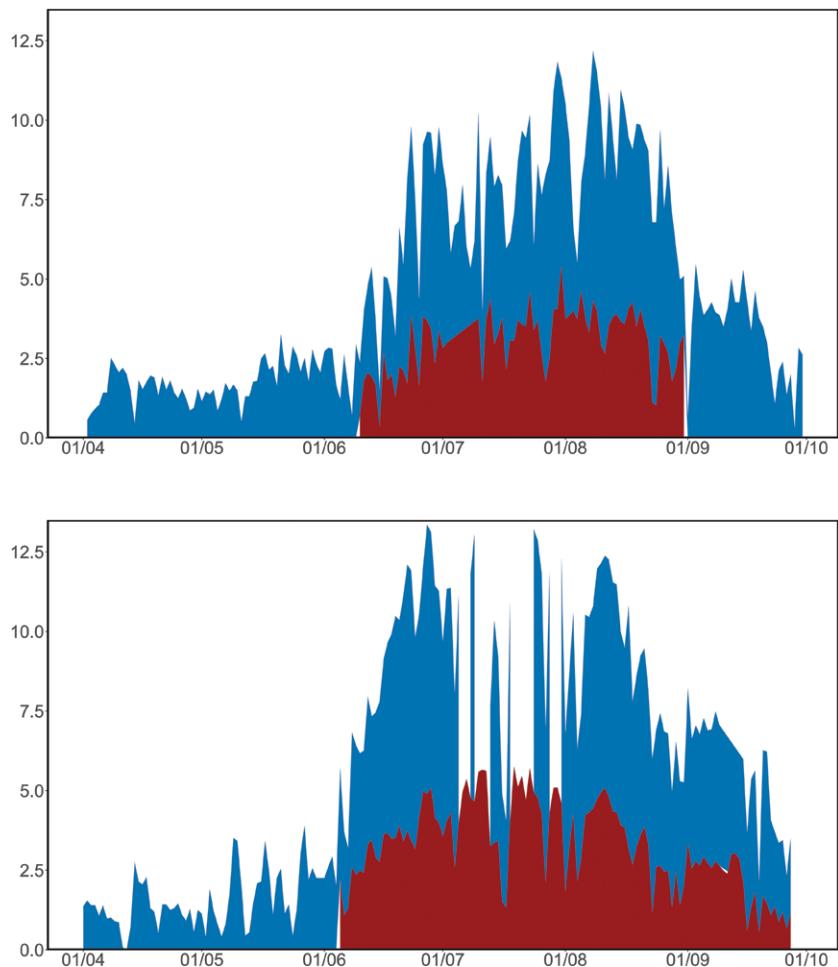


Figura 4: Andamento dell'evapotraspirazione della vite sui lisimetri (in blu) e della sola traspirazione (in rosso) negli anni 2020 (in alto) e 2021 (in basso). Il dato di traspirazione è stato raccolto solamente nella parte centrale della stagione vegetativa.

Durante le due stagioni, i dati di fisiologia raccolti hanno permesso di evidenziare uno stato idrico molto buono delle piante con valori di Ψ_{fusto} che non sono mai scesi sotto i - 0.5 MPa. Le misure ottenute con i lisimetri dimostrano che i fabbisogni idrici della vite nel territorio d'indagine sono molto superiori rispetto a quanto stimato dalla FAO per altri territori. Questo è probabilmente da mettere in relazione alle condizioni ambientali che permettono una maggiore crescita vegetativa delle piante e quindi una maggiore perdita di acqua per traspirazione. La conoscenza dei fabbisogni idrici reali della vite nei nostri ambienti è utile al fine di impostare

dei programmi di irrigazione in deficit che potrebbero diventare troppo limitanti se si considerassero i valori universalmente adottati di fabbisogno idrico della vite.

CONCLUSIONI

I dati raccolti in questo biennio di prove assieme ai risultati di altri progetti condotti in passato, ci permettono di trarre alcune conclusioni e di ricavare alcune linee guida per l'irrigazione dei vigneti. Una delle cose importanti che emerge dall'esame dei risultati è che le modifiche delle frazioni qualitative delle uve si ottengono solamente quando lo stress idrico è importante, e queste possono essere positive o negative a seconda della varietà e del tipo di vino che si vuole produrre. Inoltre, il fatto di non ottenere differenze tra le strategie di irrigazione non deve essere visto come un risultato negativo, anzi, in un'ottica di riduzione della disponibilità idrica, poter mantenere la qualità delle uve e dei vini riducendo l'irrigazione è sicuramente un risultato importante.

L'utilizzo di un DSS quale Vintel® ha permesso al nostro gruppo di creare tre situazioni di deficit idrico nel caso del Pinot grigio e due per la Glera. Il sistema è stato efficace nel predire i volumi irrigui ma necessita di calibrazione lungo più stagioni e in diversi tipi di terreni. È necessario quindi calibrare per le diverse realtà le soglie al di sotto delle quali non ci si può spingere per evitare danni fisiologici per le piante e peggioramenti qualitativi delle uve.

Inoltre, con la prova condotta sui lisimetri è emerso che il fabbisogno idrico della vite nei nostri ambienti trans-frontalieri risulta molto maggiore rispetto ad altre aree viticole più aride. Questo è legato soprattutto alla vigoria varietale stimolata dalle abbondanti piogge che si verificano anche nel corso del periodo di crescita vegetativa.

Da ultimo, la simulazione delle ondate di calore nel sito di Spilimbergo, ha permesso di verificare che, a fronte di un aumento termico di 4-5 °C la qualità delle uve e dei vini non ha subito profonde modificazioni, anche in presenza di stress idrico. L'analisi organolettica dei vini ha però evidenziato che lo stress idrico riduce la percezione acidica dei vini e quindi la loro freschezza e, quando combinato con lo stress termico, anche i descrittori tipici del Sauvignon blanc vengono penalizzati. Questi risultati devono far pensare i viticoltori del futuro, che necessiteranno sempre più dell'irrigazione per mantenere la qualità delle uve a bacca bianca aromatiche.

Parlando di linee guida, i fattori che interferiscono sono molteplici. Comunque, risulta necessario valutare in dettaglio le richieste idriche della vite e mantenere situazioni di deficit idrico nelle fasi che vanno dall'allegagione alla maturazione delle uve per massimizzare la qualità. Qui possono venire in aiuto i DSS che permettono di riassumere i parametri del bilancio idrico e la disponibilità di acqua per la pianta. In relazione alle varietà coltivate, è chiaro che non è possibile impostare deficit limitanti per le basi spumante e per le uve bianche aromatiche, mentre possono diventare fondamentali nel caso di uve a bacca nera soprattutto se destinate a produzioni di elevata qualità.

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche nell'ambito del progetto Acquavitis sono state finite dal Fondo europeo di sviluppo regionale - Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Slovenia 2014-2020 e da fondi nazionali.

BIBLIOGRAFIA

- Bernardo, S., Dinis, L.T., Machado, N. e Moutinho-Pereira, J. 2018. Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review. *Agron. Sustain.* 38, 66.
- Bindon, K.A. e Kennedy, J.A., 2011. Ripening-induced changes in grape skin proanthocyanidins modify their interaction with cell walls. *J. Agric. Food Chem.* 59, 2696-2707.
- Bindon, K.A., Bacic, A. e Kennedy, J.A., 2012. Tissue-specific and developmental modifications of grape cell walls influence the adsorption of proanthocyanidins. *J. Agric. Food Chem.* 60, 9249-9260.
- Bucchetti, B., Matthews, M., Falginella, L., Peterlunger E. e Castellarin, S.D. 2011 Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Sci. Hort.* 128, 297-305.
- Calderan, A., Sivilotti, P., Braidotti, R., Mihelčič, A., Lisjak, K. e Vanzo, A. 2021. Managing moderate water deficit increased anthocyanins concentration and proanthocyanidins galloylation in Refošk grapes in North-Eastern Italy. *Agric. Water Manag.* 246, 106684.
- Castellarin, S.D., Matthews, M., Di Gaspero G. e Gambetta, G.A. 2007a Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berry. *Planta* 227, 101-112.
- Castellarin, S.D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E. e Di Gaspero, G. 2007b Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ.* 30, 138-1399.

- Castellarin, S.D., Buccetti, B., Falginella, L. e Peterlunger, E. 2011 Influenza del deficit idrico sulla qualità delle uve: aspetti fisiologici e molecolari. *Italus Hortus* 18, 63-79.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L. e Lopes, C.M. 2010 Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* 105, 661-676.
- Comuzzo, P., Marconi, M., Zanella, G. e Querzè, M. 2018. Pulsed electric field processing of white grapes (cv. Garganega): Effects on wine composition and volatile compounds. *Food Chem.* 264, 16-23.
- Cramer, G.R. 2010. Abiotic stress and plant responses from the whole vine to the genes. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16: 86-93.
- Ferrer, E. e Soriano, M.A. 2007 Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58, 147-159.
- Geny, L., Saucier, C., Bracco, S., Davidaud, F. e Glories, Y. 2003 Composition and cellular localization of tannins in grape seeds during maturation. *J. Agric. Food Chem.* 51, 8051-8054.
- Greer, D.H. e Weedon, M.M. 2013. The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. semillon grapevine performance and berry ripening. *Front. Plant Sci.* 4, 1-9.
- Herrera, J.C., Buccetti, B., Sabbatini, P., Zulini, L., Vecchione, A., Peterlunger, E. e Castellarin, S.D. 2015 Effect of Water Deficit and Canopy Management on the Composition of *Vitis vinifera* L. 'Merlot' Grapes and Wines. *Aust. J. Grape Wine Res.* 21, 254-265.
- Jones, G.V. e Alves, F. 2012. Impact of climate change on wine production: A global overview and regional assessment in the Douro Valley of Portugal. *Int. J. Glob. Warm.* 4, 383-406.
- Keller, M. 2010. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: A climate change primer for viticulturists. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16, 56-69.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A. e Waterhouse, A.L. 2000. Changes in grape seed polyphenols during fruit ripening. *Phytochemistry* 55, 77-85.
- Kobayashi, H., Takase, H., Suzuki, Y., Tanzawa, F., Takata, R., Fujita, K., Kohno, M., Mochizuki, M., Suzuki, S. e Konno, T. 2011. Environmental stress enhances biosynthesis of flavor precursors, S-3-(hexan-1-ol)-glutathione and S-3-(hexan-1-ol)-L-cysteine, in grapevine through glutathione S-transferase activation. *J. Exp. Bot.* 62, 1325-1336.
- Koch, B. e Oehl, F. 2018. Climate change favors grapevine production in temperate zones. *Agric. Sci.* 9, 247-263.
- Kun, Z., Bai-hong, C., Yan, H., Rui, Y. e Yu-an, W. 2018. Effects of short-term heat stress on PSII and subsequent recovery for senescent leaves of *Vitis vinifera* L. cv. Red Globe. *J. Integr. Agric.* 17, 2683-2693.
- Martínez-Lüscher, J., Chen, C. C. L., Brillante, L. e Kurtural, S. K. 2020. Mitigating Heat Wave and Exposure Damage to "Cabernet-Sauvignon" Wine Grape with Partial Shading Under Two Irrigation Amounts. *Front. Plant Sci.* 11, 579192.
- Matthews, M.A. e Anderson, M.M. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 40, 52-60.
- McCarthy, M.G. 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* 3, 2-8.
- Ojeda, H. 2008. Qualitative precision irrigation in the vineyard. *Infowine* 5

- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carboneau, A. e Deloire, A. 2002 Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. Am. J. Enol. Vitic. 53, 261-267.
- Ollé, D., Guiraud, J.L., Souquet, J.M., Terrier, N., Ageorges, A., Cheynier, V. e Verries, C. 2011 Effect of pre-and post-veraison water deficit on proanthocyanidin and anthocyanin accumulation during Shiraz berry development. Aust. J. Grape Wine Res. 17, 90-100.
- Ou, C., Du, X., Shellie, K., Ross, C. e Qian, M.C. 2010 Volatile compounds and sensory attributes of wine from cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.) grown under differential levels of water deficit with or without a kaolin-based, foliar reflectant particle film. J. Agric. Food Chem. 58, 12890-12898.
- Pastore, C., Dal Santo, S., Zenoni, S., Movahed, N., Allegro, G., Valentini, G., et al. (2017). Whole plant temperature manipulation affects flavonoid metabolism and the transcriptome of grapevine berries. Front. Plant Sci. 8, 929.
- Peyrot des Gachons, C., Leeuwen, C. V., Tominanga, T., Soyer, J. P., Gaudillère, J. P., Dubourdieu, D. 2005. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis Vinifera*L cv Sauvignon blanc in field conditions: influence of water and nitrogen deficit in aroma potential. J. Sci. Food Agric. 85, 73-85.
- Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Boghi, C., Walker, R.P., Famiani, F. e Castellarin, S.D. 2021. Grape Berry Secondary Metabolites and Their Modulation by Abiotic Factors in a Climate Change Scenario-A Review. 12, 643258
- Roby, C., Harbertson, J.F., Adams, D.A. e Matthews, M.A. 2004 Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. Aust. J. Grape Wine Res. 10, 100-107.
- Qian, M. C., Fang Y. e Shellie K. 2009. Volatile Composition of Merlot Wine from Different Vine Water Status. J. Agric. Food Chem. 57, 7459-7463
- Savoi, S., Wong, D.C.J., Degu, A., Herrera, J.C., Buccchetti, B., Peterlunger, E., Fait, A., Mattivi, F. e Castellarin, S.D. 2017. Multi-omics and integrated network analyses reveal new insights into the systems relationships between metabolites, structural genes, and transcriptional regulators in developing grape berries (*Vitis vinifera* L.) exposed to water deficit. Front. Plant Sci. 8, 1124.
- Savoi S., Wong D. C. J., Arapitsas P., Miculan M., Buccchetti B., Peterlunger E., Fait A., Mattivi F. e Castellarin S. D. 2016. Transcriptome and metabolite profiling reveals that prolonged drought modulates the phenylpropanoid and terpenoid pathway in white grapes (*Vitis vinifera* L.). BMC Plant Biology 16, 67.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., et al. 2019. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: A review. J. Plant Growth Regul. 39, 509-531.
- Sivilotti, P., Falchi, R., Herrera, J. C., Skvarc, B., Butinar, L., Sternad Lemut, M., et al. (2017). Combined effects of early season leaf removal and climatic conditions on aroma precursors in Sauvignon Blanc grapes. J. Agric. Food Chem. 65, 8426-8434.
- Sivilotti, P., Bonetto, C., Paladin, M. e Peterlunger, E. 2005 Effect of soil moisture availability on Merlot: from leaf water potential to grape composition. Am. J. Enol. Vitic. 56, 9-18.
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A. e Banilas, G. 2020. Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming. Plants 2020, 9, 1754.
- Williams, L.E. e Matthews, M.A. 1990 Grapevine. In: Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy Series No. 30. Am. Soc. Agronomy (Madison, WI, USA), 1019-1055.

202 Cambiare l'acqua in vino

Yan, Y., Song, C., Falginella, L. e Castellarin, S.D. 2020. Day temperature has a stronger effect than night temperature on anthocyanin and flavonol accumulation in Merlot (*Vitis Vinifera* L.) grapes during ripening. *Front. Plant Sci.* 11, 1095.

Zarrouk, O., Brunetti, C., Egipto, R., Pinheiro, C., Genebra, T., Gori, A., et al. 2016. Grape ripening is regulated by deficit irrigation/elevated temperatures according to cluster position in the canopy. *Front. Plant Sci.* 7, 1640.



