Interreg Italia-Slovenija AGROTUR+

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

D.2.1.1

Rapporto sulle buone pratiche di microbiologia del vino terrano

Lorena Butinar, Branka Mozetič Vodopivec, Tatjana Radovanović Vukajlović, Mitja Martelanc

D.2.1.1

Poročilo o dobrih praksah mikrobiologije vina teran

Lorena Butinar, Branka Mozetič Vodopivec, Tatjana Radovanović Vukajlović, Mitja Martelanc

Vipava, Dicembre 2025

Vipava, december 2025

Partner di progetto/Projektni partnerji:

Kmetijski inštitut Slovenije
Agricultural Institute of Slovenia

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

CESCOT

ORA

Il progetto AGROTUR+ è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt AGROTUR sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/agrotur

Kazalo

1. Uvod 4
1.1 Namen, cilji in umestitev v projekt AGROTUR+ 4
1.2 Metodologija priprave poročila 4
2. Vino PTP Teran – pravni in tehnološki okvir 4
2.1 Zakonodajni okvir 5
2.2 Opredelitev vina, območje pridelave in temeljne tehnološke zahteve 5
2.3 Mejne kemijske vrednosti, neposredno vezane na mikrobiologijo 5
3. Mikrobiologija grozdja in mošta 6
3.1 Naravna mikrobiota grozdja 6
4. Alkoholna fermentacija 6
4.1 Vloga *Saccharomyces cerevisiae* in ne-*Saccharomyces kvasovk* 6
4.2 Tveganja: Zastala fermentacija in refermentacija 6
5. Malolaktična (jabolčno-mlečnokislinska) fermentacija (MLF) pri vinu PTP Teran 7
5.1 Pomen MLF za vino PTP Teran 7
5.2 *Oenococcus oeni* in druge mlečnokislinske bakterije 7
5.3 Priložnosti in omejitve MLF pri vinu PTP Teran – projektni rezultati AGROTUR+ 7
5.4 Tveganja: zapoznela oz. neuspešna MLF in biogeni amini 8
6. Kvarni mikroorganizmi in mikrobiološke nestabilnosti 8
6.1 *Brettanomyces bruxellensis* in hlapni fenoli 8
6.2 Druge kvarne bakterije 9
6.3 Metode zaznavanja kvarnih mikroorganizmov 9
7. Vzorčenje in mikrobiološka analiza – dobre prakse 9
7.1 OIV smernice za vzorčenje in mikrobiološko analizo 9
7.2 Skladnost z zahtevami specifikacije PTP Teran 10
8. Dobre prakse v vinogradu in kleti 10
8.1 Vinograd: zdravstveno stanje grozdja 10
8.2 Klet: higiena, sanitacija in upravljanje procesnih parametrov 10
9. Rezultati fizikalno-kemijskega in mikrobiološkega spremljanja terana v projektu AGROTUR+ (letnik 2023 in 2024) 11
9.1 Vzorec in analitske metode 11
9.2 Skladnost s kemijsko specifikacijo PTP Teran 11
9.3 Potek malolaktične fermentacije (MLF) 12

9.4 Biogeni amini 12
9.5 Primerjava s podatki predhodnega projekta AGROTUR II (2011–2018) 13
9.6 Hlapni fenoli in markerji *B. bruxellensis* 13
9.7 Povzetek ključnih empiričnih ugotovitev 14
10. Sinteza: dobra praksa – tveganje – ukrep nadzora – referenčni standard oz. pravna podlaga 15
11. Zaključki in izhodišča za D.2.1.2 in D.2.1.3 16
11.1 Ključna tveganja za nadaljnji monitoring 16
11.2 Prehod v D.2.1.2 – smernice za napredno mikrobiološko kontrolo 16
11.3 Prehod v D.2.1.3 – operativna navodila za platformo *winecider.net* 17

1. Uvod

1.1 Namen, cilji in umestitev v projekt AGROTUR+

Projekt AGROTUR+ se izvaja v okviru Programa sodelovanja Interreg VI-A Italija–Slovenija in povezuje partnerje Kmetijski inštitut Slovenije (KIS, vodilni partner), Univerzo v Trstu (UNITS), Univerzo v Novi Gorici (UNG), Cescot Veneto, Območno razvojno agencijo Krasa in Brkinov (ORA) ter GAL Carso-LAS Kras. Cilj projekta je krepitev trajnostne pridelave in prepoznavnosti kraških kmetijskih proizvodov, med njimi vina teran s priznanim tradicionalnim poimenovanjem (PTP Teran).[1]

Pričujoče poročilo (D.2.1.1) predstavlja sintezo dobrih praks na področju mikrobiologije vina teran, pripravljeno na podlagi mednarodnih strokovnih virov (Mednarodna organizacija za trto in vino – OIV; Avstralski raziskovalni inštitut za vino – AWRI), znanstvene literature s področja enologije in vinske mikrobiologije ter ugotovitev, pridobljenih v okviru projekta AGROTUR+. Poročilo predstavlja prvi v nizu treh medsebojno povezanih dosežkov. Dokument D.2.1.1 podaja pregled obstoječega znanja (state of the art) in dobrih praks, D.2.1.2 na tej podlagi pripravlja operativne smernice in odločitvene matrike za napredno mikrobiološko kontrolo, D.2.1.3 pa smernice pretvarja v uporabniku prilagojena navodila za digitalno platformo winecider.net.

Namen poročila je pridelovalcem, kletarjem in strokovnim službam na območju Krasa zagotoviti jasen, terminološko usklajen in na strokovnih standardih temelječ pregled mikrobioloških tveganj pri pridelavi vina PTP Teran ter ukrepov za njihovo obvladovanje. Hkrati poročilo predstavlja povezavo med dobrimi mikrobiološkimi praksami in zahtevami veljavne slovenske zakonodaje, ki ureja pridelavo vina PTP Teran.

1.2 Metodologija priprave poročila

Poročilo je pripravljeno kot namenska sinteza (desk review) štirih skupin virov: (1) veljavne slovenske zakonodaje in specifikacije proizvoda za vino PTP Teran; (2) mednarodnih standardov in kodeksov dobrih praks OIV ter tehničnih virov AWRI; (3) recenzirane znanstvene literature s področja mikrobiologije vina [2], [3], [4], [5], [6]; (4) lastnih rezultatov projekta AGROTUR+.

2. Vino PTP Teran – pravni in tehnološki okvir

To poglavje povzema slovenski zakonodajni okvir, ki opredeljuje vino s priznanim tradicionalnim poimenovanjem (PTP) Teran, s poudarkom na določbah, ki so neposredno povezane z mikrobiološkimi

[1] AGROTUR+ – projektna spletna stran (Program sodelovanja Interreg VI-A Italija–Slovenija). https://www.ita-slo.eu/en/agrotur

[2] Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B. in Lonvaud, A. (2006). Handbook of Enology, Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications (2. izd.). John Wiley & Sons.

[3] Carrascosa, A. V., Muñoz, R. in González, R. (ur.). (2011). Molecular Wine Microbiology. Academic Press/Elsevier.

[4] Reynolds, A. G. (ur.). (2021). Managing Wine Quality, Volume 2: Oenology and Wine Quality (2. izd.). Woodhead Publishing/Elsevier.

[5] Iland, P., Grbin, P., Grinbergs, M., Schmidtke, L. in Soden, A. (e-verzija 2015). Microbiological Analysis of Grapes and Wine: Techniques and Concepts. Patrick Iland Wine Promotions.

[6] Fugelsang, K. C. in Edwards, C. G. (2007). Wine Microbiology: Practical Applications and Procedures (2. izd.). Springer.

procesi pridelave (fermentacija, jabolčno-mlečnokislinska fermentacija, mikrobiološka in kemijska stabilnost).

2.1 Zakonodajni okvir

Osrednji predpis je Pravilnik o vinu s priznanim tradicionalnim poimenovanjem Teran (Uradni list RS, št. 205/2021, akt št. 4215, z dne 29. 12. 2021), ki je nadomestil predhodni pravilnik iz leta 2008 (UL RS 16/08) in izvirno besedilo iz leta 2000 (UL RS 43/00). Pravilnik določa opis vina, pridelovalno območje, tehnologijo pridelave, kemijske parametre, postopek ocenjevanja in označevanja. PTP status je za vino teran in cviček z Zakonom o vinu (ZVin, Uradni list RS, št. 105/06, 72/11, 90/12 – ZdZPVHVVR, 111/13 in 27/17 – ZKme-1D) določen neposredno z zakonom (ex lege), brez potrebe po dodatnem elaboratu, ki ga sicer zahteva splošni postopek priznavanja PTP za druga vina – gre torej za strožji in bolj podroben regulativni okvir kot pri drugih PTP vinih. Na ravni EU je vino Teran uvrščeno v specifikacijo proizvoda za zaščiteno označbo porekla (ZOP) Kras, vpisano v register eAmbrosia, ki se sklicuje na Uredbo (EU) št. 1308/2013 ter Delegirano uredbo Komisije (EU) 2019/934 glede dovoljenih enoloških postopkov (ki je nadomestila prej veljavno Uredbo Komisije (ES) št. 606/2009).[7][8]

2.2 Opredelitev vina, območje pridelave in temeljne tehnološke zahteve

Vino PTP Teran je rdeče, suho, mirno vino, ki ga zaznamuje višja vsebnost mlečne kisline in polifenolov v primerjavi z drugimi rdečimi vini (čl. 2). Pridelovalno območje je omejeno na podokoliš Kraška planota znotraj vinorodnega okoliša Kras, na tipičnih tleh terra rossa oziroma jerini (čl. 3–4). Dovoljena je izključno sorta refošk, z omejeno gostoto sajenja in mejnim pridelkom 9.000 kg/ha (z možnostjo povečanja do 20 % največ dvakrat v petih letih; čl. 5–7). Zahtevan je najmanjši naravni delež alkohola 9,5 vol. % (11,0 vol. % za oznako "PTP izbrani teran"), delež poškodovanega grozdja pa je omejen na največ 10 % (čl. 8–9).

2.3 Mejne kemijske vrednosti, neposredno vezane na mikrobiologijo

Člena 11 in 12 Pravilnika vzpostavljajo neposredno vez med tehnologijo pridelave in mikrobiološkimi procesi. Člen 11 zahteva popolno fermentacijo mošta (primarna alkoholna fermentacija) ter izvedbo jabolčno-mlečnokislinske fermentacije (MLF) v skladu z OIV Kodeksom enoloških postopkov (spis 3.1.2.3). Člen 12 določa kemijske parametre končnega vina, med katerimi je za mikrobiološko oceno najbolj informativna zahteva po vsebnosti mlečne kisline najmanj 1 g/l – ta parameter je dejansko posreden kazalnik uspešno izvedene MLF. Med drugimi parametri so še: skupni sladkor največ 4,0 g/l, skupne kisline 5,5–11,0 g/l, hlapne kisline največ 1,0 g/l, skupni SO_2 največ 120 mg/l, sladkorju prosti ekstrakt najmanj 25 g/l in pepel najmanj 2,0 g/l. Člen 15 nadalje zahteva obvezno senzorično in kemijsko oceno vina s strani pooblaščene organizacije pred sprostitvijo v prodajo, z minimalno organoleptično oceno 16,5 točke (18,1 točke za izbrani teran); vino se lahko sprosti v prodajo šele po 8. novembru leta trgatve.

---

[7] Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. (2021). Pravilnik o vinu s priznanim tradicionalnim poimenovanjem Teran. Uradni list RS, št. 205/2021 (akt št. 4215). https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2021-01-4215?sop=2021-01-4215

[8] European Commission. (n.d.). Kras – PDO product specification, eAmbrosia geographical indications register. https://ec.europa.eu/geographical-indications-register/eambrosia-public-api/api/v1/attachments/6778

Preglednica 1: Kemijski parametri specifikacije PTP Teran, ki so neposredno povezani z mikrobiološkimi procesi (vir: Pravilnik UL RS 205/2021, akt št. 4215, čl. 11–12).

Parameter	Zahteva Pravilnika	Mikrobiološki pomen
Mlečna kislina	≥ 1 g/l	Posredni kazalnik uspešno izvedene MLF
Skupni sladkor	≤ 4,0 g/l	Potrjuje popolno fermentacijo
Hlapne kisline	≤ 1,0 g/l	Pomemben kazalnik mikrobiološke stabilnosti vina; povečane vrednosti lahko kažejo na aktivnost kvarnih mikroorganizmov, zlasti ocetnokislinskih bakterij
Skupni SO_2	≤ 120 mg/l	Omejuje rast in aktivnost mikroorganizmov, vpliva na potek MLF
Postopek pridelave	MLF obvezna (OIV spis 3.1.2.3)	Neposredna zahteva po nadzorovani mikrobni aktivnosti LAB

3. Mikrobiologija grozdja in mošta

3.1 Naravna mikrobiota grozdja

Mikrobiota grozdja izvira iz naravne mikrobne populacije jagod, vinograda in kletarske opreme. Prevladujejo ne-*Saccharomyces* rodovi kvasovk (npr. *Hanseniaspora*, *Metschnikowia*, *Pichia*, *Candida*), mlečnokislinske (LAB, npr. *Lactobacillus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*) in ocetnokislinske bakterije (AAB, npr. *Acetobacter*, *Gluconobacter*), ki lahko ob neustreznih razmerah povzročijo kvarjenje. Kvasovka vrste *Saccharomyces cerevisiae* je prisotna v manjšem deležu na grozdju, a prevlada v poteku alkoholne fermentacije zaradi svoje tolerance na etanol in nizek pH.[9]

4. Alkoholna fermentacija

4.1 Vloga *Saccharomyces cerevisiae* in ne-*Saccharomyces kvasovk*

V začetni fazi alkoholne fermentacije prevladujejo ne-*Saccharomyces* kvasovke, ki prispevajo k senzorični kompleksnosti, v nadaljevanju pa zaradi naraščajoče koncentracije etanola prevzame vodilno vlogo *S. cerevisiae*. Pri teranu je zaradi zahteve po popolni fermentaciji mošta (čl. 11 Pravilnika) ključno zagotoviti ustrezno hranilno osnovo (dostopni dušik), nadzor temperature in – kjer je smiselno – inokulacijo s selekcioniranimi sevi *S. cerevisiae*, kar zmanjšuje tveganje zaustavljene fermentacije.

