



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse Naturali e Ambiente
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie
Curricula difesa dei vegetali

**Effetto varietale e della forma di allevamento sull'applicazione di
tecniche avanzate di viticoltura di precisione: un caso studio in
valpolicella**

Relatore:

Dott. Franco Meggio

Correlatore:

Prof. Giovanni Battista Tornielli

Dott.ssa Ron Shmuleviz

Laureando:

Mirko Falchetti

Matricola:

2028903

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Sommario

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	7
1. INTRODUZIONE	9
1.1 Il concetto di Terroir	9
1.2 Le Principali Varietà Coltivate In Valpolicella	10
1.2.1 Corvina	12
1.2.2 Corvinone	14
1.2.3 Rondinella	15
1.2.4 Molinara	16
1.3 Viticoltura Di Precisione	17
1.3.1 Il telerilevamento come supporto della viticoltura di precisione	19
1.3.2 Vantaggi economici ed energetici	21
1.3.3 La situazione in Italia	23
1.4 Costruzione Di Mappe Tematiche Georeferenziate	24
1.5 Utilizzo Sistemi Aerei A Pilotaggio Remoto (SAPR)	25
2 SCOPO DEL LAVORO	27
3 MATERIALI E METODI	29
3.1 Rappresentazione Dei Vigneti Sperimentali	29
3.1.1 Sama Frutta	29
3.1.2 Moron	30
3.1.3 Breone	31
3.2 Dati Fenologici Analizzati	32
3.2.1 Fertilità	32
3.3 Parametri Vegeto Produttivi	34
3.3.1 Rilievi dell'indice di vigoria (NDVI)	34
3.3.2 Determinazione della cinetica di crescita del germoglio	36
3.3.3 Rilievi sull'umidità del terreno	37
3.3.4 Rilievi della temperatura della chioma	38
3.3.5 Analisi da remoto tramite immagini satellitari	39
3.4 Maturazione	39
3.4.1 Peso medio degli acini	39
3.4.2 Determinazione del °Brix	40
3.4.3 Determinazione Dell'acidità Totale	41
3.4.4 Determinazione Del pH	42
3.4.5 Quantificazione Antociani E Polifenoli	43
3.4.6 Spessore Buccia	45
3.4.7 Produttività	46
3.5 Costruzione mappe di vigore	47
3.6 Monitoraggio a distanza	47
4. RISULTATI	49
4.1 Vigneto di sama frutta - pergola	49
4.1.1 Mappe di vigore	49
4.1.2 Analisi di correlazione	52

4.2 Vigneto di moron	56
4.2.1 Mappe di vigore.....	56
4.2.2 Analisi di correlazione.....	59
4.3 Vigneto di Sama Frutta Guyot.....	62
4.3.1 Mappe di vigore	62
4.3.2 Analisi di correlazione.....	65
4.4 Vigneto di Breone	67
4.4.1 Mappe di vigore.....	67
4.4.2 Analisi di correlazioni.....	69
4.5 Analisi delle componenti principali (PCA).....	71
<i>CONCLUSIONI</i>.....	73
<i>BIBLIOGRAFIA</i>.....	75

RIASSUNTO

Dagli ultimi due decenni le esigenze e gli standard qualitativi del settore vitivinicolo sono in continuo aumento. Questo trend ha portato ad un'innovazione in ambito tecnologico che ha permesso di sviluppare sistemi di sensoristica in grado di monitorare molti aspetti dell'ambiente di coltivazione della vite e delle sue stesse risposte qualitative e produttive. Tali sistemi sono spesso accompagnati da geolocalizzatori e possono essere applicati in prossimità della coltura o montati su mezzi aerei o su satelliti, che acquisiscono dati tramite i quali è possibile estrapolare importanti informazioni sullo stato fisiologico della pianta e spazializzarli per valutare l'eterogeneità del vigneto. La variabilità che si osserva poi nell'appezzamento determina differenze vegeto-produttive che si ripercuotono poi sul prodotto finale, il vino. In una situazione di eccesso di vigoria, infatti, osserveremo un deterioramento nella sintesi di sostanze di interesse enologico, quali composti polifenolici (antociani e tannini), potassio, sali minerali ecc., aromi. Anche gli stress multipli estivi (idrico e termico), tuttavia, possono causare diversi problemi nello sviluppo della vite.

In viticoltura non esiste un unico modello da seguire, ma è solo l'interazione tra il clima, il suolo e le sue caratteristiche pedologiche, la componente genetica (combinazione d'innesto) e la tecnica viticola ed enologica che rende un vino unico. Nel mondo, infatti, ci sono molte importanti regioni vitivinicole che, pur differendo, anche di molto, le une dalle altre per clima, terreno, varietà e sistemi di allevamento, sono in grado di produrre vini di altissima qualità.

L'utilizzo di tecniche avanzate di viticoltura di precisione permette una gestione innovativa del vigneto ma sono necessari ancora studi che valutino l'effetto varietale e dell'utilizzo di diverse forme di allevamento sull'efficacia di queste tecniche.

Questo studio si inserisce in questo scenario attraverso l'applicazione di tecniche innovative in quattro vigneti della Valpolicella per valutarne l'efficacia in funzione

della varietà (corvina, corvinone, rondinella, molinara) e della forma di allevamento (controspalliera e pergola). Per ogni vigneto sono state individuate zone a diversa vigoria mediante l'analisi di immagini multispettrali da satellite (Sentinel-2) e da drone all'interno delle quali sono stati raccolti parametri vegeto-produttivi e fisiologici dal germogliamento alla raccolta. I risultati ottenuti hanno permesso di evidenziare interessanti relazioni tra le misure effettuate con i sensori di prossimità e da remoto nei diversi siti in cui sono state effettuate le prove, e ci hanno permesso di osservare la variabilità di tali relazioni nei diversi vigneti.

ABSTRACT

In the last two decades, the demands and quality standards of the wine industry have been steadily increasing. This trend led to innovation in technology that enabled the development of sensor capable of monitoring many aspects of the grape growing environment and its own quality and production response. Such systems are often accompanied by geolocators and they can be applied near the crop or mounted on aerial vehicles or satellites. Through the acquisition of these data, they are able to give important information on the physiological state of the plant from which we can extrapolate and spatialize data to assess the heterogeneity of the vineyard. The variability observed in the plot results in vegetative-productive differences that affect the final product, the wine. In a situation of excess vigor, in fact, we observe a deterioration in the synthesis of relevant compounds, such as polyphenolic compounds (anthocyanins and tannins), potassium, mineral salts, etc, aromas of enological interest. Different summer stresses, such as drought and heat waves, can cause various type of problems in vine development.

In viticulture, there is no a single model to follow since only the interaction between climate, soil and its pedological characteristics, genetic component (grafting combination), and viticultural and enological technique are important to produce a unique wine. In fact, it is possible to find in the world different high-quality wines thanks to the strong interaction of the features cited above even if they come from different areas.

The use of advanced precision viticulture techniques allows innovative vineyard management, even if other studies are still needed to evaluate the varietal effect and the use of different training systems to assess the effectiveness of these techniques. In this study, we applies these innovative techniques in four Valpolicella vineyards to evaluate their effectiveness according to different varieties and training systems of Corvina, Corvinone, Rondinella, Molinara, and Guyot and pergola, respectively. For each vineyard, zones of different vigor were identified by analysis of

multispectral satellite, Sentinel-2 and drone images of vegetative-productive and physiological parameters were collected from budding to harvest. The results obtained showed interesting relationships between measurements made with proximity and remote sensors at the different sites where the tests were carried out, and allowed us to observe the variability of these relationships in different vineyards

1. INTRODUZIONE

1.1 IL CONCETTO DI TERROIR

Al terroir sono state date molte definizioni una è di queste è quella dell'OIV (organismo indipendente di valutazione) il quale da questa definizione: "Il "terroir" vitivinicolo è un concetto che si riferisce a uno spazio nel quale si sviluppa una cultura collettiva delle interazioni tra un ambiente fisico e biologico identificabile, e le pratiche vitivinicole che vi sono applicate, che conferiscono caratteristiche distintive ai prodotti originari di questo spazio. Il "terroir" include caratteristiche specifiche del suolo, della topografia, del clima, del paesaggio e della biodiversità.» ma essendo un concetto olistico che si basa sulle diverse interazioni che si creano tra il suolo, il clima, le piante di vite e l'intervento dell'uomo, è difficile trovarne una che le racchiuda tutte.

Queste interazioni sono influenzate da diversi fattori chiave che possono modificare l'espressione stessa del *terroir*, tra cui:

- sviluppo fenologico
- stato idrico
- nutrizione azotata.

Per raggiungere la massima espressione del terroir le fasi fenologiche sono molto importanti, infatti, le piante devono raggiungere la perfetta maturazione, perché in caso di raccolta anticipata o troppo ritardata si otterrebbero vini con caratteristiche non ricercate (Chonè et al., 2001). E per raggiungere la perfetta maturazione un ruolo importante lo gioca anche il clima però è impossibile definire delle condizioni climatiche 'ideali' in termini di temperatura, precipitazioni e irraggiamento solare perché ottimi vini vengono prodotti in condizioni pedo-climatiche anche contrastanti, basti pensare alle regioni viticole della Napa Valley (California), Bordeaux (Francia) e Valpolicella (Italia).

Da uno studio condotto sullo stato idrico della pianta, in tre vigneti a Saint Emilion nella zona di Bordeaux, durato dal 1998 al 2003 si è osservato che dipende dal clima, in particolare dalle piogge, dall'evapotraspirazione, dal suolo e dalla sua capacità di trattenere l'acqua, dalle radici, dalla varietà delle piante e infine anche dalle tecniche agronomiche utilizzate dall'uomo come la gestione dell'interfila, sottofila e dall'irrigazione (Van Leeuwen et al., 2003).

Come detto anche lo sviluppo fenologico può influenzare

Infine, la gestione della nutrizione azotata è differente per le varietà a bacca rossa e quelle a bacca bianca, infatti, per i vini rossi si preferisce avere una bassa concentrazione di azoto in maniera da avere una più bassa acidità, una concentrazione zuccherina maggiore e una maggior presenza di antociani. Per i vini bianchi invece si cerca una moderata concentrazione azotata in modo da apportare una maggior presenza di aromi (Van Leeuwen and Seguin, 2006; Van Leeuwen et al., 2004)

1.2 LE PRINCIPALI VARIETÀ COLTIVATE IN VALPOLICELLA

Esiste una grande variabilità, tra tutti i vitigni coltivati, in termini di caratteristiche morfologiche di foglie, germogli, bacche e grappoli. Proprio questa grande variabilità ha portato alla nascita di un particolare ramo delle scienze viticole: l'ampelografia. Questa si propone di descrivere oggettivamente le caratteristiche dei vitigni, in modo da renderne possibile il riconoscimento. Questo è stato possibile grazie anche allo sviluppo di nuove tecnologie per l'individuazione non solo di marcatori morfologici ma anche biochimici e molecolari.

L'ampelografia ha tre obiettivi fondamentali, complementari fra di loro:

- Descrizione e identificazione dei vitigni: con lo scopo di esaminare le caratteristiche morfologiche e di stabilirne la ripartizione geografica e permettere un controllo indispensabile sulla filiera di moltiplicazione vegetativa, di produzione e di commercializzazione;

- Studio dell'evoluzione dei vitigni e delle relazioni che esistono fra di loro (famiglie, gruppi, discendenze). Questo aspetto viene spesso trascurato e quindi rimane insufficientemente sviluppato;
- Conoscenza del comportamento dei vitigni in diversi ambienti (clima, terreno) e la valutazione delle loro attitudini e potenzialità agronomiche, tecnologiche, genetiche. Quest'ultimo obiettivo è di rilevante importanza perché consente di effettuare una scelta ragionata dei vitigni e delle forme di allevamento.

Nel mondo vi sono oltre 10.000 varietà di *Vitis vinifera* oltre a circa 4.600 ibridi interspecifici, a circa 1.400 varietà sconosciute e 923 varietà appartenenti alle specie selvatiche. In totale quindi ci sono più di 17.000 varietà (Alleweldt G., 1991). e questi dati sono in continuo aumento. Questa enorme diversità, legata al carattere eterozigote della specie e fonte di evoluzione e di adattamento, determina una variazione fra i vitigni relativamente debole siccome evolve in una sola specie. Tuttavia questa variazione è essenziale in viticoltura, perché appunto permette alla vite di evolversi nel corso degli anni e di adattarsi alle condizioni a cui deve far fronte come ad esempio il cambiamento climatico, la continua perdita di sostanza organica all'interno del terreno, agli elevati stress idrici a cui è sottoposta la pianta ecc.

Per andare a riconoscere ed individuare le varietà ed i cloni possono essere utilizzati differenti metodologie, tra queste vi è l'utilizzo di marcatori biochimici che utilizzano principalmente isoenzimi e proteine, inoltre vengono anche utilizzati marcatori biomolecolari, quest'ultimi utilizzano come molecola per il riconoscimento il DNA. Il territorio della Valpolicella si estende per 240 Km² ed è situato nel nord Italia, nella regione Veneto, a nord-ovest di Verona. Questo territorio, è delimitato: a nord dalle Prealpi Orientali, a sud dal fiume Adige, a ovest dalla Valdadige e ad est dalla città di Verona. Il vicino Lago di Garda si trova invece a 15 Km più a ovest. Ora andremo ad analizzare e descrivere le principali varietà autoctone della Valpolicella che sono: Corvina, Corvinone, Rondinella e Molinara.

