



VERSO L'INTENSIFICAZIONE SOSTENIBILE IN VITICOLTURA

LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DI PRECISIONE IN VIGNETO

BRUNORI Elena, MAESANO Mauro, CIRIGLIANO Pasquale, SCARASCIA MUGNOZZA Giuseppe, BIASI Rita.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
TUSCIA

DIPARTIMENTO DI INNOVAZIONE
NEI SISTEMI BIOLOGICI, AGROALIMENTARI
E FORESTALI



crea
Consiglio per la ricerca in agricoltura
e l'analisi dell'economia agraria

Verso l'intensificazione sostenibile in viticoltura:

Linee Guida per il monitoraggio di precisione in vigneto

Autori

BRUNORI Elena, MAESANO Mauro, CIRIGLIANO Pasquale, SCARASCIA MUGNOZZA Giuseppe, BIASI Rita.

Curatela

Elena Brunori, Mauro Maesano

Progetto realizzato nell'ambito del Programma LIFE 2014-2020, Progetto "Precision Agriculture System to limit the impact on the environment, on health and on air quality of grape production" - Life WineGrover [LIFE19 ENV/IT/000339] Responsabile scientifico progetto: Prof. Giuseppe Scarascia Mugnozza, DIBAF Università degli Studi della Tuscia.

Progetto WINEGROVER

PRECISION AGRICULTURE SYSTEM TO LIMIT THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT,
ON HEALTH AND ON AIR QUALITY OF GRAPE PRODUCTION

Queste linee guida redatte nell'ambito del progetto "Precision Agriculture System to limit the impact on the environment, on health and on air quality of grape production" - Life WineGrover [LIFE19 ENV/IT/000339] Responsabile scientifico progetto: Prof. Giuseppe Scarascia Mugnozza, DIBAF Università degli Studi della Tuscia e hanno l'obiettivo di intento di offrire alle realtà produttive locali informazioni metodologiche a supporto della misura di semplici variabili fisico-ambientali del vigneto (dati microclimatici ed edafici), della determinazione delle performance vegetative nonché dell'equilibrio vegeto-produttivo. Questo al fine di migliorare nel senso della sostenibilità la gestione agronomica, la difesa fitosanitaria, la gestione della maturazione e raccolta delle uve con ottimali caratteristiche qualitative, concorrendo pertanto a salvaguardare le risorse ambientali.

In linea con quanto promosso a livello europeo serve nel settore viti-vinicolo più conoscenza (*More knowledge per hectare*), che si traduca in innovazione nel processo di produzione come in quello di trasformazione. Il progetto WINEGROVER ha avuto come obiettivo primario lo sviluppo di prototipi in grado di raccogliere in modo innovativo con apparati strumentali prototipali informazioni puntuali sullo stato vegeto-produttivo di singole piante di vite in funzione delle mutate condizioni climatiche.

Queste linee guida sono rivolte agli operatori tecnici aziendali perché possano predisporre e adottare un sistema di osservazione e raccolta di informazioni di campo cruciali per ottimizzare la sostenibilità ambientale della tecnica adottata.

INTENSIFICAZIONE SOSTENIBILE E VITICOLTURA DI PRECISIONE NELLA DOP ORVIETO	1
STRETEGIE COLTURALI IN VITICOLTURA PER L' ADATTAMENTO E LA MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI	13
IL MONITORAGGIO A SCALA LOCALE	15
MONITORAGGIO FENOLOGICO E PRODUTTIVO DEI VITIGNI	15
MONITORAGGIO PROXIMAL SENSING	21
MONITORAGGIO DEL MICROCLIMA DELLA BACCA	26
INDICATORI DI EQUILIBRIO VEGETO-PRODUTTIVO IN <i>Vitis vinifera</i> L.	26
GLI INDICI VEGETAZIONALI ESSENZIALI	27
RINGRAZIAMENTI	29
BIBLIOGRAFIA	30

INTENSIFICAZIONE SOSTENIBILE E VITICOLTURA DI PRECISIONE NELLA DOP ORVIETO

L'intensificazione sostenibile rappresenta un approccio ormai condiviso dalla comunità scientifica delle scienze agrarie (AISSA, 2019) e si configura oggi come un modello produttivo imprescindibile per conciliare produzioni specializzate e salvaguardia delle risorse ambientali. Intensificare in modo sostenibile significa riuscire a combinare una viticoltura intensiva con alti standard di *performances* ambientali (Buckwell et al. 2014). Questo consentirebbe di ottimizzare l'efficienza dell'uso delle risorse naturali "producendo di più con meno".

Identificare in vigna le fasi del processo produttivo che impattano negativamente sulla sostenibilità ambientale, permette di mettere in atto azioni correttive imprescindibili nella filiera. Nello specifico, è necessario individuare e sperimentare soluzioni innovative per aumentare/migliorare la tolleranza o adattamento agli aumentati stress biotici e abiotici consentendo allo stesso tempo l'attuazione di modelli produttivi resilienti ed innovati sotto il profilo della gestione di precisione e digitale.

La viticoltura di precisione è lo strumento che consente di raggiungere in pieno l'obiettivo dell'intensificazione sostenibile della produzione agricola. Pur essendo disponibile da circa 20 anni, fatica purtroppo a diffondersi, perché spesso i viticoltori non percepiscono i reali benefici, anche se oggi numerosi sono i servizi offerti alle aziende vitivinicole basati su questa tecnologia. Tuttavia, l'attuazione diretta in azienda di tecniche agronomiche di precisione consentirebbe un monitoraggio *in continuum* delle superfici

vitare e pertanto una maggiore possibilità di tempestivi adattamenti della tecnica agronomica alle mutate condizioni ambientali.

Il progetto LIFE WINEGROVER si è caratterizzato per la forte integrazione disciplinare che ha sistematicamente unito competenze tecnico-scientifiche di ambiti disciplinari distinti nella realizzazione di un prototipo di monitoraggio agro-fenologico, ambientale e di salute della pianta, in grado di considerare una matrice di variabili dell'agro-ecosistema vigneto influenti sulla suscettibilità agli stress abiotici. L'innovazione pertanto può considerarsi una strategia integrata di miglioramento della qualità globale della produzione viti-vinicola, in accordo con le emergenti esigenze del mercato, come il crescente interesse del consumatore verso prodotti ad elevata sostenibilità ambientale (*environment friendly*). Il modello di approccio proposto nel prototipo è proiettato verso una viticoltura sostenibile, innovativa e ambientalmente competitiva perché basata sulla conoscenza dell'ambiente fisico del vigneto, del sistema biologico vite e quindi su un sistema gestibile con strategie di precisione (viticoltura di precisione).