4.2 Tveganja: Zastala fermentacija in refermentacija

Zastala alkoholna fermentacija (angl. *stuck fermentation*) povzroči, da v vinu ostane preostali fermentabilni sladkor, kar je v nasprotju z zahtevami Pravilnika o vinu PTP Teran (≤ 4,0 g/L skupnega sladkorja) in hkrati povečuje tveganje za mikrobiološko nestabilnost. Preostali fermentabilni sladkor

[9] AWRI – Wine Microorganism Culture Collection (AWMCC). https://www.awri.com.au/research_and_development/wine-microorganism/

lahko omogoči nenadzorovano rast in presnovno aktivnost kvasovk ali bakterij po stekleničenju, kar lahko povzroči refermentacijo. Pri mirnem vinu, kot je teran, refermentacija predstavlja napako, saj lahko povzroči motnost, nastajanje ogljikovega dioksida (penjenje oziroma povečan tlak v steklenici) ter senzorične napake, v nasprotju s sekundarno fermentacijo pri penečih vinih, kjer gre za načrtovan tehnološki postopek. Dobra praksa vključuje spremljanje poteka alkoholne fermentacije (spremljanje gostote oziroma vsebnosti sladkorja), pravočasno ukrepanje ob upočasnitvi fermentacije ter preverjanje mikrobiološke in kemijske stabilnosti vina pred stekleničenjem (glej poglavje 7).

5. Malolaktična (jabolčno-mlečnokislinska) fermentacija (MLF) pri vinu PTP Teran

5.1 Pomen MLF za vino PTP Teran

Malolaktična (jabolčno-mlečnokislinska) fermentacija (MLF) – mikrobna pretvorba jabolčne kisline v mlečno kislino, ki jo izvajajo mlečnokislinske bakterije (LAB) – je za vino PTP Teran tehnološko obvezen postopek, predpisan v 11. členu Pravilnika. Prispeva k zmanjšanju skupne kislosti vina, izboljšanju njegove senzorične uravnoteženosti ter mikrobiološki stabilnosti. V tem poročilu se zahtevana vsebnost mlečne kisline (najmanj 1 g/L; 12. člen Pravilnika) obravnava kot posredni kazalnik uspešno zaključene malolaktične fermentacije. Brez uspešno zaključene MLF vino praviloma ne izpolnjuje tehnoloških zahtev Pravilnika in lahko ne doseže predpisane najmanjše vsebnosti mlečne kisline, določene za vino PTP Teran.

5.2 *Oenococcus oeni* in druge mlečnokislinske bakterije

Oenococcus oeni je zaradi dobre prilagojenosti na nizek pH ter prisotnost etanola in SO_2 najpomembnejša bakterijska vrsta za izvedbo nadzorovane malolaktične fermentacije (MLF) in predstavlja osnovo večine komercialnih starter kultur. Poleg nje lahko malolaktično fermentacijo spontano izvajajo tudi nekatere vrste rodov *Lactobacillus* in *Pediococcus*, ki pa so manj predvidljive ter so pri nekaterih sevih povezane s tveganjem za tvorbo biogenih aminov (glej poglavje 5.4). Po priporočilih AWRI je uspešnost MLF močno odvisna od vsebnosti SO_2 v vinu (< 30 mg/L ugodno, > 40 mg/L neugodno, > 50–60 mg/L zaviralno) ter od ustrezne priprave in aklimatizacije starter kulture pred inokulacijo.[10][11]

5.3 Priložnosti in omejitve MLF pri vinu PTP Teran – projektni rezultati AGROTUR+

V okviru poletne šole AGROTUR+ (Vipava, 28. 5. 2025) je Klemen Lisjak (Kmetijski inštitut Slovenije) predstavil priložnosti in omejitve izvedbe MLF pri vinu PTP Teran. Izpostavil je, da je bila MLF v tradicionalni praksi pogosto prepuščena spontanemu poteku, kar je lahko vodilo v nepredvidljive rezultate in povečano tveganje za senzorične napake. Izkušnje, pridobljene v okviru projekta

[10] AWRI – Malolactic fermentation in red wine (Fact sheet). https://www.awri.com.au/files/attachment/mlf-in-red-wine/

[11] AWRI – Preparation of MLF starter culture (procedure). https://www.awri.com.au/industry_support/winemaking_resources/wine_fermentation/mlf-starter-culture/

AGROTUR+, kažejo, da pridelovalci na Krasu vse pogosteje uporabljajo nadzorovan pristop k izvedbi MLF, ki vključuje spremljanje njenega poteka in po potrebi uporabo starter kultur. Takšen pristop prispeva k bolj predvidljivemu poteku fermentacije ter izboljšanemu obvladovanju mikrobioloških tveganj.[12]

5.4 Tveganja: zapoznela oz. neuspešna MLF in biogeni amini

Zapoznela ali neuspešno zaključena malolaktična fermentacija (MLF) povečuje tveganje za mikrobiološko nestabilnost vina (refermentacija v steklenici, motnost) ter neizpolnjevanje predpisane najmanjše vsebnosti mlečne kisline (≥ 1 g/L). Po drugi strani lahko spontana MLF, ki jo izvajajo neselekcionirani sevi mlečnokislinskih bakterij z dekarboksilazno aktivnostjo, privede do tvorbe biogenih aminov (npr. histamina in tiramina) iz aminokislin, kot sta histidin in tirozin. OIV zato priporoča uporabo starter kultur s preverjeno odsotnostjo oziroma nizko dekarboksilazno aktivnostjo, koinokulacijo ali zgodnjo sekvenčno inokulacijo ter ustrezno uravnavanje vsebnosti SO_2 in pH pred začetkom malolaktične fermentacije.[13]

V okviru projekta AGROTUR+ je bila raziskava, predstavljena na 8. mednarodni konferenci IMEKOFOODS (Ljubljana, 23. 9. 2025), izvedena na 48 vzorcih vina PTP Teran (22 vzorcev letnika 2023 in 26 vzorcev letnika 2024). Analiza je obsegala določanje neželenih hlapnih fenolov kot kazalnikov mikrobiološke kakovosti vina ter spremljanje tveganja mikrobiološkega kvarjenja zaradi *Brettanomyces bruxellensis* in tvorbe biogenih aminov med potekom MLF. Rezultati kažejo, da je bila pri večini analiziranih vzorcev MLF uspešno zaključena, hkrati pa potrjujejo, da posamezni primeri pojava *B. bruxellensis* in tveganje za tvorbo biogenih aminov ostajajo pomembni področji nadaljnjega spremljanja. Podrobnejša predstavitev rezultatov analiz po posameznih letnikih je podana v poglavju 9.[14]

6. Kvarni mikroorganizmi in mikrobiološke nestabilnosti

6.1 *Brettanomyces bruxellensis* in hlapni fenoli

Brettanomyces bruxellensis je eden najpomembnejših kvarnih mikroorganizmov v rdečih vinih, saj presnavlja hidroksicimetne kisline v hlapne fenole (predvsem 4-etilfenol in 4-etilgvajakol), ki povzročajo neželene senzorične note, kot so vonj po konjskem znoju, usnju, hlevu ali medicinskih pripomočkih. Tveganje za razvoj *B. bruxellensis* je večje pri vinih z daljšim zorenjem, ob prisotnosti ostankov fermentabilnih substratov ter pri nižjih koncentracijah prostega SO_2. Pri vinu PTP Teran je ustrezno uravnavanje vsebnosti SO_2 še posebej pomembno zaradi predpisane največje dovoljene vsebnosti skupnega SO_2 (≤ 120 mg/L) ter omejitev glede dovoljenih enoloških postopkov, določenih v Pravilniku. Čeprav Pravilnik omejuje največjo dovoljeno vsebnost skupnega SO_2, je za učinkovito zaviranje razvoja

[12] Lisjak, K. (2025, 28. maj). Jabolčno-mlečnokislinska fermentacija: priložnosti in omejitve [Predstavitev]. Poletna šola AGROTUR+, Vipava, Slovenija. Kmetijski inštitut Slovenije.

[13] OIV – Code of good vitivinicultural practices in order to minimise the presence of biogenic amines in vine products. https://www.oiv.int/node/3311

[14] Butinar, L. (2025, 23. september). Microbial spoilage risks in Teran wine: Tracking Brettanomyces and biogenic amines during malolactic fermentation [Konferenčna predstavitev]. 8. mednarodna konferenca IMEKOFOODS, Ljubljana, Slovenija.

B. bruxellensis ključna predvsem koncentracija prostega molekularnega SO_2, ki je odvisna tudi od pH vina.[15][16]

6.2 Druge kvarne bakterije

Ocetnokislinske bakterije (rodova *Acetobacter* in *Gluconobacter*) povzročajo nastajanje ocetne kisline in drugih hlapnih spojin, kar se odraža v povečani vsebnosti hlapnih kislin ter lahko vodi do preseganja predpisane mejne vrednosti (≤ 1,0 g/L). Njihov razvoj spodbujata predvsem prisotnost kisika in neustrezna higiena med predelavo, zorenjem ali pretoki vina. Nekateri heterofermentativni sevi mlečnokislinskih bakterij rodov *Lactobacillus* in *Pediococcus* lahko poleg tvorbe biogenih aminov povzročajo tudi prekomerno nastajanje diacetila, tvorbo eksopolisaharidov, ki povzročajo vlečljivost vina, ter ob prisotnosti preostalega fermentabilnega sladkorja refermentacijo v steklenici.

6.3 Metode zaznavanja kvarnih mikroorganizmov

Klasične mikrobiološke metode temeljijo na gojenju mikroorganizmov na selektivnih gojiščih (ploščna metoda) in predstavljajo referenčni standard za dokazovanje živih mikroorganizmov, vendar so časovno zahtevne (običajno 5–14 dni). Sodobne mikrobiološke metode, kot so kvantitativna verižna reakcija s polimerazo (qPCR), pretočna citometrija in identifikacija z masno spektrometrijo MALDI-TOF, omogočajo hitrejše zaznavanje, identifikacijo in v nekaterih primerih tudi kvantifikacijo kvarnih mikroorganizmov v primerjavi s klasičnimi metodami gojenja. Takšni pristopi omogočajo zgodnje odkrivanje mikrobioloških tveganj še pred pojavom senzorično zaznavnih napak v vinu. OIV *Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts* (Annex A, Section 4) opisuje standardizirane referenčne metode za mikrobiološko analizo vina in mošta, med njimi tudi metodo qPCR za določanje *Brettanomyces bruxellensis* (tip IV).[17][18][19]

7. Vzorčenje in mikrobiološka analiza – dobre prakse

7.1 OIV smernice za vzorčenje in mikrobiološko analizo

OIV *Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts* (Annex A, Section 4) določa mednarodno usklajene smernice za vzorčenje ter mikrobiološko analizo vina in mošta. Priporočljivo je

---

[15] OIV – Code of good vitivinicultural practices in order to avoid or limit contamination by Brettanomyces. https://www.oiv.int/node/3239

[16] AWRI – Brettanomyces Fact Sheet. https://www.awri.com.au/files/attachment/brett-fact-sheet/

[17] OIV – Enumerating yeasts of the species Brettanomyces bruxellensis using qPCR (Type IV). https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-wine-and-must-analysis/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-4-microbiological-analysis/enumerating-yeasts-of-the-species-brettanomyces-bruxellensis-using-qpcr-(type-iv)

[18] OIV Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis – Annex A, Section 4: Microbiological Analysis. https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-wine-and-must-analysis/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-4-microbiological-analysis

[19] AWRI – Technical Note: Options for detecting Brettanomyces in wine. https://www.awri.com.au/information_services/technical_review/technical-notes/technical-note-options-for-detecting-brettanomyces-in-wine/

vzorčenje v ključnih fazah pridelave vina – ob sprejemu grozdja oziroma mošta, med alkoholno fermentacijo, po zaključeni malolaktični fermentaciji ter pred stekleničenjem –, saj takšen pristop omogoča pravočasno odkrivanje mikrobioloških odstopanj in ustrezno ukrepanje.

7.2 Skladnost z zahtevami specifikacije PTP Teran

Mikrobiološka in kemijska analiza morata biti usklajeni s časovnico specifikacije vina PTP Teran. Vzorec za uradno oceno odvzame predstavnik pooblaščene organizacije za ocenjevanje vina šele, ko je vino kemijsko in senzorično pripravljeno za oceno (15. člen Pravilnika). Zato je priporočljivo, da pridelovalec pred oddajo vzorca izvede interno preverjanje mikrobiološke, kemijske in senzorične ustreznosti vina, vključno s potrditvijo uspešno zaključene malolaktične fermentacije, s čimer zmanjša tveganje za zavrnitev vzorca ali zamik pri sprostitvi vina v promet. Vino PTP Teran se sme dati v promet šele po uspešno opravljeni oceni in ne pred 8. novembrom leta trgatve, kot določa Pravilnik.