1.2.1 Corvina



FIGURA 1 GRAPPOLO DI CORVINA (VIVAI RAUSCEDO)

I caratteri ampelografici della corvina sono: germoglio ad apice lanuginoso (peloso), biancastro, con foglioline apicali spiegate, verdi con riflessi bronzii. La foglia è di media grandezza, pentagonale, quinquelobata, poco tomentosa, seno peziolare a U leggermente aperto. Il Grappolo è medio-piccolo Figura 1, di forma cilindrica piramidale, con un ala evidente, compatto. L'Acino è di medie dimensioni e di forma ellissoidale con un colore blu-nero, lo spessore della buccia è di media consistenza con una polpa succosa e di sapore semplice. Questo vitigno presenta una buona vigoria con portamento della vegetazione semieretto, tralci lunghi poco ramificati, mediamente robusti ad internodi medi la vegetazione è tendenzialmente equilibrata. Si adatta ai diversi tipi di terreni purchè non siano troppo fertili ed umidi, si adatta anche su terreni calcarei; preferisce comunque quelli ben esposti e climi asciutti per una regolare e sana maturazione dell'uva.

Per quanto riguarda la forma di allevamento questa è una varietà che è in grado di adattarsi sia a pergola che a spalliera mentre per quanto riguarda la potatura preferisce quelle lunghe e con una carica equilibrata di gemme per ceppo. Adeguate potature verdi permettono una regolare maturazione del grappolo. Questo vitigno si presta molto alla meccanizzazione. L'epoca di germogliamento è tardiva mentre la maturazione è medio-tardiva. Inoltre questo vigneto ha una produzione media e costante. Se analizziamo lo stato sanitario di questa varietà e come reagisce alle avversità possiamo dire che è sensibile alla botrite e alla carenza di magnesio, però presenta una buona resistenza alla clorosi,

analizzando l'aspetto enologico la Corvina da un vino di colore rosso rubino con riflessi violacei, acidulo, un po' tannico, di corpo vinoso, non privo di finezza ma un po' disarmonico. Le corvine non si vinificano in purezza varietale ma assieme ad uve di Rondinella, Molinara, Corvinone, ecc. andando così a costituire i ben noti vini di Valpolicella, Bardolino ecc. Con un giusto appassimento e con una particolare vinificazione assieme ad altri vitigni va a costituire il recioto e l'Amarone della Valpolicella. Negli ambienti asciutti da origine a vini con sentori di prugna e caramello.[5]

1.2.2 Corvinone

I Caratteri ampelografici del Corvinone presentano sono: germoglio ad apice mediamente espanso, verde chiaro, un po' tomentoso, con foglioline apicali quasi glabre. La dimensione della foglia è medio grande, pentagonale, quinquelobata, con seno peziolare a



FIGURA 2. GRAPPOLO DI CORVINONE (VIVAI RAUSCEDO)

U-V aperto con, spesso, i bordi delimitati dalle nervature; denti molto pronunciati, pagina inferiore glabra. Il grappolo come si può vedere in Figura 2 è grande, piramidale, semicompatto, alato. Acino grosso, ellissoidale, di colore blu violaceo, la sua buccia è di buona consistenza con una polpa succosa, di sapore semplice tendente all'acidulo.

Questa varietà è molto vigorosa con un portamento della vegetazione semieretto, i tralci sono robusti e ramificati ad internodi medi. Si adatta ai diversi tipi di terreno e di clima, grazie alla sua rusticità, ma trova nell' areale della valpolicella la sua massima espressione qualitativa. Si adatta alle varie forme di allevamento espanse e a potature piuttosto ricche è un vitigno rustico e produttivo fin dalle gemme basali, si adatta alla meccanizzazione ed alle conseguenti forme di allevamento. Come la Corvina la sua epoca di germogliamento è tardiva mentre l'epoca di maturazione è medio tardiva. Ha una buona resistenza alle malattie anche se è un po' sensibile alla botrite negli ambienti più umidi e anche al disseccamento del rachide, bisogna sempre fare attenzione alla carenza del magnesio. Sotto l'aspetto enologico il corvinone non viene quasi mai utilizzato in purezza, ma si presta bene al blend con altri uvaggi soprattutto quelli tipici della Valpolicella, inoltre andando ad affettuare l'appassimento e una specifica vinificazione costituisce la base per vini come il Recioto e l'Amarone.[5]

1.2.3 Rondinella

L'origine di questo vitigno è sconosciuta, viene coltivato prevalentemente nel veronese. La Rondinella è abbastanza omogenea, non ci sono grandi differenze fra i vari biotipi che la costituiscono. Il Germoglio è ad apice espanso, di colore verde-giallastro con sfumature rosate,



FIGURA 3. GRAPPOLI DI RONDINELLA(VIVAI RAUSCEDO)

poco peloso. La Foglia è di media grandezza, pentagonale, profondamente quinquelobata e la pagina inferiore è setolosa. Seno peziolare a U o a lira. Il Grappolo come si può vedere in Figura 3 è medio-grande, piramidale alato e mediamente compatto. L'Acino è di medie dimensioni, sferoide, di colore nero violaceo; buccia molto pruinosa, consistente; polpa succosa, di sapore semplice tendente al dolce. La vigoria del Corvinone è elevata con portamento della vegetazione abbastanza equilibrato e semieretto. I Tralci sono lunghi ed abbastanza robusti con internodi lunghi. Grazie alla sua rusticità si adatta bene a diversi terreni e climi anche se trova la sua miglior espressione in Valpolicella. Preferisce forme di allevamento espanse con potature medio-lunghe e piuttosto ricche. Ha un'epoca di germogliamento media mentre la l'epoca di maturazione è medio tardiva, mentre la produzione è sicuramente abbondante e costante. Ha una'ottima sensibilità alle malattie ed inoltre sopporta lunghi periodi di appassimento nei fruttai, però è soggetta a stress idrici. Parlando dell'aspetto enologico può effettuare vinificazioni sia in purezza e così facendo si otterrà un vino di color rosso rubino con una discreta acidità e piuttosto tannico. Però normalmente la vinificazione avviene in mescolanza con uve degli altri vitigni della Valpolicella. [5]

1.2.4 *Molinara*



FIGURA 4. GRAPPOLO DI MOLINARA (MIPAAF)

Il suo nome deriva dal vernacolo "mulinara" (da mulino), il suo nome è da attribuire al fatto che gli acini di quest'uva sono abbondantemente pruinosi quasi da sembrare spolverati di farina. Questo vitigno ha una buona vigoria, preferisce delle potature abbastanza lunghe e la produzione è abbondante e costante (alla maturazione si riscontrano spesso sul grappolo acini semiseccchi). La posizione del primo germoglio fruttifero si trova sul 4°-5° nodo. Possiede una buona resistenza alle diverse malattie come l peronospora e all'oidio, molto resistente al marciume dell'uva; infatti, è una varietà che può essere conservata con facilità sulla pianta ed in fruttai, infatti, anch'esso viene utilizzato per la vinificazione dell'Amarone e del Recioto. Sembra che venga attaccata dalle tignole meno delle altre varietà veronesi; eccezionali la colatura e l'acinellatura. Mentre per quanto riguarda le varie fasi fenologiche come il germogliamento, la fioritura e l'invaiaitura ha tempistiche medie mentre la maturazione dell'uva è tardiva. Se osserviamo il grappolo di Figura.4 ha una dimensione media con una forma allungata e piramidale, generalmente con due ali corte. L'acino ha una grandezza media sferoidea e leggermente allungata, l'acino della Molinara presenta una buccia di colore rosso-violaceo, molto pruinosa e di media consistenza. I tralci sono piuttosto lunghi robusti e si ha spesso la presenza delle femminelle. [4]

1.3 VITICOLTURA DI PRECISIONE

È risaputo che all'interno di ogni vigneto vi è una variabilità che può essere più o meno marcata. Nonostante ciò, gli approcci convenzionali per la produzione di uva non tengono in considerazione questa eterogeneità del vigneto e vanno ad applicare strategie di gestione uniformi sull'intero appezzamento. Mentre per capire e sfruttare questa eterogeneità possono essere utilizzate una serie di tecnologie, come ad esempio i sensori di prossimità o i sensori da remoto, le quali portano all'applicazione della viticoltura di precisione. La viticoltura di precisione offre ai viticoltori i mezzi per abbandonare un approccio unico, al contrario ti permette di andare ad intervenire in maniera mirata all'interno dei vigneti e in base alle loro caratteristiche intrinseche e agli obiettivi produttivi e qualitativi dell'imprenditore si possono sfruttare le zone migliori e migliorare quelle più deboli (Bramley, 2022). Quindi lo scopo della viticoltura di precisione è quello di ottimizzare le prestazioni del vigneto, andando ad implementare la resa e la qualità delle uve cercando allo stesso tempo di minimizzare l'impatto ambientale causato dalle varie tecniche viticole come ad esempio l'utilizzo di fertilizzanti, l'applicazione di pesticidi e non meno importante anche la minimizzazione dell'inquinamento ambientale. Altro vantaggio dell'applicazione della viticoltura di precisione è quindi un risparmio economico da parte dell'imprenditore agricolo. (Ozdemir et al. 2017).

I principali effetti che l'eterogeneità causa sono le differenti espressioni fisiologiche e vegeto-produttive. L'aspetto più evidente di queste risposte è il vigore vegetativo. Il grande traguardo della viticoltura di precisione è quello di conoscere, localizzare (georeferenziazione) e mappare (spazializzazione) lo stato, la salute, il vigore e le necessità fisiologiche delle viti appartenenti a differenti zone del vigneto ed adeguare le tecniche colturali in maniera puntuale alle esigenze. Queste tecniche hanno potuto svilupparsi grazie al Sistema di Posizionamento Globale (GPS), la

prima costellazione di satelliti lanciata in orbita ad opera della missione spaziale americana.

Le nuove frontiere della viticoltura sono rappresentate da un lato dall'applicazione di tecniche di telerilevamento, grazie al quale possono essere create delle mappe tematiche o 'di prescrizione', le quali sono indicative dello stato vegetativo del vigneto, dall'altro dalla possibilità di gestire queste operazioni colturali a rateo variabile (*Variable Rate Technologies, VRT*).

Per creare una mappa di vigore di un appezzamento viene utilizzato un aeromobile (satellite, aereo, drone) dal quale vengono raccolte delle immagini da multi- a iper-spettrali, in funzione della sensibilità del relativo sensore di registrare radianze nello spettro elettromagnetico. Ogni pixel dell'immagine riporta la porzione dello spettro elettromagnetico solare (di nota forma e intensità) riflesso da ciò che sta a terra. Dall'analisi delle singole (iper-spettrale) o porzioni (multi-spettrali) lunghezze d'onda dello spettro di riflettanza vengono stimate delle caratteristiche delle superfici e delle relative proprietà biofisiche a terra.

Le mappe di vigore servono a suddividere la raccolta in maniera differenziata all'interno di un singolo vigneto oppure in un grande comprensorio. Le mappe tematiche di interesse del viticoltore possono essere le più svariate e riguardare le rese per superficie, acidità, zuccheri, polifenoli etc. Una grande opportunità oltre alla vendemmia per l'utilizzo delle mappe di vigore è costituita dalla possibilità di compiere operazioni colturali del vigneto non in maniera generalizzata su tutto l'appezzamento ma intervenire in maniera mirata.



FIGURA 5. FASI DI APPLICAZIONE DELLA VITICOLTURA DI PRECISIONE (CITRA)

La viticoltura di precisione può essere vista come un processo ciclico come mostrato in Figura 5 in cui nel primo step si ha l'osservazione e la raccolta dei dati che ci consentano di descrivere le caratteristiche del suolo e le performance dell'appezzamento che stiamo

studiando. Il modo, il tempismo e l'accuratezza con cui vengono presi i dati sono molto importanti perché più sono attendibili questi dati e accurata sarà la loro interpretazione. Il secondo step è l'interpretazione e la valutazione dei dati, mentre il terzo step è quello di andare ad attuare un piano di gestione nuovo in base ai dati ottenuti ed elaborati e quindi non considerare il vigneto un unico blocco ma suddividendolo in più aree.

1.3.1 Il telerilevamento come supporto della viticoltura di precisione

La possibilità di sviluppare una viticoltura guidata dai sistemi satellitari è un'opportunità che si sta sviluppando in misura sempre più concreta in questi anni. Infatti, con lo sviluppo di nuove metodologie per acquisire immagini sempre più sofisticate ed efficienti ci consente di leggere in maniera più precisa e dettagliata il terreno agricolo e quello che lo ricopre. Inoltre, l'evoluzione della riflessione e degli assorbimenti della luce a differenti lunghezze d'onda da parte della vegetazione è in grado di fornirci indicazioni importanti sui ritmi di accrescimento vegetativi delle colture, i quali poi influiscono sulla quantità e sulla qualità delle uve.