In tal senso l'innovazione tecnologica nei moderni sistemi viticoli, specializzati ed intensivi, non si contrappone all'agricoltura tradizionale, per definizione quella che massimizza le funzioni ecologico-ambientali, ma al contrario rappresenta un recupero del rapporto "uomo-sistema biologico pianta" con gli strumenti offerti dall'innovazione scientifica.

Innovare o rinnovare in campo viticolo significa soprattutto lo sviluppo di strategie di adattamento della *Vitis vinifera* alla variabilità climatica attraverso l'individuazione di pratiche colturali atte ad integrare sostenibilità ecologico- ambientale, economica e sviluppo del territorio.

La ricerca, la produzione di innovazione e il trasferimento del *know-how* attraverso la formazione degli operatori in agricoltura, opportunamente integrate, rappresenteranno le chiavi per rispondere in maniera concreta alle sfide del settore viticolo, ed alla diffusa esigenza di sostenibilità. Tutto questo è in linea con la strategia “Europa 2020” (COM (2010) 2020 final ; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52010DC2020>) che guarda al nuovo modello di crescita e di sviluppo economico - più intelligente, sostenibile ed inclusivo - chiedendo un rafforzamento della ricerca, dello sviluppo tecnologico e dell'innovazione al fine di promuovere la competitività delle piccole e medie imprese.

Obiettivi prioritari della logica di crescita sostenibile sono migliorare l'adattamento della viticoltura al cambiamento climatico, la prevenzione e la gestione dei rischi, soprattutto di origine abiotica, nonché tutelare l'ambiente e l'uso sostenibile delle risorse naturali. In tal senso si rafforza anche la funzione pubblica dell'agricoltura, e della viticoltura in particolare, come agro-ecosistema strategico per un presidio del territorio contro il consumo di suolo, la desertificazione e il depauperamento delle risorse ambientali. Uno dei nuovi paradigmi del settore primario del futuro, come auspica la strategia nazionale per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo alimentare e forestale, dovrà essere il miglioramento dei servizi ecosistemici - i cosiddetti beni *no-food*. Il rafforzamento nell'agroecosistema vigneto della funzione di produzione di servizi ecosistemici, grazie all'introduzione dell'innovazione nella gestione tecnica supportata da un monitoraggio continuo a scala aziendale, consentirà sistemi produttivi più efficienti e resilienti, con benefici per la collettività.

L'area viticola oggetto di monitoraggio è situata nell'ambiente collinare del settore sud ovest della regione Umbria e si estende fino all'alto Lazio. In essa ricadono la DOP Orvieto (http://www.arsial.it/portalearsial/prd_tipici/img/Orvieto%20DOC.pdf) e Rosso Orvietano (<http://www.regione.umbria.it/documents/18/1934957/DOC+Rosso+Orvietano+o+Orvietano+Rosso.pdf/49e09cf3-e8bc-49e6-90a7-1e648b64c1c2>). La tradizione viticola in questa area pare risalire al X sec. a.C., quando gli Etruschi conquistarono la scoscesa rupe e fondarono l'antica Velzna. Il territorio in esame è interessato da affioramenti di una quindicina di formazioni geologiche tra cui argille, formazioni vulcaniche, alluvionali, sabbie e conglomerati, ed i vigneti sono prevalentemente coltivati nella zona collinare - tra i 100 e i 500 metri sul livello del mare. La qualifica della sottozona Orvieto Classico comprende la zona più storica della Valle del Paglia, intorno alla Rupe, a ridosso della città di Orvieto (Masnaghetti, 2015).

La DOP Orvieto (DPR 07.08.1971 G.U. 219 - 31.08.1971) è riservata ai vini bianchi nelle tipologie Secco, Abboccato, Amabile, Dolce Superiore, Vendemmia Tardiva e Muffa Nobile prevalente ottenuti dalle uve provenienti per il 60% da Trebbiano Toscano (Procanico) e Grechetto, mentre al restante 40% possono concorrere altri vitigni di colore analogo idonei alla coltivazione per la Regione Umbria e per la Provincia di Viterbo. La DOP Rosso Orvietano è riservata alle seguenti tipologie: Rosso e con riferimento al nome dei vitigni Aleatico, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Canaiolo, Ciliegiole, Merlot, Pinot Nero e Sangiovese, da soli o congiuntamente per almeno il 70%. Il riconoscimento della DOP si è avuto con il D.D. 31/08/1998. Le superfici vitate destinate alla produzione della DOP Orvieto sono di 1942 Ha al 2012) mentre per la DOP Rosso Orvietano sono di 600 Ha, entrambe in aumento rispetto agli anni precedenti (Valore Italia, 2013).

Il sud-ovest Orvietano è inoltre una delle “aree interne” della Regione Umbria che mostra da anni uno sviluppo agricolo instabile sebbene l’agricoltura in termini di indice di importanza economica rappresenti il più importante settore con un’incidenza di aziende, in particolare viti-vinicole, con produzione DOP e/o IGP pari al doppio rispetto alla media nazionale. In questo territorio la viticoltura ha raggiunto risultati significativi in termini di qualità delle produzioni, tuttavia il comparto è ancora caratterizzato da eterogeneità e frammentazione della produzione e limitata competitività dei prodotti. L’eterogeneità fisiografica del territorio umbro svolge un’azione tipizzante sulle produzioni viticole creando condizioni microclimatiche diversificate, ma al tempo stesso comporta difficoltà oggettive nell’analizzare e modellizzare gli effetti che i cambiamenti climatici possono avere nel settore viti-vinicolo regionale a scala più vasta, elementi indispensabili per definire strategie territoriali. Il progetto vuole quindi dare un sostegno adeguato alla produzione viticola dell’Orvietano fornendo un prototipo di monitoraggio dello stato dell’agroecosistema in grado di inviare tempestivamente informazioni puntuali sull’area aziendale attraverso una rete basata su messaggi personalizzati (internet, e-mail, SMS): avvertimenti all’azienda riguardo sia eventi meteorologici estremi o significativi per l’accresciuto rischio per attacchi di insetti fitofagi e funghi parassiti. Questo strumento può rappresentare un’opportunità per mettere a punto strategie colturali in grado di mitigare l’effetto dei cambiamenti climatici, di gestire proficuamente la ricchezza della variabilità ambientale tipizzando le produzioni, e assicurare sanità degli impianti e alta qualità delle uve e dei vini.