8. Dobre prakse v vinogradu in kleti

8.1 Vinograd: zdravstveno stanje grozdja

Zdravstveno stanje grozdja ob trgatvi predstavlja eno ključnih kontrolnih točk za obvladovanje mikrobioloških tveganj pri pridelavi vina PTP Teran. Pravilnik omejuje delež poškodovanega grozdja na največ 10 % (8. člen), s čimer prispeva k zmanjševanju mikrobne obremenitve grozdja in vnosa kvarnih mikroorganizmov (npr. plesni, ocetnokislinskih bakterij in nezaželenih kvasovk) že v fazi trgatve. Dobra praksa vključuje selektivno trgatev, sortiranje grozdja, hiter in nadzorovan transport do kleti ter zmanjševanje mehanskih poškodb jagod, ki povečujejo tveganje za mikrobiološko kontaminacijo.[20]

8.2 Klet: higiena, sanitacija in upravljanje procesnih parametrov

V kleti obvladovanje mikrobioloških tveganj temelji na doslednem čiščenju in sanitaciji opreme, posod ter drugih površin, ki prihajajo v stik z vinom. Posebno pozornost je treba nameniti starejšim lesenim sodom, ki lahko predstavljajo vir obstojnih populacij *B. bruxellensis*. Pomembni preventivni ukrepi vključujejo tudi ustrezno uravnavanje vsebnosti SO_2 skozi celoten proces pridelave (ob upoštevanju največje dovoljene vsebnosti skupnega SO_2, določene v Pravilniku), nadzor temperature med maceracijo in fermentacijo ter zmanjševanje izpostavljenosti vina kisiku med pretoki in zorenjem. Ti ukrepi so skladni s priporočili OIV za dobro vinogradniško in kletarsko prakso ter pomembno prispevajo k zmanjšanju tveganja mikrobiološkega kvarjenja.[16][14]

[20] FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. (2007). Code of practice for the prevention and reduction of Ochratoxin A contamination in wine (CAC/RCP 63-2007), pripravljen na podlagi OIV Resolution VITI/OENO 1/2005. https://www.fao.org/input/download/standards/10750/CXP_063e.pdf ; gl. tudi izvirni OIV vir: OIV node 3451 (https://www.oiv.int/node/3451).

9. Rezultati fizikalno-kemijskega in mikrobiološkega spremljanja terana v projektu AGROTUR+ (letnik 2023 in 2024)

To poglavje povzema lastne empirične rezultate analiz terana, zbrane v okviru projekta AGROTUR+ v letih 2023 in 2024, ter jih neposredno poveže s tveganji in dobrimi praksami, opisanimi v poglavjih 2–8. Podatki predstavljajo konkreten dokaz za tveganja, ki so v predhodnih poglavjih utemeljena na mednarodni literaturi (OIV, AWRI), in so hkrati temelj za sintezno tabelo (poglavje 10) ter za nadaljnjo razdelavo v D.2.1.2.

9.1 Vzorec in analitske metode

Analizirano je bilo skupaj 48 vzorcev terana: 22 vzorcev iz letnika 2023 (oznake 24/218–24/239) in 26 vzorcev iz letnika 2024 (oznake 25/166–25/191), zbranih pri pridelovalcih na Krasu. Standardni fizikalno-kemijski parametri (dejanski alkohol, skupni ekstrakt, reducirajoči sladkorji, skupne in hlapne kisline, prosti in skupni SO_2, pH, mlečna in jabolčna kislina, relativna gostota) so bili določeni z validiranimi referenčnimi enološkimi metodami v skladu z OIV oz. akreditiranimi laboratorijskimi postopki. Biogeni amini (putrescin, kadaverin, histamin, tiramin) in hlapni fenoli (4-etilfenol, 4-etilgvajakol, 4-vinilgvajakol, 4-vinilfenol, gvajakol) so bili določeni s pomočjo HPLC analize. Pri podskupini vzorcev iz letnika 2024 je bila poleg tega opravljena mikrobiomska analiza (sekvenciranje PCR-amplikonov gena 16S rRNA – NGS) ter spremljanje populacije mlečnokislinskih bakterij (LAB) in *B. bruxellensis* s pretočno citometrijo (FCM) in klasičnim gojenjem na selektivnih gojiščih.[21][15]

9.2 Skladnost s kemijsko specifikacijo PTP Teran

Preglednica 2 prikazuje razpon, povprečje in standardni odklon osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov po letnikih ter njihovo skladnost z zahtevami Pravilnika (čl. 12; glej Preglednico 1 v poglavju 2).

Preglednica 2: Fizikalno-kemijski parametri terana, letnik 2023 (n = 22) in 2024 (n = 26) (min–maks; povprečje ± standardni odklon).

Parameter	Letnik 2023 (n = 22)	Letnik 2024 (n = 26)	Zahteva Pravilnika
Dejanski alkohol (vol. %)	11,49–14,02 (12,67 ± 0,60)	11,48–13,67 (12,49 ± 0,47)	≥ 9,5 vol. %
Reducirajoči sladkorji (g/l)	1,2–1,4 (1,22 ± 0,05)	0–1,0 (0,09 ± 0,21)	≤ 4,0 g/l
Skupne kisline (g/l tartarne kisline)	6,3–10,1 (7,72 ± 1,02)	5,9–8,0 (7,14 ± 0,63)	5,5–11,0 g/l
Hlapne kisline (g/l ocetne kisline)	0,28–0,92 (0,60 ± 0,16)	0,28–1,02 (0,57 ± 0,19)	≤ 1,0 g/l
Skupni SO_2 (mg/l)	30–77 (48,3 ± 12,5)	19–58 (40,0 ± 8,4)	≤ 120 mg/l
pH	3,07–3,52 (3,35 ± 0,11)	3,14–3,63 (3,41 ± 0,13)	brez določene meje
Mlečna kislina (g/l)	0,11–2,79 (1,73 ± 0,68)	1,00–1,77 (1,37 ± 0,21)	≥ 1 g/l

[21] AGROTUR+ (WP2, UNG). (2025). Agrotur terani 2024–2025 – analitski podatki [Interno gradivo, N = 48 vzorcev, datoteka: Agrotur terani 2024_2025_analize_corr.xlsx]. Univerza v Novi Gorici.

Jabolčna kislina, preostanek (g/l)	0–3,21 (0,41 ± 0,92)	0–0,16 (0,01 ± 0,04)	posreden kazalnik MLF

Skupni SO_2 je bil v vseh 48 vzorcih (100 %) skladen z zakonsko mejo (≤ 120 mg/l). Hlapne kisline so presegle mejo 1,0 g/l v enem vzorcu iz letnika 2024 (25/187: 1,02 g/l) – 1/48 vzorcev (2,1 %), kar je posamičen primer za korekcijski ukrep, ne pa sistemsko tveganje. Zahtevo po mlečni kislini ≥ 1 g/l ni izpolnjevalo 3 od 22 vzorcev iz letnika 2023 (24/224: 0,11 g/l; 24/233: 0,12 g/l; 24/237: 0,93 g/l) – kar pomeni 86,4 % skladnost; v letniku 2024 so vsi vzorci (26/26, 100 %) izpolnjevali to zahtevo, kar kaže na izboljšano obvladovanje MLF med letnikoma.

9.3 Potek malolaktične fermentacije (MLF)

Jabolčna kislina, ki je posredni kazalnik poteka MLF, ni bila v celoti pretvorjena v 4 od 22 vzorcev (18,2 %) letnika 2023 (24/221: 1,17 g/l; 24/224: 2,58 g/l; 24/233: 3,21 g/l; 24/237: 2,03 g/l) – kar pomeni, da je bila MLF zaključena pri 18 od 22 vzorcev (81,8 %) –, medtem ko je bila MLF v letniku 2024 zaključena v vseh vzorcih (v dveh vzorcih je bila zaznana zanemarljiva rezidualna vsebnost 0,16 g/l, blizu meje določljivosti 0,10 g/l). Mikrobiomska analiza (16S rRNA) je pri dveh od štirih neskladnih vzorcev iz 2023 (24/233 in 24/224) pokazala odsotnost bakterije *O. oeni*, kar verjetno pojasnjuje nezaključeno MLF; pri preostalih dveh (24/221, 24/237) je bil *O. oeni* sicer prevladujoča vrsta, a je proces do trenutka vzorčenja ostal nedokončan. Poleg *O. oeni* so bile pri mikrobiomski analizi identificirane tudi druge vrste LAB s potencialno negativnim vplivom na kakovost – *Pediococcus parvulus* (tveganje tvorbe biogenih aminov ter vlečljivosti vina zaradi tvorbe eksopolisaharidov) ter dve vrsti rodu *Lactobacillus* (*L. paracollinoides*, *L. harbinensis*) v vzorcu 24/226 – ter dve vrsti ocetnokislinskih bakterij (*Gluconobacter cerinus*, *Komagataeibacter adhaesivum*).[15]

9.4 Biogeni amini

Preglednica 3 prikazuje koncentracije biogenih aminov (putrescina, kadaverina, histamina in tiramina) v analiziranih vzorcih vina PTP Teran letnikov 2023 in 2024.

Histamin in tiramin sta bila nad mejo zaznave kvantificirana le v vzorcih letnika 2024, kar je lahko posledica razširjenega analitskega nabora med letnikoma, ne pa nujno dejanske odsotnosti teh spojin v letniku 2023. Povprečna koncentracija histamina v letniku 2024 je znašala 21,86 mg/L (razpon 2,02–35,66 mg/L) in predstavlja najpomembnejši ugotovljeni pokazatelj tveganja za tvorbo biogenih aminov v analiziranem naboru vzorcev. Neposredne povezave med številčnostjo mlečnokislinskih bakterij (LAB) in vsebnostjo biogenih aminov ni bilo mogoče potrditi, kar kaže, da je tveganje povezano predvsem s prisotnostjo sevov z dekarboksilazno aktivnostjo in ne zgolj z velikostjo populacije LAB. Ti rezultati podpirajo priporočila iz poglavij 5.4 in 6.2 o uporabi starter kultur z nizko oziroma odsotno dekarboksilazno aktivnostjo ter nadzorovanem poteku malolaktične fermentacije.[15]

Preglednica 3: Koncentracije biogenih aminov (mg/l) v teranu, letnik 2023 (n = 22) in 2024 (n = 26).

Biogeni amin	Letnik 2023 (n = 22)	Letnik 2024 (n = 26)
Putrescin (mg/l)	0,08–4,75 (1,38 ± 1,24)	1,90–6,06 (3,67 ± 0,97)
Kadaverin (mg/l)	0,31–12,46 (4,17 ± 3,58)	pod mejo zaznave–7,27 (1,60 ± 1,87)
Histamin (mg/l)	pod mejo zaznave	2,02–35,66 (21,86 ± 9,29)
Tiramin (mg/l)	pod mejo zaznave	pod mejo zaznave–3,72 (0,43 ± 0,85)

9.5 Primerjava s podatki predhodnega projekta AGROTUR II (2011–2018)

Spremljanje biogenih aminov v vinu PTP Teran ni novost. V okviru predhodnega projekta AGROTUR II (Interreg Italija–Slovenija) so bile koncentracije biogenih aminov spremljane v obdobjih 2011–2013 ter 2017–2018. V letnikih 2011–2013 je povprečna koncentracija histamina znašala 2,63 mg/L (razpon 0,003–13,86 mg/L). V letniku 2017 je bil histamin zaznan pri 16,7 % analiziranih vzorcev, v letniku 2018 pa ni bil zaznan. Takratni rezultati so kazali na izboljšanje mikrobiološke kakovosti vina z vidika tvorbe biogenih aminov.

Rezultati projekta AGROTUR+ za letnik 2024 kažejo višje izmerjene koncentracije histamina (povprečje 21,86 mg/L; razpon 2,02–35,66 mg/L) v primerjavi z rezultati predhodnega spremljanja. Neposredna primerjava med projektoma pa zahteva previdno interpretacijo, saj so razlike lahko posledica razširjenega analitskega nabora, nižjih mej zaznave uporabljenih metod ter razlik v sestavi analiziranih vzorcev. Poleg metodoloških razlik lahko na ugotovljene vrednosti vplivajo tudi spremembe v sestavi mikrobiote, zlasti prisotnost sevov mlečnokislinskih bakterij z dekarboksilazno aktivnostjo, ter vpliv podnebnih razmer na potek alkoholne in malolaktične fermentacije (glej poglavji 3.2 in 9.3).