La gestione dei dati ottenuti da questi sistemi satellitari poi può essere elaborata in maniera rapida ed efficace da sistemi informatici geografici (GIS). I (GIS) possono

avere più applicazioni, tra cui l'osservazione delle fasi fenologiche, l'analisi di campioni d'uve alla maturazione e molte altre anche più complesse. L'acquisizione e l'elaborazione da parte di questi sistemi sta aiutando a migliorare la caratterizzazione delle zone viticole negli studi di zonazione. (Fregoni, 2013). questi nuovi sistemi di acquisizione ed elaborazione dati è utile a migliorare la caratterizzazione delle zone viticole. In particolare, può caratterizzare lo stato vegetativo e produttivo delle piante a livello molto mirato e di conseguenza poi intervenire con interventi colturali come ad esempio le concimazioni, trattamenti antiparassitari, potature verdi, vendemmie compiendo così il vero scopo della viticoltura di precisione. Utilizzando questi sistemi per monitorare la vigoria e i ritmi di crescita delle viti, possiamo andare a considerare anche lo sviluppo dell'accrescimento fogliare inteso come area fogliare per unità di superficie di terreno (leaf area index, LAI). Quest'indice è stato utilizzato per delimitare differenti aree all'interno del vigneto in base alle condizioni di vigore vegetativo delle piante, sia fra diversi vigneti sia fra differenti porzioni degli stessi (L.F Johnson et al.,2003).

Inoltre, si è osservato mediante opportune sperimentazioni condotte soprattutto in Napa Valley (California), è stato possibile trovare buone correlazioni fra gli indici LAI valutati con metodologie tradizionali di rilievo diretto nel vigneto e quelli stimati dalle elaborazioni di immagini satellitari e aeree, più precisamente è stato possibile trovare correlazioni altamente significative fra il LAI delle diverse zone con l'indice Ndvi (Normalized Difference Vegetation Index)(L.F. Johnson 2003).

1.3.2 Vantaggi economici ed energetici

L'Agricoltura di Precisione è un sistema di gestione integrato da osservazioni, misure e azioni, correlate a fattori e variabili dinamiche negli ordinamenti produttivi. Lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione è stato reso possibile dal rapido avanzamento delle tecnologie e procedure ICT (Information Communication Technology). Queste, insieme allo sviluppo di software ed algoritmi dedicati, forniscono i supporti alle decisioni nella gestione delle pratiche agricole per ottimizzare la produzione nei sistemi colturali arborei ed erbacei. Essa ha degli obiettivi, come ottimizzare l'efficienza della produzione agricola, la qualità dei prodotti e la redditività e aumentare la sostenibilità climatica e ambientale. Secondo il Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, chi si avvale dell'Agricoltura di Precisione beneficia di vantaggi economici e ambientali, tutelando il clima, il che è un argomento molto discusso negli ultimi anni.

I vantaggi sono:

- Ottimizzazione degli input utilizzati come fitofarmaci e fertilizzanti con conseguente miglioramento dell'acqua e dell'aria.
- Riduzione dei volumi di acqua per l'irrigazione.
- Impiego razionale dei fattori decisionali, agevolando gli operatori e riducendo la stanchezza fisica, i tempi di esecuzione dei lavori, i task ripetitivi e l'intensità, annullando errori e massimizzando il profitto (es. guida automatica).
- Distribuzione controllata in base al reale fabbisogno della coltura (acqua, fertilizzanti, fitofarmaci).
- Impiego di sensori per il monitoraggio in tempo reale dello stato di salute delle colture, controllo dell'insorgenza di fitopatogeni o condizioni ambientali.
- Riduzione della pressione esercitata dai sistemi agricoli sull'ambiente.

- Efficienza: riduzione delle operazioni colturali per unità di tempo e di superficie.
- Incremento delle rese unitarie.
- Tracciabilità avanzata dalla produzione al consumo/vendita.
- Storizzazione e creazione di banche dati online (*cloud computing*) per lo sviluppo di Sistemi di Supporto alle Decisioni (SSD) a consultazione facilitata.
- Riduzione infiltrazioni sostanze chimiche nelle falde acquifere (N lisciviato può essere ridotto fino al 75%).
- Ottimizzazione delle richieste energetiche necessarie.
- Migliore logistica delle operazioni di pre- e post-raccolta nonché razionalizzazione dei dati per unità di superficie. (Leoni, 2021)

Scegliere la tecnica Rateo Variabile (RV) significa trattare in modo più efficiente, ma anche ridurre i costi dei mezzi tecnici, usare al meglio le irroratrici, migliorare la qualità delle produzioni e raccogliere dati preziosi per le operazioni future.

1.3.3 La situazione in Italia

Il settore vitivinicolo italiano ha conosciuto nel corso degli ultimi 30 anni una profonda evoluzione con l'ammodernamento degli assetti produttivi delle aziende finalizzato all'ottenimento di livelli qualitativi più elevati; ciò ha permesso una maggiore competitività delle produzioni italiane sui mercati internazionali. Questi cambiamenti hanno comportato un radicale rinnovamento del patrimonio viticolo ed una revisione delle tecniche agronomiche con la finalità, da un lato, di massimizzare il potenziale enologico dei territori, e dall'altro, di ottimizzare gli input al vigneto in un'ottica di minimizzazione dei costi e di tutela ambientale. È in questo contesto che si è affermato il concetto di viticoltura di precisione, ovvero di un approccio gestionale sito-specifico improntato all'ottimizzazione di ogni porzione dell'apezzamento.

In Italia la viticoltura di precisione si sta diffondendo lentamente sia a causa delle ridotte dimensioni aziendali, che a loro volta riducono le economie di scala derivanti, sia perché si ha una scarsa conoscenza delle effettive potenzialità che i nuovi strumenti possono offrire. Da un'indagine realizzata da Nomisma a fine 2018 su un campione di oltre mille aziende agricole si è osservato come solo poco più del 20% delle aziende abbia investito in strumenti per l'agricoltura di precisione, mentre se si considera solo le imprese vitivinicole la percentuale sale al 23%. Inoltre, da questa indagine si è osservato che le imprese vitivinicole stiano beneficiando dell'agricoltura di precisione soprattutto in termini qualitativi e soprattutto la riduzione dell'impatto ambientale rispetto invece alle imprese agricole che hanno ottenuto una maggiore efficienza produttiva quindi una riduzione dei costi, degli input produttivi e dei tempi di lavoro oppure hanno incrementato le rese (Pantini, 2019).

Ad oggi circa l'1% della superficie agricola coltivata in Italia vede l'impiego di mezzi e tecnologie di agricoltura di precisione. Il nostro obiettivo era quello di arrivare al

10 % entro il 2021, con lo sviluppo di applicazioni sempre più adatte alle produzioni agricole nazionali.

1.4 COSTRUZIONE DI MAPPE TEMATICHE GEOREFERENCE

Il suolo è il risultato di complesse interazioni tra i fattori e i processi che sono coinvolti nella sua formazione e gli agenti esterni come ad esempio le condizioni climatiche, l'irrigazione e la gestione del suolo e delle colture (Davatgar et al., 2011). Considerando quanto detto prima quindi non è insolito che il contenuto, la distribuzione e la disponibilità dei nutrienti del suolo varino ampiamente sia all'interno che tra gli appezzamenti di terreno, influenzando di conseguenza la produzione e la qualità dei prodotti agricoli. Per questo motivo, la variabilità che possiamo trovare nel suolo può essere corretta per quanto possibile attraverso l'uso di tecnologie di agricoltura di precisione.

Nell'agricoltura di precisione, la preparazione e l'analisi di mappe tematiche consente di identificare la distribuzione spaziale in base alle caratteristiche geografiche, del suolo e della produttività delle piante (Bazzi et al., 2015). Se andiamo a considerare l'analisi delle mappe di resa è possibile gestire la produzione degli anni successivi applicando un tasso differenziato di fertilizzanti e altri input agricoli in base alle esigenze dell'appezzamento, in questo modo si va a diminuire l'impatto ambientale e allo stesso tempo si aumenta la produttività e si ha un maggior ricavo da parte della coltura.

Per generare delle mappe tematiche vengono utilizzati dei campioni georeferenziati raccolti nel sito di interesse, dopo la raccolta dei dati, quest'ultimi vengono inseriti in un sistema informativo geografico (GIS) il quale è in grado di generare la mappa su quello che stiamo valutando. In questa fase viene eseguita l'interpolazione dei dati raccolti e vengono stimati anche i valori delle zone di cui non si hanno i dati.

Per l'interpolazione vengono utilizzate diverse tecniche, come ad esempio IDP, (*Integrated data Processing*) il kriging, (che è un metodo di regressione usato nell'ambito dell'analisi spaziale che permette di interpolare una grandezza nello spazio) e altre tecniche, esistono vari metodi di interpolazione perché ognuno di questi assegna un peso diverso ai campioni presi (LASLETT et al.,1987).

1.5 UTILIZZO SISTEMI AEREI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR)

Storicamente, i veicoli aerei senza pilota UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) o più comunemente chiamati droni, sono stati utilizzati principalmente per applicazioni militari. Nell'ultimo ventennio però si è iniziato a utilizzare gli UAV anche in ambito civile, e il loro uso ha portato nuove soluzioni ed opportunità. Questo grazie anche ad una maggior disponibilità di satelliti (GPS, GLONASS, GALILEO) e IMU (*Inertial Measurement Unit*), oltre anche alla disponibilità di fotocamere digitali di qualità non troppo costose, questo ha portato ad un aumento dell'uso degli UAV in ambito civile. (Turner et al., 2011). La massima risoluzione spaziale disponibile dalle piattaforme convenzionali, come i satelliti e gli aerei con equipaggio, è in genere dell'ordine di 20-50 cm/pixel. Gli UAV sono in grado di volare molto più in basso e quindi possono raccogliere immagini a una risoluzione molto più elevata (Zhang, Kovas,2012) Spesso con una risoluzione molto elevata, anche di 1 cm/pixel. La risoluzione temporale dei sistemi convenzionali è limitata dalla disponibilità di piattaforme aeree e dai modelli di copertura delle orbite dei satelliti. Per il monitoraggio di una vegetazione altamente dinamica come quella dei vigneti, i sensori satellitari sono molto limitati a causa dei tempi di rivisitazione sfavorevoli (Berni et al.,2009). Tuttavia, i vigneti non sono una coltura omogenea e i dati provenienti dalla fotografia aerea tradizionale o dai sensori satellitari ad alta risoluzione non sono in grado di distinguere accuratamente tra le singole viti e la vegetazione tra i filari. Di conseguenza, ai margini delle viti, i pixel presentano le proprietà di riflettanza sia della vite stessa che della vegetazione adiacente. Le

immagini UAV ad alta risoluzione dei vigneti non hanno questa limitazione, pertanto, esiste un potenziale interessante per lo sviluppo di un sistema UAV per la mappatura dei vigneti e quindi per l'assistenza al fotovoltaico.

Le loro caratteristiche li rendono ideali soprattutto nei sistemi agricoli medio-piccoli, tipici di molte aree viticole italiane. I droni possono essere equipaggiati con un'ampia gamma di sensori utili per diverse applicazioni. Le immagini di telerilevamento multispettrale forniscono una descrizione accurata della variabilità all'interno del vigneto attraverso la risposta dell'assorbimento e riflessione della luce (Matese, Di Gennaro, 2018). Le applicazioni che possono essere svolte dai droni sono svariate tra cui l'estrazione grafica dei filari di vite per ridurre l'area da analizzare, il rilevamento del tronco della vite, l'individuazione di piante mancanti (Jurado et al., 2020), oppure il rilevamento della flavescenza d'orata nel vigneto (Johanna et al., 2017), o del riconoscimento precoce del marciume radicale (Calamita et al., 2021). Grazie alla riduzione dei costi e all'innovazione tecnologica i droni potrebbero diventare fondamentali per il supporto alle decisioni all'interno del vigneto e ancora di più per la viticoltura di precisione (Sassu et al., 2021).

2 SCOPO DEL LAVORO

Nel corso dell'ultimo secolo, la viticoltura si è profondamente trasformata sia come caratteristiche dei vigneti dei Paesi tradizionalmente viticoli, sia in riferimento agli areali di coltivazione. Queste trasformazioni richiedono nuove varietà, nuovi portainnesti e nuove tecniche di coltivazione che si adattino alle diverse caratteristiche dei vigneti ed alle condizioni pedoclimatiche in continuo cambiamento. Infatti, È sempre più discusso il tema riguardante il rispetto nei confronti della sostenibilità ambientale da parte dei viticoltori, ancora di più considerando il cambiamento climatico che porta serie conseguenze sulla fisiologia della pianta e che sta spingendo ad una modificazione importante delle tradizionali pratiche agronomiche.

Questo ha portato ad un'innovazione in ambito tecnologico che ha permesso di sviluppare sistemi di sensoristica in grado di monitorare molti aspetti dell'ambiente di coltivazione della vite e delle sue stesse risposte fisiologiche, qualitative e produttive. Tali sistemi sono spesso accompagnati da geo-localizzatori e possono essere applicati in prossimità della coltura o montati su mezzi aerei o su satelliti, che acquisiscono dati tramite i quali è possibile estrapolare importanti informazioni sullo stato fisiologico della pianta e spazializzare i dati dai diversi parametri misurati nel vigneto.