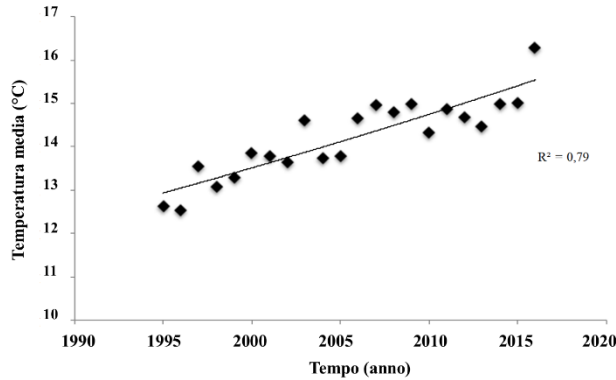
L’area viticola della DOP Orvieto (versante sud-orientale) può essere definita ad alta vulnerabilità ambientale secondo quanto emerge dalle tendenze elaborate per i principali indici bioclimatici elaborati sulla base di analisi di serie storiche di dati (Biasi et al,2019) (Figura 1, a) negli ultimi due decenni (1995–2015).

Lo studio condotto da Biasi et al. (2019) evidenzia come i due decenni (1995–2004) e (2005-2015) abbiano registrato entrambi una tendenza in aumento della temperatura media annuale (Figura 1a). In particolare, durante il primo (1995–2004), la temperatura media è stata di 13,5 °C, mentre nel secondo decennio (2005-2015) ha raggiunto i 14,7 °C.

Anche la temperatura media stagionale (GST) – indicativa delle temperature medie del periodo vegeto-produttivo della vite (aprile – settembre) – nel primo decennio (1995-2004) è stata di 19,7 °C, mentre nel decennio successivo ha raggiunto il valore di 20,5 °C. I dati climatici possono essere utilizzati anche per il calcolo di indici bioclimatici specifici per la vite utili ai fini della classificazione della vocazionalità climatica dell'area viticola. Il regime termico locale per l'area sud-occidentale della DOP ORVIETO è cambiato da "Caldo" a "Molto caldo", seguendo la classificazione fornita da Nesbitt et al. (2016) e come riportato nella figura 1b.

In particolare, sono gli eventi climatici estremi estivi, come il numero di giorni con temperature massime maggiori di 30°C, che concorrono maggiormente al manifestarsi di questa tendenza climatica in atto (Figura 2a). Infatti, l'area viticola della DOP ORVIETO mostra una tendenza in aumento per le temperature massime estive, come dimostrato dal numero di giorni con temperatura dell'aria massima giornaliera (Tmax) superiore a 30 °C (Figura 2a), insieme a una diminuzione lineare del numero di giorni con temperatura minima giornaliera (Tmin) uguale o inferiore a 0°C.

a)



b)

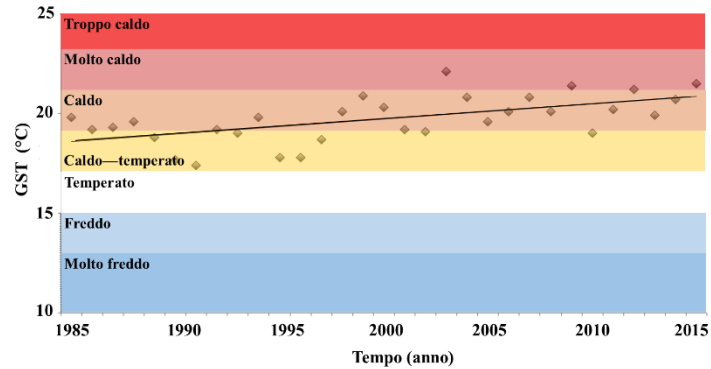


Figura 1. Andamento delle temperature medie annuali per l’area della DOP Orvieto (a) e delle temperature medie della stagione vegeto-produttiva delle viti (GST) (b) nell’area sud-occidentale della DOP ORVIETO.

Il diagramma ombro-termico (Figura 2b) indica un periodo di deficit idrico limitato che va da Giugno ad Agosto, con precipitazioni in periodi in grado di garantire una adeguata ricostituzione delle riserve idriche del suolo.

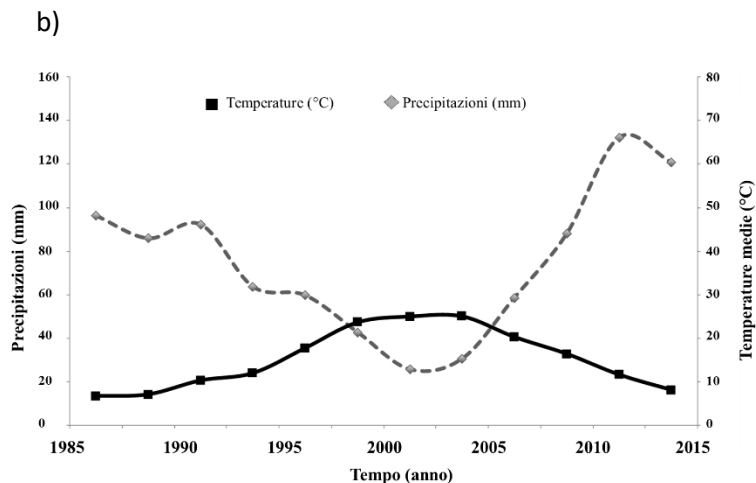
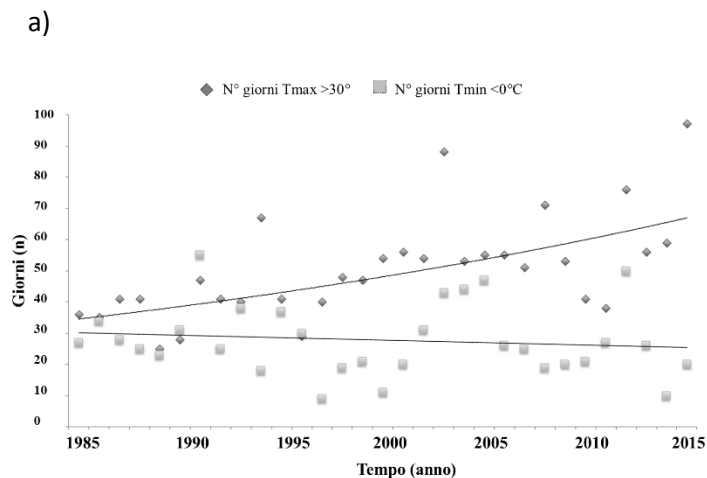