Capire il ciclo idrologico per una migliore gestione dell'irrigazione in viticoltura: dalle precipitazioni al suolo e di nuovo alla vite

Luca Zini^{1*}, Mirco Peschiutta², Martina Tomasella³, Chiara Calligaris¹, Giuliano Dreossi², Emanuele Forte¹, Davide Lenaz¹, Shaula Martinolli¹, Mauro Masiol², Carlotta Musso³, Barbara Stenni², Philippe Turpaud¹, Matteo Velicogna¹

¹ Università di Trieste, Dipartimento di Matematica e Geoscienze

² Università Ca' Foscari Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica

³ Università di Trieste, Dipartimento di Scienze della Vita

zini@units.it

RIASSUNTO

Il Progetto Acquavitis ha studiato le modalità di ricarica ed utilizzo delle acque contenute nel suolo da parte delle viti campionate in 6 vigneti appartenenti a 3 contesti con caratteristiche geologiche, idrogeologiche e climatiche differenti, durante le stagioni vegetative 2020 e 2021. Qui vengono presentati i risultati ottenuti in 3 vigneti, ciascuno rappresentativo di un contesto differente. I suoli di ogni vigneto sono stati caratterizzati da un punto di vista granulometrico e mineralogico e, in almeno 3 momenti, durante l'estate 2020 e 2021, sono stati campionati per l'analisi del contenuto idrico, del potenziale idrico e della composizione isotopica dell'acqua estratta. Parallelamente ai terreni, sono state campionate le precipitazioni, le acque superficiali e quelle profonde (di pozzi o grotte limitrofe alle aree di studio). Per capire quale acqua utilizzino le viti nel corso della stagione, la composizione isotopica di tali acque è stata confrontata con quella della linfa xilematica estratta dai tralci di vite durante le stesse campagne di campionamento. Nel vigneto di Ceroglie (nel Carso italiano), inoltre, per il secondo anno di studio, si è aumentata la frequenza di campionamento per verificare l'influenza delle singole precipitazioni nella ricarica dei terreni e nell'utilizzo dall'acqua da parte delle viti ed è stata effettuata una campagna di rilievi geofisici volti a determinare gli spessori del suolo. I risultati ottenuti suggeriscono che, in generale, le viti abbiano utilizzato prevalentemente l'acqua presente negli strati di suolo più superficiale. Ciò è stato influenzato dalla buona disponibilità idrica nei terreni per la relativa abbondanza di precipitazioni in primavera e/o estate nei due anni di monitoraggio.

ABSTRACT

The Project Acquavitis investigated soil water recharge and its utilization by grapevines in 6 vineyards belonging to 3 contexts characterized by different geological, hydrogeological and climatic characteristics during the growing seasons of 2020 and 2021. Here, we present the results obtained in 3 vineyards, each one representing a different context. The soils of each vineyard have been characterized from a granulometric and mineralogic point of view. Soil samples were collected at least three times during summer 2020 and 2021 to measure the soil water content and water potential and to analyze the oxygen and hydrogen isotopic composition of soil water. Together with soils, precipitations, surface water and groundwater (from wells or caves in proximity of the studied areas) were also sampled. For understanding which water, the grapevines exploit during the growing season, the isotopic composition of the waters was compared to xylem sap extracted from grapevine branches during the same sampling periods. In the Ceroglie vineyard (in the Italian Karst), sampling frequency was incremented during 2021 for determining the influence of single precipitation events on soil water recharge and soil water use from vines. Geophysical surveys were also conducted to

determine soil depth in the area. The obtained results suggest that, in general, grapevines mainly utilize water from the upper soil layers. This was influenced by the good water availability in soils due to the relatively abundant rainfall in spring and/or summer during the two years of this study.

INTRODUZIONE

Nell'area Mediterranea la vite è tradizionalmente coltivata senza irrigazione artificiale, in virtù della sua nota resistenza allo stress idrico. Tuttavia, i cambiamenti climatici in atto hanno visto negli ultimi decenni l'incremento di periodi estivi siccitosi e torridi (IPCC 2021), portando ad una modifica delle pratiche vitivinicole tradizionali. Nello specifico, sta diventando sempre più frequente l'utilizzo di tecniche irrigue per il sostentamento della vite nei periodi di limitazione della disponibilità d'acqua, ma, al tempo, vi è la necessità di salvaguardare e ottimizzare l'utilizzo della risorsa idrica. In questo contesto, la comprensione delle modalità di ricarica e di esaurimento delle acque contenute nei suoli e in generale nel sottosuolo, congiuntamente alla valutazione dello stato idrico delle viti, permette di determinare il fabbisogno idrico del vigneto. Ciò costituisce un ottimo strumento di pianificazione razionale dell'irrigazione in un'ottica di risparmio della risorsa idrica. Tale strumento, però, è tuttora poco utilizzato in campo agronomico e ancor più in viticoltura (Savi et al. 2018, 2019).

In questo studio, le modalità di ricarica ed utilizzo delle acque contenute nel suolo da parte delle piante sono state studiate in sei vigneti appartenenti a tre contesti con caratteristiche geologiche, idrogeologiche e climatiche differenti durante due stagioni vegetative consecutive. Due siti sono stati scelti in ambiente carso (Ceroglie e Komen), due in un contesto caratterizzato da un substrato in flysch (Budihni e Potok-Stronc - Valle del Vipacco) e due in un contesto subpianeggiante intravallivo (Capriva) e di bassa pianura (Precenicco). La mappa dell'area di studio è riportata nella Figura 1.

I terreni di ogni vigneto sono stati caratterizzati da un punto di vista granulometrico e mineralogico e, in almeno tre momenti, durante l'estate, ne è stato monitorato il contenuto idrico.

Per comprendere le modalità di ricarica idrica dei terreni si è applicata la metodica isotopica che permette di identificare univocamente le specifiche precipitazioni. L'acqua di ogni precipitazione,

infatti, ha una sua specifica *firma isotopica* (o composizione isotopica) che alle nostre latitudini è caratterizzata da una marcata stagionalità, con massimi in estate e minimi in inverno (Masiol et al. 2021). Nel percorso che l’acqua compie infiltrandosi nel sottosuolo essa mantiene questa firma. Pertanto, monitorando le acque di precipitazione contestualmente a quelle presenti nei terreni e a quella assorbita dalle piante (contenuta nella linfa xilematica estratta dai tralci di vite), è possibile stabilire quali acque stiano utilizzando le viti in un determinato momento della stagione e quando queste si siano accumulate nel sottosuolo. In questo senso, la vite risulta un’ottima coltura per lo studio della profondità radicale, in quanto può sviluppare apparati di notevoli dimensioni, con radici che in alcuni ambienti come quello carsico, possono raggiungere diversi metri di profondità (Savi et al. 2019). Accoppiando a queste misure il monitoraggio dello stato idrico dei suoli e delle piante durante i mesi estivi è possibile comprendere quando l’irrigazione del vigneto potrebbe essere necessaria o, al contrario, quando l’acqua contenuta nel terreno sia invece sufficiente a supportare la crescita e lo sviluppo delle viti, per garantire una produttività ottimale.

AREE DI STUDIO

Per ciascun contesto geologico è stato scelto un sito rappresentativo per il quale di seguito si illustrano i risultati ottenuti. I tre siti scelti sono Precenicco, Potok-Stronc e Ceroglie (Figura 1).

Il vigneto di Precenicco si trova nel settore più occidentale della bassa pianura del Friuli Venezia Giulia ed è caratterizzato da depositi Quaternari a granulometria fine quali silt e argille, da una piovosità media di circa 900-1000 mm/anno e da estati con temperature elevate e poco piovose.

Nei pressi dell’abitato di Dornberk in località Stronc, è ubicato il secondo sito di indagine (denominato Potok-Stronc). Il vigneto si sviluppa in corrispondenza di una serie di terrazzi artificiali lungo la valle del Vipacco. L’area collinare è caratterizzata dalla presenza di rocce in facies di flysch (alternanza di marne e arenarie) con terreni spessi mediamente un metro al di sotto dei quali inizia l’ammasso roccioso, prima suddiviso ed alterato e successivamente via via più compatto. Le precipitazioni medie sono di 1400-1500 mm/anno e le estati hanno temperature anche elevate.

Il vigneto di Ceroglie si trova nell’altopiano del Carso Classico, nel-

la zona prossima alla costa. Si trova in un territorio carsico con suoli spessi pochi decimetri che poggiano su una roccia calcarea perlopiù compatta e talora intensamente carsificata. Le fratture e le cavità presenti nella massa rocciosa spesso sono riempite da terreno. La piovosità media si aggira attorno ai 1000-1100 mm/anno con estati con temperature elevate e poco piovose.

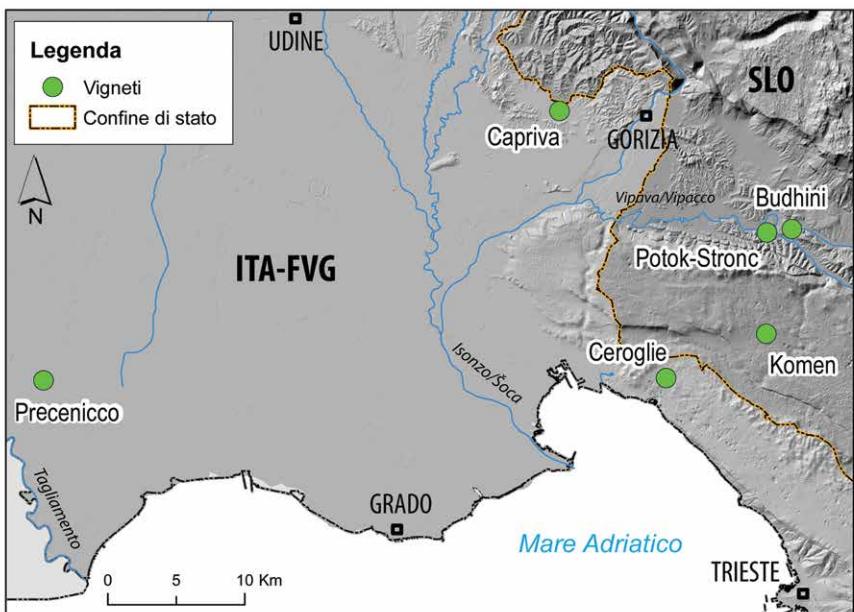


Figura 1: Area di Studio: i 6 siti investigati.

MATERIALI E METODI

Durante il periodo vegetativo delle estati 2020 e 2021 sono state effettuate almeno 3 campagne di campionamento delle acque e della linfa xilematica in ognuno dei vigneti scelti. Nel sito di Precenicco il terreno è stato campionato con l'ausilio di un carotatore che ha permesso di raggiungere la profondità di un metro. Nel sito di Potok-Stronc si è utilizzato un escavatore meccanico che ha realizzato una trincea di circa 2 metri di profondità e nel sito di Ceroglie si è proceduto alla realizzazione di una trincea a mano fino a raggiungere il substrato calcareo posto tra i 60 e gli 80 cm di profondità (Figure 2A e 2B). Mediamente ogni 20 cm di profondità è stato raccolto un campione di terreno, immediatamente sigillato per evitare l'evaporazione dell'acqua e il conseguente frazionamento isotopico. I campioni raccolti, posti in sacchetti sigillati, sono stati successivamente conservati a -18 °C.

Dato che l'area carsica è caratterizzata dalla presenza di tasche di suoli in grotte e fratture allargate dai processi carsici, si è voluta indagare la possibilità per le piante di poter attingere anche a queste riserve d'acqua. Nel sito di Ceroglie perciò, oltre alla trincea, si sono realizzati dei campionamenti anche nella limitrofa grotta della Scheggia fino ad una profondità di circa 7 metri. A Ceroglie inoltre, nel secondo anno di studi, è stata aumentata la frequenza di campionamento per verificare l'influenza delle singole precipitazioni nella ricarica dei terreni. Durante la primavera e l'estate 2021 le campagne di campionamento sono state effettuate mediamente ogni 15 giorni. Inoltre, nello stesso sito di Ceroglie è stata effettuata una campagna di rilievi geofisici volti a determinare gli spessori dei suoli presenti.

Sui campioni di terreno raccolto è stata determinata la granulometria, la mineralogia, il potenziale idrico, il contenuto d'acqua e sull'acqua estratta dai suoli, il rapporto isotopico dell'ossigeno e dell'idrogeno.

Parallelamente al campionamento dei terreni, sono state campionate le precipitazioni, le acque superficiali e quelle dei pozzi limitrofi alle aree di studio.

Granulometria e mineralogia dei terreni

Le analisi granulometriche sono state realizzate a mezzo setacciatura per le frazioni superiori a 1 mm e, tramite diffrattometro laser MALVERN Mastersizer 2000 per le frazioni più fini.

Per le analisi mineralogiche si è utilizzata la diffrattometria a raggi X su polveri. In particolare, è stato utilizzato un diffrattometro STOE D500 con radiazione CuKa e monocromatore di grafite. Condizioni operative sono state 20 mA e 40 kV, angolo di 2θ tra 2 e 50° , con uno step di 0.01° e tempo di conteggio 2 s/step. Sono stati analizzati sia i campioni di silt (4-63 μm) sia quelli di argilla ($<4 \mu\text{m}$). Per le analisi sulle argille sono stati utilizzati preparati orientati che, successivamente, sono stati trattati con glicole etilenico e riscaldati a 550 °C.

Campionamento delle precipitazioni

Le precipitazioni sono state raccolte mensilmente in ogni vigneto sperimentale del progetto utilizzando pluviometri conformi alle indicazioni della International Atomic Energy Agency (IAEA, 2014), dotati di un sistema anti-evaporazione (Gröning et al. 2012) per

evitare il frazionamento isotopico dei campioni (Figura 2D). Un ulteriore pluviometro è stato posizionato nel 2021 a Ceroglie per raccogliere singoli eventi di precipitazione. I campioni sono stati conservati in un luogo fresco e al buio in modo da preservarli da alterazioni. Le analisi isotopiche dei campioni d'acqua sono state effettuate utilizzando uno spettrometro IRMS (*Isotope Ratio Mass Spectrometer*) Thermo-Fisher Delta Plus Advantage che fornisce i valori dei rapporti isotopici $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ di un gas equilibrato isotopicamente con i campioni d'acqua (Horita et al. 1989).

Misura del potenziale idrico e del contenuto d'acqua

Per la misura del potenziale idrico e del contenuto d'acqua, i campioni di suolo, una volta scongelati, sono stati omogeneizzati con una spatola e due aliquote di ca. 5-6 g, private di scheletro, sono state poste in appositi portacampioni per la misura del potenziale idrico (Ψ_{suolo} , MPa), tramite igrometro a punto di rugiada (WP4C, Decagon Devices Inc.). Dagli stessi campioni è stato determinato il contenuto idrico, ossia il rapporto tra il peso fresco, preso immediatamente prima della misura del potenziale dell'acqua con una bilancia di precisione, e il peso secco, misurato dopo l'essiccazione in stufa per 48 ore a 70 °C.

Accanto alle misure di potenziale idrico dei suoli, sono state affiancate misure di potenziale idrico effettuate tramite camera a pressione di Scholander su foglie campionate prima dell'alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$), un parametro utilizzato come indice della disponibilità d'acqua nel suolo per le piante. Per ciascun sito e ciascuna data di campionamento dei suoli e delle linfe sono state prelevate 6 foglie tra le 3:30 e le 5:30 (ora solare).

Analisi delle acque contenute nei terreni

Le analisi isotopiche dell'acqua contenuta nei terreni sono invece state effettuate con due diverse tecniche:

- **La distillazione criogenica sottovuoto** (CVD: *Cryogenic Vacuum Distillation*), che prevede l'estrazione dell'acqua presente in un'aliquota di 10-15 g di suolo sfruttando una differenza di temperatura di circa 300 °C tra un tubo di estrazione posto a bagnomaria in acqua bollente e un tubo di raccolta immerso in azoto liquido (-196 °C). I tubi sono collegati tra loro e all'interno degli stessi viene preventivamente realizzato un vuoto di almeno 6.6×10^{-2} mbar. L'estrazione ha una durata di 50 min. Una volta

ultimato il processo, il ghiaccio presente nel tubo di raccolta viene scongelato ottenendo quindi un campione liquido che viene poi analizzato tramite uno spettroscopio laser CRDS (*Cavity Ring-Down Spectroscopy*) PICARRO L2130-i accoppiato ad un sistema autocampionatore-vaporizzatore. Lo strumento fornisce i valori isotopici del campione d'acqua vaporizzato attraverso un metodo ottico, confrontando i tempi di estinzione di impulsi laser nel vicino infrarosso emessi all'interno di una camera di misura in presenza e in assenza del campione.

- La tecnica *Induction Module* (IM) consiste nell'utilizzo di un forno ad induzione elettromagnetica che riscalda una piccola aliquota di campione di suolo vaporizzando l'acqua contenuta; questa viene quindi introdotta nello spettroscopio laser CRDS. I valori isotopici dei campioni sono stati calibrati utilizzando standard appositamente preparati essiccando il suolo dei vigneti in stufa a 105 °C per 24 ore e re-idratandoli successivamente con due diverse acque a composizione isotopica nota.

Campionamento della linfa xilematica

La linfa xilematica è stata estratta in campo dai tralci di vite tramite pompa a vuoto (Figura 2C). Una volta recisi i tralci e rimosse tutte le foglie per minimizzare la traspirazione, la base tagliata viene connessa ad una piccola camera di estrazione contenente una fiala per la raccolta della linfa. Applicando il vuoto (circa -0.7 bar) e recidendo progressivamente piccoli segmenti dall'apice alla base del tralcio, viene raccolta la linfa contenuta nei condotti xilematici. Per ogni vigneto e campionamento sono state prelevate 3-5 fiale per plot (filare), per un totale di ca. 9-15 fiale per vigneto, che sono state conservate in borsa frigo fino al ritorno in laboratorio, dove sono state preservate a -18°C. Anche le analisi isotopiche delle linfe xilematiche sono state effettuate utilizzando l'IM. Il sistema è infatti dotato di due cartucce che assorbono ed ossidano le sostanze organiche disciolte nel campione di linfa in modo tale da minimizzare le interferenze nelle analisi.