Za histamin v vinu Evropska unija in Mednarodna organizacija za trto in vino (OIV) ne določata zavezujoče numerične mejne vrednosti. Zato izmerjenih koncentracij ni mogoče obravnavati kot zakonsko neskladnost, temveč kot pomemben pokazatelj tveganja za tvorbo biogenih aminov. Ugotovitve poudarjajo pomen stalnega mikrobiološkega spremljanja, uporabe ustrezno izbranih starter kultur za malolaktično fermentacijo ter doslednega izvajanja dobrih vinogradniških in kletarskih praks za zmanjševanje tveganja nastanka biogenih aminov.[14][22]

9.6 Hlapni fenoli in markerji *B. bruxellensis*

Senzorični pragovi zaznave v Preglednici 4 so povzeti po Butinar (2025, predstavitev IMEKOFOODS) z navedbo primarnih virov (Yang et al., 2021 za 4-etilfenol in 4-etilgvajakol, López et al., 2002 za 4-vinilfenol in 4-vinilgvajakol ter Parker et al., 2012 za gvajakol). Koncentracija 4-etilfenola je bila v vseh 48 analiziranih vzorcih pod objavljenim senzoričnim pragom zaznave. Koncentracija 4-etilgvajakola pa je presegla spodnjo mejo objavljenega senzoričnega praga (100 µg/L) v enem vzorcu letnika 2023 in treh vzorcih letnika 2024, skupaj v 4 od 48 vzorcev (8,3 %). Takšne koncentracije predstavljajo analitski pokazatelj aktivnosti *B. bruxellensis* oziroma drugih mikroorganizmov, vključno z nekaterimi kvarnimi mlečnokislinskimi bakterijami (LAB), ki lahko sodelujejo pri nastanku hlapnih fenolov**.** Pri podskupini vzorcev letnika 2024 je bila prisotnost *B. bruxellensis* potrjena tudi z mikrobiološkimi metodami – v treh primerih s pretočno citometrijo (FCM) in v dveh primerih s klasičnim gojenjem na selektivnih gojiščih (deloma pri istih vzorcih). Ti rezultati so bili skladni tudi s senzoričnimi deskriptorji (npr. mišji priokus, vonj po hlevu oz. konjskem znoju), zabeleženimi pri istih vzorcih.[15]

Preglednica 4: Koncentracije hlapnih fenolov (µg/l) v teranu, letnik 2023 (n = 22) in 2024 (n = 26), s senzoričnimi pragovi zaznave.

[22] Topić Božič, J., Mozetič Vodopivec, B., Reščič, J., Bergant Marušič, M., Korte, D., Sternad Lemut, M., Lisjak, K., Franko, M., Butinar, L. (2020). Mlečnokislinske bakterije in biogeni amini v vinih teran. V: Zbornik prispevkov zaključne konference projekta AGROTUR II, Štanjel, str. 55–69.

Spojina	Letnik 2023 (n = 22)	Letnik 2024 (n = 26)	Senzorični prag (µg/l)
4-etilfenol (4-EP)	0–134,0 (23,6 ± 35,4)	0,03–34,2 (3,6 ± 8,5)	440–620
4-etilgvajakol (4-EG)	0,07–129,8 (18,7 ± 29,2)	0,30–190,8 (26,3 ± 49,3)	100–160
4-vinilgvajakol (4-VG)	1,52–54,1 (9,1 ± 11,6)	5,17–38,2 (14,7 ± 8,1)	40
4-vinilfenol (4-VP)	0–63,5 (13,5 ± 15,2)	0,03–26,7 (5,5 ± 6,3)	180
Gvajakol	2,60–14,50 (5,86 ± 2,95)	3,26–9,36 (5,59 ± 1,54)	10–30

9.7 Povzetek ključnih empiričnih ugotovitev

- Delež vzorcev z uspešno zaključeno malolaktično fermentacijo (MLF) se je povečal z 81,8 % (18/22) v letniku 2023 na 100 % (26/26) v letniku 2024.
- Skladnost z zahtevo Pravilnika glede najmanjše vsebnosti mlečne kisline (≥ 1 g/L) se je izboljšala z 86,4 % (19/22) v letniku 2023 na 100 % (26/26) v letniku 2024.
- Le en vzorec od 48 analiziranih (2,1 %) je presegel predpisano mejno vrednost hlapnih kislin, kar kaže na posamično odstopanje in ne na sistemsko mikrobiološko tveganje.
- Povišane koncentracije histamina, ugotovljene v podnaboru vzorcev letnika 2024 (povprečje 21,86 mg/L), predstavljajo pomemben pokazatelj tveganja za tvorbo biogenih aminov. Ker Evropska unija in Mednarodna organizacija za trto in vino (OIV) za histamin v vinu ne določata zavezujoče numerične mejne vrednosti, rezultatov ni mogoče obravnavati kot zakonsko neskladnost, temveč kot pomemben parameter nadaljnjega mikrobiološkega spremljanja in optimizacije malolaktične fermentacije.
- Pri štirih od 48 vzorcev (8,3 %) je koncentracija 4-etilgvajakola presegla spodnjo mejo objavljenega senzoričnega praga, kar predstavlja zgodnji analitski pokazatelj možne aktivnosti *B. bruxellensis* oziroma drugih mikroorganizmov, vključno z nekaterimi kvarnimi mlečnokislinskimi bakterijami (LAB), ki lahko sodelujejo pri nastanku hlapnih fenolov. Ta parameter je smiselno vključiti v odločitveno matriko D.2.1.2.
- Med letnikoma je opazen trend rahlega zvišanja pH (3,35 → 3,41) in znižanja povprečne vsebnosti skupnega SO_2 (48,3 → 40,0 mg/L), kar lahko ob nadaljevanju podnebnih trendov poveča tveganje mikrobiološke nestabilnosti ter zahteva natančnejše spremljanje poteka malolaktične fermentacije, ustreznega uravnavanja vsebnosti SO_2 in doslednega izvajanja higienskih ukrepov.
- V primerjavi z rezultati projekta AGROTUR II (2011–2018), pri katerem so bile ugotovljene nižje koncentracije histamina, so bile v podnaboru vzorcev AGROTUR+ letnika 2024 izmerjene višje koncentracije histamina. Neposredna primerjava med projektoma zahteva previdno interpretacijo zaradi razlik v analitskih metodah, obsegu analiz in sestavi vzorcev, vendar rezultati poudarjajo pomen stalnega mikrobiološkega spremljanja ter izvajanja dobrih vinogradniških in kletarskih praks.

10. Sinteza: dobra praksa – tveganje – ukrep nadzora – referenčni standard oz. pravna podlaga

Spodnja preglednica povezuje dobre prakse, opisane v poglavjih 2–9, s pripadajočimi tveganji, priporočenimi ukrepi nadzora ter referenčnimi standardi oziroma pravnimi podlagami. Namenjena je kot podlaga za pripravo odločitvenih matrik v dosežku D.2.1.2. Kjer je bilo mogoče, so priporočila podprta tudi z ugotovitvami fizikalno-kemijskega in mikrobiološkega spremljanja, opravljenega v okviru projekta AGROTUR+ (poglavje 9).

Dobra praksa	Tveganje	Ukrep nadzora	Relevantni standard/pravilnik
Nadzorovana, pravočasno zaključena MLF (inokulacija selekcioniranih sevov O. oeni ali spremljanje spontane MLF)	Zapoznela oz. neuspešno zaključena MLF → mikrobiološka nestabilnost, tveganje refermentacije, neizpolnjevanje zahteve ≥ 1 g/l mlečne kisline	Spremljanje jabolčne kisline (encimska/HPLC analiza), ustrezna priprava in aklimatizacija bakterijske starter kulture, uravnavanje vsebnosti SO_2 in temperature (18–22 °C)	Pravilnik PTP Teran čl. 11, 12; OIV International Code of Oenological Practices; AWRI MLF guidelines
Izbor sevov LAB z nizko oz. odsotno dekarboksilazno aktivnostjo	Tvorba biogenih aminov (histamin, tiramin) med (spontano) MLF	Uporaba starter kultur s preverjeno nizko oziroma odsotno dekarboksilazno aktivnostjo, koinokulacija ali zgodnja sekvenčna inokulacija, mikrobiološko spremljanje populacije LAB	OIV Code of good vitivinicultural practices – biogenic amines (node 3311); AWRI MLF guidelines
Dosledna higiena kleti in preventivno spremljanje kvarnih kvasovk	Kontaminacija z *Brettanomyces bruxellensis* → hlapni fenoli, senzorične napake	Dosledno čiščenje in sanitacija opreme, ustrezno uravnavanje vsebnosti SO_2, spremljanje prisotnosti *Brettanomyces* (gojenje, qPCR, pretočna citometrija), po potrebi filtracija pred stekleničenjem	OIV Code – Brettanomyces (node 3239); AWRI Brett detection Guidelines; OIV Compendium (Annex A, sect. 4)
Zagotovitev popolne alkoholne fermentacije	Preostali fermentabilni sladkor → mikrobiološka nestabilnost in tveganje refermentacije	Izbor ustreznih sevov *Saccharomyces cerevisiae*, nadzor hranil (YAN) in temperature, spremljanje poteka fermentacije	Pravilnik PTP Teran čl. 11; Handbook of Enology Vol. 1
Nadzor zdravstvenega stanja grozdja ob trgatvi	Poškodovano/okuženo grozdje → povečana mikrobna obremenitev, razvoj plesni, ocetnokislinskih bakterij in nezaželenih kvasovk	Selektivna trgatev, sortiranje grozdja, hiter transport do kleti, omejevanje deleža poškodovanega grozdja	Pravilnik PTP Teran čl. 8; OIV Code – sound vitivinicultural practices (OTA, node 3451)
Redno mikrobiološko vzorčenje v ključnih fazah pridelave (mošt → vino → steklenica)	Nezaznana mikrobiološka nestabilnost pred stekleničenjem	Standardizirano vzorčenje ter mikrobiološke analize (gojenje, qPCR, pretočna citometrija oziroma druge validirane	OIV Compendium, sect. 4 (OIV-MA-AS4-01); AWRI Technical Protocols

		metode), primerjava rezultatov skozi posamezne faze pridelave	
Interno preverjanje skladnosti pred uradno oceno vina	Odstopanje od specifikacije PTP Teran (hlapne kisline, mlečna kislina, organoleptična ocena < 16,5 t.) → zavrnitev vina za označevanje PTP	Interna kemijska, mikrobiološka in senzorična kontrola ter izvedba morebitnih korekcijskih ukrepov pred oddajo vina v uradno ocenjevanje	Pravilnik PTP Teran čl. 12, 15

11. Zaključki in izhodišča za D.2.1.2 in D.2.1.3

11.1 Ključna tveganja za nadaljnji monitoring

Sinteza mednarodnih strokovnih virov, veljavne zakonodaje ter rezultatov mikrobiološkega spremljanja, opravljenega v okviru projekta AGROTUR+ (poglavje 9), izpostavlja štiri ključne skupine mikrobioloških tveganj pri pridelavi vina PTP Teran: (1) zapoznela ali neuspešno zaključena malolaktična fermentacija, ki je bila ugotovljena pri 4 od 22 vzorcev letnika 2023 (18,2 %); (2) mikrobiološka nestabilnost in tveganje refermentacije zaradi nepopolne alkoholne fermentacije; (3) kvarni mikroorganizmi, predvsem *Brettanomyces bruxellensis* ter sevi mlečnokislinskih bakterij (LAB) z dekarboksilazno aktivnostjo in posledičnim tveganjem za tvorbo biogenih aminov, kar nakazujejo koncentracije 4-etilgvajakola nad spodnjo mejo objavljenega senzoričnega praga pri 4 od 48 vzorcev ter povišane koncentracije histamina v podnaboru vzorcev letnika 2024; ter (4) odstopanja od kemijske in senzorične specifikacije vina PTP Teran (posamičen primer preseganja mejne vrednosti hlapnih kislin). Vse navedene skupine tveganj so obravnavane v veljavnem Pravilniku o vinu PTP Teran (8., 11., 12. in 15. člen), podprte z mednarodnimi priporočili OIV in tehničnimi smernicami AWRI ter dodatno osvetljene z rezultati spremljanja, pridobljenimi v okviru projekta AGROTUR+.

11.2 Prehod v D.2.1.2 – smernice za napredno mikrobiološko kontrolo

Sintezna preglednica v poglavju 10 predstavlja neposredno strokovno podlago za pripravo dosežka D.2.1.2, v katerem bo vsaka skupina tveganj razdelana v odločitveno matriko tipa »če … potem …«. Posamezna tveganja bodo povezana z merljivimi kazalniki, priporočenimi analizami, opozorilnimi pragovi ter ustreznimi preventivnimi oziroma korekcijskimi ukrepi. Poseben poudarek bo namenjen spremljanju poteka malolaktične fermentacije, mikrobiološke stabilnosti, biogenih aminov, hlapnih fenolov ter zgodnjemu zaznavanju kvarnih mikroorganizmov. Predlagana struktura D.2.1.2 ločuje med osnovnim monitoringom, ki temelji na zahtevah Pravilnika o vinu PTP Teran, in napredno mikrobiološko kontrolo, ki vključuje uporabo dodatnih analitskih metod (npr. qPCR, pretočna citometrija in sekvenciranje gena 16S rRNA) za zgodnje prepoznavanje mikrobioloških tveganj, kot je bilo prikazano tudi na rezultatih projekta AGROTUR+.