Figura 2. Andamento del numero di giorni con temperature massime (Tmax) di 30° C e con temperature minime inferiori a 0°C per l'area della DOP Orvieto per il periodo 1985 -2015 (a). Diagramma ombro-termico della DOP ORVIETO (b).

Le conseguenze di queste variazioni climatiche in corso nella DOP Orvieto sono l'esposizione della vite a stress estivi abiotici multipli a cui si aggiungono quelli biotici legati a patogeni e parassiti.

Negli ultimi 15 anni anche le avversità biotiche, complici le emergenze climatiche in corso, hanno evidenziato una maggiore pressione, facendo crescere esponenzialmente la necessità dei trattamenti fito-sanitari necessari per preservare la qualità della produzione (figura 3).

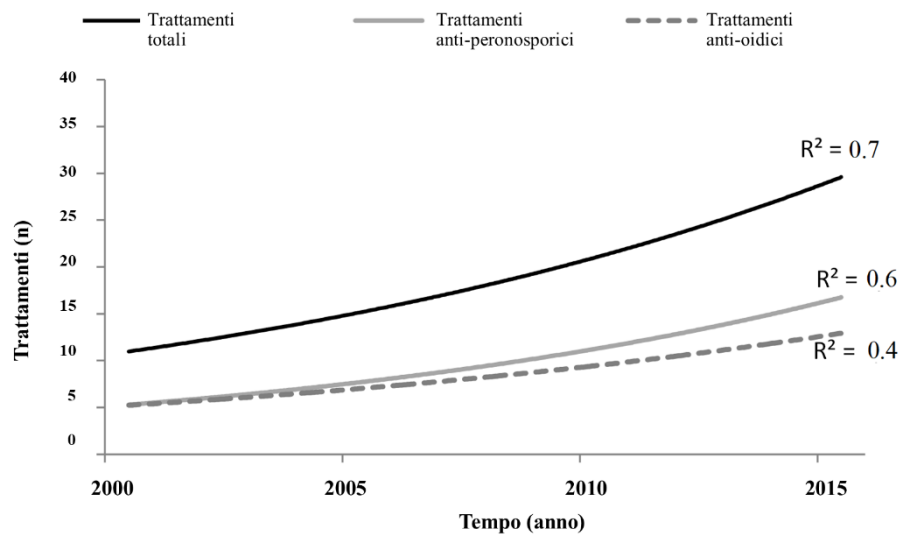


Figura 3. Andamento dei trattamenti fitosanitari eseguiti in vigneto campione nella DOP ORVIETO.

Le variazioni climatiche in atto impattano sulla fenologia della vite e sui tratti biochimici della bacca (Figura 4a,b) in maniera differenziata in funzione della varietà. Alcune varietà come il Cabernet franc tendono ad esempio ad anticipare la raccolta, altre a posticiparla (Cabernet sauvignon).

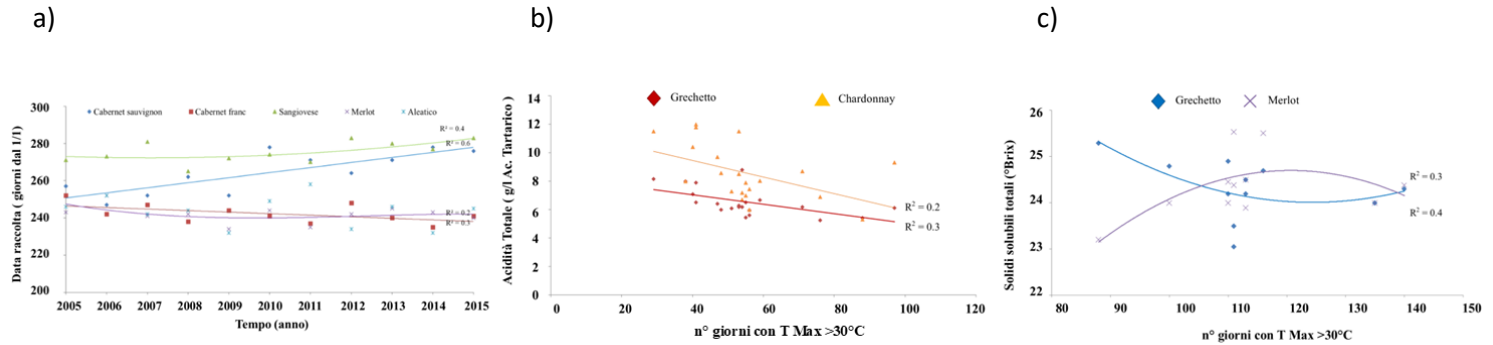


Figura 4. Andamento dell'epoca di raccolta di varietà a bacca rossa (a) per l'area della DOP Orvieto, e di alcuni parametri qualitativi delle bacche alla raccolta: (b) acidità (g/l Ac. tartarico) per varietà a bacca bianca, (c) concentrazione solidi solubili (°Brix) per varietà a bacca rossa (Modificate da Biasi et al., 2019).

STRETEGIE COLTURALI IN VITICOLTURA PER L' ADATTAMENTO E LA MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La viticoltura è esposta e vulnerabile alle condizioni meteorologiche estreme e ai cambiamenti climatici. In Europa, dato l'alto valore socio-economico del settore vitivinicolo, lo sviluppo di strategie di adattamento per mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici sarà di primaria importanza per la sua futura sostenibilità e competitività. Le strategie di adattamento a breve termine sono definite come pratiche tipiche della viticoltura che possono essere attuate nell'arco di una stagione o da un anno all'altro.