Questo elaborato di tesi ha lo scopo di mettere in relazione i comportamenti delle diverse varietà analizzate e delle differenti forme di allevamento che sono state utilizzate. Per fare ciò sono stati utilizzate una serie di misurazioni classiche dirette sulla pianta come la fertilità delle gemme, la superficie fogliare, la cinetica della crescita di un germoglio, la determinazione dei parametri della maturazione tecnologica e fenologica ed il calcolo della produttività. In concomitanza, i vigneti sono stati caratterizzati tramite sensori a prossimità per il contenuto idrico del terreno, lo stress idrico delle foglie e l'indice di vegetazione. I rilievi sensoristici che

daranno l'informazione che correla maggiormente con i parametri vegeto-produttivi del vigneto potranno essere utili per migliorare le pratiche agronomiche di coltivazione utilizzati in campo.

3 MATERIALI E METODI

3.1 RAPPRESENTAZIONE DEI VIGNETI SPERIMENTALI

Lo studio di questa tesi è stato condotto su tre differenti appezzamenti di terreno, denominati Sama frutta, Moron e Breone tutti localizzati all'interno dell'area "valpolicella classica" e di proprietà della cantina Bolla. Dopo aver scaricato le immagini satellitari dalla stagione precedente è stato fatto un calcolo dell'NDVI che ha permesso di evidenziare dei blocchi costituiti da un apparente diverso indice di vigoria. I blocchi sono costituiti di tre piante rappresentative, evitando quelle con evidenti patologie, utilizzando dei nastri per segnalare ciascuna pianta. la posizione di ogni pianta è stata poi generata tramite rover GPS GNSS (Spektra Srl; Trimble) per poter elaborare i rilievi a terra in modo più preciso.

3.1.1 Sama Frutta

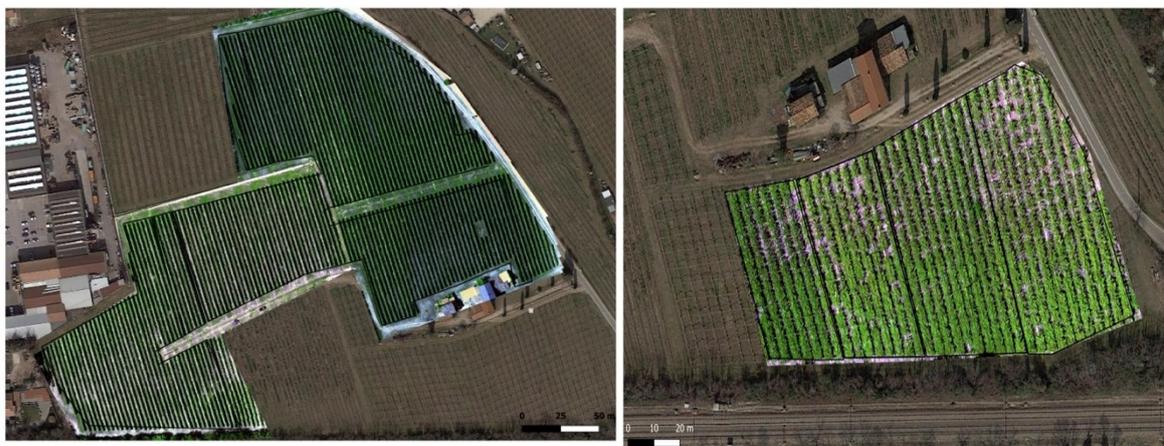


FIGURA 6 RAPPRESENTAZIONI VIGNETI SAMA FRUTTA GUOYOT (SX) E SAMA FRUTTA PERGOLA (DX)

Sama-Frutta, dista 5.3 km dal comune di San Pietro in Cariano, in frazione Nassar, sorgendo su un'area pianeggiante a 500 metri dal fiume Adige. Nonostante la vicinanza al fiume in estate si raggiungono temperature molto alte e in caso di bassa piovosità stati idrici gravi.

L'appezzamento presenta due differenti metodi di allevamento; una parte è a spalliera e ricopre circa 4 ha ed una a pergola con circa 1,1 ha. Nella zona a spalliera sono stati presi 10 blocchi di corvina e 4 di corvinone, mentre nella porzione a pergola ci sono 4 differenti zone, dove all'interno di ogni zona vi è una varietà differente e rispettivamente partendo da destra si ha rondinella, corvinone, corvina ed infine la molinara e per ogni zona sono stati presi 6 blocchi. Sia per la porzione di vigneto a spalliera che in quella a pergola sono state marcate 3 piante per ogni blocco.



3.1.2 Moron

Questo vigneto si trova all'interno del comune di Negrar e ricopre una superficie di circa 0,7 ha ad un'altitudine di 150m s.l.m. Il territorio gode di un clima mite e una piovosità annua di circa 850mm. Questo appezzamento presenta due differenti varietà che sono corvinone e rondinella entrambe allevate a pergola. ogni zona presenta 4 blocchi, ciascuno composto da tre piante.

FIGURA 7 RAPPRESENTAZIONE DEL VIGNETO DI MORON

3.1.3 Breone

Vigneto di Breone, dista 7km dal comune di Negrar nella frazione di Torbe allocandosi su un'area collinare a 430 metri s.l.m e occupa una porzione di terreno di 0,3 ha poco prima della catena dei monti Lessini. L'altitudine fa godere di un clima umido con temperature raramente sopra i 25°C con precipitazioni di 800mm circa.



FIGURA 8 RAPPRESENTAZIONE DEL VIGNETO DI BREONE

3.2 DATI FENOLOGICI ANALIZZATI

3.2.1 Fertilità

Sono state considerate tutte le varietà presenti nei singoli appezzamenti e rispettivamente abbiamo osservato la fertilità della Corvina sia su spalliera che su pergola a Sama frutta, solo su pergola a Moron mentre a Breone è stata presa solo su spalliera. La fertilità del Corvinone è stata presa a Sama frutta e a Moron solo su pergola e lo stesso vale per la Rondinella invece per la Molinara è presente la fertilità solo di Sama frutta pergola. In ognuno di questi si è proceduto alla conta dei nodi, dei germogli per nodo, delle gemme cieche e delle infiorescenze per germoglio. Tali misurazioni sono state prese tra il 18-25 maggio e queste informazioni sono state utili per determinare la fertilità potenziale e la fertilità reale. I valori delle fertilità sono stati calcolati attraverso la media delle fertilità delle gemme costituenti il tralcio.

Fertilità potenziale

La fertilità potenziale è calcolabile rapportando la somma delle infiorescenze presenti nei germogli principali e la somma dei germogli principali lungo il tralcio.

$$Fertilità\ potenziale = \frac{\sum infiorescenze\ sui\ germogli}{\sum germogli}$$

Fertilità reale

La fertilità reale è calcolabile rapportando le infiorescenze presenti nei germogli principali e tutti i nodi, inclusi quelli in cui sono presenti gemme cieche. La presenza di gemme cieche determina una diminuzione del valore della fertilità reale rispetto alla potenziale.

$$Fertilità\ reale = \frac{\sum Infiorescenze\ sui\ germogli}{\sum nodi}$$

3.3 PARAMETRI VEGETO PRODUTTIVI

3.3.1 Rilievi dell'indice di vigoria (NDVI)

Il rilievo ottico multispettrale della riflessione da parte della vegetazione della luce, viene correttamente impiegata nell'agricoltura di precisione per la misura dei parametri biofisici della vegetazione interessanti per le operazioni colturali. L'osservazione del comportamento spettrale, come cioè la vegetazione riflette la luce alle diverse lunghezze d'onda, è interessante soprattutto nel visibile in cui vi è l'assorbimento da parte della clorofilla e nell'infrarosso vicino (NIR, *Near infra read*) in cui la struttura interna della foglia in buone condizioni vegetative riflette abbondantemente in tutte le direzioni. Il NIR è infatti la banda fondamentale per lo studio dei parametri strutturali della vegetazione. Il rilievo ottico multispettrale può essere effettuato:

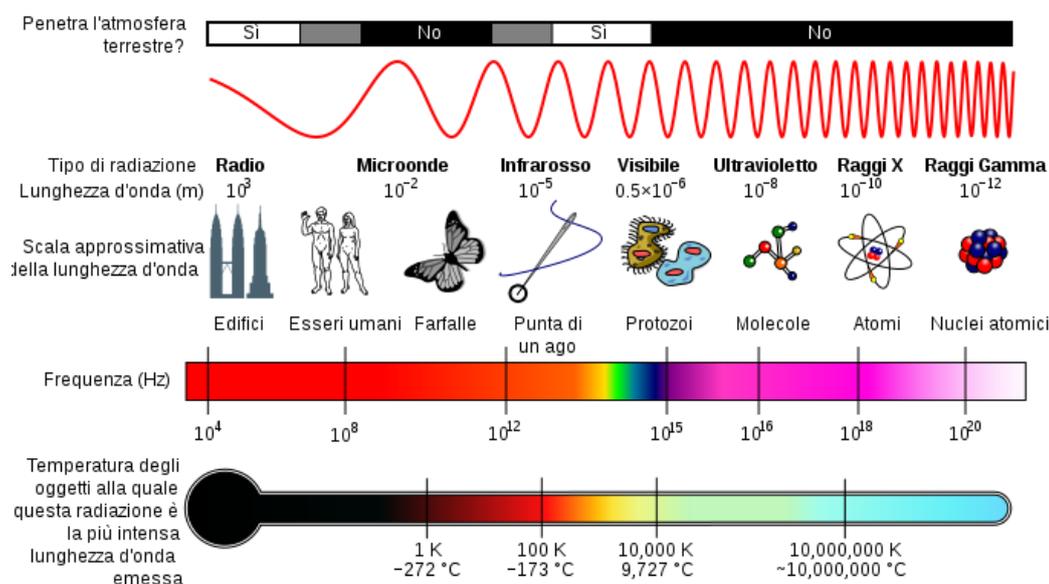


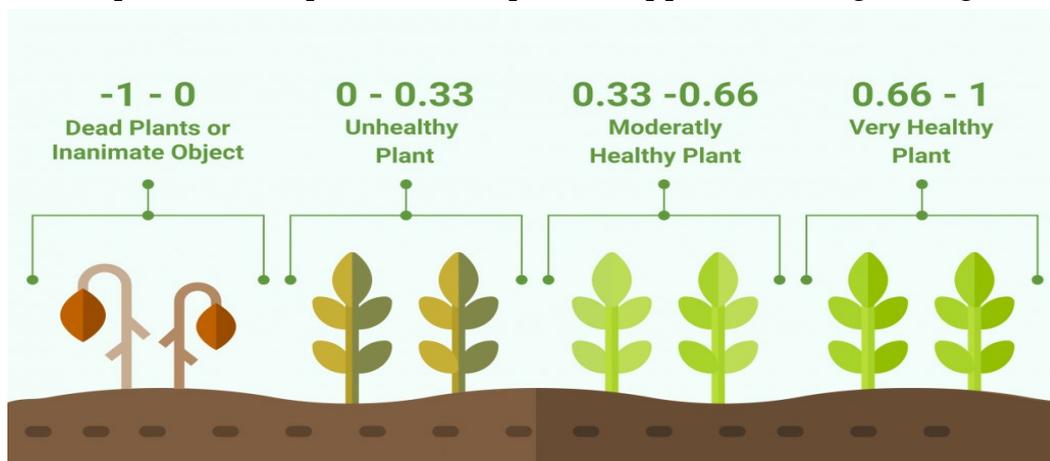
FIGURA 9 SCHEMA DELLE DIVERSE LUNGHEZZE D'ONDA E DEI DIVERSI INTERVALLI DI FREQUENZA (EOS)

- da remoto sotto forma di immagini multispettrali raccolte da sensori montati su satelliti, aerei, elicotteri e droni
- mediante sensori ottici di prossimità sotto forma di misure puntiformi (non immagini), georeferenziate mediante sistemi GNSS, raccolte su una porzione di vegetazione nel campo di osservazione di un sensore ottico, spesso di tipo attivo

cioè che genera la radiazione di cui poi misura la riflessione, montata su macchina o portato a mano. Quindi il telerilevamento ottico ad alta risoluzione costituisce un formidabile strumento per rilevare in determinati momenti significativi della stagione colturale la geodiversità delle condizioni vegetative all'interno dei singoli appezzamenti, presupposto fondamentale per poter impostare una efficace agricoltura di precisione diversificando su base geospaziale gli interventi agronomici. La viticoltura di precisione si avvale del telerilevamento ottico (Johanson, 2003) per la mappatura del vigore vegetativo del vigneto mediante la determinazione dell'NDVI (Normalized difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Ancora oggi l'indice NDVI, ottenuto a risoluzioni spaziali via via più elevate fino al rilievo della singola vite grazie ai nuovi sensori multispettrali montati su droni o su macchine operatrici, è il più utilizzato per la mappatura del vigore vegetativo del



vigneto.