11.3 Prehod v D.2.1.3 – operativna navodila za platformo *winecider.net*

Strokovne smernice, pripravljene v okviru D.2.1.2, bodo v dosežku D.2.1.3 pretvorjene v uporabniku prijazna operativna navodila za digitalno platformo *winecider.net*. Gradivo bo vključevalo kontrolne sezname po ključnih fazah pridelave (sprejem grozdja, alkoholna fermentacija, malolaktična fermentacija, zorenje vina in preverjanje ustreznosti pred stekleničenjem), pregled priporočljivih analitskih parametrov in opozorilnih pragov za presojo, kdaj je smiselno izvesti naprednejše mikrobiološke analize, ter zbirko strokovnih virov in izobraževalnih vsebin za pridelovalce. Zaradi zagotavljanja enostavne uporabe v vinarski praksi je bilo gradivo zasnovano kot statična digitalna in tiskljiva vsebina. Razvoj interaktivnih orodij za vnos analitskih podatkov in samodejno primerjavo rezultatov z zahtevami Pravilnika o vinu PTP Teran ni bil predviden v okviru tega dosežka..

Pripravljeno poročilo predstavlja strokovno podlago za sistematično obvladovanje mikrobioloških tveganj pri pridelavi vina PTP Teran. S povezovanjem zahtev veljavne zakonodaje, mednarodnih priporočil OIV in AWRI ter rezultatov projekta AGROTUR+ vzpostavlja enotno izhodišče za pripravo operativnih smernic in podpornih orodij, namenjenih pridelovalcem terana na območju Krasa.

Interreg Italia-Slovenija
AGROTUR+

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

D.2.1.1
Rapporto sulle buone pratiche di microbiologia del vino terrano

Lorena Butinar, Branka Mozetič Vodopivec, Tatjana Radovanović Vukajlović, Mitja Martelanc

Vipava, Dicembre 2025

D.2.1.1
Poročilo o dobrih praksah mikrobiologije vina teran

Lorena Butinar, Branka Mozetič Vodopivec, Tatjana Radovanović Vukajlović, Mitja Martelanc

Vipava, december 2025

Partner di progetto/Projektni partnerji:

Kmetijski inštitut Slovenije
Agricultural Institute of Slovenia
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE
CERCOT
ORA
KRAS

Il progetto AGROTUR+ è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt AGROTUR sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/agrotur

Indice

1. Introduzione 4
1.1 Finalità, obiettivi e collocazione nel progetto AGROTUR+ 4
1.2 Metodologia di redazione della relazione 4
2. Vino DOP Teran – quadro giuridico e tecnologico 5
2.1 Quadro normativo 5
2.2 Definizione del vino, area di produzione e requisiti tecnologici fondamentali 5
2.3 Valori chimici limite direttamente collegati alla microbiologia 5
3. Microbiologia dell'uva e del mosto 6
3.1 Microbiota naturale dell'uva 6
4. Fermentazione alcolica 7
4.1 Ruolo di *Saccharomyces cerevisiae* e dei lieviti non-*Saccharomyces* 7
4.2 Rischi: fermentazione bloccata e rifermentazione 7
5. Fermentazione malolattica (FML) nel vino DOP Teran 7
5.1 Importanza della FML per il vino DOP Teran 7
5.2 *Oenococcus oeni* e altri batteri lattici 7
5.3 Opportunità e limiti della FML nel vino DOP Teran – risultati del progetto AGROTUR+ 8
5.4 Rischi: FML ritardata o non riuscita e ammine biogene 8
6. Microrganismi alteranti e instabilità microbiologiche 9
6.1 *Brettanomyces bruxellensis* e fenoli volatili 9
6.2 Altri batteri alteranti 9
6.3 Metodi di rilevamento dei microrganismi alteranti 9
7. Campionamento e analisi microbiologica – buone pratiche 10
7.1 Linee guida OIV per il campionamento e l'analisi microbiologica 10
7.2 Conformità ai requisiti del disciplinare DOP Teran 10
8. Buone pratiche in vigneto e in cantina 10
8.1 Vigneto: stato sanitario dell'uva 10
8.2 Cantina: igiene, sanificazione e gestione dei parametri di processo 11
9. Risultati del monitoraggio fisico-chimico e microbiologico del Teran nel progetto AGROTUR+ (annate 2023 e 2024) 11
9.1 Campione e metodi analitici 11
9.2 Conformità al disciplinare chimico DOP Teran 12
9.3 Andamento della fermentazione malolattica (FML) 12

9.4 Ammine biogene 13
9.5 Confronto con i dati del precedente progetto AGROTUR II (2011–2018) 13
9.6 Fenoli volatili e marcatori di *B. bruxellensis* 14
9.7 Sintesi dei principali risultati empirici 15
10. Sintesi: buona pratica – rischio – misura di controllo – standard di riferimento ovvero base giuridica 15
11. Conclusioni e punti di partenza per D.2.1.2 e D.2.1.3 17
11.1 Rischi principali per il monitoraggio futuro 17
11.2 Transizione al D.2.1.2 – linee guida per il controllo microbiologico avanzato 17
11.3 Transizione al D.2.1.3 – istruzioni operative per la piattaforma *winecider.net* 17

1. Introduzione

1.1 Finalità, obiettivi e collocazione nel progetto AGROTUR+

Il progetto AGROTUR+ è realizzato nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg VI-A Italia–Slovenia e riunisce i partner Istituto Agrario della Slovenia (KIS, capofila), Università degli Studi di Trieste (UNITS), Università di Nova Gorica (UNG), Cescot Veneto, l'Agenzia di Sviluppo Regionale del Carso e dei Brkini (ORA) e il GAL Carso-LAS Kras. L'obiettivo del progetto è rafforzare la produzione sostenibile e la visibilità dei prodotti agricoli del Carso, tra cui il vino Teran con denominazione tradizionale riconosciuta (DOP Teran).[1]

La presente relazione (D.2.1.1) rappresenta una sintesi delle buone pratiche nel campo della microbiologia del vino Teran, elaborata sulla base di fonti tecniche internazionali (Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino – OIV; Australian Wine Research Institute – AWRI), della letteratura scientifica nel campo dell'enologia e della microbiologia del vino, nonché dei risultati ottenuti nell'ambito del progetto AGROTUR+. La relazione costituisce il primo di una serie di tre risultati tra loro collegati. Il documento D.2.1.1 fornisce una panoramica delle conoscenze esistenti (state of the art) e delle buone pratiche, il D.2.1.2 elabora su questa base le linee guida operative e le matrici decisionali per il controllo microbiologico avanzato, mentre il D.2.1.3 traduce le linee guida in istruzioni adattate all'utente per la piattaforma digitale winecider.net.

Lo scopo della relazione è fornire ai produttori, ai cantinieri e ai servizi tecnici dell'area del Carso una panoramica chiara, terminologicamente coerente e basata su standard professionali dei rischi microbiologici nella produzione del vino DOP Teran e delle misure per la loro gestione. Al tempo stesso, la relazione stabilisce un collegamento tra le buone pratiche microbiologiche e i requisiti della normativa slovena vigente che disciplina la produzione del vino DOP Teran.

1.2 Metodologia di redazione della relazione

La relazione è stata redatta come sintesi mirata (desk review) di quattro gruppi di fonti: (1) la normativa slovena vigente e il disciplinare di produzione per il vino DOP Teran; (2) gli standard internazionali e i codici di buone pratiche OIV, nonché le fonti tecniche AWRI; (3) la letteratura scientifica sottoposta a revisione tra pari nel campo della microbiologia del vino [2], [3], [4], [5], [6]; (4) i risultati propri del progetto AGROTUR+.

---

[1] AGROTUR+ – sito web del progetto (Programma di Cooperazione Interreg VI-A Italia–Slovenia). https://www.ita-slo.eu/en/agrotur

[2] Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B. e Lonvaud, A. (2006). Handbook of Enology, Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications (2ª ed.). John Wiley & Sons.

[3] Carrascosa, A. V., Muñoz, R. e González, R. (a cura di). (2011). Molecular Wine Microbiology. Academic Press/Elsevier.

[4] Reynolds, A. G. (a cura di). (2021). Managing Wine Quality, Volume 2: Oenology and Wine Quality (2ª ed.). Woodhead Publishing/Elsevier.

[5] Iland, P., Grbin, P., Grinbergs, M., Schmidtke, L. e Soden, A. (versione e-book 2015). Microbiological Analysis of Grapes and Wine: Techniques and Concepts. Patrick Iland Wine Promotions.

[6] Fugelsang, K. C. e Edwards, C. G. (2007). Wine Microbiology: Practical Applications and Procedures (2ª ed.). Springer.

2. Vino DOP Teran – quadro giuridico e tecnologico

Questo capitolo riassume il quadro normativo sloveno che definisce il vino con denominazione tradizionale riconosciuta (DOP) Teran, con particolare attenzione alle disposizioni direttamente collegate ai processi microbiologici di produzione (fermentazione, fermentazione malolattica, stabilità microbiologica e chimica).

2.1 Quadro normativo

La normativa principale è il Regolamento sul vino con denominazione tradizionale riconosciuta Teran (Gazzetta Ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 205/2021, atto n. 4215, del 29.12.2021), che ha sostituito il precedente regolamento del 2008 (GU RS 16/08) e il testo originario del 2000 (GU RS 43/00). Il Regolamento stabilisce la descrizione del vino, l'area di produzione, la tecnologia di produzione, i parametri chimici, la procedura di valutazione e l'etichettatura. Lo status DOP per il vino Teran e il Cviček è stabilito direttamente dalla Legge sul vino (ZVin, Gazzetta Ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 105/06, 72/11, 90/12 – ZdZPVHVVR, 111/13 e 27/17 – ZKme-1D) per legge (ex lege), senza necessità di un elaborato aggiuntivo altrimenti richiesto dalla procedura generale di riconoscimento della DOP per altri vini – si tratta quindi di un quadro regolatorio più rigoroso e dettagliato rispetto ad altri vini DOP. A livello UE, il vino Teran è inserito nel disciplinare di produzione per la denominazione di origine protetta (DOP) «Kras», registrato nel registro eAmbrosia, che fa riferimento al Regolamento (UE) n. 1308/2013 e al Regolamento delegato (UE) 2019/934 della Commissione relativo alle pratiche enologiche autorizzate (che ha sostituito il precedente Regolamento (CE) n. 606/2009 della Commissione).[7][8]

2.2 Definizione del vino, area di produzione e requisiti tecnologici fondamentali

Il vino DOP Teran è un vino rosso, secco e fermo, caratterizzato da un contenuto più elevato di acido lattico e polifenoli rispetto ad altri vini rossi (art. 2). L'area di produzione è limitata alla sottozona Altopiano del Carso all'interno della zona vinicola del Carso, su terreni tipici di terra rossa, ovvero jerina (artt. 3–4). È consentito esclusivamente il vitigno Refosco, con densità di impianto limitata e produzione massima di 9.000 kg/ha (con possibilità di aumento fino al 20% al massimo due volte in cinque anni; artt. 5–7). È richiesto un titolo alcolometrico naturale minimo del 9,5% vol. (11,0% vol. per la denominazione «Teran DOP selezionato»), mentre la percentuale di uva danneggiata è limitata al massimo al 10% (artt. 8–9).

2.3 Valori chimici limite direttamente collegati alla microbiologia

Gli articoli 11 e 12 del Regolamento stabiliscono un collegamento diretto tra la tecnologia di produzione e i processi microbiologici. L'articolo 11 richiede la fermentazione completa del mosto (fermentazione alcolica primaria) e l'esecuzione della fermentazione malolattica (FML) in conformità al Codice OIV delle pratiche enologiche (scheda 3.1.2.3). L'articolo 12 stabilisce i parametri chimici del vino finito, tra i quali

[7] Ministero dell'Agricoltura, delle Foreste e dell'Alimentazione della Repubblica di Slovenia. (2021). Regolamento sul vino con denominazione tradizionale riconosciuta Teran. Gazzetta Ufficiale della Repubblica di Slovenia, n. 205/2021 (atto n. 4215). https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2021-01-4215?sop=2021-01-4215

[8] European Commission. (n.d.). Kras – PDO product specification, eAmbrosia geographical indications register. https://ec.europa.eu/geographical-indications-register/eambrosia-public-api/api/v1/attachments/6778

il requisito più informativo per la valutazione microbiologica è il contenuto minimo di acido lattico di 1 g/l – questo parametro costituisce di fatto un indicatore indiretto del completamento della FML. Tra gli altri parametri figurano: zuccheri totali massimo 4,0 g/l, acidità totale 5,5–11,0 g/l, acidità volatile massimo 1,0 g/l, SO_2 totale massimo 120 mg/l, estratto non riduttore minimo 25 g/l e ceneri minimo 2,0 g/l. L'articolo 15 richiede inoltre una valutazione sensoriale e chimica obbligatoria del vino da parte di un organismo autorizzato prima della messa in commercio, con un punteggio organolettico minimo di 16,5 punti (18,1 punti per il Teran selezionato); il vino può essere messo in commercio solo dopo l'8 novembre dell'anno di vendemmia.

Tabella 1: Parametri chimici del disciplinare DOP Teran direttamente collegati ai processi microbiologici (fonte: Regolamento GU RS 205/2021, atto n. 4215, artt. 11–12).