Rilievi geofisici

Per stimare lo spessore dei suoli presenti nel sito di Ceroglie sono state utilizzate tre metodologie geofisiche integrate. Un elettromagnetometro CMD-2 (GF Instruments), un resistivimetro Syscal Pro (Iris Instruments) collegato con 48 elettrodi spaziati di 1 metro ed un Ground Penetrating Radar - GPR ProEx (Malå Geosciences)

collegato con antenne schermate da 250 e 500 MHz. Tutti i dati sono stati elaborati ed invertiti (limitatamente ai dati di geoelettrica) e confrontati al fine di individuare la profondità del substrato roccioso carbonatico e il suo andamento spaziale.



Figura 2: I campionamenti: A) Trincea a Potok-Stronc; B) sigillatura delle carote di suolo a Precenicco; C) estrazione della linfa xilematica a Comeno; D) Pluvioraccoglitori a Ceroglie.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Caratterizzazione granulometrica e mineralogica dei terreni

I campioni analizzati evidenziano diversi contenuti relativi di ghiaia, sabbia, silt (limo) e argilla. Questi diversi rapporti granulometrici sono caratteristici delle aree di campionamento e spesso mostrano dei trend con la profondità. Nei campioni del vigneto di Ceroglie la granulometria predominante è il silt (circa 60%), poi l'argilla (23-29%) e la sabbia che aumenta con la profondità (9-17%). La frazione ghiaiosa è decisamente poco rappresentata. I campioni raccolti in grotta presentano caratteristiche diverse in funzione del punto di campionamento. Nei campioni più superficiali la ghiaia (legata alla disgregazione della massa rocciosa) è la frazione granulometrica predomi-

nante, seguono il silt, la sabbia e l'argilla. I campioni più profondi sono invece del tutto simili a quelli prelevati nel vigneto.

Il suolo a Precenicco mostra una costante variazione delle classi granulometriche dalla superficie fino a circa 1 m di profondità. Gli orizzonti più superficiali del suolo sono maggiormente siltosi (60%) mentre l'argilla aumenta con la profondità (fino al 60%). La sabbia è debolmente presente (inferiore al 10%) e la ghiaia è praticamente assente.

Nei campioni di Potok-Stronc la classe granulometrica prevalente è la ghiaia (48% - 72%), segue il silt (14% - 23%), la sabbia (6% - 22%) e infine l'argilla (7% - 8%). Negli orizzonti più superficiali del suolo l'argilla risulta essere leggermente più abbondante della sabbia (8% vs 6%, rispettivamente), mentre in profondità, mediamente al di sotto del 130 cm, è già presente la parte alterata del substrato dove prevalgono lo scheletro e la roccia.

È stata inoltre analizzata la frazione siltosa di 40 campioni. Il minerale maggiormente presente è il quarzo. Il feldspato è presente in quantità limitata in pochi campioni, mentre i carbonati risultano presenti principalmente nei campioni prelevati nella grotta di Ceroglie e nel vigneto di Precenicco. L'analisi mineralogica della frazione argillosa ha permesso di osservare la presenza di diversi minerali, tra cui anche smectite, vermiculite, clorite e probabile caolinite.

Per quanto riguarda i campioni di Ceroglie, ci sono delle differenze tra quelli prelevati in vigneto e quelli in grotta. Nella frazione siltosa del campione in vigneto prevale il quarzo, mentre in grotta sono presenti anche la calcite e la dolomite. Nella frazione argillosa non si notano grosse differenze. Sono presenti soil-chlorite e vermiculite. Sembrano essere presenti anche delle argille a strati misti non determinabili e caolinite.

Per quanto riguarda i campioni di silt del sito di Potok-Stronc, il minerale principale è il quarzo. In tutti i campioni è presente anche il feldspato, ma nettamente subordinato. Tracce di calcite sono presenti solo nei due campioni più profondi. Nella frazione argillosa sono presenti strati misti illite.vermiculite.

I campioni raccolti a Precenicco sono gli unici in cui la mineralogia cambia con la profondità, in quanto la calcite è scarsamente presente nei campioni fino a 70 cm di profondità, mentre è molto abbondante nei campioni al di sotto di questa profondità. Il feldspato ha un andamento particolare in quanto è scarsamente

presente fino a 50 cm, poi aumenta tra 50 e 90 cm ed è presente in tracce al di sotto di questa profondità. Il minerale principale è sempre il quarzo. Per quanto riguarda la frazione argillosa, in tutti i campioni sono presenti clorite, illite e caolinite.

Caratterizzazione geofisica a Ceroglie

Nei territori carsici, dove notoriamente i suoli sono poco spessi o addirittura assenti, è importante determinarne lo spessore, poiché questo incide sul quantitativo di acqua disponibile per le piante. In quest'ottica sono state testate ed integrate tre diverse metodologie geofisiche nel solo sito di Ceroglie: l'elettromagnetometro, il georadar (GPR) e la tomografia elettrica che permettono di investigare il sottosuolo a profondità sempre crescenti, ma a risoluzioni via via inferiori.

L'elettromagnetometro, che misura la condutività globale entro i primi 1.5 m dalla superficie topografica, permette di dare una stima relativa degli spessori del suolo. Le indagini hanno evidenziato la presenza di suoli più spessi nella zona a Nord e ad Ovest del vigneto, mentre nel settore sudorientale la roccia è subaffiorante (Figura 3A).

I dati GPR che consentono una penetrazione fino a 3-4 m, hanno evidenziato la presenza del substrato calcareo (linea tratteggiata bianca) ad una profondità di 0.7-1.0 m e anche le caratteristiche della massa rocciosa con i piani di strato che immergono verso ovest (linea tratteggiata nera in Figura 3C).

Questo è stato confermato anche dai profili di resistività acquisiti (esemplificati in Figura 3B) che identificano al di sotto di un livello basso resistivo ($\rho < 100 \Omega\text{m}$) attribuibile al suolo, orizzonti con resistività via via più elevate (1-10 $k\Omega\text{m}$). Queste si riferiscono ai calcari, progressivamente più compatti all'aumentare della profondità.

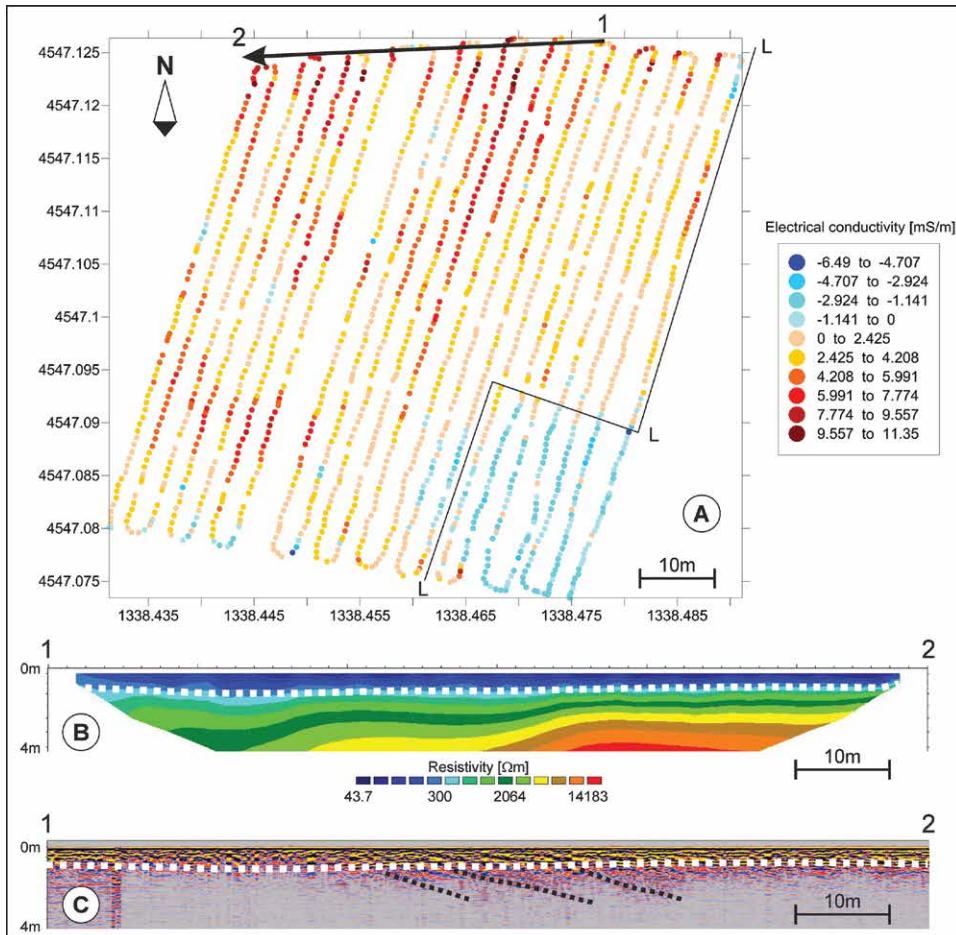


Figura 3. Sintesi dei risultati delle indagini geofisiche integrate. A) valori di conduttività elettrica (apparente) ottenuti con elettromagnetometro FDEM; B) Sezione di resistività (reale) lungo il transetto 1-2. Profilo GPR a 250 MHz lungo il transetto 1-2. Le scale di B) e C) sono uguali. La linea nera continua (L) indica il limite meridionale e orientale della vigna; la linea bianca tratteggiata indica la sommità dei calcari; le linee nere tratteggiate indicano alcune stratificazioni interne ai calcari.

Composizione isotopica delle precipitazioni, suoli e linfe xilematiche

Nell'ambito del progetto Acquavitis sono stati presi in considerazione 6 siti di campionamento per i quali è stata analizzata la composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei seguenti campioni:

- 246 campioni d'acqua, che includono principalmente precipitazioni, acque prelevate da rii, fossi, pozzi e acque di stillicidio della grotta del sito di Ceroglie;
- 333 campioni di acqua del suolo;
- 467 campioni di linfa xilematica.

La composizione isotopica si riporta in unità delta (δ) che rappresenta lo scostamento in parti per mille del rapporto isotopico R ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ o $^{2}\text{H}/^{1}\text{H}$) in un campione rispetto allo stesso rapporto in uno standard di riferimento (V-SMOW, Vienna-Standard Mean Ocean Water).

Sebbene in seguito alle analisi isotopiche condotte si disponga sia dei dati di $\delta^{18}\text{O}$ sia di $\delta^2\text{H}$ si è deciso di presentare unicamente questi ultimi poiché si assume che tali valori possano essere più attendibili. L'ossigeno dell'acqua presente nel suolo partecipa infatti a numerose reazioni come, ad esempio, lo scambio con gli ossidi di azoto durante i processi di nitrificazione e denitrificazione, o con i carbonati durante i processi di dissoluzione (Scandellari e Penna 2017). Questi processi possono causare frazionamenti che portano all'alterazione dei valori originali del $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua presente nel suolo.

La composizione isotopica dell'idrogeno delle precipitazioni ($\delta^2\text{H}$) è riportata in figura 4. Le precipitazioni giornaliere sono caratterizzate da una distribuzione molto simile per i vigneti sperimentali di Ceroglie (TS) e Precenicco (UD), entrambi nel Friuli-Venezia Giulia. In questi due siti l'anno 2020 risulta più piovoso, sia per la frequenza che per l'intensità degli eventi; questa differenza risulta particolarmente marcata nel confronto tra i periodi estivi: la stagione produttiva delle viti per il 2021 è stata infatti caratterizzata da piogge più sporadiche.

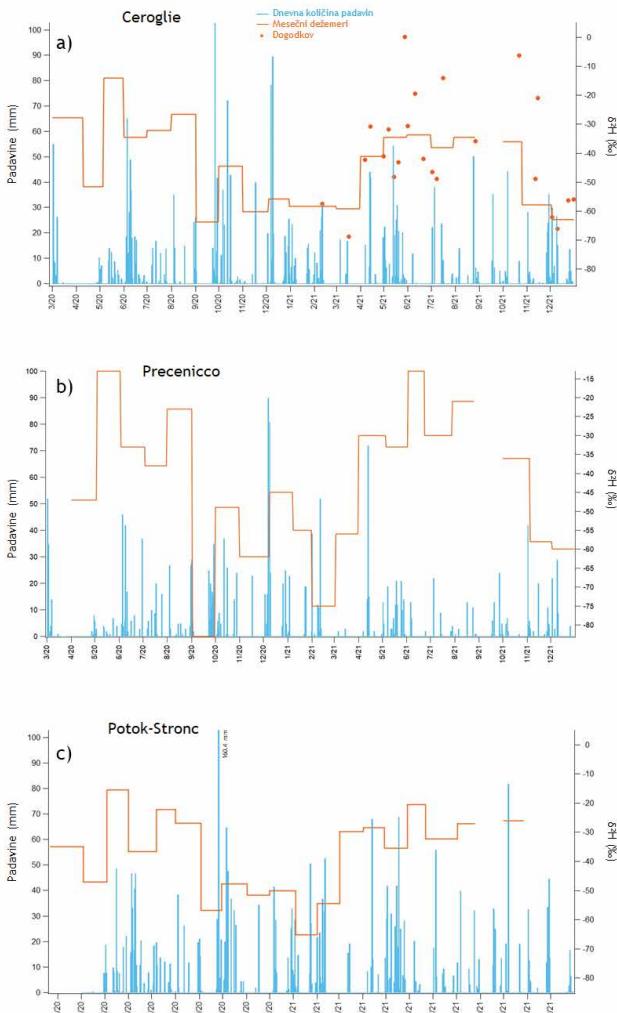


Figura 4: Variazioni del $\delta^2\text{H}$ delle precipitazioni raccolte mensilmente (linee spezzate arancioni) e quantità giornaliere misurate da stazioni meteo limitrofe (istogrammi blu) per i siti di Potok-Stronc, Precenicco e Ceroglie nel periodo 2020-2021. Per il sito di Ceroglie si riportano anche i dati isotopici dei singoli eventi di precipitazione (punti arancioni) raccolti nel 2021.

La composizione isotopica ($\delta^2\text{H}$) mostra una chiara stagionalità, più evidente nel sito di Precenicco, con massimi nel periodo tardivo-primaverile ed estivo, maggio 2020 e giugno 2021, e minimi in pieno inverno, febbraio 2021. Questi valori e il loro andamento stagionale sono in linea con quelli rilevati in altri studi nel nord-est Italia (Masiol et al. 2021). Il valore di $\delta^2\text{H}$ relativo al mese di settembre 2020 (-63.7‰ per Ceroglie e -83.4‰ per Precenicco), fortemente negativo, rappresenta un'anomalia in corrispondenza

di una serie di eventi molto piovosi avvenuti alla fine del mese e la cui provenienza dovrà essere studiata in futuro (Figura 4). La composizione isotopica delle precipitazioni è infatti legata alla temperatura di condensazione, ma anche alla provenienza, e alla traiettoria delle masse d'aria (Dansgaard 1964).

La composizione isotopica media annua pesata per la quantità di precipitazione per il sito di Ceroglie, considerando una finestra temporale di due anni (giugno 2020-maggio 2022), è di -43.0‰ per il $\delta^{2\text{H}}$. Per i siti di Precenicco e Potok-Stronc, considerando la finestra temporale di un anno (giugno 2020-maggio 2021), i valori di $\delta^{2\text{H}}$ sono rispettivamente di -45.6‰ e -44.2‰.

Il sito di Potok-Stronc, nella valle del Vipacco, è caratterizzato da una distribuzione relativamente diversa delle piogge rispetto ai due vigneti sopra descritti. Anche in questo caso, l'estate 2021 mostra una precipitazione inferiore rispetto a quella dell'anno precedente. Il $\delta^{2\text{H}}$ è caratterizzato da una stagionalità visibile ma meno marcata rispetto ai due siti del Friuli-Venezia Giulia, con massimi che, come nel caso degli altri due vigneti, si collocano a maggio 2020 e giugno 2021. Il valore minimo (-65.2‰) si riscontra a gennaio 2021 e risulta più negativo rispetto a quello riscontrato nello stesso mese per i siti italiani. A Potok-Stronc non si osserva una così marcata anomalia per il mese di settembre 2020, che in questo caso, pur essendo più negativo dei mesi limitrofi, non rappresenta il valore più basso del dataset. Un periodo di scarse precipitazioni, comune a tutti e tre i siti, si riscontra tra la seconda metà di febbraio e la prima parte di aprile 2021. Proprio il mese di aprile 2021 si distingue per valori isotopici nettamente più alti rispetto al periodo immediatamente precedente in tutti e tre i siti (Figura 4).