E come possiamo vedere dalla figura 10 in base al valore di NDVI che otteniamo possiamo capire se le piante sono in salute o meno infatti i valori di NDVI vanno da 0-1 in cui valori inferiori pari a 0 o inferiori indicano una pianta morta, valori che

FIGURA 10 RAPPRESENTAZIONE DEI DIVERSI INTERVALLI DELL'INDICE NDVI (EOS)

vanno da 0-0,33 piante malate, mentre con valori che vanno da 0,33-0,66 piante moderatamente in salute per finire poi con piante con valori superiori a 0,66 che indicano piante in salute. La misurazione dell'indice NDVI è stata effettuata tramite un sensore portatile di prossimità (GreenSeeker® Handheld), il 31 maggio e il 12 giugno. Il sensore fa una scansione istantanea della radiazione emessa dalla pianta nei raggi infrarossi vicini e rossi visibili. Il campionamento viene fatto spostandosi lungo la coltura tenendo premuto la levetta d'innesto. Il sensore produce valori di lettura NDVI tra 0 e 0.99 che è indicatore della salute della pianta, all'aumentare del valore aumenta la vigoria della stessa. Per evitare che i "buchi" di vegetazione influiscano sull'indice viene utilizzato un pannello oltre la parete fogliare di materiale inerte come il cartone o il legno.

3.3.2 Determinazione della cinetica di crescita del germoglio

È stato condotto un lavoro di determinazione della lunghezza dei germogli tra fine maggio e fine giugno. Queste misurazioni sono avvenute nello stesso periodo in cui si sono svolti i rilievi NDVI ed è stato utilizzato un metro da sarto per la determinazione della lunghezza. Questo lavoro è stato effettuato per capire la cinetica di crescita dei germogli e per capire se vi fosse una relazione tra la lunghezza del germoglio e il valore di NDVI rilevato. Negli appezzamenti a pergola è stata presa la lunghezza di tre germogli per blocco mentre invece negli appezzamenti a Guyot sono stati presi cinque germogli per blocco. Dopo aver effettuato 3-4 rilievi è stato calcolato il ritmo giornaliero medio della crescita del germoglio.

3.3.3 Rilievi sull'umidità del terreno



FIGURA 11 RILEVAMENTO DEL CONTENUTO IDRICO DEL SUOLO

Il contenuto idrico del terreno è stato rilevato più volte, una il 17 maggio mentre la seconda misurazione è stata effettuata il 24 agosto.

L'analisi dello stato idrico è stata effettuata con il metodo "time-domain reflectometry (TDR)" utilizzando il FieldScout TDR 350 Soil Moisture Meter prodotto dalla Spectrum Technologies inc. Aurora, Chicago, (USA). Questo strumento utilizza 2 sonde metalliche collegate a una componente elettronica. Le sonde inserite nel suolo riflettono un impulso elettromagnetico ad alta frequenza (GHz) propagato dal sensore. Il

tempo impiegato dall'impulso per tornare indietro consente la stima dell'umidità del suolo.

I dati acquisiti nel terreno sono georeferenziati dal GPS dello strumento e tramite interpolazione è possibile creare una mappa che informi sullo stato idrico del terreno nelle diverse zone.

Per il corretto conseguimento dell'analisi è essenziale che le precipitazioni siano assenti nei 3- 4 giorni antecedenti l'analisi in modo da garantire che il terreno non è saturo d'acqua e poter vedere una sufficiente differenziazione delle aree di terreno con maggiore o minore capacità di ritenzione idrica.

3.3.4 Rilievi della temperatura della chioma



FIGURA 12 RILEVAMENTO TRAMITE
TERMOCAMERA

I rilievi della temperatura della chioma sono stati rilevati in due occasioni: il 26 giugno e il 21 luglio. L'analisi viene svolta nelle ore più calde del giorno, dalle 12 a.m. in poi, ove si possono manifestare le condizioni di stress maggiori.

Lo strumento utilizzato è una termocamera ad infrarossi FLIR Ex Thermal Imaging Camera (Teledyne FLIR LLC, Wilsonville, Oregon, USA), che si appoggia ad un software FLIR-tools che permette di isolare le temperature medie delle foglie escludendo materiali di sostegno e fili

presenti nel vigneto. Per definire lo stato idrico si l'indice CWSI (crop water stress index) che include la media delle temperature per zona e due temperature di riferimento: T° a "foglia secca" spalmando grasso sulle pagine fogliari imitando lo stress massimo con gli stomi fogliari chiusi e T° a "foglia umida" spruzzando acqua sulle pagine fogliari aprendo gli stomi causando l'aumento della traspirazione e diminuendo la temperatura.

$$CWSI = \frac{(T^{\circ}chioma - T^{\circ}f.bagnata)}{(T^{\circ}f.secca - T^{\circ}f.bagnata)}$$

Il CWSI assume valori compresi tra 0 e 1: più alto è il valore dell'indice, più significherà che la pianta è vicina alle condizioni di stress idrico. Affinché l'analisi risulti corretta è necessario aspettare i 10 minuti da protocollo dopo aver applicato il grasso / acqua sulla foglia per apprezzare l'aumento di temperatura.

3.3.5 Analisi da remoto tramite immagini satellitari

Sono state acquisite immagini dal satellite Sentinel 2. I sensori dei Sentinel 2 coprono 13 bande spettrali, da 443 a 2190 nm, con risoluzioni spaziali variabili da 10 a 60 metri al pixel e ampiezza di ripresa di 290 km. (Berger et al., 2012). L'acquisizione delle immagini satellitari può essere fatta attraverso il "Sentinel Scientific Data Hub", portale messo a disposizione da ESA, selezionando l'area d'interesse, il periodo di acquisizione e la copertura nuvolosa in range percentuale. In alternativa iniziano ad essere disponibili plugin per vari software (es: Semi- Automatic Classification Plugin per QGIS) o portali creati da aziende private.

Il comportamento spettrale della vegetazione permette di ricavare relazioni qualitative e quantitative tra dati telerilevati e parametri della vegetazione mediante il calcolo di indici che si basano sul rapporto tra le bande. In questo studio è stato utilizzato principalmente l'NDVI dove il RED e il NIR rappresentano le misure di riflettanza spettrale acquisite nelle regioni del visibile (rosso) e nel vicino infrarosso. È stato dimostrato come questo indice sia direttamente legato alla capacità di fotosintesi e quindi all'assorbimento di energia delle chiome degli alberi

3.4 MATURAZIONE

3.4.1 Peso medio degli acini

Per determinare il peso medio delle bacche ne sono state scelte 30 in maniera del tutto casuale e sono state pesate, dopo aver rimosso il peduncolo. La determinazione del peso medio viene determinata con una bilancia digitale analitica con una sensibilità di 0,001g. La somma del peso degli acini è divisa per il loro numero darà la media peso di una determinata zona dell'appezzamento.

$$\text{Peso medio acino} = \frac{\Sigma \text{ peso acini}}{\text{numero di acini analizzati}}$$

3.4.2 Determinazione del °Brix

Questo indice esprime il quantitativo di zucchero naturale (zucchero dell'uva) contenuto nel mosto prima della sua fermentazione. Può anche essere riferito e misurato sull'uva prima della mostatura per determinare il periodo ideale di raccolta. La misura avviene usualmente o con mostimetro (principio di archimede),



FIGURA 13. ANALISI RIFRATTOMETRICA

o per via ossidoriduttiva (per mezzo del Saggio di Fehling il quale sfrutta il potere riducente di zuccheri come glucosio e fruttosio) o, come nel nostro caso per via refrattometrica. Il metodo refrattometrico si basa sulla deviazione della radiazione luminosa a contatto

con una soluzione zuccherina e la deviazione sarà tanto più elevata quanto maggiore è la concentrazione di zucchero nel mosto.

Dopo aver spremuto in un beker le 30 bacche precedentemente pesate, con l'uso di una pipetta sono state prelevate 3 gocce di succo da porre sul lettore ottico del refrattometro, ponendo particolare attenzione a non trasportare impurità che avrebbero potuto alterare il valore della lettura.

3.4.3 Determinazione Dell'acidità Totale

L'acidità totale è un importante indice di identificazione del complesso degli acidi fissi (tartarico, malico, succinico, lattico e citrico) e volatili (che possono essere allontanati per ebollizione, come l'acido acetico). L'acidità tipica è in genere compresa tra 4,5 – 9 g/L di acido tartarico.

Anche l'acidità totale è un parametro di maturazione, nel processo fenologico infatti la quantità degli acidi diminuisce più l'uva è matura mentre gli zuccheri aumentano. La respirazione è una delle principali cause di questa diminuzione seguita dalla trasformazione del malico in zuccheri. Talvolta vengono fatte scelte agro-enologiche in cui si anticipa la vendemmia per ricercare grappoli con un contenuto maggiore di acidi e minore di grado. Ciò dipende molto dalle temperature e dall'esposizione dei grappoli a molta luce; infatti, temperature più basse alla maturazione portano pH più bassi dipeso anche da un minor accumulo di potassio.

Con la viticoltura di precisione è possibile fare raccolte mirate di porzioni di vigneto che rispettano le richieste di acidità dell'enologo per il raggiungimento di un obiettivo enologico.

La determinazione dell'acidità totale avviene tramite titolazione volumetrica usufruendo di una base forte, NaOH (0,1N) con blu di bromotimolo come indicatore. Il viraggio è osservabile con la presa di colore blu della soluzione, la quale sta a identificare un ambiente alcalino.

3.4.4 Determinazione Del pH



FIGURA 14. ANALISI AL PH-METRO

Il pH è definito come il logaritmo decimale negativo della concentrazione di protoni in una soluzione e ne indica l'acidità reale. Viene determinato attraverso un pH-metro, uno strumento che presenta un elettrodo a vetro necessario a misurare la differenza di potenziale tra i

due lati della membrana vetrosa,

immergendo l'elettrodo nel mosto in agitazione. Lo strumento è stato tarato prima dell'uso ponendo l'elettrodo in soluzioni a pH 4 e 7.

3.4.5 Quantificazione Antociani E Polifenoli

Gli antociani sono i pigmenti rossi delle uve che si trovano principalmente nella buccia, raramente nella polpa e in traccia nelle foglie. La molecola di essi è costituita da due anelli benzenici uniti da un eterociclo ossigenato insaturo di carica positiva, lo ione flavilio.

Gli acini devono essere campionati recidendone il pedicello, in modo da evitare la fuoriuscita di polpa, che determina ossidazioni e fermentazioni, ponendo dei limiti alla conservabilità del campione e soprattutto

all'esattezza del risultato analitico. La loro struttura e conseguentemente il loro grado di colorazione sono strettamente connesse alle condizioni di pH all'interno della cellula, e soprattutto del vacuolo, all'interno del quale queste molecole sono preferenzialmente accumulate.

Per la determinazione della quantità di antociani sono state separate un quantitativo di bucce (4 gr) e lasciate riposare assieme ad un estraente (12% Etalolo:5 g/L ac. tartarico; 100 ng/L metabisolfito) per 72 ore. Successivamente gli estratti vengono diluiti con soluzione idroalcolica all'interno di una cuvetta UV-vis per la lettura allo spettrofotometro. A questo punto viene effettuata una misura spettrofotometrica sia per la verifica del contenuto di antociani totali (540 nm) sia per i polifenoli totali (280 nm).



FIGURA 15 SPETTROFOTOMETRO PER LA QUANTIFICAZIONE DEI POLIFENOLI

3.4.5.1 ANTOCIANI

La lettura degli antociani è stata svolta tramite la lettura del campione a 540 nm per mezzo di uno spettrofotometro a doppio raggio, dove in uno dei due cammini è situato il bianco in tutte le letture. La misura è quindi legata al confronto tra l'assorbanza del campione e il bianco.

La quantificazione, espressa come mg/L di malvidina-3-glucoside, avviene secondo la formula

$$\text{Antociani totali} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = E\lambda \times 26,6 \times d \times 2$$

(Di Stefano et. Al., 1989)

- $E\lambda$ è il valore di assorbanza (o densità ottica);

- d è il valore della diluizione;

-2 è il fattore che tiene conto dell'estrazione di circa metà delle sostanze antocianiche (avendo utilizzato un ugual volume di buffer e di tessuto il dato viene moltiplicato per il fattore 2).

3.4.5.2 POLIFENOLI

La lettura dello spettro di assorbimento dei polifenoli estratti è stata estratta similmente a quella degli antociani ma viene presa in considerazione la lunghezza d'onda a 280 nm, ossia quella riferita al massimo assorbimento da parte dei polifenoli.

La quantificazione dei flavonoidi totali è stata calcolata secondo la formula:

$$\text{Polifenoli} \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \right) = E'_{280} \times 82,4 \times d \times 2$$

(Di Stefano et. Al. 1989)

- E'_{280} può essere definito come l'assorbanza dei flavonoidi al netto della linea di base (AB). E'_{280} corrisponde al segmento MT nel grafico sottostante, la sua misura è stata calcolata matematicamente.

- d è il valore della diluizione;

-2 è il fattore che tiene conto dell'estrazione di circa metà delle sostanze antocianiche (avendo utilizzato un ugual volume di buffer e di tessuto il dato viene moltiplicato per il fattore 2).