Parametro	Requisito del Regolamento	Significato microbiologico
Acido lattico	≥ 1 g/l	Indicatore indiretto del completamento della FML
Zuccheri totali	≤ 4,0 g/l	Conferma la fermentazione completa
Acidità volatile	≤ 1,0 g/l	Importante indicatore della stabilità microbiologica del vino; valori elevati possono indicare l'attività di microrganismi alteranti, in particolare batteri acetici
Totale SO_2	≤ 120 mg/l	Limita la crescita e l'attività dei microrganismi, influisce sull'andamento della FML
Processo di produzione	FML obbligatoria (scheda OIV 3.1.2.3)	Requisito diretto di un'attività microbica controllata dei LAB

3. Microbiologia dell'uva e del mosto

3.1 Microbiota naturale dell'uva

Il microbiota dell'uva ha origine dalla popolazione microbica naturale degli acini, del vigneto e delle attrezzature di cantina. Predominano i generi di lieviti non-*Saccharomyces* (ad es. *Hanseniaspora*, *Metschnikowia*, *Pichia*, *Candida*), i batteri lattici (LAB, ad es. *Lactobacillus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*) e i batteri acetici (AAB, ad es. *Acetobacter*, *Gluconobacter*), che in condizioni non favorevoli possono causare alterazioni. Il lievito della specie *Saccharomyces cerevisiae* è presente in quota minore sull'uva, ma diventa predominante nel corso della fermentazione alcolica grazie alla sua tolleranza all'etanolo e al pH basso.[9]

[9] AWRI – Wine Microorganism Culture Collection (AWMCC). https://www.awri.com.au/research_and_development/wine-microorganism/

4. Fermentazione alcolica

4.1 Ruolo di *Saccharomyces cerevisiae* e dei lieviti non-*Saccharomyces*

Nella fase iniziale della fermentazione alcolica predominano i lieviti non-*Saccharomyces* che contribuiscono alla complessità sensoriale, mentre successivamente, a causa della crescente concentrazione di etanolo, assume il ruolo dominante *S. cerevisiae*. Nel Teran, a causa del requisito di fermentazione completa del mosto (art. 11 del Regolamento), è fondamentale garantire un'adeguata base nutritiva (azoto disponibile), il controllo della temperatura e – dove opportuno – l'inoculazione con ceppi selezionati di *S. cerevisiae*, il che riduce il rischio di arresto della fermentazione.

4.2 Rischi: fermentazione bloccata e rifermentazione

La fermentazione alcolica bloccata (in inglese *stuck fermentation*) fa sì che nel vino rimanga zucchero fermentabile residuo, il che è in contrasto con i requisiti del Regolamento sul vino DOP Teran (≤ 4,0 g/L di zuccheri totali) e aumenta contemporaneamente il rischio di instabilità microbiologica. Lo zucchero fermentabile residuo può consentire una crescita e un'attività metabolica incontrollate di lieviti o batteri dopo l'imbottigliamento, il che può causare la rifermentazione. Nel vino fermo, come il Teran, la rifermentazione rappresenta un difetto, poiché può provocare intorbidamento, formazione di anidride carbonica (formazione di schiuma ovvero aumento della pressione in bottiglia) e difetti sensoriali, a differenza della fermentazione secondaria negli spumanti, dove si tratta di un processo tecnologico pianificato. Una buona pratica prevede il monitoraggio dell'andamento della fermentazione alcolica (monitoraggio della densità ovvero del contenuto di zucchero), un intervento tempestivo in caso di rallentamento della fermentazione e la verifica della stabilità microbiologica e chimica del vino prima dell'imbottigliamento (cfr. capitolo 7).

5. Fermentazione malolattica (FML) nel vino DOP Teran

5.1 Importanza della FML per il vino DOP Teran

La fermentazione malolattica (FML) – la trasformazione microbica dell'acido malico in acido lattico, effettuata dai batteri lattici (LAB) – è per il vino DOP Teran un processo tecnologicamente obbligatorio, prescritto dall'articolo 11 del Regolamento. Contribuisce a ridurre l'acidità totale del vino, a migliorarne l'equilibrio sensoriale e la stabilità microbiologica. In questa relazione, il contenuto minimo richiesto di acido lattico (almeno 1 g/L; art. 12 del Regolamento) è considerato un indicatore indiretto del completamento della fermentazione malolattica. Senza il completamento della FML, il vino di norma non soddisfa i requisiti tecnologici del Regolamento e può non raggiungere il contenuto minimo prescritto di acido lattico stabilito per il vino DOP Teran.

5.2 *Oenococcus oeni* e altri batteri lattici

Oenococcus oeni è, grazie al buon adattamento al pH basso e alla presenza di etanolo e SO_2, la specie batterica più importante per l'esecuzione della fermentazione malolattica (FML) controllata e costituisce la base della maggior parte delle colture starter commerciali. Oltre a essa, la fermentazione malolattica

può essere eseguita spontaneamente anche da alcune specie dei generi *Lactobacillus* e *Pediococcus*, che sono tuttavia meno prevedibili e, in alcuni ceppi, sono associate al rischio di formazione di ammine biogene (cfr. capitolo 5.4). Secondo le raccomandazioni AWRI, il successo della FML dipende fortemente dal contenuto di SO_2 nel vino (< 30 mg/L favorevole, > 40 mg/L sfavorevole, > 50–60 mg/L inibente) e da un'adeguata preparazione e acclimatazione della coltura starter prima dell'inoculazione.[10][11]

5.3 Opportunità e limiti della FML nel vino DOP Teran – risultati del progetto AGROTUR+

Nell'ambito della scuola estiva AGROTUR+ (Vipava, 28.5.2025), Klemen Lisjak (Istituto Agrario della Slovenia) ha presentato le opportunità e i limiti dell'esecuzione della FML nel vino DOP Teran. Ha evidenziato che, nella pratica tradizionale, la FML era spesso lasciata a un andamento spontaneo, il che poteva portare a risultati imprevedibili e a un aumento del rischio di difetti sensoriali. Le esperienze acquisite nell'ambito del progetto AGROTUR+, mostrano che i produttori del Carso utilizzano sempre più spesso un approccio controllato all'esecuzione della FML, che comprende il monitoraggio del suo andamento e, se necessario, l'uso di colture starter. Tale approccio contribuisce a un andamento più prevedibile della fermentazione e a una migliore gestione dei rischi microbiologici.[12]

5.4 Rischi: FML ritardata o non riuscita e ammine biogene

Una fermentazione malolattica (FML) ritardata o non completata con successo aumenta il rischio di instabilità microbiologica del vino (rifermentazione in bottiglia, intorbidamento) e il mancato raggiungimento del contenuto minimo prescritto di acido lattico (≥ 1 g/L). D'altra parte, una FML spontanea, eseguita da ceppi non selezionati di batteri lattici con attività decarbossilasica, può portare alla formazione di ammine biogene (ad es. istamina e tiramina) a partire da amminoacidi come istidina e tirosina. L'OIV raccomanda pertanto l'uso di colture starter con accertata assenza o bassa attività decarbossilasica, la coinoculazione o l'inoculazione sequenziale precoce, nonché un'adeguata regolazione del contenuto di SO_2 e del pH prima dell'inizio della fermentazione malolattica.[13]

Nell'ambito del progetto AGROTUR+, la ricerca presentata all'8ª Conferenza internazionale IMEKOFOODS (Lubiana, 23.9.2025) è stata condotta su 48 campioni di vino DOP Teran (22 campioni dell'annata 2023 e 26 campioni dell'annata 2024). L'analisi ha compreso la determinazione dei fenoli volatili indesiderati come indicatori della qualità microbiologica del vino e il monitoraggio del rischio di alterazione microbiologica dovuta a *Brettanomyces bruxellensis* e alla formazione di ammine biogene durante la FML. I risultati mostrano che nella maggior parte dei campioni analizzati la FML è stata completata con successo, e confermano al tempo stesso che i singoli casi di presenza di *B. bruxellensis* e

[10] AWRI – Malolactic fermentation in red wine (Fact sheet). https://www.awri.com.au/files/attachment/mlf-in-red-wine/

[11] AWRI – Preparation of MLF starter culture (procedure). https://www.awri.com.au/industry_support/winemaking_resources/wine_fermentation/mlf-starter-culture/

[12] Lisjak, K. (2025, 28 maggio). Fermentazione malolattica: opportunità e limiti [Presentazione]. Scuola estiva AGROTUR+, Vipava, Slovenia. Istituto Agrario della Slovenia.

[13] OIV – Code of good vitivinicultural practices in order to minimise the presence of biogenic amines in vine products. https://www.oiv.int/node/3311

il rischio di formazione di ammine biogene restano ambiti importanti per il monitoraggio futuro. Una presentazione più dettagliata dei risultati delle analisi per singola annata è riportata nel capitolo 9.[14]

6. Microrganismi alteranti e instabilità microbiologiche

6.1 *Brettanomyces bruxellensis* e fenoli volatili

Brettanomyces bruxellensis è uno dei microrganismi alteranti più importanti nei vini rossi, poiché metabolizza gli acidi idrossicinnamici trasformandoli in fenoli volatili (soprattutto 4-etilfenolo e 4-etilguaiacolo), che provocano note sensoriali indesiderate quali odore di sudore di cavallo, cuoio, stalla o cerotto. Il rischio di sviluppo di *B. bruxellensis* è maggiore nei vini con maturazione più lunga, in presenza di residui di substrati fermentabili e a concentrazioni più basse di SO_2 libera. Nel vino DOP Teran, un'adeguata regolazione del contenuto di SO_2 è particolarmente importante a causa del contenuto massimo consentito di SO_2 totale prescritto (≤ 120 mg/L) e delle limitazioni relative alle pratiche enologiche autorizzate stabilite nel Regolamento. Sebbene il Regolamento limiti il contenuto massimo consentito di SO_2 totale, per un'efficace inibizione dello sviluppo di *B. bruxellensis* è determinante soprattutto la concentrazione di SO_2 molecolare libera, che dipende anche dal pH del vino.[15][16]

6.2 Altri batteri alteranti

I batteri acetici (generi *Acetobacter* e *Gluconobacter*) provocano la formazione di acido acetico e di altri composti volatili, il che si traduce in un aumento dell'acidità volatile e può portare al superamento del valore limite prescritto (≤ 1,0 g/L). Il loro sviluppo è favorito principalmente dalla presenza di ossigeno e da un'igiene inadeguata durante la lavorazione, la maturazione o i travasi del vino. Alcuni ceppi eterofermentativi di batteri lattici dei generi *Lactobacillus* e *Pediococcus* possono, oltre alla formazione di ammine biogene, provocare anche un'eccessiva formazione di diacetile, la formazione di esopolisaccaridi che causano filamentosità del vino, e, in presenza di zucchero fermentabile residuo, la rifermentazione in bottiglia.

6.3 Metodi di rilevamento dei microrganismi alteranti

I metodi microbiologici classici si basano sulla coltivazione dei microrganismi su terreni selettivi (metodo su piastra) e costituiscono lo standard di riferimento per la dimostrazione di microrganismi vivi, ma richiedono tempi lunghi (solitamente 5–14 giorni). I metodi microbiologici moderni, come la reazione a catena della polimerasi quantitativa (qPCR), la citometria a flusso e l'identificazione mediante spettrometria di massa MALDI-TOF, consentono un rilevamento, un'identificazione e, in alcuni casi, anche una quantificazione più rapidi dei microrganismi alteranti rispetto ai metodi di coltura classici. Tali approcci permettono un'individuazione precoce dei rischi microbiologici ancora prima della

[14] Butinar, L. (2025, 23 settembre). Microbial spoilage risks in Teran wine: Tracking Brettanomyces and biogenic amines during malolactic fermentation [Presentazione al congresso]. 8ª Conferenza internazionale IMEKOFOODS, Lubiana, Slovenia.

[15] OIV – Code of good vitivinicultural practices in order to avoid or limit contamination by Brettanomyces. https://www.oiv.int/node/3239

[16] AWRI – Brettanomyces Fact Sheet. https://www.awri.com.au/files/attachment/brett-fact-sheet/

comparsa di difetti sensorialmente percepibili nel vino. Il *Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts* dell'OIV (Annex A, Section 4) descrive metodi di riferimento standardizzati per l'analisi microbiologica di vino e mosto, tra cui anche il metodo qPCR per la determinazione di *Brettanomyces bruxellensis* (tipo IV).[17][18][19]

7. Campionamento e analisi microbiologica – buone pratiche

7.1 Linee guida OIV per il campionamento e l'analisi microbiologica

Il *Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts* dell'OIV (Annex A, Section 4) stabilisce linee guida armonizzate a livello internazionale per il campionamento e l'analisi microbiologica di vino e mosto. Si raccomanda il campionamento nelle fasi chiave della produzione del vino – al ricevimento dell'uva ovvero del mosto, durante la fermentazione alcolica, dopo il completamento della fermentazione malolattica e prima dell'imbottigliamento – poiché tale approccio consente l'individuazione tempestiva di deviazioni microbiologiche e un intervento adeguato.

7.2 Conformità ai requisiti del disciplinare DOP Teran

L'analisi microbiologica e chimica deve essere coordinata con la tempistica del disciplinare del vino DOP Teran. Il campione per la valutazione ufficiale viene prelevato da un rappresentante dell'organismo autorizzato per la valutazione del vino solo quando il vino è chimicamente e sensorialmente pronto per la valutazione (art. 15 del Regolamento). È pertanto consigliabile che il produttore, prima della consegna del campione, effettui una verifica interna dell'idoneità microbiologica, chimica e sensoriale del vino, compresa la conferma del completamento della fermentazione malolattica, riducendo così il rischio di rigetto del campione o di ritardo nella messa in commercio del vino. Il vino DOP Teran può essere messo in commercio solo dopo una valutazione superata con successo e non prima dell'8 novembre dell'anno di vendemmia, come stabilito dal Regolamento.