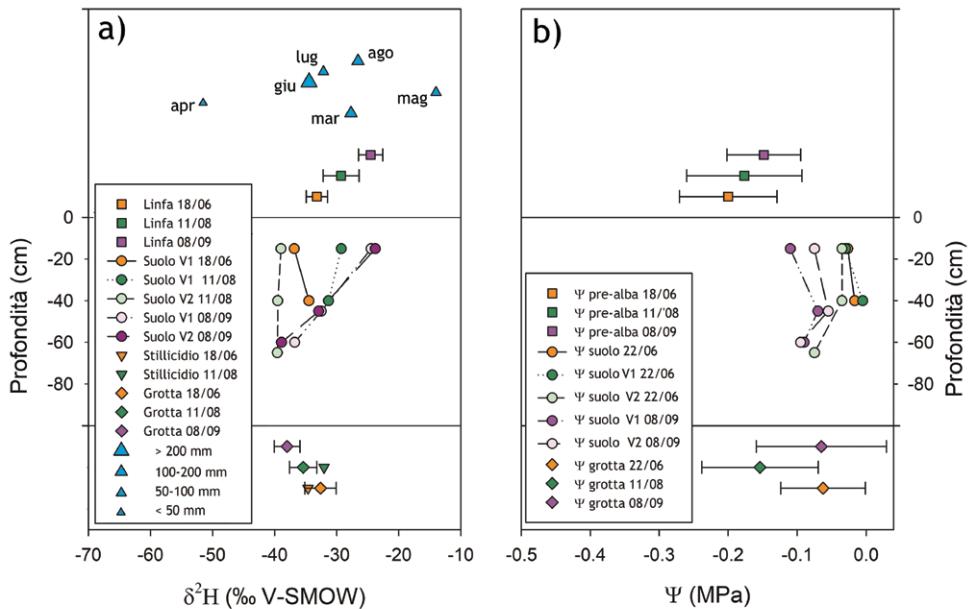
Valutazione della disponibilità di acqua per le piante

I risultati relativi alle firme isotopiche delle precipitazioni, suoli e linfe e i dati di potenziale idrico dei suoli e il potenziale idrico pre-alba dei vigneti considerati in questo studio sono riportati nelle figure 5, 6 e 7, rispettivamente per Ceroglie, Precenicco e Potok-Stronc.

CEROGLIE

L'estate del 2020 è risultata particolarmente piovosa, con ben 228 mm di pioggia a giugno e 152 mm ad agosto raccolti nel pluviometro installato presso il vigneto di Ceroglie. C'è una buona corrispondenza tra i valori isotopici delle acque raccolte nei pluviometri di questi mesi (giugno $\delta^2\text{H} = -34.5\text{\textperthousand}$ e agosto $\delta^2\text{H} = -26.6\text{\textperthousand}$) e il valore medio delle linfe xilematiche dei rispettivi campionamenti di giugno ($\delta^2\text{H} = -33.2\text{\textperthousand}$) e agosto ($\delta^2\text{H} = -29.3\text{\textperthousand}$). I profili isotopici dell'acqua nei suoli di giugno e agosto non mostrano grosse variazioni con la profondità, mentre è visibile una marcata negativizzazione della firma isotopica per il campionamento di settembre (Figura 5a). Dal confronto delle trincee V1 e V2 dell'11/08/2020 si può notare come possa esistere una certa variabilità spaziale nel vigneto stesso, che non si è riscontrata a settembre (si confrontino le trincee V1 e V2 del 08/09/2020 in Figura 5a). In ogni caso, i dati raccolti suggeriscono che le viti abbiano utilizzato principalmente l'acqua presente negli strati più superficiali del suolo. Il potenziale idrico dei suoli, assumendo valori poco negativi (sempre superiori a -0.15 MPa) e pressoché invariati con l'aumentare della profondità e nel corso della stagione, conferma l'elevata disponibilità d'acqua nel suolo durante tutta la stagione estiva in esame. In accordo, valori molto simili di potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) (Figura 5b) confermano l'assenza di stress idrico per le piante e supportano i dati isotopici, indicando l'utilizzo da parte delle viti dell'acqua più superficiale.

Ceroglie 2020



Ceroglie 2021

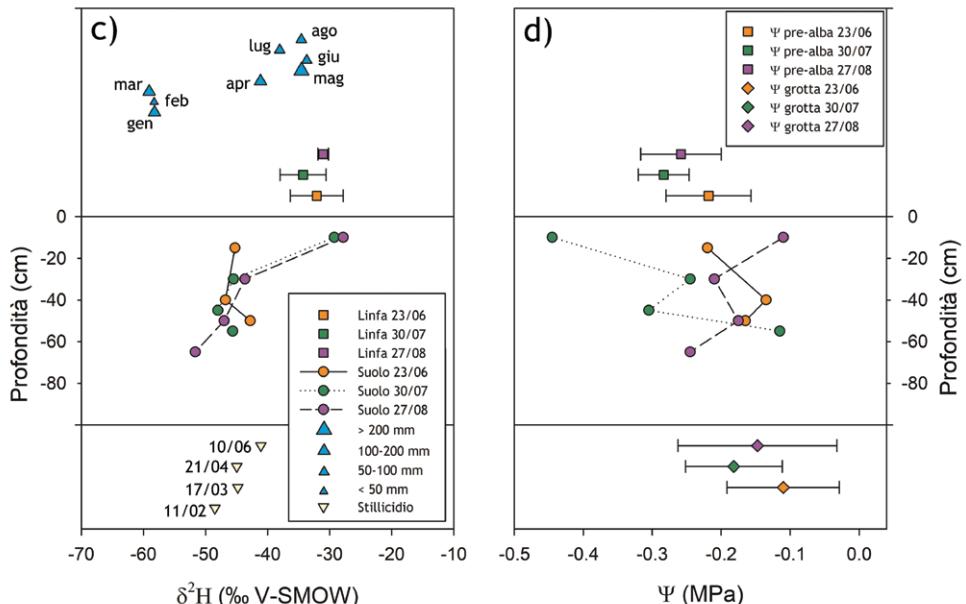


Figura 5. Firme isotopiche ($\delta^2\text{H}$) delle precipitazioni, dell'acqua dei suoli, dell'acqua di stillicidio e della linfa xilematica (a,c). Potenziale idrico dei suoli in vigneto (Ψ_{suolo}), dei sedimenti prelevati in grotta (Ψ_{grotta}) e potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) (b, d) misurati nel sito di Ceroglie.

Nel 2021 la distribuzione delle precipitazioni appare diversa rispetto a quella dell'anno precedente, con piogge più abbondanti tra aprile (140 mm) e maggio (237 mm) rispetto ai mesi estivi. La composizione isotopica dell'acqua nei suoli di giugno non mostra grosse variazioni con la profondità mentre si evidenzia una marcata negativizzazione per i suoli di luglio e agosto, in particolare passando dai 10 ai 30 cm di profondità (Figura 5c). È interessante notare come, in questo vigneto, dai 30 cm di profondità in poi, le firme isotopiche delle acque dei suoli siano molto costanti nel tempo e simili a quelle prelevate nella grotta limitrofa a diversi metri di profondità. Queste acque assumono valori di $\delta^2\text{H}$ intermedi tra quelli delle precipitazioni invernali e di inizio primavera (aprile). Al contrario, le acque prelevate in grotta (nei suoli e quelle di stallicidio) a inizio estate 2020 si discostano dai valori caratteristici delle precipitazioni invernali, generalmente più negative, ma il cui dato non è disponibile per il 2020. Inoltre, esse presentano una firma isotopica simile a quella delle precipitazioni di giugno, mese caratterizzato da precipitazioni particolarmente abbondanti che hanno probabilmente ricaricato i suoli e le cavità più in profondità.

La composizione isotopica delle linfe xilematiche di giugno 2021 è simile a quella delle precipitazioni di aprile, maggio e giugno, ma si discosta sensibilmente da quella dell'acqua del suolo prelevata nello stesso mese. Possiamo ipotizzare che in tale periodo le viti abbiano utilizzato preferenzialmente l'acqua delle precipitazioni recentemente infiltratesi nel suolo, piuttosto che l'acqua preesistente nel suolo stesso. Questo fenomeno può verificarsi durante periodi particolarmente piovosi (Hervé-Fernández et al. 2016; Liu et al. 2022). La composizione isotopica delle linfe di luglio e agosto, invece, sembra corrispondere a quella dell'acqua contenuta nella porzione di suolo più superficiale e a quella delle precipitazioni dei rispettivi mesi. A fine luglio e fine agosto 2021, i valori isotopici delle linfe risultano più negativi rispetto a quelli delle acque del suolo più superficiale, suggerendo che le viti abbiano utilizzato prevalentemente l'acqua intorno ai 20-30 cm di profondità (Figura 5c).

I dati di potenziale idrico del suolo (Ψ_{suolo}) nell'estate 2021 indicano in generale una lieve riduzione della disponibilità d'acqua nel suolo rispetto all'anno precedente, con valori tra -0.3 e -0.1 MPa e, a fine luglio, una consistente riduzione dell'acqua nel suolo nei primi 20 cm. Il potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) misurato nelle

piante, con valori tra -0.3 e -0.2 MPa indica una diminuzione, seppur lieve, della disponibilità d'acqua nel suolo per le viti rispetto a giugno e ai valori misurati nel 2020 (Figura 5d).

PRECENICCO

La firma isotopica dell'acqua lungo i profili di suolo del 2020 mostra una negativizzazione all'aumentare della profondità. Osservando i valori isotopici delle linfe xilematiche si può dedurre che le viti anche in questo vigneto abbiano utilizzato nel corso dell'estate 2020 principalmente l'acqua degli strati più superficiali (Figura 6a). I valori di potenziale idrico sono in accordo con i dati isotopici, indicando un'elevata disponibilità idrica negli strati più superficiali durante tutto il corso dell'estate. In particolare, nel mese di giugno il suolo risulta prossimo alla saturazione con Ψ_{suolo} poco negativi, a causa delle elevate precipitazioni del mese. Nelle campagne successive di agosto e settembre gli strati più superficiali risultano avere una maggior disponibilità d'acqua rispetto a quelli profondi, probabilmente a causa delle frequenti, seppur più scarse, precipitazioni avvenute in tali mesi, che non riescono a penetrare in profondità (Figura 6b). Per quanto riguarda l'acqua nel suolo, i valori di $\delta^{2}\text{H}$ dei campioni prelevati nel 2020 risultano meno negativi dei valori dei campioni del 2021: Il range di variabilità passa infatti approssimativamente da -35 ÷ -50% a -40 ÷ -60%. La composizione isotopica delle linfe di giugno e agosto 2020 risulta simile a quella delle linfe di giugno e luglio 2021 (Figure 6a e 6c). I valori dell'acqua del suolo e delle linfe di agosto 2021 risultano nettamente più negativi rispetto a quelli delle precipitazioni dello stesso mese e dei precedenti mesi estivi e tardo primaverili. Ciò è dovuto all'apporto dato dall'acqua di irrigazione (unico tra i vigneti considerati), che è stata realizzata in 3 giornate distinte con un quantitativo di 20 mm per volta: 30 giugno, 29 luglio (post campionamento) e 12 agosto 2021.

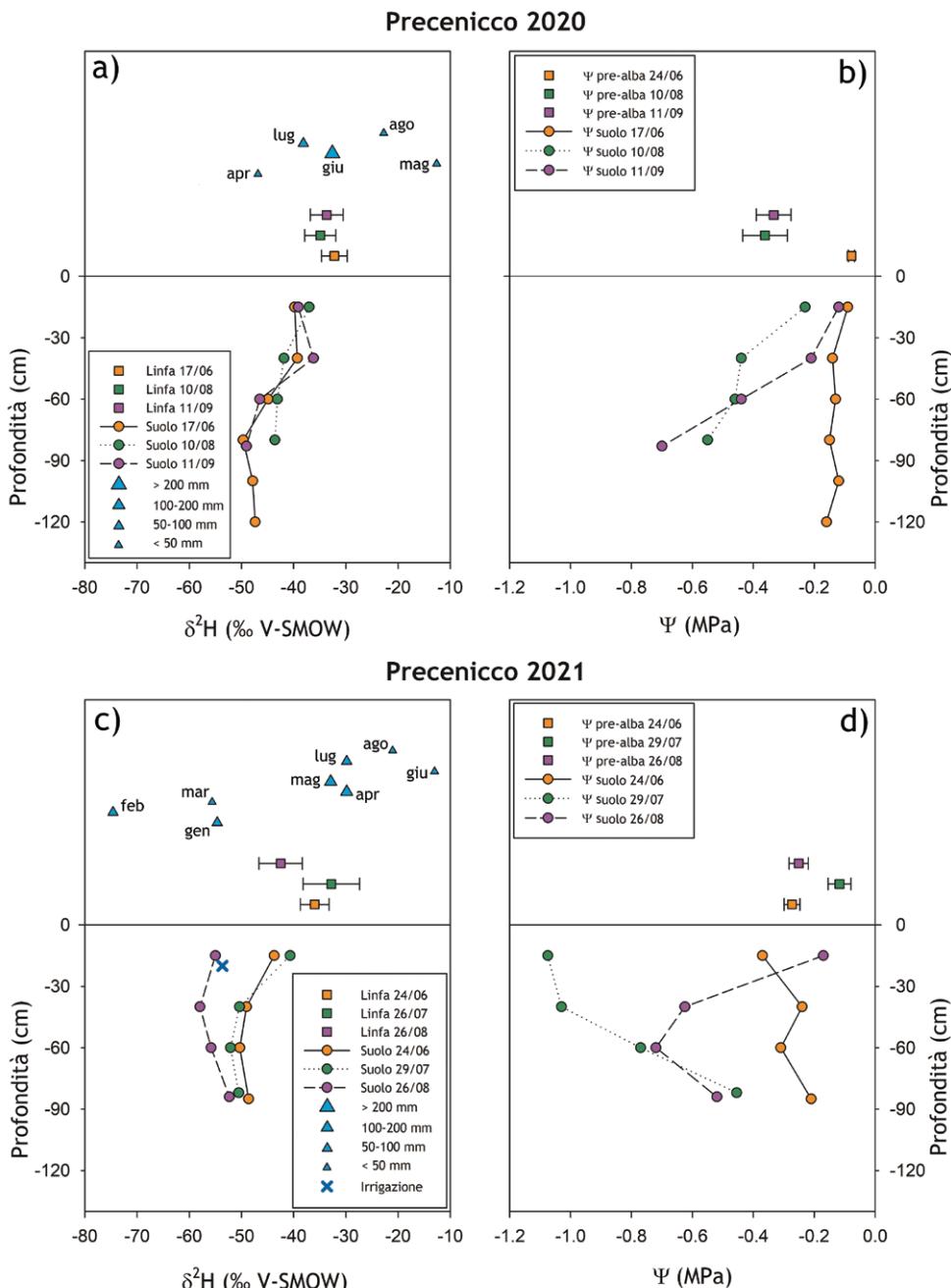


Figura 6. Firme isotopiche ($\delta^2\text{H}$) delle precipitazioni, dell'acqua dei suoli, dell'acqua di irrigazione e della linfa xilematica (a,c). Potenziale idrico dei suoli in vigneto (Ψ_{suolo}) e potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) (b, d) misurati nel sito di Precenicco. Profili suoli (contenuto e potenziale, isotopi suolo, linfe e riferimenti piogge, acque sup, stillicidio, grotte o irrigazione).

L'irrigazione, tuttavia, pare non aver alterato particolarmente i valori dell'acqua del suolo di luglio 2021 rispetto a quelli di giugno dello stesso anno (Figura 6c). I potenziali dei suoli del 2021 indicano in generale una riduzione della disponibilità d'acqua nel suolo nei mesi di luglio e agosto rispetto a giugno. Tuttavia, i $\Psi_{\text{pre-alba}}$ poco negativi ($> -0.3 \text{ MPa}$), anche e soprattutto nei mesi di luglio e agosto, sono probabilmente dovuti all'apporto dato dalle sporadiche precipitazioni e dalle irrigazioni (Figura 6d).