3.4.6 Spessore Buccia

Lo spessore della buccia è forse uno dei parametri più interessanti da porre in studio. Oltre a rappresentare dall' 8-20% del peso della bacca, è proprio nella buccia che si trovano la maggior parte delle sostanze aromatiche, dei flavonoidi e, tranne per le varietà tintorie che presentano queste sostanze anche nelle cellule della polpa, la totalità degli antociani. Risulta perciò estremamente utile valutare se vi sia una sostanziale differenza nello spessore della buccia al fine di valutare l'apporto al mosto di sostanze qualitativamente



FIGURA 16. CALIBRO UTILIZZATO PER LA MISURA DELLO SPESSORE DELLA BUCCIA

significative durante il periodo di macerazione a cui è sottoposta l'uva dopo la

pigioidirasatura, ma anche per comprendere quale possa essere la miglior gestione del “cappello” di vinacce e della parte liquida al fine di estrarre le sostanze desiderate in quantità desiderata, evitando l’estrazione di sostanze che possono risultare ruvide o dare note erbacee. La misurazione dello spessore della buccia è stata effettuata per mezzo di un semplice calibro dopo aver vuotato 30 bacche del suo contenuto (polpa e vinaccioli) con uno “squeeze” e aver asciugato delicatamente la buccia su un pezzo di carta assorbente.

3.4.7 Produttività



FIGURA 17 MISURAZIONE DELLA PRODUTTIVITÀ

La produttività è stata valutata attraverso l’analisi dei seguenti dati; numero di grappoli prodotti, peso medio del grappolo e peso complessivo.

L’analisi della produttività è stata svolta in diverse date a seconda del vigneto analizzato con un dinamometro avente portata massima di 20 Kg e sensibilità 50g, mentre la conta è avvenuta manualmente

sommando i grappoli di tutte le piante considerate.

3.5 COSTRUZIONE MAPPE DI VIGORE

Dopo il completamento dell'ortomosaico, sono state composte le mappe di vigore in riferimento ai dati acquisiti. Le mappe di vigore sono costituite, dopo la raccolta dei dati, con il software "Pix4d" che è utilizzato per calcolare i vari indici. Sono state sviluppate più mappe con diverse legende, con l'obiettivo di visionare diversi range di NDVI all'interno dell'appezzamento. Dopo aver costituito le mappe dell'indice NDVI e averle osservate attentamente, per evitare l'influenza della vegetazione interfila e quindi la vigoria eccessiva, si è deciso di calcolare il *soil adjusted vegetation index* (SAVI)

$$SAVI = \frac{NIR - RED * (1 + L)}{NIR + RED + L}$$

per ripulire e ottimizzare i calcoli dalla vegetazione erbosa dell'interfila. Nella formula riportata qui sopra il NIR e il RED sono le riflettanze nelle bande spettrali, L è il parametro che ha valore costante che va da 0-1 (Almutairi et al., 2013)

3.6 MONITORAGGIO A DISTANZA

Venerdì 11 giugno 2021 vi è stato il volo del drone a cura della ditta "Spektra-Agri s.r.l.", un'azienda che si occupa di agricoltura di precisione e che collabora con l'Università di Verona per validare ed ottimizzare i sistemi di rilevamento SAPR per la viticoltura. I dati ottenuti dal volo del drone sono stati poi confrontati con i dati ottenuti dal monitoraggio prossimale.

Il drone "DJI Matrice 600 PRO" lavora con una camera multispettrale a cinque bande (Mica-Sense RedEdge MX) collegata via wi-fi al tablet dell'operatore.

Al drone ad alta tecnologia, viene preimpostato il volo in base alla coltura che si vuole analizzare, alla morfologia del territorio in cui si muove, alla precisione che si vuole ottenere, alla luce presente e ad altrettanti parametri.

In volo, esso scatta cinque foto ad ogni punto in base all'altitudine impostata, più precisamente inizia a scattare una volta raggiunta la quota preimpostata.

L'overlap durante questo volo è stato del 70% sia frontale che laterale ad un'altezza di 40 m, con una tolleranza di 15-20 m, con una sovra elongazione di 2 m. Inoltre, il drone ha volato su una superficie di 9.99 ha ad una velocità di 3 m/s acquisendo un'immagine da 3.5 cm per pixel a terra. Dunque, viaggiava secondo traiettorie rettilinee sopra i filari fino a coprire l'intera superficie vitata selezionata.

Prima del volo sono state scattate immagini di calibrazione per considerare le condizioni meteorologiche dello stesso giorno, nello specifico la chiarezza del cielo risultava essere caratterizzata da un cielo coperto (over cast).

Dopo il lavoro svolto in campo, l'elaborazione dei dati è proseguita in laboratorio con la supervisione del dott. Piccino.

La successiva composizione dell'immagine, ossia l'ortomosaico, viene composto attraverso il software Pix4D.

4. RISULTATI

Il presente studio è stato svolto su più siti e per ragioni di sintesi, di seguito vengono riportati solo i risultati più significativi.

4.1 VIGNETO DI SAMA FRUTTA - PERGOLA

4.1.1 Mappe di vigore

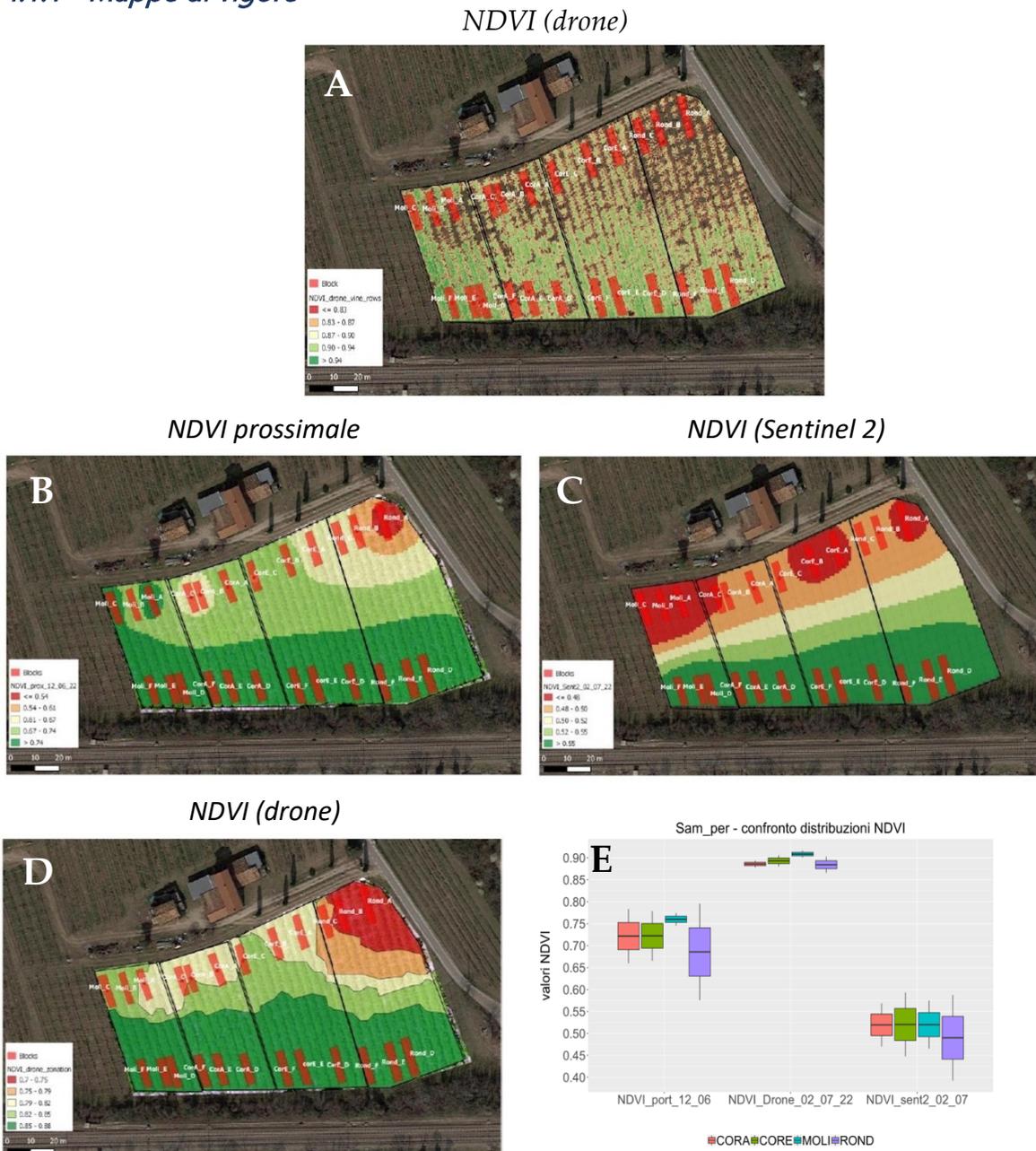


FIGURA 18. Mappe tematiche dell'NDVI del vigneto di Sama frutta a pergola(A) rilevato da sensore prossimale (B), satellite Sentinel-2 (C) e drone (D) e grafico a box-plot che raffigura la distribuzione dei valori in funzione delle 4 diverse varietà presenti: Corvina, Corvinone, Molinara e Rondinella(E). In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

VWC del suolo (%)

CSWI

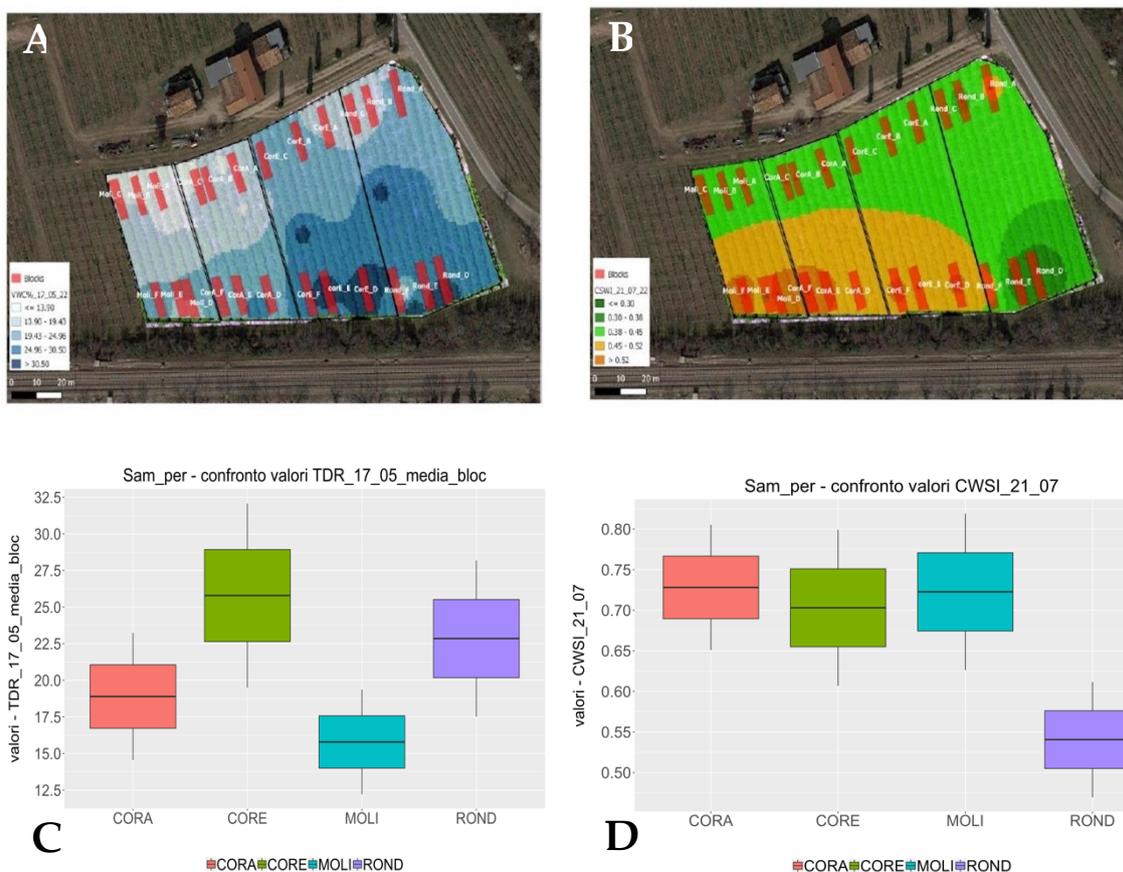


FIGURA 19. Mappe tematiche del contenuto idrico del suolo(A), e dello stress idrico della pianta(B) del vigneto di Sama frutta a pergola accompagnati dai relativi box plot (C,D) che raffigurano la distribuzione dei valori in funzione delle 4 diverse varietà: Corvina, Corvinone, Molinara e Rondinella(E). In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

In Figura 18 sono riportate le diverse mappe tematiche che sono state create partendo dai dati di NDVI tramite sensore prossimale, satellite Sentinel 2 e infine drone. Vicino a queste mappe si trova anche un box plot in cui è rappresentata la distribuzione dei valori di NDVI che ci fornisce un'idea della variabilità intra-parcellare e come questa vari in funzione della diversa varietà: Corvina, Corvinone, Molinara e Rondinella. La mappa da considerare come riferimento, in questo caso, è quella costruita a partire dai dati NDVI rilevati da drone perché, grazie alla risoluzione spaziale centimetrica, è stata costruita a partire da pixel puri (solo vite) a differenza del dato Sentinel-2 che, con una risoluzione molto inferiore, presenta dei pixel misti (vite+suolo) e dell'NDVI ottenuto da sensore prossimale che è stato rilevato solamente all'interno dei blocchi (*Region Of Interest, ROI*). In questo caso, si

può osservare come, nonostante tutti e tre i sensori siano riusciti a discriminare chiaramente all'interno dell'appezzamento una zona ad alta vigoria, che si trova nella parte sud della mappa del vigneto, da una zona a medio-bassa vigoria che si può osservare nella parte a nord in particolare in alto a destra, sia per la forma di allevamento (pergola) che per le dimensioni ristrette dell'appezzamento, solo i sensori che hanno considerato pixels puri (prossimale e Satellite) sono riusciti a discriminare, in maniera analoga, un diverso carattere varietale di vigoria. Osservando la distribuzione dei valori con i box-plot (Figura 18E) possiamo vedere come la cv. Rondinella sia la varietà con la vigoria vegetativa più bassa rispetto alle altre. Possiamo notarlo soprattutto dai valori ottenuti con il sensore prossimale, mentre invece i valori di NDVI presi dal satellite sono più bassi degli altri valori a causa delle motivazioni sopra riportate.