8. Buone pratiche in vigneto e in cantina

8.1 Vigneto: stato sanitario dell'uva

Lo stato sanitario dell'uva al momento della vendemmia rappresenta uno dei punti di controllo fondamentali per la gestione dei rischi microbiologici nella produzione del vino DOP Teran. Il

---

[17] OIV – Enumerating yeasts of the species Brettanomyces bruxellensis using qPCR (Type IV). https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-wine-and-must-analysis/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-4-microbiological-analysis/enumerating-yeasts-of-the-species-brettanomyces-bruxellensis-using-qpcr-(type-iv)

[18] OIV Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis – Annex A, Section 4: Microbiological Analysis. https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-wine-and-must-analysis/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-4-microbiological-analysis

[19] AWRI – Technical Note: Options for detecting Brettanomyces in wine. https://www.awri.com.au/information_services/technical_review/technical-notes/technical-note-options-for-detecting-brettanomyces-in-wine/

Regolamento limita la percentuale di uva danneggiata al massimo al 10% (art. 8), contribuendo così a ridurre il carico microbico dell'uva e l'introduzione di microrganismi alteranti (ad es. muffe, batteri acetici e lieviti indesiderati) già in fase di vendemmia. Una buona pratica prevede la vendemmia selettiva, la selezione dell'uva, un trasporto rapido e controllato in cantina, nonché la riduzione dei danni meccanici agli acini, che aumentano il rischio di contaminazione microbiologica.[20]

8.2 Cantina: igiene, sanificazione e gestione dei parametri di processo

In cantina, la gestione dei rischi microbiologici si basa su una pulizia e sanificazione rigorose delle attrezzature, dei contenitori e delle altre superfici che entrano in contatto con il vino. Particolare attenzione va dedicata alle botti di legno più vecchie, che possono costituire una fonte di popolazioni persistenti di *B. bruxellensis*. Importanti misure preventive comprendono anche un'adeguata regolazione del contenuto di SO_2 durante tutto il processo di produzione (tenendo conto del contenuto massimo consentito di SO_2 totale stabilito dal Regolamento), il controllo della temperatura durante la macerazione e la fermentazione, nonché la riduzione dell'esposizione del vino all'ossigeno durante i travasi e la maturazione. Queste misure sono coerenti con le raccomandazioni OIV per le buone pratiche viticole ed enologiche e contribuiscono in modo significativo a ridurre il rischio di alterazione microbiologica.[16][14]

9. Risultati del monitoraggio fisico-chimico e microbiologico del Teran nel progetto AGROTUR+ (annate 2023 e 2024)

Questo capitolo riassume i risultati empirici propri delle analisi del Teran, raccolti nell'ambito del progetto AGROTUR+ negli anni 2023 e 2024, collegandoli direttamente ai rischi e alle buone pratiche descritti nei capitoli 2–8. I dati costituiscono una prova concreta dei rischi che nei capitoli precedenti sono stati motivati sulla base della letteratura internazionale (OIV, AWRI), e rappresentano al tempo stesso la base per la tabella di sintesi (capitolo 10) e per l'ulteriore elaborazione nel D.2.1.2.

9.1 Campione e metodi analitici

Sono stati analizzati complessivamente 48 campioni di Teran: 22 campioni dell'annata 2023 (codici 24/218–24/239) e 26 campioni dell'annata 2024 (codici 25/166–25/191), raccolti presso i produttori del Carso. I parametri fisico-chimici standard (alcol effettivo, estratto totale, zuccheri riducenti, acidità totale e volatile, SO_2 libera e totale, pH, acido lattico e malico, densità relativa) sono stati determinati con metodi enologici di riferimento validati, conformi alle procedure OIV ovvero a procedure di laboratorio accreditate. Le ammine biogene (putrescina, cadaverina, istamina, tiramina) e i fenoli volatili (4-etilfenolo, 4-etilguaiacolo, 4-vinilguaiacolo, 4-vinilfenolo, guaiacolo) sono stati determinati mediante analisi HPLC. In un sottogruppo di campioni dell'annata 2024 è stata inoltre condotta un'analisi del microbioma (sequenziamento di ampliconi PCR del gene 16S rRNA – NGS) e il monitoraggio della

[20] FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. (2007). Code of practice for the prevention and reduction of Ochratoxin A contamination in wine (CAC/RCP 63-2007), redatto sulla base della OIV Resolution VITI/OENO 1/2005. https://www.fao.org/input/download/standards/10750/CXP_063e.pdf ; cfr. anche la fonte originale OIV: OIV node 3451 (https://www.oiv.int/node/3451).

popolazione di batteri lattici (LAB) e di *B. bruxellensis* mediante citometria a flusso (FCM) e coltura classica su terreni selettivi.[21][15]

9.2 Conformità al disciplinare chimico DOP Teran

La Tabella 2 mostra l'intervallo, la media e la deviazione standard dei principali parametri fisico-chimici per annata, nonché la loro conformità ai requisiti del Regolamento (art. 12; cfr. Tabella 1 nel capitolo 2).

Tabella 2: Parametri fisico-chimici del Teran, annata 2023 (n = 22) e 2024 (n = 26) (min–max; media ± deviazione standard).

Parametro	Annata 2023 (n = 22)	Annata 2024 (n = 26)	Requisito del Regolamento
Alcol effettivo (% vol.)	11,49–14,02 (12,67 ± 0,60)	11,48–13,67 (12,49 ± 0,47)	≥ 9,5% vol.
Zuccheri riducenti (g/l)	1,2–1,4 (1,22 ± 0,05)	0–1,0 (0,09 ± 0,21)	≤ 4,0 g/l
Acidità totale (g/l di acido tartarico)	6,3–10,1 (7,72 ± 1,02)	5,9–8,0 (7,14 ± 0,63)	5,5–11,0 g/l
Acidità volatile (g/l di acido acetico)	0,28–0,92 (0,60 ± 0,16)	0,28–1,02 (0,57 ± 0,19)	≤ 1,0 g/l
SO_2 totale (mg/l)	30–77 (48,3 ± 12,5)	19–58 (40,0 ± 8,4)	≤ 120 mg/l
pH	3,07–3,52 (3,35 ± 0,11)	3,14–3,63 (3,41 ± 0,13)	nessun limite definito
Acido lattico (g/l)	0,11–2,79 (1,73 ± 0,68)	1,00–1,77 (1,37 ± 0,21)	≥ 1 g/l
Acido malico, residuo (g/l)	0–3,21 (0,41 ± 0,92)	0–0,16 (0,01 ± 0,04)	indicatore indiretto della FML

Il SO_2 totale è risultato conforme al limite legale (≤ 120 mg/l) in tutti i 48 campioni (100%). L'acidità volatile ha superato il limite di 1,0 g/l in un campione dell'annata 2024 (25/187: 1,02 g/l) – 1/48 campioni (2,1%), il che rappresenta un caso isolato che richiede una misura correttiva, non un rischio sistemico. Il requisito di acido lattico ≥ 1 g/l non era soddisfatto in 3 dei 22 campioni dell'annata 2023 (24/224: 0,11 g/l; 24/233: 0,12 g/l; 24/237: 0,93 g/l) – il che corrisponde a una conformità dell'86,4%; nell'annata 2024 tutti i campioni (26/26, 100%) soddisfacevano questo requisito, il che indica un miglioramento nella gestione della FML tra le due annate.

9.3 Andamento della fermentazione malolattica (FML)

L'acido malico, che è un indicatore indiretto dell'andamento della FML, non è stato completamente convertito in 4 dei 22 campioni (18,2%) dell'annata 2023 (24/221: 1,17 g/l; 24/224: 2,58 g/l; 24/233: 3,21 g/l; 24/237: 2,03 g/l) – il che significa che la FML si è conclusa in 18 dei 22 campioni (81,8%) –, mentre nell'annata 2024 la FML si è conclusa in tutti i campioni (in due campioni è stato rilevato un residuo trascurabile di 0,16 g/l, vicino al limite di determinazione di 0,10 g/l). L'analisi del microbioma (16S rRNA) ha mostrato, in due dei quattro campioni non conformi del 2023 (24/233 e 24/224), l'assenza del batterio *O. oeni*, il che probabilmente spiega la FML non completata; negli altri due (24/221, 24/237) *O.*

[21] AGROTUR+ (WP2, UNG). (2025). Agrotur terani 2024–2025 – dati analitici [Documento interno, N = 48 campioni, file: Agrotur terani 2024_2025_analize_corr.xlsx]. Università di Nova Gorica.

oeni era invece la specie predominante, ma il processo era rimasto incompiuto al momento del campionamento. Oltre a *O. oeni*, l'analisi del microbioma ha identificato anche altre specie di LAB con potenziale impatto negativo sulla qualità – *Pediococcus parvulus* (rischio di formazione di ammine biogene e di filamentosità del vino dovuta alla formazione di esopolisaccaridi) e due specie del genere *Lactobacillus* (*L. paracollinoides*, *L. harbinensis*) nel campione 24/226 – nonché due specie di batteri acetici (*Gluconobacter cerinus*, *Komagataeibacter adhaesivum*).[15]

9.4 Ammine biogene

La Tabella 3 mostra le concentrazioni di ammine biogene (putrescina, cadaverina, istamina e tiramina) nei campioni analizzati di vino DOP Teran delle annate 2023 e 2024.

Istamina e tiramina sono state quantificate sopra il limite di rilevabilità solo nei campioni dell'annata 2024, il che può essere dovuto all'ampliamento del pannello analitico tra le due annate, e non necessariamente all'effettiva assenza di questi composti nell'annata 2023. La concentrazione media di istamina nell'annata 2024 è stata di 21,86 mg/L (intervallo 2,02–35,66 mg/L) e rappresenta l'indicatore di rischio di formazione di ammine biogene più rilevante riscontrato nel set di campioni analizzato. Non è stato possibile confermare una correlazione diretta tra l'abbondanza dei batteri lattici (LAB) e il contenuto di ammine biogene, il che indica che il rischio è legato principalmente alla presenza di ceppi con attività decarbossilasica e non semplicemente alle dimensioni della popolazione di LAB. Questi risultati confermano le raccomandazioni dei capitoli 5.4 e 6.2 relative all'uso di colture starter con bassa o assente attività decarbossilasica e a un andamento controllato della fermentazione malolattica.[15]

Tabella 3: Concentrazioni di ammine biogene (mg/l) nel Teran, annata 2023 (n = 22) e 2024 (n = 26).

Ammina biogena	Annata 2023 (n = 22)	Annata 2024 (n = 26)
Putrescina (mg/l)	0,08–4,75 (1,38 ± 1,24)	1,90–6,06 (3,67 ± 0,97)
Cadaverina (mg/l)	0,31–12,46 (4,17 ± 3,58)	sotto il limite di rilevabilità–7,27 (1,60 ± 1,87)
Istamina (mg/l)	sotto il limite di rilevabilità	2,02–35,66 (21,86 ± 9,29)
Tiramina (mg/l)	sotto il limite di rilevabilità	sotto il limite di rilevabilità–3,72 (0,43 ± 0,85)

9.5 Confronto con i dati del precedente progetto AGROTUR II (2011–2018)

Il monitoraggio delle ammine biogene nel vino DOP Teran non è una novità. Nell'ambito del precedente progetto AGROTUR II (Interreg Italia–Slovenia), le concentrazioni di ammine biogene sono state monitorate nei periodi 2011–2013 e 2017–2018. Nelle annate 2011–2013 la concentrazione media di istamina è stata di 2,63 mg/L (intervallo 0,003–13,86 mg/L). Nell'annata 2017 l'istamina è stata rilevata nel 16,7% dei campioni analizzati, mentre nell'annata 2018 non è stata rilevata. I risultati di allora indicavano un miglioramento della qualità microbiologica del vino dal punto di vista della formazione di ammine biogene.

I risultati del progetto AGROTUR+ per l'annata 2024 mostrano concentrazioni di istamina misurate più elevate (media 21,86 mg/L; intervallo 2,02–35,66 mg/L) rispetto ai risultati del monitoraggio precedente. Un confronto diretto tra i due progetti richiede tuttavia un'interpretazione cauta, poiché le differenze possono derivare dall'ampliamento del pannello analitico, da limiti di rilevabilità più bassi dei metodi

utilizzati e da differenze nella composizione dei campioni analizzati. Oltre alle differenze metodologiche, i valori riscontrati possono essere influenzati anche da cambiamenti nella composizione del microbiota, in particolare dalla presenza di ceppi di batteri lattici con attività decarbossilasica, nonché dall'effetto delle condizioni climatiche sull'andamento della fermentazione alcolica e malolattica (cfr. capitoli 3.2 e 9.3).