POTOK-STRONC

Anche nel sito di Potok-Stronc l'estate 2020 è risultata particolarmente piovosa, con ben 283 mm registrati a giugno e 185 mm ad agosto. La composizione isotopica media delle linfe di giugno ($\delta^2\text{H} = -34.3\text{\textperthousand}$) mostra una buona corrispondenza con il valore isotopico delle precipitazioni dello stesso mese ($\delta^2\text{H} = -36.7\text{\textperthousand}$). Le linfe di settembre (valore medio $\delta^2\text{H} = -23.5\text{\textperthousand}$) mostrano invece una maggiore variabilità che risente probabilmente della composizione isotopica delle precipitazioni di luglio ($\delta^2\text{H} = -22.2\text{\textperthousand}$; 53 mm) e agosto ($\delta^2\text{H} = -26.8\text{\textperthousand}$; 185 mm). I profili di $\delta^2\text{H}$ dei suoli mostrano una tendenza alla negativizzazione con l'aumentare della profondità. Il valore isotopico medio delle linfe di giugno ($\delta^2\text{H} = -34.3\text{\textperthousand}$) si avvicina a quello dell'acqua del suolo a -80 cm ($\delta^2\text{H} = -34.8\text{\textperthousand}$) (Figura 7a). Il potenziale idrico dei suoli, assumendo valori poco negativi e sempre superiori a -0.2 MPa (tranne a settembre a 110-130 cm di profondità) suggerisce un'elevata disponibilità d'acqua per le piante nel suolo e solo una lieve diminuzione a settembre rispetto a giugno (Figura 7b).

Per quanto riguarda il campionamento di settembre non si riscontra una corrispondenza tra i valori delle linfe e quelli del suolo se non in superficie. Nelle linfe di settembre è inoltre visibile un'elevata variabilità nei valori di $\delta^2\text{H}$ (Figura 7a).

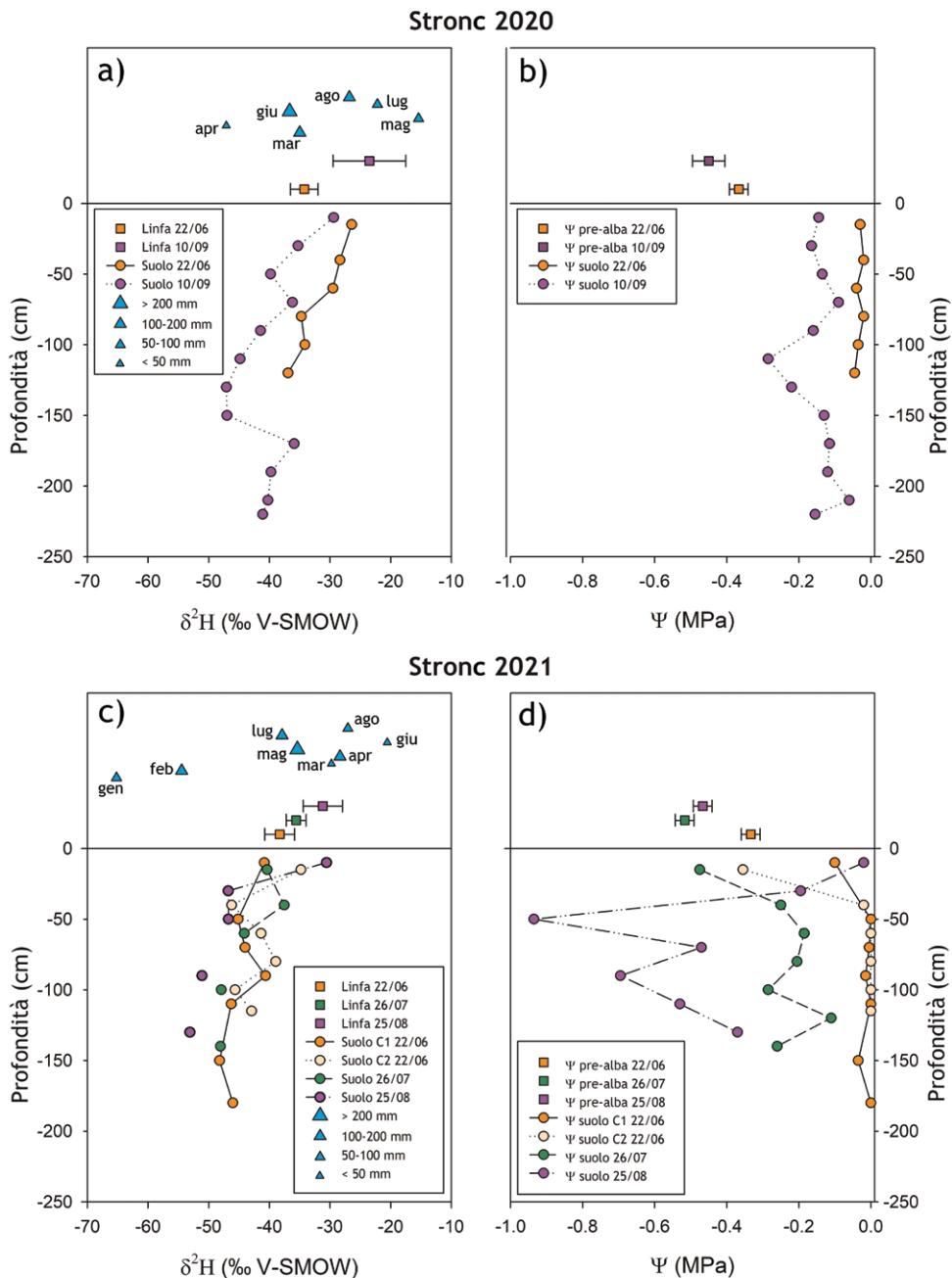


Figura 7: Firme isotopiche ($\delta^2\text{H}$) delle precipitazioni, dell'acqua dei suoli e della linfa xilematica (a,c). Potenziale idrico dei suoli in vigneto (Ψ_{suolo}) e potenziale idrico pre-alba ($\Psi_{\text{pre-alba}}$) (b, d) misurati nel sito di Potok-Stronc.

Nel 2021, le scarse precipitazioni di giugno, non sembrano aver influenzato la composizione isotopica dell'acqua dei suoli e della linfa xilematica prelevata nello stesso mese. È ipotizzabile che il suolo risultasse ancora saturato dalle abbondanti precipitazioni di maggio ($\delta^2\text{H} = -35.4\%$; 223 mm) e che quindi le viti abbiano utilizzato l'acqua derivante da tali precipitazioni (valore isotopico medio delle linfe $\delta^2\text{H} = -38.3\%$). Il valore isotopico medio delle linfe ($\delta^2\text{H} = -35.6\%$) a fine luglio si avvicina a quello dell'acqua del suolo a 40 cm di profondità ($\delta^2\text{H} = -37.6\%$); l'acqua contenuta in tale strato è riconducibile alle precipitazioni di luglio ($\delta^2\text{H} = -37.9\%$). I valori isotopici del suolo a fine agosto decrescono marcatamente nei primi 40 cm del profilo, probabilmente a causa dell'evapotraspirazione in prossimità della superficie. Guardando il valore isotopico medio delle linfe xilematiche di fine agosto ($\delta^2\text{H} = -31.1\%$) appare evidente come le viti abbiano utilizzato l'acqua presente nello strato più superficiale del suolo (-10 cm; $\delta^2\text{H} = -30.6\%$), dove l'acqua contenuta in tale strato è riconducibile alle precipitazioni più recenti, del mese di agosto ($\delta^2\text{H} = -27.1\%$) (Figura 7c).

Il potenziale idrico dei suoli risulta vicino allo zero in giugno, indicando una condizione prossima alla saturazione a causa delle abbondanti precipitazioni di maggio. Nei mesi successivi, si è assistito ad un progressivo decremento del potenziale idrico, soprattutto negli orizzonti più profondi, arrivando ad agosto negli strati più profondi a Ψ_{suolo} compresi tra -1.0 e -0.4 MPa. Tuttavia, le piogge di agosto hanno permesso di ricaricare il suolo nei primi 40 cm, dove Ψ_{suolo} assume valori superiori a -0.2 MPa (Figura 7d). Ciò giustifica i dati isotopici, in quanto le piante a fine agosto sembrano utilizzare quest'acqua più superficiale.

Campionamenti addizionali nel sito di Ceroglie

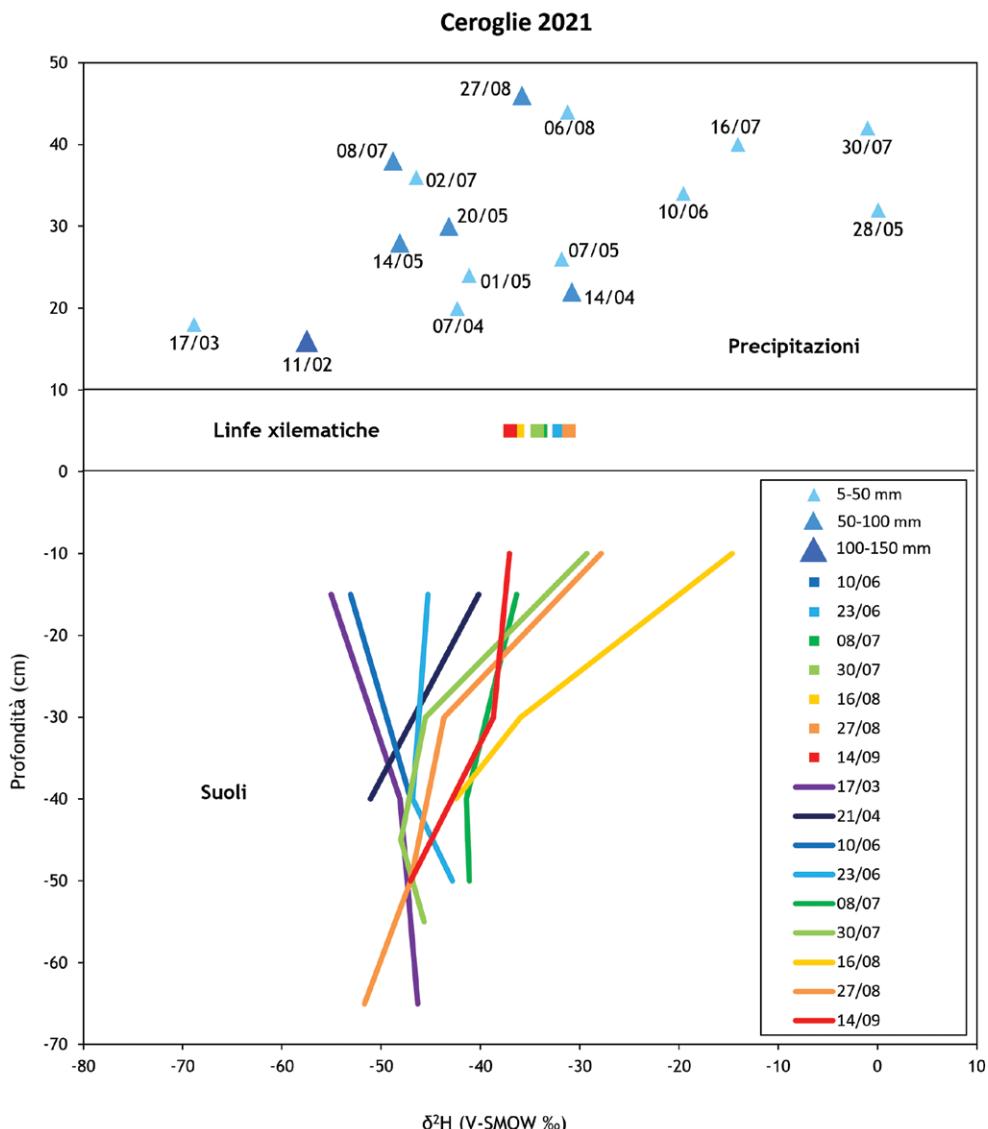


Figura 8. Firme isotopiche ($\delta^2\text{H}$) degli eventi di precipitazione superiori a 5 mm, delle linfe xilematiche e dell'acqua dei suoli campionati nel sito di Ceroglie durante il 2021 (campagna principale e campionamenti addizionali).

Il grafico in figura 8 mostra i valori di $\delta^2\text{H}$ dell'acqua contenuta nel suolo, nelle linfe xilematiche e dei singoli eventi di precipitazione del vigneto di Ceroglie durante il 2021. Per quanto riguarda i suoli si può notare un'ampia variabilità della composizione iso-

topica nello strato superficiale; questo è dovuto sia alla variabilità della composizione isotopica delle precipitazioni, che nel caso siano poco abbondanti influenzano quasi esclusivamente tale strato, sia all'evapotraspirazione del suolo e al frazionamento isotopico che ne consegue. I valori di $\delta^{2\text{H}}$ dell'acqua delle diverse trincee di suolo tendono a convergere verso valori di circa -45‰ per profondità maggiori di 40 cm. Questo valore è prossimo al valore medio annuo pesato per la quantità delle precipitazioni nel sito di Ceroglie, corrispondente ad un $\delta^{2\text{H}}$ di -43.0‰. Ben 6 eventi di precipitazione, di cui 3 con quantitativi d'acqua tra i 50 e i 100 mm, sono compresi tra valori di $\delta^{2\text{H}}$ di circa -40 e -50‰. È evidente quindi che la maggior parte dell'acqua che si infiltra nel suolo durante il periodo di studio abbia una composizione isotopica che si avvicina a questi valori e che tale acqua tenda a conservarsi e mescolarsi in profondità nel suolo. Le linfe xilematiche mostrano invece una scarsa variabilità della firma isotopica, rientrante nell'intervallo -30 ‰ -40 ‰, risultando quindi mediamente meno negative dei suoli.

CONCLUSIONI

Questo studio, nonostante le inusuali precipitazioni verificatesi soprattutto nell'estate del 2020, ha permesso di definire un modello della circolazione idrica sotterranea delle acque e le modalità di utilizzo di questa risorsa da parte delle viti. Nei territori investigati, i periodi con maggiori precipitazioni sono quelli tardo-autunnali e primaverili. In queste stagioni, le basse temperature e la ridotta attività vegetativa, favoriscono l'infiltrazione delle acque meteoriche che vanno a ricaricare i suoli anche in profondità. Nel periodo estivo invece, le precipitazioni tendono a ricaricare solamente gli stati più superficiali del suolo. Le acque ivi contenute vengono immediatamente utilizzate dalle piante per la loro attività vegetativa.

La comprensione di questi processi è stata chiarita soprattutto nel secondo anno di progetto, quando sono stati intensificati i campionamenti nel sito di Ceroglie e le minori precipitazioni estive hanno in alcuni siti portato le viti ad un moderato stress idrico. In conclusione, si può affermare che risulta determinante la ricarica primaverile senza la quale viene a mancare quella risorsa aggiuntiva che può garantire l'auto-sostenibilità delle coltivazioni.