Passando alle mappe tematiche del contenuto idrico del suolo (Figura 19C) e dello stress idrico della pianta (Figura 19D) possiamo osservare nuovamente una netta distinzione tra la zona sud e la zona nord del vigneto. In questo caso vediamo come la zona sud raggiunga valori di stress idrico della pianta più elevati. Questo risultato è coerente con quanto riportata in Figura 19 dalla mappa di NDVI, dove la zona sud è quella che ha sviluppato la maggior vigoria. Questo potrebbe inizialmente sembrare un controsenso, tuttavia, soprattutto in condizioni non irrigue, un eccesso di vigore ha esposto le viti ad un maggiore stress estivo in quanto le piante necessitavano di maggiore acqua per mantenere tutta la parete fogliare e quindi sono entrate in stress prima. Al contrario, nella zona nord, le viti con una superficie fogliare meno espansa, avevano una necessità di acqua inferiore e quindi sono state in grado di gestire l'acqua in miglior modo.

4.1.2 Analisi di correlazione

Tra tutti i rilievi ottenuti, sia quelli remoti/prossimali che quelli di tipo biometrico, fisiologico e di maturazione, sono state verificate possibili correlazioni utili a valutare risposte alle condizioni di stress e esplorare l'effetto varietale. Nella matrice di correlazione riportata in Figura 20, possiamo osservare il grado di correlazione

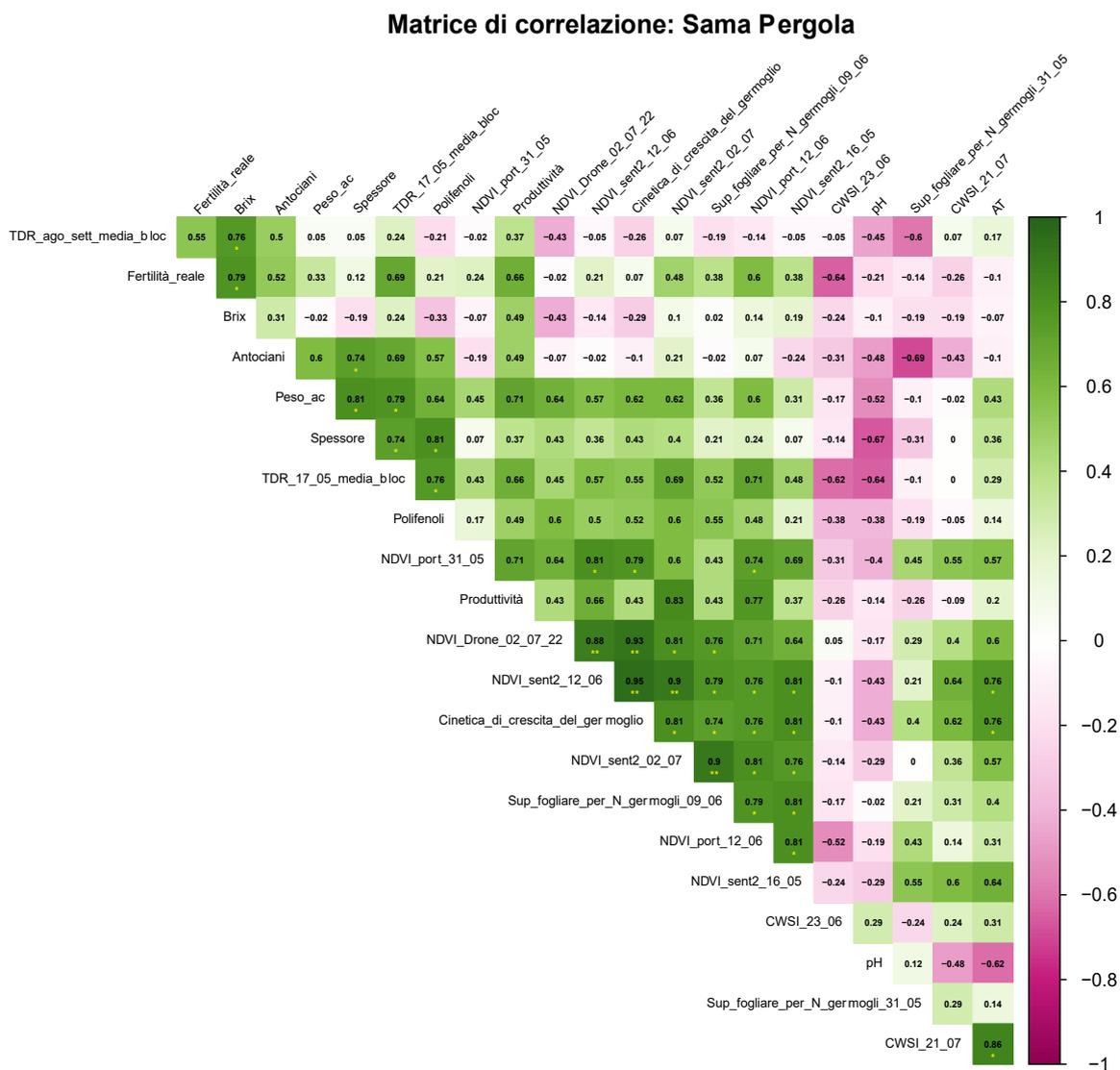


FIGURA 20. Mappa di correlazione Sama frutta a pergola con p-Value. Il valore del p-Value è rappresentato dagli asterischi in cui quando vi è un solo asterisco significa che quella correlazione è significativa se ci sono due asterischi è molto significativa mentre con tre asterischi si hanno valori altamente significativi .

(R), il segno (correlazione positiva/negativa) e la significatività (p-value). Per spiegare meglio alcuni dei parametri più significativi è stata effettuata una analisi di regressione lineare e prodotti dei grafici a dispersione. Non andremo a descrivere ogni singola relazione ma solo quelle più significative e interessanti.

In Figura 21A viene riportata la relazione tra i valori di NDVI da Sentinel-2 e il tasso di accrescimento vegetativo tra le diverse varietà. Possiamo osservare come tutte le rette di regressione abbiano all'incirca la stessa inclinazione e segno (positivo). Si può quindi riportare che ad un aumento della cinetica di crescita corrisponda poi una chioma più vigorosa. A parità di NDVI, tuttavia, si osservano diverse cinetica in funzione della varietà che stiamo osservando. Questo comportamento potrebbe essere causato da una diversa risposta spettrale delle chiome di Molinara rispetto alle altre varietà.

Altro aspetto interessante da considerare è la netta separazione che si osserva tra i diversi punti e questo è spiegato da quanto detto prima guardando le mappe di vigore; quindi, i punti più a sinistra si troveranno nella zona a nord dell'appezzamento (basso vigore) mentre i punti a destra sono stati presi nella zona a sud (alto vigore).

Nel grafico di figura 21B osserviamo la relazione tra l'NDVI ottenuto da Sentinel-2 e la superficie fogliare per pianta. Anche in questo caso si osserva come l'andamento delle rette sia coerente tra le varie varietà. Anche in questo caso si osserva la separazione tra le due zone solamente che i punti sono più sparsi e meno separati

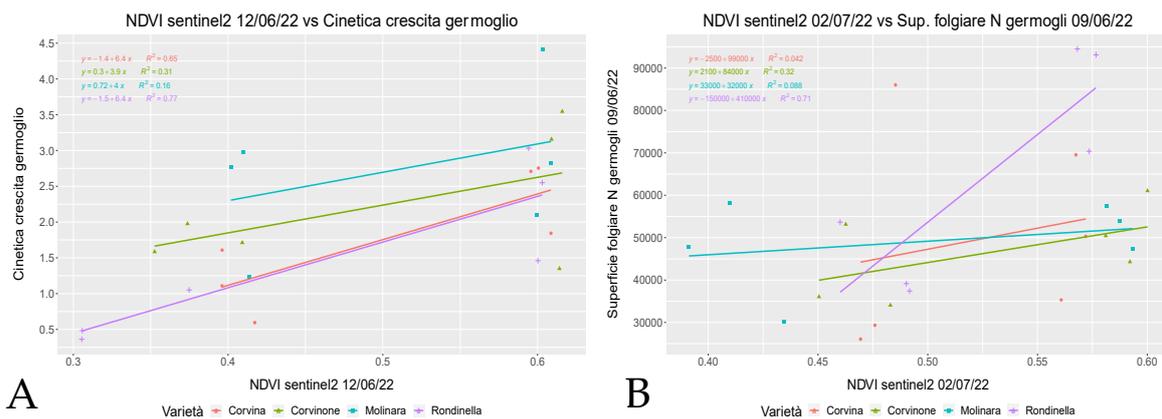


FIGURA 21. Sono rappresentati due grafici a dispersione con la rispettiva retta di regressione. Nel grafico (A) viene osservata la relazione fra l'NDVI Sentinel 2 misurato il 12/06/22 con la cinetica di crescita del germoglio espressa in cm/gg. Mentre nel grafico (B) si osserva la relazione fra NDVI Sentinel 2 misurato il 2/07/22 con la sup. fogliare per pianta espressa in cm^2 .

rispetto alla precedente. Nella figura 22 si mette in relazione l'NDVI Sentinel 2 con la superficie fogliare per il numero di germogli e si osserva che la Corvina, il Corvinone e la Molinara hanno un andamento simile mentre la Rondinella presenta valori di NDVI differenti soprattutto nella zona a sud del vigneto, questo potrebbe essere attribuito al fatto che la chioma della Rondinella ha un colore differente, e quindi a parità di NDVI c'è più superficie fogliare che porta ad una differente risposta spettrale. Nelle due immagini riportate di seguito osserviamo un confronto tra NDVI. Un aspetto che li accomuna è che emergono principalmente delle differenze varietali, infatti, ogni varietà ha una riflettanza diversa.

ella Figura 23 si osserva la relazione tra i valori di NDVI del drone e quello del

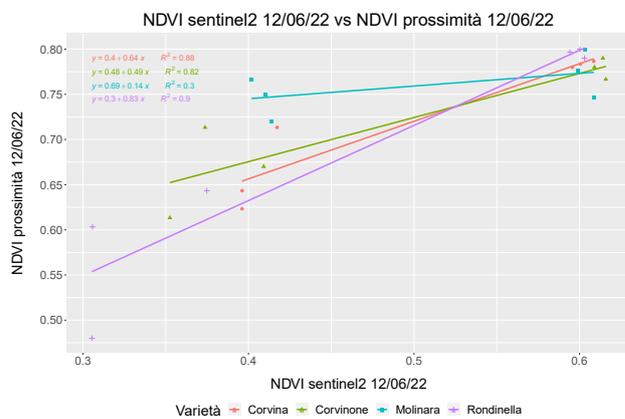


FIGURA 22. Grafico a dispersione tra NDVI sentinel 2 misurato il 12/06/22 e l'NDVI di prossimità misurato il 12/06/22

Sentinel 2 presi in momenti diversi, in particolare l'NDVI del drone è stato preso il 02/07/22 mentre quelli del Sentinel 2 rispettivamente il 12/06/22 e il 02/07/22 e vediamo come una piccola differenza rilevata dal drone equivalga ad una grande differenza nell'NDVI del Sentinel 2 questo perché varietà meno vigorose

lasceranno visibile una porzione maggiore di suolo e quindi il dato da satellite (pixel più grande) ne risentirà di più rispetto ad una varietà più vigorosa che mostra meno suolo e più chioma. Quindi osservando i grafici dell'NDVI possiamo dire che i valori presi con il Sentinel, il quale ha un pixel molto grande, non riescano ad entrare all'interno dell'effetto varietale, però riesce a discriminare tra zone ad alta e a bassa vigoria mentre se al Sentinel si accoppiano anche valori ottenuti dal drone, il quale differenza il suolo dalla chioma della varietà, allora si riesce a scartare l'effetto suolo e si ottiene un diverso gradiente che rispecchia maggiormente le caratteristiche varietali.

E vediamo che la Molinara ha valori più alti sia nella zona ad alta che bassa vigoria mentre la Corvina, la Rondinella e il Corvinone hanno comportamenti più simili.