In uno scenario di cambiamenti climatici che prevedono l'innalzamento medio della temperatura e l'alterazione del regime delle precipitazioni, ad esempio con aumento dell'intensità degli eventi a fronte di una riduzione complessiva delle precipitazioni, la gestione della chioma può rappresentare una strategia colturale per mitigare o evitare i potenziali effetti negativi sulla qualità e sullo stato sanitario delle uve. In generale, si conferma l'opportunità di una adeguata gestione della potatura verde nel vigneto come prerequisito per una pratica viticola sostenibile.

Tra le tecniche di potatura verde la defogliazione precoce, eseguita alla fioritura, concorre a ridurre la compattezza dei grappoli, a migliorarne l'aerazione ed il microclima radiativo ed infine ad evitare scottature (Palliotti & Poni 2011). La defogliazione in fase di prefioritura sembra essere una delle tecniche più promettenti, che meglio risponde a tali presupposti, ma la risposta può cambiare in relazione alla varietà, annata e sito. Infine, la migliore esposizione dei grappoli alle radiazioni durante l'allegagione consente a questi di completare il processo di maturazione acclimatandosi alle mutate condizioni microclimatiche; contemporaneamente questa pratica consente una maggiore mortalità delle uova e/o larve di *Lobesia botrana*

che privilegia la deposizione su grappoli esposti alla radiazione solare. Questa pratica con conseguente riduzione del livello della popolazione di *Lobesia botrana* all'allegagione, permettendo anche di controllare l'incidenza dell'infezione della III generazione in prossimità della raccolta (Figura 5)

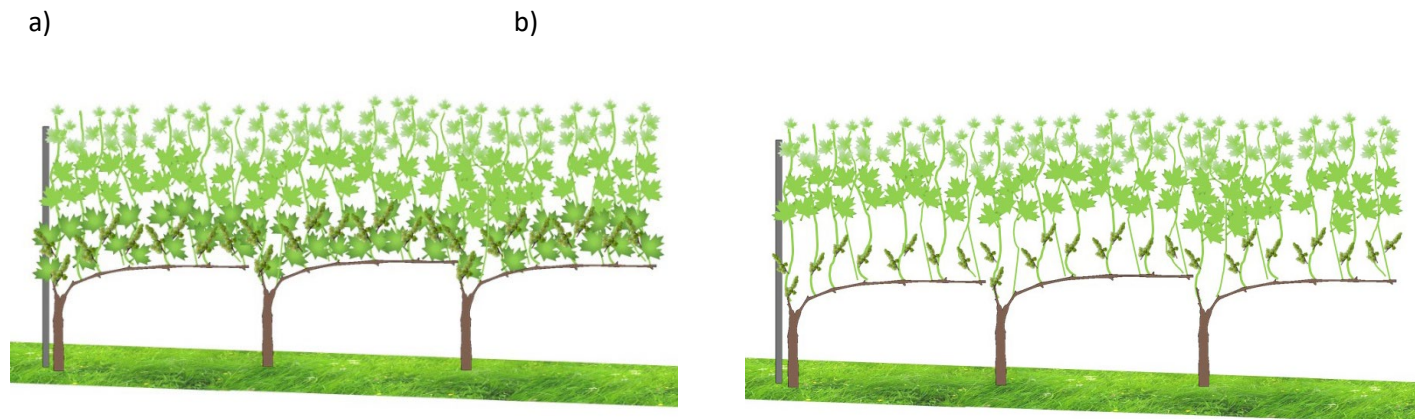


Figura 5. Chioma di vite soggetta a ordinaria gestione della chioma (a) e alla pratica della defogliazione effettuata in epoca di fioritura-inizio allegagione (BBCH 065-070) (b). Tale tecnica colture permette di rimuovere foglie adulte, foto-sinteticamente attive, e di esporre i bottoni fiorali o le piccole bacche alla radiazione solare. La superficie fogliare rimossa è di circa un metro quadrato a pianta, varia in funzione del genotipo e della vigoria della pianta.

IL MONITORAGGIO A SCALA LOCALE

MONITORAGGIO FENOLOGICO E PRODUTTIVO DEI VITIGNI

Il monitoraggio fenologico e produttivo dei singoli vitigni può essere condotto attraverso osservazioni dirette in campo su almeno 3 piante rappresentative e su almeno 5 gemme o germogli uviferi per pianta.

Sulle viti potate a spalliera (ad es. Guyot) si deve considerare la zona centrale del tralcio per la determinazione dello stadio fenologico; su viti a cordone speronato vanno selezionati speroni in posizione centrale rispetto la lunghezza del cordone. La fenofase da assegnare è lo stadio di sviluppo raggiunto o superato almeno 50% degli organi osservati (gemme, germogli / germogli/ tralci/ infiorescenze/grappoli). Le registrazioni devono essere settimanali o al massimo ogni 10 giorni, seguendo la scala BBCH (Figura 6) (Lorenz et al., 1995).

Iniziare le osservazioni all'inizio della stagione, alla prima comparsa di gonfiore delle gemme. Utilizzare il calibro per determinare la dimensione della bacca durante la sua crescita (Fase 7 scala BBCH - sviluppo del frutto). Utilizzare le dita per definire il rammollimento della polpa, indice di inizio maturazione (fenofase 81 scala BBCH - inizio della maturazione).

Utilizzare il rifrattometro per definire la concentrazione dei solidi solubili totali nella bacca, indice di maturazione tecnologica della bacca (fenofase 8 scala BBCH - maturazione delle bacche). Per eseguire questa determinazione raccogliere almeno 30 bacche da almeno 6 grappoli in diverse parti dell'infruttescenza (base, apice e zona mediana); per ogni grappolo raccogliere bacche, come segue: due bacche su lati opposti dalla base del grappolo; due bacche dal centro del grappolo, anche su lati opposti, ma ad angolo retto rispetto alle bacche raccolte alla base; una singola bacca sulla punta del grappolo. Conservarle in un sacchetto di plastica.

La fase di maturazione completa (89) dovrebbe essere definita quando: la concentrazione di zuccheri tende a raggiungere valori stabili; solo le prime bacche, mediante valutazione visiva e tattile di consistenza mostrano gli iniziali sintomi di disidratazione.