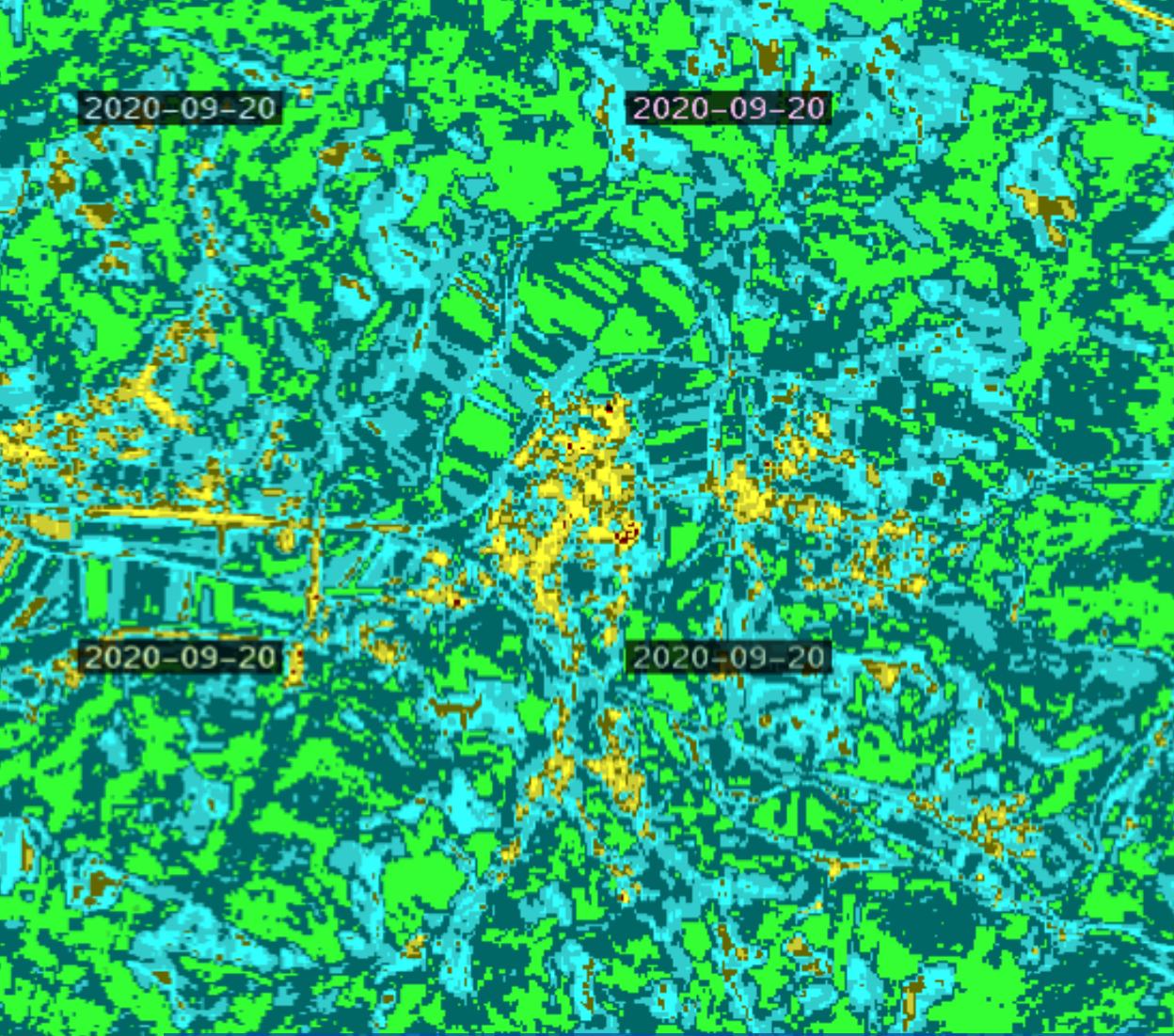
La variabilità della granulometria e degli spessori del suolo congiuntamente al grado di fratturazione e alla eventuale carsificazione della massa rocciosa creano comunque per ogni vigneto un contesto geologico ed idrogeologico peculiare. L'acqua disponibile per le piante è immagazzinata in modo differente da sito a sito: a Precenicco in modo più o meno omogeneo nel primo metro di suolo, a Potok-Stronc nei primi due metri, a Ceroglie nei primi 60-70 cm e potenzialmente anche più in profondità, nelle tasche di terreno presenti in grotte e fratture incarsite. Pertanto, la comprensione del modello idrogeologico di un sito, congiuntamente al monitoraggio dello stato idrico dei suoli e delle viti, permette di stabilire le reali necessità delle piante. Questo approccio multidisciplinare applicato ai singoli vigneti potrebbe pertanto indirizzare l'utilizzo delle pratiche irrigue individuando i periodi di reale bisogno di acqua per le coltivazioni. Ciò potrebbe ridurre lo spreco della risorsa idrica pur mantenendo la produttività desiderata e la qualità del prodotto.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo il Prof. Giorgio Alberti e il sig. Diego Chiabà per il supporto tecnico dato per l'estrazione delle carote di terreno nei siti di Precenicco e Capriva. Le ricerche nell'ambito del progetto Acquavitis sono state finanziate dal Fondo europeo di sviluppo regionale - Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Slovenia 2014-2020 e da fondi nazionali.

BIBLIOGRAFIA

- Dansgaard W. 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus 16:436-468.
- Gröning M., Lutz H.O., Roller-Lutz Z., Kralik M., Gourcy L., Pöltenstein L. 2012. A simple rain collector preventing water re-evaporation dedicated for δ 18O and δ 2H analysis of cumulative precipitation samples. J. Hydrol. 448-449:195-200.
- Hervé-Fernández P., Oyarzún C., Brumbt C., Huygens D., Bodé S., Verhoest N.E.C., Boeckx P.J.H.P. 2016. Assessing the ‘two water worlds’ hypothesis and water sources for native and exotic evergreen species in south-central Chile. Hydrol. Proc. 30:4227-4241.
- Horita J., Ueda A., Mizukami K., Takatori I. 1989. Automatic δ D and δ 18O analyses of multi-water samples using H₂- and CO₂-water equilibration methods with a common equilibration set-up. Int. J. Radiat. Appl. Instrumentation. Part A. 40:801-805.
- IAEA. 2014. IAEA/GNIP precipitation sampling guide V2.02 September 2014.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Masson-Delmotte et al. (Eds.). Cambridge, UK & New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Liu Y., Zhu G., Zhang Z., Sun Z., Yong L., Sang L., ... Zhao K. 2022. Isotopic differences in soil-plant-atmosphere continuum composition and control factors of different vegetation zones on the northern slope of the Qilian Mountains. Biogeosciences. 19:877-889.
- Masiol M., Zannoni D., Stenni B., Dreossi G., Zini L., Calligaris C., Karliceck D., Michelini M., Flora O., Cucchi F., Cucchi F., Treu F. 2021. Spatial distribution and interannual trends of δ 18O, δ 2H, and deuterium excess in precipitation across North-Eastern Italy. J. Hydrol. 598:125749.
- Savi T., Petruzzellis F., Martellos S., Stenni B., Dal Borgo A., Zini L., Lisjak K., Nardini A. 2018. Vineyard water relations in a karstic area: deep roots and irrigation management. Agric. Ecosyst. Environ. 263: 53-59.
- Savi T., Petruzzellis F., Moretti E., Stenni B., Zini L., Martellos S., Lisjak K., Nardini A. 2019. Grapevine water relations and rooting depth in karstic soils. Sci. Tot. Env. 692:669-675.
- Scandellari F., Penna D. 2018. Gli isotopi stabili nell’acqua fra suolo, pianta e atmosfera. Italus Hortus 24:51-67.



2020-09-20

2020-09-20

2020-09-20

2020-09-20

2020-09-20

Dal laboratorio al vigneto: nuovi strumenti digitali per il trasferimento delle conoscenze e la viticoltura sostenibile - la piattaforma Acquavitis

Klemen Lisjak^{1*}, Paolo Sivilotti², Barborič Blaž³

¹ Istituto Agrario della Slovenia, Dipartimento di frutticoltura, viticoltura ed enologia

² Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agro-alimentari, Ambientali e Animali

³ Istituto di Geodesia della Slovenia
klemen.lisjak@kis.si

RIASSUNTO

L'agricoltura è dinanzi a sfide importanti da affrontare. I cambiamenti climatici, che si riflettono in periodi di siccità e temperature elevate sempre più frequenti, aumentano lo stress ambientale che a sua volta influisce sugli ecosistemi naturali ed agricoli (in particolare sul settore in cui l'indice di sfruttamento idrico WEI è alto), specie nella viticoltura. Grazie al recente sviluppo della tecnologia informatica, la digitalizzazione si sta evolvendo in uno degli strumenti fondamentali nella gestione dei vigneti e delle cantine. Le tecnologie innovative ci aiutano ad affrontare alcune delle principali problematiche del settore, ovvero la sostenibilità, i cambiamenti climatici, la tracciabilità e la resilienza. Molti degli obiettivi ricercati dall'agricoltura europea sono legati alle innovazioni digitali. Sono proprio queste novità che apporteranno, si auspica, un contributo non indifferente nelle sfide sociali, come la tutela dell'ambiente e la sostenibilità con uno sfruttamento più efficace delle risorse e dell'energia [1-3]. Le proprietà geologiche e geomorfologiche, oltre alle caratteristiche socio-economiche (piccole aziende agricole), rendono il territorio transfrontaliero che si estende nelle regioni del Litorale sloveno e del Friuli Venezia Giulia, ovvero la Valle del Vipava, il Carso ed il Friuli, particolarmente vulnerabile. I periodi caldi e secchi negli ultimi decenni sempre più frequenti d'estate (come quelli negli anni 2003, 2012 e 2015) hanno palesato come i sistemi agricoli e produttivi siamo suscettibili agli eventi meteorologici straordinari ed estremi. A tal proposito si è proceduto allo sviluppo della piattaforma digitale Acquavitis per il monitoraggio dei principali parametri agrometeorologici e promuovere una migliore gestione dei vigneti.

ABSTRACT

Agriculture is facing major challenges. Climate change, which is reflected in increasingly frequent dry periods and high temperatures, increases environmental stress, and the latter affects both natural and agricultural ecosystems (especially the sector with a high so-called "water exploitation index"), with a special emphasis on viticulture. With the development of information technology in recent years, digitization is becoming one of the most important tools for managing vineyards and wine cellars. New technologies are helping us to address some of the key issues in the sector, such as sustainability, climate change, traceability, and resilience. Many goals for the development of agriculture in Europe are linked to digital innovation. Among other things, they are expected to contribute to facing social challenges such as environmental protection and sustainability, for example through more efficient use of resources and energy consumption [1-3]. The cross-border project area of Primorska and Friuli Venezia Giulia Region, more specifically the Vipava Valley, Karst and Friuli with its geological-geomorphological and socio-economic

characteristics (small agricultural holdings), has become particularly vulnerable. The more frequent hot and dry summers that have occurred in recent decades (e.g., in 2003, 2012 and 2015) have shown the sensitivity of agricultural production systems to extreme and unusual weather conditions. For this purpose, as part of the project activities, we developed the digital platform 'Acquavitis' for monitoring the main agrometeorological parameters and better vineyard management.

INTRODUZIONE

Le piattaforme digitali forniscono un accesso integrato e rapido alle informazioni riguardanti la condizione del terreno acquisite da molteplici fonti, grazie a cui è possibile comprendere meglio le sfide attuali ed indirizzare tempestivamente le misure da mettere in atto nei vigneti (il corretto utilizzo dell'acqua a seconda dello stress idrico delle viti, le tempistiche di irrigazione ecc.). Una risposta sbagliata o tardiva potrebbe condizionare l'economicità e la sostenibilità del settore (uso sbagliato dell'acqua e dei pesticidi ecc.). Al fine di ottenere il livello qualitativo ottimale dei vini e supportare la gestione sostenibile dell'attività bisogna monitorare il più meticolosamente possibile l'intero processo di produzione dall'uva al vino (viticoltura e enologia di precisione).

Da recenti studi si evince come la situazione meteorologica delle singole annate e le differenze territoriali riguardanti la tipologia e la composizione del suolo siano di vitale importanza per le caratteristiche dell'uva e del vino (Urvieta et al., 2021). A causa dei cambiamenti climatici è fondamentale applicare il monitoraggio in tempo reale dei parametri agrometeorologici, della sanità delle viti e della qualità dell'uva sul territorio interessato, il tutto sia su una base annua, sia a breve (10 anni), sia a lungo termine (30 anni). Grazie agli strumenti digitali il monitoraggio dei parametri climatici si è evoluto in un processo veloce ed automatico che fornisce dati indispensabili per la pianificazione dei nuovi vigneti. La digitalizzazione e l'elaborazione automatica dei dati garantiscono il trasferimento rapido delle informazioni fino all'utente finale (viticoltore), permettendo un migliore controllo del vigneto ed un'ottimale attuazione dei lavori sul campo, oltre ad agevolare le decisioni che il viticoltore deve prendere quotidianamente o ogni anno. La viticoltura moderna continua ad aumentare la standardizzazione di tecnologie sempre più all'avanguardia che si servono anche di rilevamenti satellitari, della tecnologia GNSS/GPS, dei robot, dei sensori di temperatura, umidità e altri. L'evoluzione

tecnologica stimola l'agricoltura a diventare più efficace, sicura e verde (OIV, 2021).

Pur essendo un settore tradizionale, negli ultimi anni la viticoltura ha giovato di cambiamenti favorevoli, specie per quanto concerne il campo dell'informatizzazione, della digitalizzazione, delle tecnologie (viticoltura di precisione), delle modalità produttive, degli strumenti di commercializzazione e via dicendo, con l'auspicio di raggiungere (i) una riduzione dei costi di coltivazione, (ii) un calo dell'impronta ecologica e (iii) un aumento delle vendite del vino. Il settore della viticoltura e dell'enologia ha visto nell'ultimo decennio numerosi progetti professionali e di ricerca svoltisi sia a livello nazionale sia nell'ambito di iniziative transfrontaliere che comprendevano vari studi parziali e complessi su diversi piani settoriali. I risultati delle ricerche e dei progetti sono stati presentati in pubblicazioni rivolte al vasto pubblico, in particolare nei dépliant e nelle brochure, ma anche negli articoli divulgativi e in riviste scientifiche. Tuttavia, le esperienze parlano chiaro: il trasferimento delle conoscenze ottenuto grazie agli esperimenti nei vigneti e durante le ricerche di laboratorio richiedono uno schema più veloce e semplice, facilmente consultabile per gli utenti finali, ovvero i viticoltori, gli enologi, i cittadini ecc. La visualizzazione dei dati permette un trasferimento delle conoscenze comodo e rapido.

Uno degli obiettivi del progetto Acquavitis era quello di lanciare una piattaforma interattiva bilingue che fornisse ai viticoltori del territorio transfrontaliero le informazioni sulle condizioni meteorologiche, sullo stress idrico dei vigneti, sullo stato dell'acqua nel suolo e nelle piante, oltre a mettere a disposizione immagini satellitari e altre visualizzazioni rilevate da droni ed aerei. Inoltre, rientra nelle finalità di Acquavitis una migliore divulgazione dei risultati del progetto grazie a dimostrazioni e lezioni video tenutesi durante i vari simposi organizzati nell'ambito del progetto.

La piattaforma, ovvero il portale Acquavitis (www.acquavitis.eu) fornisce la raccolta sistematica dei parametri agrometeorologici, la geovisualizzazione dei dati satellitari, ambientali e di altri dati spaziali necessari per l'interpretazione delle informazioni rilevanti legate allo stress idrico nei vigneti ed allo stato d'acqua nel suolo e nelle viti.

Il portale Acquavitis comprende quattro moduli, ossia:



- Temperatura e clima
- Potenziale idrico
- Dati satellitari, ambientali e altri dati spaziali
- Analisi e ricerche

Figura 1: Schermata del menù principale (dei moduli) della piattaforma Acquavitis.

MODULO 1: TEMPERATURA E CLIMA

Nel primo modulo vengono visualizzati i dati meteorologici raccolti da otto stazioni presenti sul territorio transfrontaliero, nonché i principali indici agrometeorologici relativi a specifici intervalli temporali e annuali.

Ciascuna stazione meteo fornisce le seguenti informazioni:

- Temperatura - temperature minime, massime e medie giornaliere
- Il grafico delle precipitazioni totali settimanali e l'evapotraspirazione totale settimanale
- Il grafico del deficit o eccesso settimanale d'acqua
- Il grafico con il numero di ore superiore ai 10 °C e l'indice di Winkler
- Possibile visualizzazione dell'indice di freschezza delle notti

I dati possono essere commutati in tabelle che consistono dei dati relativi alle precipitazioni, all'evapotraspirazione, alla radiazione, al numero di ore con temperatura maggiore di 10 °C, alle temperature medie, minime e massime del giorno.



Figura 2: Indice di freschezza delle notti (settembre 2021) per il territorio transfrontaliero del progetto Acquavitis

Dalla piattaforma è possibile esportare i dati in file .csv utili ai diversi fruitori interessati (esperti di viticoltura, ricercatori, studenti) durante le ricerche e la redazione di pubblicazioni scientifiche, contribuendo dunque ad una banca dati aperta volta ad assistere lo studio del settore. I risultati hanno apportato conoscenze ed informazioni utili ai viticoltori, esperti e servizi professionali durante il rinnovo dei vigneti, fornendo indicazioni pertinenti al corretto impianto del vigneto, alla selezione dei suoli ed all'adattamento della viticoltura e dell'enologia in seguito ai mutamenti climatici sempre più intensi.

Con il fine di monitorare i cambiamenti climatici, cioè la temperatura, la quantità di precipitazioni e l'evapotraspirazione negli anni, è stata introdotta sul portale anche la relazione annua contenente le principali proprietà agrometeorologiche dell'anno analizzato con inherente comparazione tra gli anni precedenti. Si tratta, infatti, di un'ulteriore informazione utile per identificare e confrontare le annate.

MODULO 2: POTENZIALE IDRICO

Il secondo modulo (Potenziale idrico) comprende le misurazioni dello stress idrico nei vigneti considerati del territorio transfrontaliero. Dopo aver selezionato il vigneto i dati appaiono sul grafico *box-plot* con tanto di stime dello stress idrico in un determinato intervallo.

Il livello dello stress idrico viene raffigurato in vari colori: no stress (verde scuro), stress lieve (verde chiaro), stress moderato (giallo), stress forte (arancio) e stress eccessivo (rosso).

Le misurazioni consistono del potenziale idrico pre-alba sia in grafico sia in tabella, del potenziale idrico delle foglie a mezzogiorno e del potenziale idrico del fusto a mezzogiorno.