Per l'istamina nel vino, l'Unione Europea e l'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino (OIV) non stabiliscono un valore limite numerico vincolante. Le concentrazioni misurate non possono pertanto essere considerate come una non conformità legale, ma come un importante indicatore di rischio per la formazione di ammine biogene. I risultati sottolineano l'importanza di un monitoraggio microbiologico continuo, dell'uso di colture starter adeguatamente selezionate per la fermentazione malolattica e di un'applicazione coerente delle buone pratiche viticole ed enologiche per ridurre il rischio di formazione di ammine biogene.[14][22]

9.6 Fenoli volatili e marcatori di *B. bruxellensis*

Le soglie sensoriali di percezione riportate nella Tabella 4 sono riprese da Butinar (2025, presentazione IMEKOFOODS), con indicazione delle fonti primarie (Yang et al., 2021 per il 4-etilfenolo e il 4-etilguaiacolo, López et al., 2002 per il 4-vinilfenolo e il 4-vinilguaiacolo, e Parker et al., 2012 per il guaiacolo). La concentrazione di 4-etilfenolo era, in tutti i 48 campioni analizzati, inferiore alla soglia sensoriale di percezione pubblicata. La concentrazione di 4-etilguaiacolo ha invece superato il limite inferiore della soglia sensoriale pubblicata (100 µg/L) in un campione dell'annata 2023 e in tre campioni dell'annata 2024, complessivamente in 4 dei 48 campioni (8,3%). Tali concentrazioni rappresentano un indicatore analitico dell'attività di *B. bruxellensis* o di altri microrganismi, inclusi alcuni batteri lattici (LAB) alteranti, che possono contribuire alla formazione di fenoli volatili**.** In un sottogruppo di campioni dell'annata 2024 la presenza di *B. bruxellensis* è stata confermata anche con metodi microbiologici – in tre casi mediante citometria a flusso (FCM) e in due casi mediante coltivazione classica su terreni selettivi (in parte sugli stessi campioni). Questi risultati erano coerenti anche con i descrittori sensoriali (ad es. sapore di topo, odore di stalla ovvero di sudore di cavallo) rilevati negli stessi campioni.[15]

Tabella 4: Concentrazioni di fenoli volatili (µg/l) nel Teran, annata 2023 (n = 22) e 2024 (n = 26), con soglie sensoriali di percezione.

Composto	Annata 2023 (n = 22)	Annata 2024 (n = 26)	Soglia sensoriale (µg/l)
4-etilfenolo (4-EP)	0–134,0 (23,6 ± 35,4)	0,03–34,2 (3,6 ± 8,5)	440–620
4-etilguaiacolo (4-EG)	0,07–129,8 (18,7 ± 29,2)	0,30–190,8 (26,3 ± 49,3)	100–160
4-vinilguaiacolo (4-VG)	1,52–54,1 (9,1 ± 11,6)	5,17–38,2 (14,7 ± 8,1)	40
4-vinilfenolo (4-VP)	0–63,5 (13,5 ± 15,2)	0,03–26,7 (5,5 ± 6,3)	180
Guaiacolo	2,60–14,50 (5,86 ± 2,95)	3,26–9,36 (5,59 ± 1,54)	10–30

[22] Topić Božič, J., Mozetič Vodopivec, B., Reščič, J., Bergant Marušič, M., Korte, D., Sternad Lemut, M., Lisjak, K., Franko, M., Butinar, L. (2020). Batteri lattici e ammine biogene nei vini Teran. In: Atti della conferenza finale del progetto AGROTUR II, Štanjel, pp. 55–69.

9.7 Sintesi dei principali risultati empirici

- La percentuale di campioni con fermentazione malolattica (FML) completata con successo è aumentata dall'81,8% (18/22) nell'annata 2023 al 100% (26/26) nell'annata 2024.
- La conformità al requisito del Regolamento relativo al contenuto minimo di acido lattico (≥ 1 g/L) è migliorata dall'86,4% (19/22) nell'annata 2023 al 100% (26/26) nell'annata 2024.
- Solo un campione su 48 analizzati (2,1%) ha superato il valore limite prescritto per l'acidità volatile, il che indica una deviazione isolata e non un rischio microbiologico sistemico.
- Le concentrazioni elevate di istamina, riscontrate in un sottoinsieme di campioni dell'annata 2024 (media 21,86 mg/L), rappresentano un importante indicatore di rischio per la formazione di ammine biogene. Poiché l'Unione Europea e l'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino (OIV) non stabiliscono per l'istamina nel vino un valore limite numerico vincolante, i risultati non possono essere considerati come una non conformità legale, ma come un parametro importante per l'ulteriore monitoraggio microbiologico e l'ottimizzazione della fermentazione malolattica.
- In quattro degli 48 campioni (8,3%) la concentrazione di 4-etilguaiacolo ha superato il limite inferiore della soglia sensoriale pubblicata, il che rappresenta un indicatore analitico precoce di una possibile attività di *B. bruxellensis* o di altri microrganismi, inclusi alcuni batteri lattici (LAB) alteranti, che possono contribuire alla formazione di fenoli volatili. Questo parametro è opportuno inserirlo nella matrice decisionale del D.2.1.2.
- Tra le due annate si osserva una tendenza a un leggero aumento del pH (3,35 → 3,41) e a una diminuzione del contenuto medio di SO_2 totale (48,3 → 40,0 mg/L), il che, con il prosieguo delle tendenze climatiche, può aumentare il rischio di instabilità microbiologica e richiede un monitoraggio più accurato dell'andamento della fermentazione malolattica, un'adeguata regolazione del contenuto di SO_2 e un'applicazione coerente delle misure igieniche.
- In confronto con i risultati del progetto AGROTUR II (2011–2018), nel quale erano state riscontrate concentrazioni di istamina più basse, nel sottoinsieme di campioni AGROTUR+ dell'annata 2024 sono state misurate concentrazioni di istamina più elevate. Un confronto diretto tra i due progetti richiede un'interpretazione cauta a causa delle differenze nei metodi analitici, nell'estensione delle analisi e nella composizione dei campioni, tuttavia i risultati sottolineano l'importanza di un monitoraggio microbiologico continuo e dell'applicazione delle buone pratiche viticole ed enologiche.

10. Sintesi: buona pratica – rischio – misura di controllo – standard di riferimento ovvero base giuridica

La tabella seguente collega le buone pratiche descritte nei capitoli 2–9 ai relativi rischi, alle misure di controllo raccomandate e agli standard di riferimento ovvero alle basi giuridiche. È concepita come base per la preparazione delle matrici decisionali nel deliverable D.2.1.2. Ove possibile, le raccomandazioni sono supportate anche dai risultati del monitoraggio fisico-chimico e microbiologico condotto nell'ambito del progetto AGROTUR+ (capitolo 9).

Buona pratica	Rischio	Misura di controllo	Standard/regolamento di riferimento
FML controllata e completata in tempo (inoculazione di ceppi selezionati di O. oeni o monitoraggio della FML spontanea)	FML ritardata o non completata con successo → instabilità microbiologica, rischio di rifermentazione, mancato rispetto del requisito ≥ 1 g/l di acido lattico	Monitoraggio dell'acido malico (analisi enzimatica/HPLC), adeguata preparazione e acclimatazione della coltura starter batterica, regolazione del contenuto di SO_2 e della temperatura (18–22 °C)	Regolamento DOP Teran artt. 11, 12; OIV International Code of Oenological Practices; AWRI MLF guidelines
Selezione di ceppi di LAB con bassa o assente attività decarbossilasica	Formazione di ammine biogene (istamina, tiramina) durante la FML (spontanea)	Uso di colture starter con bassa o assente attività decarbossilasica verificata, coinoculazione o inoculazione sequenziale precoce, monitoraggio microbiologico della popolazione di LAB	OIV Code of good vitivinicultural practices – biogenic amines (node 3311); AWRI MLF guidelines
Igiene rigorosa della cantina e monitoraggio preventivo dei lieviti alteranti	Contaminazione da *Brettanomyces bruxellensis* → fenoli volatili, difetti sensoriali	Pulizia e sanificazione rigorose delle attrezzature, adeguata regolazione del contenuto di SO_2, monitoraggio della presenza di *Brettanomyces* (coltivazione, qPCR, citometria a flusso), se necessario filtrazione prima dell'imbottigliamento	OIV Code – Brettanomyces (node 3239); AWRI Brett detection Guidelines; OIV Compendium (Annex A, sect. 4)
Garanzia del completamento della fermentazione alcolica	Zucchero fermentabile residuo → instabilità microbiologica e rischio di rifermentazione	Selezione di ceppi adeguati di *Saccharomyces cerevisiae*, controllo dei nutrienti (YAN) e della temperatura, monitoraggio dell'andamento della fermentazione	Regolamento DOP Teran art. 11; Handbook of Enology Vol. 1
Controllo dello stato sanitario dell'uva al momento della vendemmia	Uva danneggiata/infetta → aumento del carico microbico, sviluppo di muffe, batteri acetici e lieviti indesiderati	Vendemmia selettiva, selezione dell'uva, trasporto rapido in cantina, limitazione della percentuale di uva danneggiata	Regolamento DOP Teran art. 8; OIV Code – sound vitivinicultural practices (OTA, node 3451)
Campionamento microbiologico regolare nelle fasi chiave della produzione (mosto → vino → bottiglia)	Instabilità microbiologica non rilevata prima dell'imbottigliamento	Campionamento standardizzato e analisi microbiologiche (coltivazione, qPCR, citometria a flusso o altri metodi validati), confronto dei risultati nelle diverse fasi di produzione	OIV Compendium, sect. 4 (OIV-MA-AS4-01); AWRI Technical Protocols
Verifica interna della conformità prima della valutazione ufficiale del vino	Deviazione dalla specifica DOP Teran (acidità volatile, acido lattico, valutazione	Controllo interno chimico, microbiologico e sensoriale ed eventuale attuazione di misure correttive prima della	Regolamento DOP Teran artt. 12, 15

	organolettica < 16,5 punti) → rigetto del vino per la designazione DOP	presentazione del vino alla valutazione ufficiale	

11. Conclusioni e punti di partenza per D.2.1.2 e D.2.1.3

11.1 Rischi principali per il monitoraggio futuro

La sintesi delle fonti tecniche internazionali, della normativa vigente e dei risultati del monitoraggio microbiologico condotto nell'ambito del progetto AGROTUR+ (capitolo 9) evidenzia quattro gruppi principali di rischi microbiologici nella produzione del vino DOP Teran: (1) fermentazione malolattica ritardata o non completata con successo, riscontrata in 4 dei 22 campioni dell'annata 2023 (18,2%); (2) instabilità microbiologica e rischio di rifermentazione dovuti a una fermentazione alcolica incompleta; (3) microrganismi alteranti, in particolare *Brettanomyces bruxellensis* e ceppi di batteri lattici (LAB) con attività decarbossilasica e conseguente rischio di formazione di ammine biogene, come indicato dalle concentrazioni di 4-etilguaiacolo superiori al limite inferiore della soglia sensoriale pubblicata in 4 degli 48 campioni e dalle concentrazioni elevate di istamina in un sottoinsieme di campioni dell'annata 2024; e (4) deviazioni dalla specifica chimica e sensoriale del vino DOP Teran (un caso isolato di superamento del valore limite dell'acidità volatile). Tutti i gruppi di rischio indicati sono affrontati nel Regolamento vigente sul vino DOP Teran (artt. 8, 11, 12 e 15), supportati dalle raccomandazioni internazionali dell'OIV e dalle linee guida tecniche dell'AWRI, e ulteriormente illustrati dai risultati del monitoraggio ottenuti nell'ambito del progetto AGROTUR+.

11.2 Transizione al D.2.1.2 – linee guida per il controllo microbiologico avanzato

La tabella di sintesi del capitolo 10 costituisce la base tecnica diretta per la preparazione del deliverable D.2.1.2, nel quale ciascun gruppo di rischi sarà elaborato in una matrice decisionale del tipo «se … allora …». I singoli rischi saranno collegati a indicatori misurabili, analisi raccomandate, soglie di allarme e misure preventive ovvero correttive adeguate. Particolare attenzione sarà dedicata al monitoraggio dell'andamento della fermentazione malolattica, della stabilità microbiologica, delle ammine biogene, dei fenoli volatili e all'individuazione precoce dei microrganismi alteranti. La struttura proposta del D.2.1.2 distingue tra il monitoraggio di base, fondato sui requisiti del Regolamento sul vino DOP Teran, e il controllo microbiologico avanzato, che prevede l'uso di metodi analitici aggiuntivi (ad es. qPCR, citometria a flusso e sequenziamento del gene 16S rRNA) per l'identificazione precoce dei rischi microbiologici, come dimostrato anche dai risultati del progetto AGROTUR+.

11.3 Transizione al D.2.1.3 – istruzioni operative per la piattaforma *winecider.net*

Le linee guida tecniche, elaborate nell'ambito del D.2.1.2, saranno tradotte nel deliverable D.2.1.3 in istruzioni operative adattate all'utente per la piattaforma digitale *winecider.net*. Il materiale comprenderà liste di controllo per le fasi chiave della produzione (ricevimento dell'uva, fermentazione alcolica, fermentazione malolattica, maturazione del vino e verifica dell'idoneità prima dell'imbottigliamento), una panoramica dei parametri analitici raccomandati e delle soglie di allarme per valutare quando sia opportuno eseguire analisi microbiologiche più avanzate, nonché una raccolta

di fonti tecniche e contenuti formativi per i produttori. Per garantirne la semplicità d'uso nella pratica enologica, il materiale è stato concepito come contenuto digitale statico e stampabile. Lo sviluppo di strumenti interattivi per l'inserimento dei dati analitici e il confronto automatico dei risultati con i requisiti del Regolamento sul vino DOP Teran non era previsto nell'ambito di questo deliverable.

La relazione elaborata costituisce una base tecnica per la gestione sistematica dei rischi microbiologici nella produzione del vino DOP Teran. Collegando i requisiti della normativa vigente, le raccomandazioni internazionali dell'OIV e dell'AWRI e i risultati del progetto AGROTUR+, essa stabilisce un punto di partenza comune per la preparazione di linee guida operative e strumenti di supporto destinati ai produttori di Teran nell'area del Carso.