Il campionamento può essere anticipato alla vendemmia commerciale in caso di rischio di attacco di patogeni e/o parassiti.

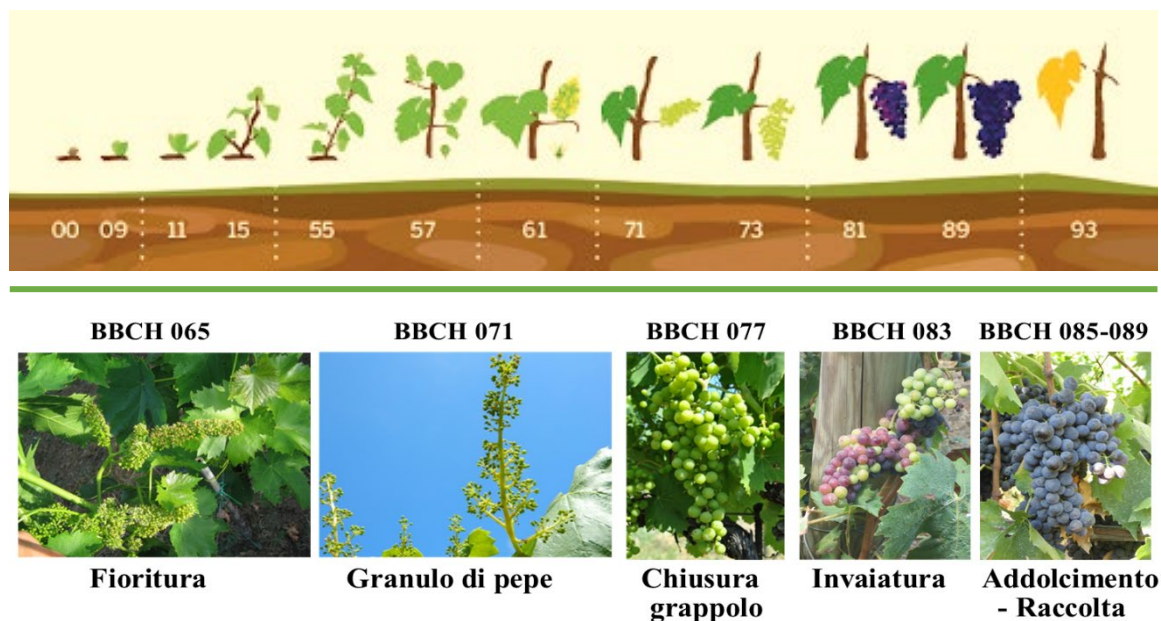


Figura 6. Scala BBCH semplificata (sopra); rappresentazione grafica dei principali fenofasi di crescita e maturazione del grappolo (sotto) e relativi codici di riferimento.

MONITORAGGIO PROXIMAL SENSING

Il *proximal sensing* consiste nel monitoraggio a distanza ravvicinata o a contatto con ciò che viene osservato. Applicato nella viticoltura di precisione, ha come obiettivo primario quello di fornire informazioni ad elevata risoluzione spaziale per consentire di raccogliere una serie di misure da cui dipendono le funzioni vegeto-produttive delle piante in modo da rendere possibile l'adozione di modelli decisionali di gestione specifici e finalizzati agli obiettivi di sostenibilità ambientale in azienda. L'avvio dell'attività di monitoraggio in vigna deve necessariamente essere condotto in funzione della fenologia della pianta e della biologia dei parassiti e/o patogeni di interesse per l'area. Tale monitoraggio può avvenire attraverso una gestione informatizzata di sensori multipli e integrati (Box 2) (termici, igrometrici, di luminosità, immagini RGB, immagini termiche etc) ed osservazioni dirette di campo con cadenza di 7/10 giorni, durante i quali sono raccolti anche dati vegeto-produttivi e fisiologici della vite. Più in particolare, il monitoraggio del vigore vegetativo può essere predisposto sia in tempo reale attraverso la misura strumentale del LAI, sia sulla base di mappe precedentemente elaborate da remote sensing (quando disponibile a scala aziendale) e validate *in situ*.

Il prototipo sviluppato dal progetto WINEGROVER (Figura 9) consente un monitoraggio sistemico di una serie di variabili microclimatiche a livello di singolo filare.

Il sistema per il monitoraggio microclimatico (Figura 9) è costituito da sensori di temperatura, umidità e di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) posizionati nella chioma e nella fascia produttiva, ed in aggiunta nella rizosfera – 20 cm di profondità e in prossimità della pianta (distanza inferiore a 20 cm dal tronco). Il prototipo sviluppato è stato attivo per tutta la durata del progetto e ha permesso di registrare e raccogliere in

un cloud tutti i parametri microclimatici orari e giornalieri. I dati sono georeferiti in modo da consentire di spazializzare gli eventi estremi di natura abiotica che avvengono in vigneto e di dividere lo stesso in aree omogenee per condizioni microclimatiche. La microzonazione climatica consentirebbe di differenziare gli interventi di gestione del vigneto ottimizzando le risorse e uniformando la produzione viticola in termini fenologici e qualitativi della produzione.