MODULO 3: DATI SATELLITARI, AMBIENTALI E ALTRI DATI SPAZIALI

Il prossimo modulo è relativo ai dati satellitari, ambientali ed ad altri dati spaziali in cui vengono raffigurati i rilevamenti satellitari, oltre ai dati ambientali e non solo, necessari per l'interpretazione delle informazioni rilevanti per lo stress idrico nei vigneti e lo stato dell'acqua nel suolo e nelle viti.

I cambiamenti climatici, che si riflettono in periodi di siccità e temperature elevate sempre più frequenti, aumentano lo stress ambientale che a sua volta influisce sugli ecosistemi naturali e agricoli (in particolare sul settore in cui l'indice di sfruttamento idrico WEI è alto), specie nella viticoltura. Oltre alle pertinenti informazioni ambientali ed ai dati spaziali, la piattaforma libera GIS fornisce immagini satellitari (rilevate da Sentinel-2) con tanto

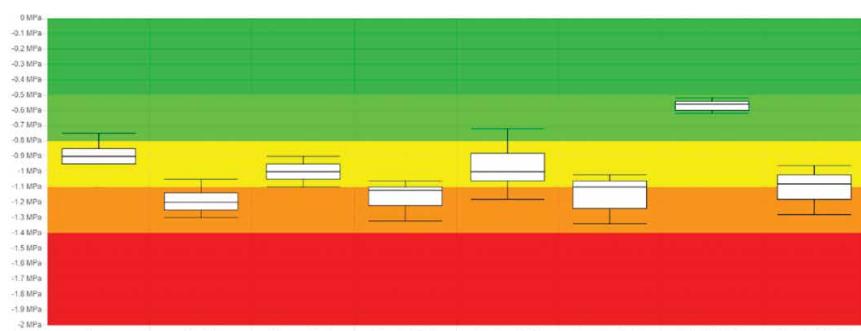


Figura 3: Lo stress idrico (potenziale idrico del fusto a mezzogiorno - Ψ_{fusto}) nei vigneti tra il 9 ed il 15 agosto 2021

di indici di umidità nel suolo, indici di umidità nelle piante, spettri infrarossi e molti altri aspetti fondamentali per i vigneti coltivati sul territorio transfrontaliero. Le indagini svolte durante le fasi precedenti del progetto Acquavitis hanno riscontrato una buona affinità tra l'infrarosso ad onde corte ed il potenziale idrico delle viti, fatto comprovato anche in concreto dall'applicabilità delle immagini satellitari.

L'interfaccia online è costituita dalla mappa interattiva basata sulla carta topografica elementare a cui è possibile sovrapporre i singoli strati tematici e rilevamenti satellitari che mostrano:

- l'indice di siccità normalizzato
- l'indice di umidità differenziale normalizzato
- l'indice di vegetazione differenziale normalizzato
- e la temperatura della superficie

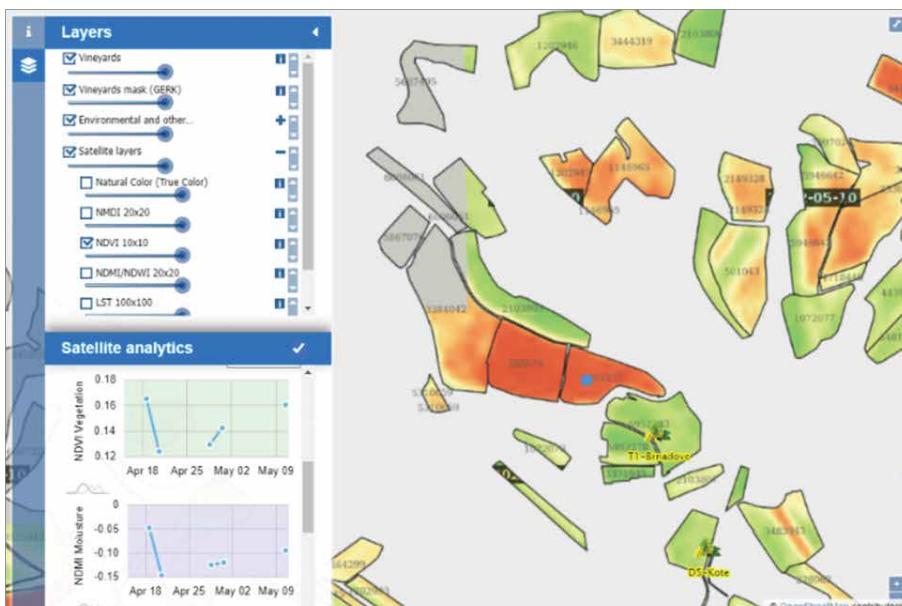


Figura 4: Immagini satellitari con valori differenziati nei vigneti

I vari strati possono essere gestiti attraverso la barra degli strumenti che permette di visualizzare i dati per un determinato intervallo temporale. Grazie alla stringa è possibile visualizzare sulla mappa i valori degli strati relativi a periodi diversi. Innanzitutto, si sceglie l'intervallo di tempo. Cliccando sulla specifica località indicata sulla mappa si visualizza nell'apposito grafico i valori di tutti gli strati riscontrati per il lasso temporale indicato. Cliccando

su un'altra località è possibile paragonare i valori di entrambi i siti e svolgere le analisi di base tra i due vigneti. I dati vengono rappresentati del grafico.

Le immagini satellitari possono essere disabilitate cliccando semplicemente sull'apposito tasto per poi visualizzare i dati ambientali. Tali informazioni comprendono elementi vari, quali la carta del suolo, le zone a rischio di alluvioni, i corpi d'acqua, le acque freatiche, le aree di salvaguardia delle acque potabili, le grotte e le voragini. Si identificano anche le zone protette da NATURA2000 e le altre aree naturali protette presenti sul territorio.

Nel modulo si visualizzano i dati del registro catastale e le unità grafiche delle attività agricole Gerk, precisamente lo schema di tipo vettoriale che fornisce, tramite un clic, le informazioni inerenti al Gerk interessato. Appare anche lo schema del raster delle aziende agricole.

Per l'intera area è possibile accedere anche alle ortofoto digitali. Tutti i dati sono acquisiti dai servizi online dell'Amministrazione geodetica, dell'Agenzia della Repubblica di Slovenia per l'ambiente e dal proprio server.

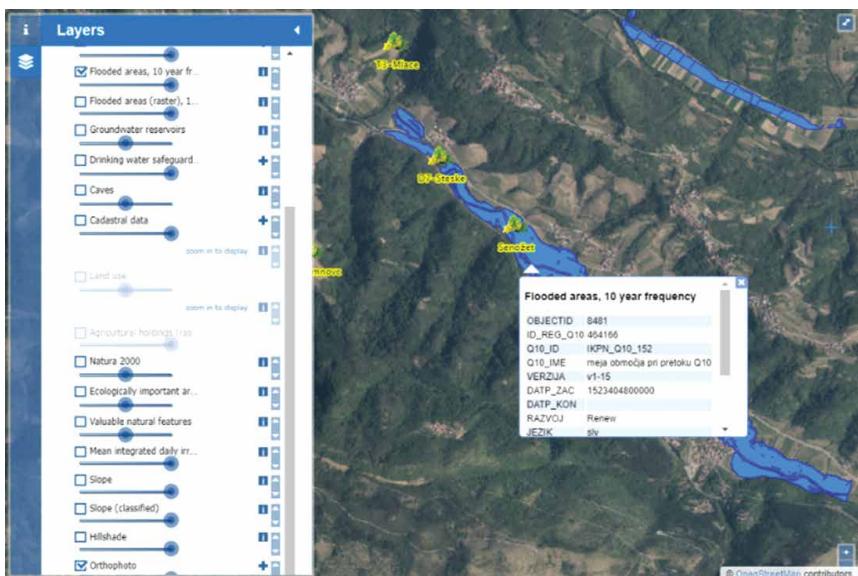


Figura 5: Visualizzazione dei dati ambientali su base ortofoto

Tabella 1: Elenco dei dati nel visualizzatore GIS del Modulo 3.

Area d'Slovenia	Area d'Italia	Traduzione inglese
GERK	/	Agricultural holdings
RABA tal	Carta dell'uso del suolo Corine Land Cover FVG 2000	Land use
ZKP	Catasto	Cadastral data
poplavna območja (Q10)	/	Flooded areas, 10 year frequency
območja pogostih poplav	/	Area of frequent floods
pedološka karta (DPK25)	Carta dei suoli Trieste& Pordenone	Soil map
vodna telesa	/	Water bodies
podzemne vode	Corpi idrici sotterranei	Groundwater bodies
vodonosni sistemi	/	Groundwater reservoirs
vodovarstvena območja (državni, vrelčni, občinski nivo)	Acque potabili / aree protette delle acque potabili	Drinking water safeguard zones (statal, well and municipality level)
jame	/	Caves
natura 2000	/	Natura 2000
ekološko pomembna območja	/	Ecologically important areas
naravne vrednote	/	Valuable natural features
DOF050	Ortofoto 2012 AGEA 0,5m	Orthophoto, 0,5m
OpenStreetMap	OpenStreetMap	OpenStreetMap
Naklon 25 x 25	Pendenza	Slope
Naklon 25 x 25 (klasificiran)	Pendenza (classificata)	Slope (classified)
sončno obsevanje 25 x 25	Irradiazione solare	Solar irradiation
senčen model reliefsa	Modello delle ombre	Hillshade

Area d'Slovenia	Area d'Italia	Traduzione inglese
NDVI 10 x10 (Normalizirani diferencialni vegetacijski indeks)	NDVI 10 x10	NDVI 10 x10 (Normalized Difference Vegetation Index)
NDMI/NDWI 20 x 20 (Normalizirani diferencialni indeks vlažnosti)	NDMI/NDWI 20 x 20	NDMI/NDWI 20 x 20 (Normalized Difference Moisture Index)
NMDI 20 x 20 (Normalizirani sušni indeks)	NMDI 20 x 20	NMDI 20 x 20 (Normalized Multiband Drought Index),
LST 100 x 100 (Temperatura površja)	LST 100 x 100	Land Surface Temperature
Posnetek površja v naravnih barvah	Colore naturale (vero colore)	Natural color (True color)

MODULO 4: ANALISI E RICERCHE

L'ultimo modulo riguarda le analisi e ricerche. Selezionando un determinato vigneto si ottiene lo schema grafico o tabellare delle pubblicazioni, degli articoli scientifici, delle news, delle lezioni, dei simposi e del materiale video progettuale. Cliccando sul menu si accede alla newsletter ed alle brochure scientifiche in formato PDF, invece le lezioni sono consultabili in file Power Point o

The screenshot shows the Acquavitis website interface. At the top, there's a green header with the logo and navigation links for 'Slovensko' and 'Prijava'. The main content area has a sidebar on the left with links like 'Temperatura in klima', 'Vodni stres', 'Satelitski, okoljski in ostali prostorski podatki', 'Analize in raziskave', 'Izotopi', and 'Newsletter in video'. The main content area features a video player titled 'Sampling of soils 2020' with a thumbnail showing a person in a hard hat working in a field. The video player includes a play button and some social media sharing icons. Above the video, there's a link to a PDF file: 'Acquavitis_Newsletter_mt_SLO_final_03122020_final.pdf' dated 'dec. 05 2020'.

Figura 6: Materiale video realizzato nell'ambito delle attività progettuali

attraverso il materiale video ottenuto dai vari webinar organizzati dal progetto. Lo speciale modulo rende possibile la traduzione dei risultati e delle nozioni scientifiche in un linguaggio comprensibile agli utenti, importante specie per le attività di informazione, sensibilizzazione, promozione, capitalizzazione dei risultati nonché per stimolare l'evoluzione degli approcci innovativi verso una viticoltura sostenibile sul territorio transfrontaliero.

Al fine di aumentare il livello di interazione con il pubblico, raccogliere i pareri dei cittadini e presentare le attività del progetto, sono stati aperti i profili su tutti i principali social media, quali Facebook, Twitter e Instagram. Anche il sito internet nonché la pagina Facebook verranno continuamente aggiornati, pubblicando tutte le novità e gli obiettivi raggiunti durante il progetto.

CONCLUSIONE

I velocissimi cambiamenti climatici puntualizzano come lo sviluppo delle strategie per individuare misure di resilienza e intraprendere interventi flessibili a riguardo sia di vitale importanza anche nell'area transfrontaliera. A causa delle caratteristiche meteorologiche, geomorfologiche e economiche (piccole aziende agricole) il territorio interessato risulta essere estremamente vulnerabile. La digitalizzazione, il rilevamento e l'elaborazione automatica dei dati agrometeorologici nonché la visualizzazione facilmente consultabile dai viticoltori, permettono di agire tempestivamente ed adattarsi meglio sia in un periodo breve (il controllo dello stress idrico e il corretto utilizzo d'acqua) sia a lungo termine (il giusto impianto delle viti nel suolo rispetto all'ubicazione del vigneto).

Nell'ambito del progetto è stata realizzata la piattaforma online comune (www.acquavitis.eu). Dopo la fase iniziale di acquisizione dei dati, lo strumento è stato utilizzato per fornire ai viticoltori dell'area transfrontaliera le informazioni agrometeorologiche ottenute dalle otto stazioni meteo nonché i dati sullo stress idrico nei vigneti. L'intento della piattaforma online è quello di archiviare, elaborare e visualizzare in modi diversi i dati, e con ciò stimolare le piccole e medie aziende vinicole ad introdurre approcci e tecnologie innovative per una gestione idrica corretta del vigneto.

La digitalizzazione rappresenta una delle principali tendenze che in un futuro recente e non trasformerà, per non dire evolverà,

la società e l'intero sistema economico internazionale. La viticoltura moderna continua ad aumentare la standardizzazione di tecnologie sempre più all'avanguardia che si servono anche di rilevamenti satellitari, della tecnologia GNSS/GPS, dei robot, dei sensori di temperatura, umidità ed altri. L'evoluzione tecnologica stimola l'agricoltura a diventare più efficace, sicura e verde. A quanto detto si addice anche un maggiore livello di educazione di tutte le figure interessate alla viticoltura. Conoscendo i parametri climatici di una determinata zona e dell'anno, si avrà una maggiore cognizione delle caratteristiche dell'area, dell'annata e del distretto anche per gli attori coinvolti nella commercializzazione del vino (parliamo anche di sommelier, blogger, camerieri), e di conseguenza aumenta la competitività del settore.

Il monitoraggio dei parametri agrometeorologici e degli altri indicatori (satellitari) disponibili sul portale Acquavitis agevolerà le decisioni che concernono lo sviluppo del settore della viticoltura anche in futuro. Mettere a disposizione maggiori informazioni in tempo reale significa anche fornire opportunità di gestione più flessibili, garantire risposte tempestive ai cambiamenti climatici e supportare l'ottimizzazione dei vigneti rispetto alle condizioni del territorio transfrontaliero riportate dal portale.

RINGRAZIAMENTI

Le ricerche nell'ambito del progetto Acquavitis sono state finanziate dal Fondo europeo di sviluppo regionale - Programma per la cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Slovenia 2014-2020 e da fondi nazionali.

BIBLIOGRAFIA

Commissione europea. COM(2020) 66 Definitivo. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: Una strategia europea per i Dati; Commissione europea: Bruxelles, Belgio, 2020.

Commissione europea. COM(2018) 237 Definitivo. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio europeo, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: L'intelligenza artificiale per l'Europa; Commissione europea: Bruxelles, Belgio, 2018.

Commissione europea. COM(2018) 118 Definitivo. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: Bussola per il digitale 2030: il modello europeo per il decennio digitale; Commissione europea: Bruxelles, Belgio, 2021. Jones, G. V. Climate, Terroir and Wine: What matters most in producing a great wine? EARTH 59, 36-43 (2014).

Urvieta R., Jones G., Buscema F., Bottini R., Fontana A. 2021. Terroir and vintage discrimination of Malbec wines based on phenolic composition across multiple sites in Mendoza, Argentina. *Scientific Reports* 11(1): 2863

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Autori: tutti i partner progettuali

Il cambiamento climatico che si riflette in sempre più frequenti periodi di siccità e temperature elevate, sta incrementando lo stress ambientale che colpisce sia gli ecosistemi naturali sia quelli agricoli - in particolare i settori con un elevato indice di sfruttamento idrico, come ad esempio la viticoltura. L'area transfrontaliera della Primorska (Litorale) e del Friuli Venezia Giulia, più precisamente la Valle del Vipacco (Vipavska dolina), il Carso (Kras), il Collio (Brda) e il Friuli, con le sue caratteristiche geologiche e geomorfologiche, ma anche socio-economiche (aziende agricole di piccole dimensioni), è diventata particolarmente vulnerabile. Le estati calde e secche, più frequenti nell'ultimo decennio (2012, 2015, 2018 e 2022), hanno mostrato la sensibilità dei sistemi forestali e agricoli a condizioni meteorologiche estreme e anomale. Le recenti condizioni di siccità si sono discostate notevolmente dalla norma: secondo l'Osservatorio europeo sulla siccità, quasi la metà (47%) del territorio europeo sta affrontando un deficit idrico del suolo. I bassi livelli d'acqua nei fiumi, nei laghi e negli invasi sono fonte di preoccupazione sia per l'irrigazione sia per le forniture di acqua potabile. I rapidi cambiamenti climatici che portano a precipitazioni sempre più scarse, a temperature dell'aria superiori alla media (oltre 35 °C) e all'aumento dell'evaporazione evidenziano l'urgente necessità di sviluppare strategie per migliorare la resistenza e l'adattabilità a questi cambiamenti.