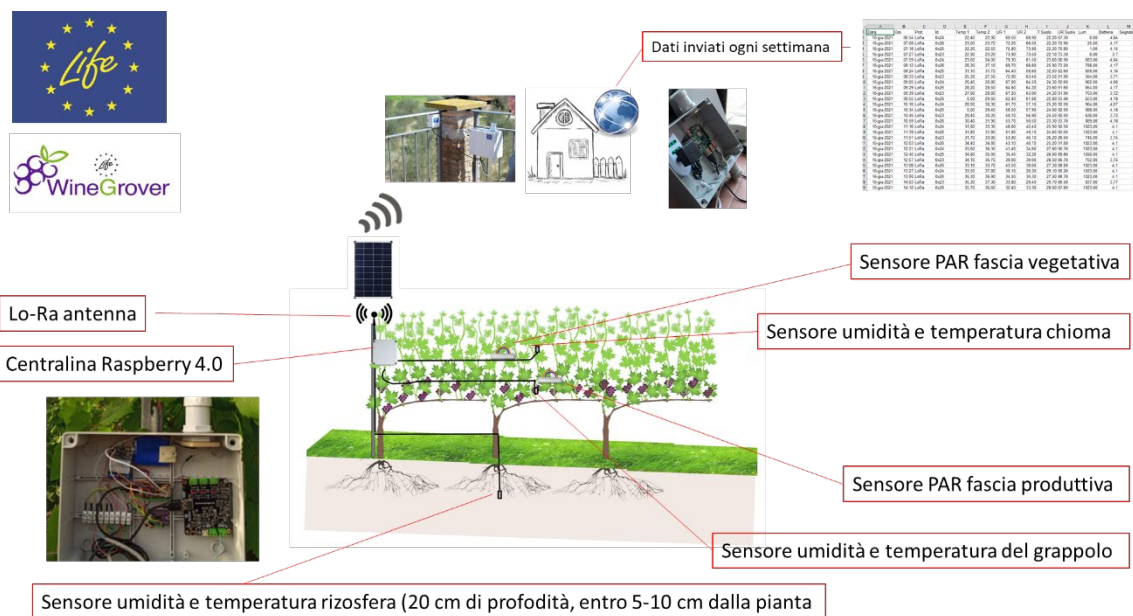


Figura 9. Schematizzazione del sistema di monitoraggio *proximal sensing* utile per elaborazione di indici vegetazionali.

BOX 1 Approfondimento: sensoristica di prossimità

Il prototipo WINEGROVER. è stato dotato di:

- sensori wireless che misurano, in tempo reale, le condizioni microclimatiche nel vigneto, Tutte le misurazioni vengono trasmesse in continuo ad una piattaforma informatica ed inviati settimanalmente al produttore.

Sensore Temperatura e Umidità dell'Aria



Il sensore piccolo, di lunga durata ed economico, è in grado di monitorare in tempo reale i seguenti parametri ambientali: Temperatura dell'aria,
Umidità relativa,
Punto di rugiada.

Sensore Temperatura e Umidità interno al grappolo

Il sensore costituito da una piccola sonda viene inserito nel grappolo in fase di allegagione, prima della sua completa chiusura. Questo sensore è utile per monitorare il microclima a cui la bacca è sottoposta durante tutta la fase di accrescimento. Consente di rilevare in real-time estremi termici e di individuare con precisione momenti di stress per la vite.



BOX 1 Approfondimento: sensoristica di prossimità

Bagnatura Fogliare



Questo sensore è in grado di monitorare la bagnatura della foglia su entrambi i lati. Può indicare per quanto tempo la superficie della foglia è stata bagnata, così da fornire informazioni utili a modelli previsionali per insorgenza di patologie della vite, come la peronospora.

Radiazione Solare



Questo sensore misura con continuità la radiazione globale ovvero la somma della radiazione diretta del sole e quella diffusa dal cielo e dai sistemi nuvolosi. Posizionato in chioma all'altezza della fascia produttiva indica la radiazione solare incidente sulla parete fogliare e/o sui grappoli durante la giornata.

Temperatura e umidità del suolo



Questo sensore è in grado di rilevare l'umidità del terreno (oltre che la temperatura), in modo da fornire indicazioni precise e puntuali funzionali anche alla definizione del fabbisogno idrico del vigneto. La stima di quest'ultimo parametro consente di applicare meno risorse in maniera più oculata e preservare la qualità della produzione.

VITICOLTURA DI PRECISIONE E MAPPATURA DELLE PERFORMANCE DI *Vitis vinifera* L.

La viticoltura di precisione (PV) rappresenta uno strumento utile allo studio della variabilità spaziale in vigneto in termini di suolo e di performance vegeto-produttive. Gli indici di vegetazione sono principalmente utilizzati per monitorare le condizioni delle viti e correlarle al rendimento e ad altri parametri come la concentrazione di clorofilla sulle foglie, il contenuto di azoto e il contenuto di acqua della chioma. In aggiunta, consentono di individuare correlazioni tra gli indici di vegetazione (Vis) e i parametri qualitativi della bacca come solidi solubili e pH. Inoltre, il telerilevamento offre dati in molteplici risoluzioni temporali e spaziali per lo studio di un vigneto o di una area viticola. Piattaforme come Landsat con una risoluzione dei pixel di 30 m o più sono utilizzate principalmente a scala regionale, mentre veicoli aerei senza pilota (UAV) con risoluzione spaziale maggiore (ad esempio 5 cm o inferiore) sono stati utilizzati a scala più piccola: il vigneto o porzioni di esso. L'evoluzione della tecnologia ha portato all'applicazione del telerilevamento iperspettrale insieme al telerilevamento multispettrale per essere più specifici e per produrre indici di vegetazione specializzati. Tuttavia, gli indici di vegetazione iperspettrali sono stati applicati principalmente nella rilevazione prossimale attraverso spettro-radiometri in campo piuttosto che attraverso metodi di telerilevamento da remoto.

I dati acquisibili (misure puntiformi dei parametri biofisici della vegetazione) da tali strumenti di prossimità (UAV o sensoristica multispettrali/iperspettrale) sono funzionali alla rilevazione della diversità delle

condizioni vegetative all'interno dei singoli vigneti. Lo stato di sviluppo e in particolare l'equilibrio vegeto-produttivo delle piante è definito da opportuni indici (Palliotti et al. 2015). La mappatura di diversi indici vegetazionali in vigneto consentirebbe la delimitazione delle zone omogenee a gestione differenziata attraverso un monitoraggio in tempo reale della variabilità delle condizioni microclimatiche della chioma, delle condizioni del terreno e dello stato vegetativo delle piante. La raccolta, l'organizzazione e l'integrazione delle informazioni sito-specifiche con tecniche di modellistica avanzata possono offrire informazioni e supporto della gestione del vigneto in forma integrata ai viticoltori, contribuendo allo sviluppo di una viticoltura sostenibile.