Il progetto Acquavitis mirava allo sviluppo e alla verifica di tecnologie e linee guida innovative per la salvaguardia e l'uso efficiente di risorse idriche, nonché per la pianificazione a fronte di eventi imprevisti e cambiamenti climatici. Lo scambio di esperienze tra gli istituti di ricerca, la sperimentazione di nuove tecnologie e il trasferimento di conoscenze aiuteranno le aziende vitivinicole a gestire le risorse idriche destinate alla viticoltura in modo sostenibile e razionale. Durante i vari work packages, i ricercatori e gli specialisti di diversi settori hanno contribuito con le loro conoscenze ed esperienze a raggiungere importanti obiettivi ed esiti. Di seguito vengono brevemente presentati i principali risultati del progetto e le prospettive future.

PORCALE ACQUAVITIS

Il portale interattivo Acquavitis (www.acquavitis.eu) consente la raccolta sistematica di parametri agrometeorologici e la geovisualizzazione di dati satellitari, ambientali e territoriali che facilitano l'interpretazione di informazioni sullo stress idrico nei vigneti e sullo stato idrico del suolo e delle piante. Le indicazioni esposte in modo chiaro e rapido permettono agli operatori di prepararsi a situazioni estreme sempre più frequenti, come lo stress idrico in viticoltura.

Il portale Acquavitis è composto da quattro moduli:

- Temperatura e clima
- Stress idrico
- Dati satellitari, ambientali e altri dati territoriali
- Analisi e ricerca

Il modulo 1 (“**Temperatura e clima**”) permette la visualizzazione dei dati meteorologici provenienti da 8 stazioni meteorologiche dell'area transfrontaliera, nonché dei principali indici agrometeorologici suddivisi per intervalli di tempo e annualità: solo monitorando le precipitazioni in inverno e in primavera possiamo infatti prevedere i problemi idrici in estate. Un rapido esempio dal portale Acquavitis: la stazione meteorologica di Bilje ha rilevato nel 2022 solo 187,1 litri di pioggia nel periodo invernale e primaverile (dal 1° gennaio al 1° giugno 2022); nel 2021, nella stessa area e nello stesso periodo sono caduti 562,8 litri di pioggia. Informazioni rapide di questo tipo possono suggerire al viticoltore ulteriori misure, soprattutto per quanto riguarda l'irrigazione.

Nella pagina “**Stress idrico**” sono riportate le misurazioni di questo parametro nei vigneti selezionati dell'area transfrontaliera, con la visualizzazione dei risultati per il 2020 e il 2021. Il modello/software consente di aggiungere e monitorare i parametri anche in futuro.

Nella sezione “**Dati satellitari, ambientali e altri dati territoriali**” vengono mostrate immagini satellitari, i dati ambientali e altri dati che ci aiutano a interpretare le informazioni sullo stress idrico nei vigneti e sullo stato idrico del suolo e delle piante. Qui sono visualizzati l'indice di siccità normalizzato, l'indice di umidità differenziale normalizzato, l'indice di vegetazione differenziale normalizzato e la temperatura di superficie. Tra i dati ambientali visualizzati ricordiamo la mappa del suolo, le zone soggette

a inondazione, i corpi idrici, le acque ipogee, le aree di tutela dell'acqua potabile, le grotte e le voragini. Sono inoltre indicate le aree protette NATURA2000 e le altre aree naturali protette presenti in zona.

All'interno del modulo "Analisi e ricerca" si possono visualizzare in forma grafica e tabellare le pubblicazioni, gli articoli specialistici, le notizie, le presentazioni esposte durante i convegni e i filmati del progetto.

IL CICLO DELL'ACQUA

Nei due anni di progetto il metodo isotopico applicato alle acque delle precipitazioni, dei suoli e delle linfe xilematiche ha permesso di comprendere le modalità di ricarica ed utilizzo delle acque sotterranee da parte delle viti. Si è evidenziata l'importanza delle precipitazioni invernali e primaverili nel ricaricare d'acqua il suolo anche negli strati più profondi. Le precipitazioni estive generalmente si infiltrano solo negli strati più superficiali del suolo e vengono subito utilizzate dalle viti. La ricarica invernale-primaverile, rappresenta pertanto una risorsa strategica aggiuntiva soprattutto nei periodi di forte siccità. La comprensione di questi processi è stata possibile grazie anche alla campagna addizionale di campionamento effettuata per il sito di Ceroglie nel corso del 2021 che ha permesso di correlare i singoli eventi di precipitazione a un maggior numero campioni di suolo e linfe xilematiche. Dati con una maggiore risoluzione temporale permettono una migliore comprensione dei processi ecoidrologici, ma bisogna tenere in considerazione che ciascun vigneto possiede caratteristiche peculiari che dipendono sia dalla geomorfologia/geologia del sito che dalle specificità dell'impianto (per es. età del vigneto, cultivar e portinestri utilizzati). In quest'ottica, la metodica elaborata nell'ambito di questo progetto si è dimostrata efficace e pertanto rappresenta un valido strumento di analisi sito-specifica.

Le informazioni relative all'acqua disponibile nel suolo possono fornire ai viticoltori elementi utili per valutare la necessità reale di irrigazione e quindi di progettare impianti sostenibili, che permettano un risparmio di acqua garantendo la qualità del prodotto e la sostenibilità ambientale anche in ottica dei cambiamenti climatici in atto.

IL MONITORAGGIO DELLO STATO IDRICO DELLA VITE

Il monitoraggio dello stato idrico della vite tramite camera a pressione è un importante strumento per quantificare il livello di stress idrico e per gestire in modo ottimale ed efficiente l’irrigazione durante la stagione vegetativa. Per questo motivo, nel biennio 2020-2021 sono stati monitorati il potenziale idrico pre-alba (indicatore della disponibilità d’acqua nel suolo per le piante), il potenziale idrico fogliare minimo giornaliero (indicatore dello stress idrico massimo sofferto dalle viti) e il potenziale idrico minimo giornaliero del fusto (Ψ_{fusto}) nei sei vigneti principali del progetto Acquavitis. Oltre a ciò è stato monitorato il potenziale idrico del fusto della vite (Ψ_{fusto}) in 14 vigneti di Merlot nella Valle del Vipacco, dove sono stati confrontati i dati per i vigneti in collina o sui terrazzamenti (n=7) e quelli in pianura (n=7). Nei due anni di studio non si sono evidenziate particolari criticità in termini di disponibilità idrica nel suolo per le piante, ma nei mesi più caldi (fine luglio e fine agosto) del 2021 è stato osservato un aumento pronunciato dello stress idrico in termini di Ψ_{fusto} in tre dei sei siti di studio, che hanno raggiunto livelli di stress considerati moderato-severi. Anche le viti dei vigneti terrazzati della Valle del Vipacco dolina presentavano, nei mesi di luglio e agosto, una situazione di stress idrico. I risultati hanno mostrato come lo stress idrico della vite abbia comportato una minore resa per vite (25-60%) nei vigneti terrazzati rispetto a quelli di pianura. D’altra parte, i vini Merlot ricavati dai vigneti terrazzati contenevano in media più estratto secco totale e ceneri, più antociani (coloranti) e il 20-35% in più di tannini rispetto ai vini ottenuti da uve provenienti da vigneti nelle zone pianeggianti della Valle del Vipacco.

Sempre nell’ambito del progetto, è stato inoltre possibile condurre alcuni test metodologici per la corretta misura del potenziale idrico. Da tali test è emerso che il tempo di conservazione delle foglie tra la raccolta e la misura del potenziale idrico fogliare dipende dalla cultivar studiata e/o del livello di stress idrico raggiunto. Ciò evidenzia l’importanza di mettere a punto protocolli specifici nei singoli vigneti prima di condurre i monitoraggi in campo.

IL TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DELLO STRESS IDRICO NEI VIGNETI

Il telerilevamento è una scienza che utilizza un'ampia gamma di tecniche e sensori con in comune la capacità di ricavare informazioni specifiche sull'oggetto di studio senza alcun contatto fisico con esso. La radiazione elettromagnetica riflessa, data solitamente dalla luce del sole, viene misurata da sensori posti su diverse piattaforme (droni, aerei o satelliti). I dati così ottenuti ci permettono di monitorare la crescita delle piante e il loro stato. Tutto ciò ci consente poi di osservare varie caratteristiche delle piante, come l'attività di fotosintesi, la presenza o l'assenza di parassiti e lo stato nutrizionale o idrico. I dati di telerilevamento sono uno degli input fondamentali per la gestione dell'agricoltura di precisione.

I sensori delle diverse piattaforme variano in termini di risoluzione spettrale, spaziale e temporale; il loro uso va quindi alternato a seconda delle esigenze. In generale, le immagini satellitari sono più utili per il monitoraggio di un'area ampia (a livello nazionale o regionale), ma - come dimostrato dal progetto Acquavitis - possono essere utilizzate anche per l'osservazione di singoli vigneti. Il punto centrale del telerilevamento nell'ambito del progetto Acquavitis è l'utilizzo di diversi sensori su altrettante piattaforme per monitorare lo stato idrico nei vigneti selezionati. Nel vigneto di Komno abbiamo utilizzato una telecamera multispettrale e telecamere iperspettrali su drone che insieme catturano un segnale con lunghezze d'onda comprese tra i 400 e i 2500 nm. Sono state confermate le correlazioni tra il potenziale idrico delle piante e i dati telerilevati da tutti e tre i sensori. Sono stati inoltre sviluppati modelli di regressione per determinare lo stress idrico della vite, ma l'accuratezza dei modelli varia in base ai sensori e al livello di stress idrico espresso. In generale, i modelli più accurati sono stati ottenuti dai dati iperspettrali rilevati con un velivolo ultraleggero, ma per un monitoraggio dello stato dell'acqua nei vigneti veramente affidabile sarebbe necessario includere nei modelli di tutti i rilevatori testati un maggior numero di dati raccolti sul campo.

Sulla base delle immagini multispettrali Sentinel-2 abbiamo monitorato i vigneti nell'area di Precenicco, Strnec e Budihni. Sentinel-2 è una costellazione di due satelliti del programma Copernicus dell'Agenzia spaziale europea. Sentinel-2A e Sentinel-2B acquisiscono dati multispettrali con un sensore ottico che copre 13 canali. Le immagini vengono acquisite negli intervalli spettrali del visibile, del vicino infrarosso e dell'infrarosso a onde corte. Il potenziale

idrico della foglia misurato prima dell'alba ($\Psi_{\text{prima dell'alba}}$), il potenziale idrico minimo ($\Psi_{\text{della foglia a mezzogiorno}}$) e il potenziale idrico del fusto ($\Psi_{\text{fusto a mezzogiorno}}$) forniscono una stima affidabile dello stato idrico delle viti in relazione all'acqua disponibile e alle condizioni meteorologiche. Abbiamo scoperto che il potenziale idrico della foglia prima dell'alba è fortemente correlato con alcune lunghezze d'onda: la correlazione è pronunciata negli spettri infrarossi.

In futuro possiamo auspicare un uso più ampio dei dati di tele-rilevamento per determinare lo stato idrico delle piante. Come confermato nel nostro progetto, i dati multispettrali e soprattutto iperspettrali sono molto utili a questo scopo. La combinazione di immagini aeree, da droni e da satelliti può essere uno strumento molto efficace per monitorare lo stato delle piante in diverse aree, consentendo di intervenire in modo appropriato nella produzione e nella lavorazione dell'uva.

IRRIGAZIONE RAZIONALE E GESTIONE DEL SUOLO

La valutazione di linee guida per l'irrigazione rappresenta una sfida per i viticoltori poiché le variabili in gioco sono molteplici e le stagioni sono molto diverse tra di loro. Nell'ambito del progetto, l'utilizzo del DSS Vintel® ha permesso di seguire diverse strategie irrigue, ed è stato possibile verificare come un livello di stress moderato dalla fioritura alla raccolta abbia permesso di mantenere le piante in una buona condizione fisiologica; chiaramente il livello produttivo ha subito una diminuzione che però non ha minato la qualità delle uve. Livelli maggiormente limitanti invece hanno provocato dei danni alle piante che si sono poi riflessi anche sulla qualità delle uve e dei vini.

L'uso razionale dell'acqua in viticoltura include anche una corretta e sostenibile gestione del vigneto. Pertanto, una parte del progetto ha voluto esaminare la tecnica del sovescio o concimazione verde, in cui l'umidità nel terreno viene modulata seminando diverse miscelle di graminacee e leguminose. La tecnica è utile sia nel caso di primavere molto piovose, poiché il sovescio cresce vigoroso e compete per l'acqua con la vite, sia in caso di siccità estiva, poiché la rullatura o la trinciatura del sovescio agisce come una pacciamatura mantenendo l'umidità del terreno per un periodo di tempo più lungo.

A livello di gestione del suolo, le prove condotte presso un vigneto di glera a Precenicco hanno verificato l'effetto della modalità e della

tempistica della terminazione del sovescio sullo stato idrico della vite e sulla respirazione del suolo. In linea generale, la trinciatura del sovescio permette di mantenere una condizione idrica migliore, poiché la copertura del suolo con l'erba tagliata diviene una pacchiamatura che riduce l'acqua persa per evaporazione del suolo. Nel caso della terminazione per interramento del cotico, se effettuata precocemente favorisce la vigoria delle piante che risultano poi più suscettibili ai periodi di carenza idrica, mentre quando viene effettuata nei mesi più caldi favorisce la respirazione e quindi la perdita di sostanza organica. Quindi, la gestione del sovescio è importante al fine di ridurre lo stress idrico delle viti durante i mesi estivi secchi.

Le prove condotte dimostrano come la resilienza del vigneto debba essere ottenuta combinando gestione del suolo e dell'irrigazione. La gestione oculata del suolo può permettere alla vite nei primi mesi del ciclo di sviluppare una chioma più contenuta che ha un consumo idrico inferiore, mentre la gestione dell'irrigazione in deficit consente di ottimizzare l'uso dell'acqua e garantire una produzione dignitosa senza compromettere la qualità delle uve e dei vini.

Nell'ambito del progetto, abbiamo anche studiato l'influenza della combinazione di stress idrico e termico sulla qualità delle uve e dei vini di varietà sauvignon. I risultati hanno evidenziato come sia lo stress termico che quello idrico aumentavano il contenuto di precursori tiolici nell'uva e di tioli volatili (3MH) nel vino, ma a livello sensoriale la combinazione dei due stress ha evidenziato un risultato negativo. Inoltre, lo stress idrico ha aumentato la concentrazione dei composti responsabili dell'invecchiamento atipico (2AAP) e quindi il potenziale di invecchiamento dei vini.

CONCLUSIONI

I rapidi cambiamenti climatici pongono in primo piano l'urgente necessità di sviluppare strategie per garantire la resistenza e l'adattabilità ai mutamenti in atto, anche in un ambiente transfrontaliero. Oltre all'aumento delle temperature, si registrano anche alterazioni delle dinamiche nella stagionalità delle precipitazioni, con fenomeni di siccità, alluvioni, grandinate e altri eventi meteorologici estremi. È quindi molto importante che i nuovi strumenti, le conoscenze e l'esperienza che abbiamo sviluppato in questo progetto ci aiutino a prepararci agli eventi meteorologici estremi che saranno in futuro sempre più frequenti.

01.01.2022
31.08.2022

Celotni znesek/ Budget totale
954.663,12 €
Prispevek ESSR / Contributo FESR
811.463,65 €

Projekt se je izvedel v okviru Programa sodelovanja Interreg V-A Italija-Slovenija, ki ga financira Evropski sklad za regionalni razvoj.

Il progetto è stato implementato nell'ambito del Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia, finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale.



@acquavitis
 @acquavitis
 @acquavitis.project

Spletna stran
<https://www.acquavitis.eu/>
Spletni portal
<https://www.ita-slo.eu/sl/acquavitis>