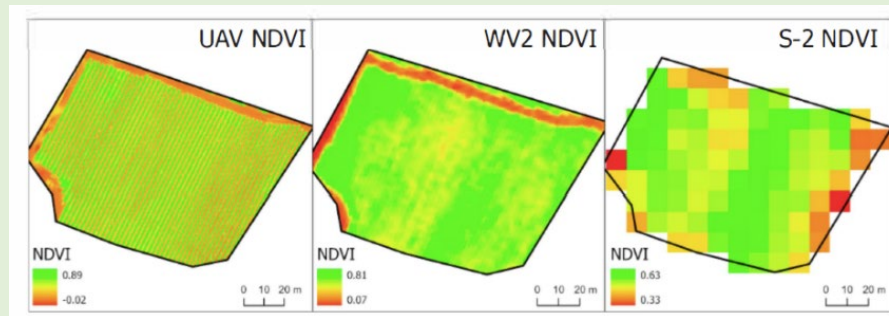
GLI INDICI DI VEGETAZIONE

Gli indici di vegetazione (Vis) sono comunemente usati in viticoltura per concentrarsi su diverse proprietà della chioma in grado di fornire informazioni sulla biomassa, l'area fogliare e la salute della pianta, il ciclo di crescita della vite, la stima della resa e lo stress idrico, basandosi su calcoli di diverse bande dello spettro elettromagnetico. La loro applicazione diretta in vigna consente una migliore gestione del vigneto combinata con tecniche di agricoltura di precisione.

Gli indici di vegetazione sono ideati per analizzare diverse proprietà della vegetazione e fornire informazioni sulla biomassa, area fogliare e salute della pianta, basate su calcoli di diverse bande dello spettro elettromagnetico . Molti di questi vengono utilizzati in viticoltura per prevedere l'assorbimento della clorofilla delle foglie, come indicatore di salute e fenologia, altri sono sensibili ai pigmenti delle foglie e principalmente evidenziano le malattie. I Vis più frequentemente utilizzati che sono sensibili alla biomassa e alla densità vegetativa sono: NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, vengono utilizzati per identificare le file di coltivazione, monitorare l'area fogliare e altre applicazioni come ad esempio la previsione dei parametri biofisici correlati al rendimento o ai dati *in situ*. I Vis che sono più sensibili al contenuto di acqua delle foglie (NDWI, SIWSI, GVMi, MSI) sono stati utilizzati per prevedere e monitorare lo stress idrico.

BOX 3 Monitoraggio *remote sensing*

La moltitudine di piattaforme di rilevamento da remoto utilizzabili per applicazione dei principi della PV (satelliti -Sentinel, Rapideye, Landsat 8, MODIS, Quickbird e Landsat 7 – e aeromobili a pilotaggio remoto - UAV) meritano alcuni chiarimenti in materia applicazione. L'utilizzo di ogni piattaforma dipende dal prezzo e dalla risoluzione delle immagini che offre. I satelliti con immagini ad alta risoluzione offrono informazioni dettagliate per analizzare i vigneti, ma il loro prezzo è un fattore limitante principalmente per il monitoraggio multitemporale. In questo caso, vengono utilizzati satelliti ad accesso gratuito con una risoluzione media come Sentinel-2, dove con una risoluzione di 10 m x 10 m è possibile rivelare la variabilità spaziale nel vigneto. La Figura mostra lo stesso vigneto da tre diverse fonti di dati di telerilevamento: (a) da una telecamera multispettrale montata su UAV con una dimensione di pixel di 3 cm, (b) da Worldview-2 con una dimensione di pixel di 0,5 m e (c) da Sentinel-2 con una dimensione di pixel di 10 m. Nel primo caso, dobbiamo avere a disposizione un UAV per elaborare i dati e produrre questa mappa NDVI. Nel secondo caso del WV2, dobbiamo acquistare le immagini satellitari, mentre per Sentinel-2 possiamo scaricarle gratuitamente.



Mappa NDVI da diverse immagini a diverse risoluzioni (UAV, Worldview-2, Sentinel-2).

Fonte: <https://doi.org/10.3390/agriculture11050457>

Gli autori ringraziano l'Azienda Vinicola Falesco s.r.l., Famiglia Cotarella, il dott. Fernando CESTRA.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Buckwell A., et al. 2014. The Sustainable Intensification of European Agriculture. Technical Report · June 2014 EU-Commission.

Biasi R., Brunori E. Ferrara C., Salvati L. 2019. Assessing Impacts of Climate Change on Phenology and Quality Traits of *Vitis vinifera* L.: The Contribution of Local Knowledge. *Plants* 2019, 8(5), 121; <https://doi.org/10.3390/plants8050121>.

EPPO, 2020. EPPO Global database. In: EPPO Global database, Paris, France: EPPO. <https://gd.eppo.int/search?k=lobesia+botrana>

Gutierrez A.P. et al. 2012. Prospective analysis of the invasive potential of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) in California. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(3), 225-238.

Lorenz, D. H., Eichhorn K. W., Bleiholder H., Klose R., Meier U., & Weber E. (1995). Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 100-103. <https://www.politicheagricole.it/flex/AppData/WebLive/Agrometeo/MIEPFY800/BBCHeng12001.pdf>

Masnaghetti A. 2015. I cru di Enocea. Orvieto: vigneti e zone. Alessandro Masnaghetti Editore Via Santa Croce 6, 20900 Monza (MI).

NAPPO, 2016 Phytosanitary Alert System (www.pestalert.org)

Nesbitt A., Kemp, B., Steele C., Lovett A., & Dorling S. 2016. Impact of recent climate change and weather variability on the viability of UK viticulture—combining weather and climate records with producers' perspectives. *Australian journal of grape and wine research*, 22(2), 324-335.

Oerke E.C. et al. 2014. Proximal sensing of plant diseases. In *Detection and Diagnostics of Plant Pathogens* (pp. 55-68). Springer, Dordrecht.

Palliotti A., & Poni, S. 2011. Traditional and innovative summer pruning techniques for vineyard management. *Advances in Horticultural Science*, 151-163.

Palliotti A., Poni S., Silvestroni O., 2015 (a cura di). *Nuova viticoltura. Innovazioni tecniche per modelli produttivi efficienti e sostenibili*. 3^a Edizione. Editore Il Sole 24 Ore Edagricole, Via Eritrea 21 - 20157 Milano.

Rossini L., et al. 2020. EntoSim, a ROOT-based simulator to forecast insects' life cycle: Description and application in the case of *Lobesia botrana*. *Crop Protection*, 129, 105024.

Townsend G.R., Heuberger J.W., 1943. Methods for estimating losses caused by disease in fungicide experiments. *Plant disease Rep.*, 27, 340-343.