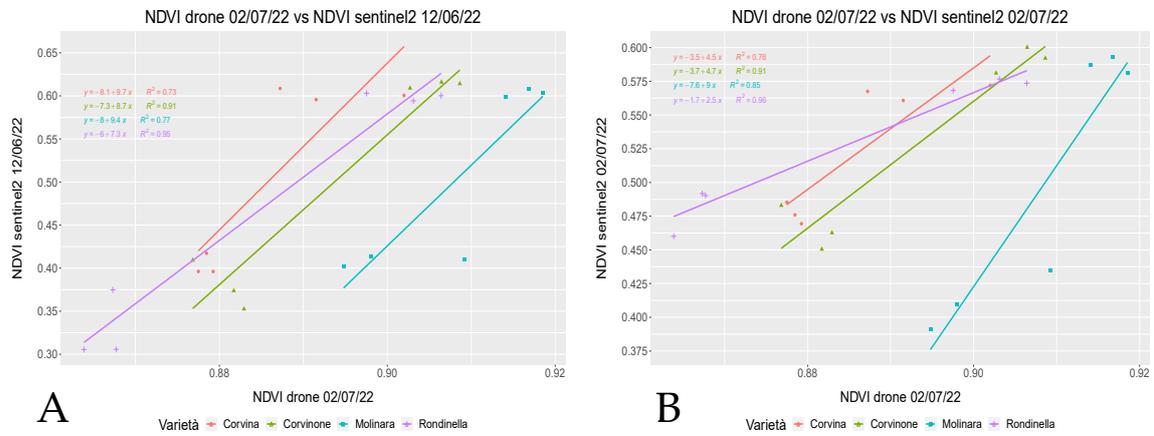


FIGURA 23. Sono rappresentati due grafici a dispersione con la rispettiva retta di regressione. Nel grafico (A) viene osservata la relazione fra l'NDVI drone con l'NDVI Sentinel 2 misurato il 12/06/22. Mentre nel grafico (B) si osserva la relazione fra NDVI drone con l'NDVI Sentinel 2 misurato il 2/07/22.

4.2 VIGNETO DI MORON

Il vigneto di Moron presenta una forma di allevamento a pergola e suo interno sono stati selezionati 8 blocchi, quattro dei quali sono Corvinone e gli altri quattro sono Rondinella.

4.2.1 Mappe di vigore

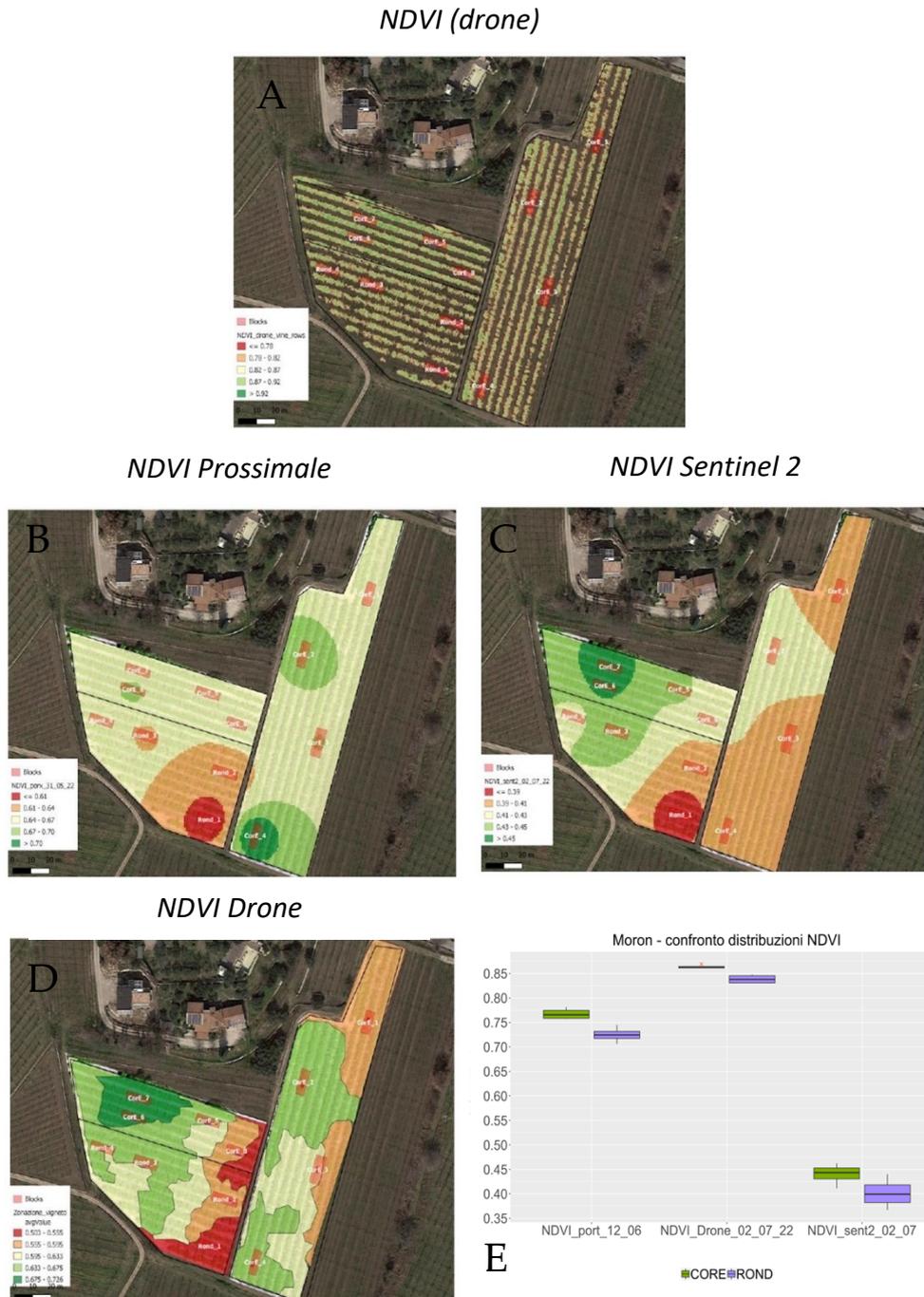


FIGURA 24. Mappe tematiche dell'NDVI del vigneto Moron (A) rilevato da sensore proximale (B), satellite Sentinel-2 (C) e drone (D) e grafico a box-plot che raffigura la distribuzione dei valori in funzione delle 2 diverse varietà presenti: Corvinone, Rondinella (E). In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

Partiamo con la descrizione delle mappe tematiche di Moron con le mappe degli NDVI (Figura 24) dobbiamo tenere in considerazione che qualche settimana prima dei rilievi con il drone e con il Sentinel 2 effettuati in data 02/07/22 è stata fatta la cimatura dei germogli e questo ha sicuramente standardizzato i valori come infatti si può osservare nei box plot (Figura 24E). Andando a confrontare il box-plot del drone con il box plot del Sentinel 2 si osserva una netta differenza, la quale è data dal fatto che i valori del Sentinel 2 tengono in considerazione anche dell'effetto suolo mentre il drone differenzia il suolo dall'apparato vegetativo delle piante, però se si va ad osservare i valori possiamo notare come in entrambi i box plot il Corvinone ha una maggiore vigoria rispetto alla Rondinella e questo è confermato anche dal valore dell'NDVI di prossimità (FIGURA 24 A)

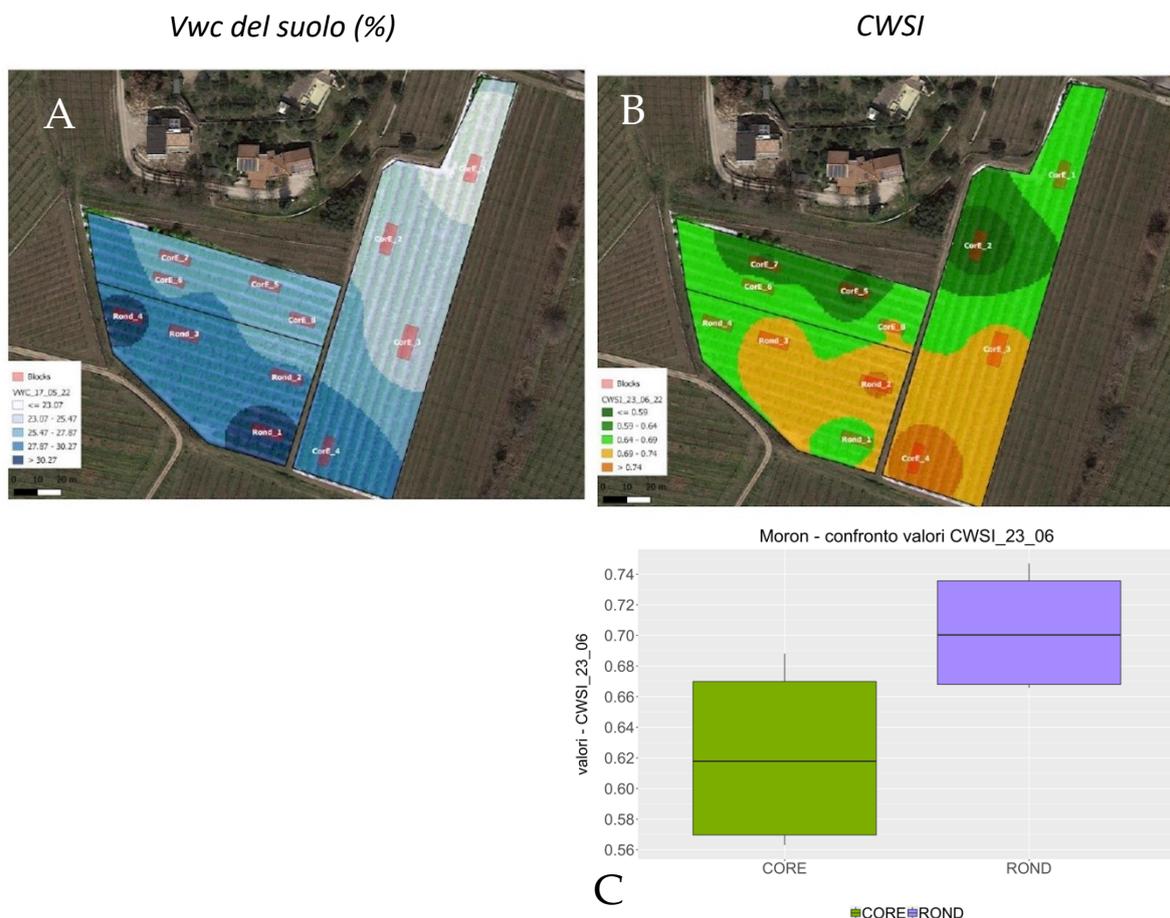


FIGURA 25. Mappe tematiche del contenuto idrico del suolo(A), e dello stress idrico della pianta(B) del vigneto di Moron con allevamento a pergola accompagnati dal box plot (C) che raffigura la distribuzione dei valori in funzione delle 2 diverse varietà: Corvinone, Rondinella. In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

Mentre andando ad analizzare la mappa tematica del contenuto idrico del suolo (Figura 25 A), in cui si osserva la zona più a sud con una maggior concentrazione di acqua. In particolare, si vede un elevato contenuto idrico nel blocco Rond1, mentre la zona più a nord ha una disponibilità di acqua un po' più limitata. Come nel vigneto Sama pergola anche in questo caso la zona a più alto contenuto idrico poi sembra portare ad una zona di più alto stress però in questo caso nella zona a sud non si osserva una elevata vigoria, mentre la zona più a nord dove c'è un valore medio di disponibilità d'acqua nel suolo non porta le piante in stress e si osserva una buona vigoria vegetativa, bisogna considerare anche il fatto che la misura del contenuto idrico con sensore TDR è stata effettuata a maggio e che la sua distribuzione dei valori è molto ristretta. Guardando la distribuzione dei valori nel box plot del CWSI vediamo come la Rondinella vada maggiormente in stress rispetto al Corvinone.

4.2.2 Analisi di correlazione

È stato riproposto anche a Moron lo studio fra le correlazioni ottenute dai diversi parametri misurati e sono stati riportati i risultati nella Figura 26.



FIGURA 26. Mappa di correlazione Moron con p-Value. Il valore del p-Value è rappresentato dagli asterischi in cui quando vi è un solo asterisco significa che quella correlazione è significativa se ci sono due asterischi è molto significativa mentre con tre asterischi si hanno valori altamente significativi.

Possiamo osservare come ci siano correlazioni sia positive che negative le quali possono presentare o meno una significatività.

In questo caso si osservano più correlazioni negative molte delle quali anche significative come, ad esempio, tra il CWSI e il °Brix. Per spiegare la matrice di correlazione andremo ad osservare alcuni dei dati più significativi, e non terremo in considerazione le correlazioni del TDR anche se significative perché come già detto i valori del parametro sono racchiusi in 5 punti percentuali.

Osservando il grafico di Figura 27A in cui si osserva la relazione tra i valori del CWSI e dell'NDVI drone vediamo come all'aumentare dei valori dello stress entrambe le varietà non aumentano la vigoria vegetativa c'è da considerare anche il

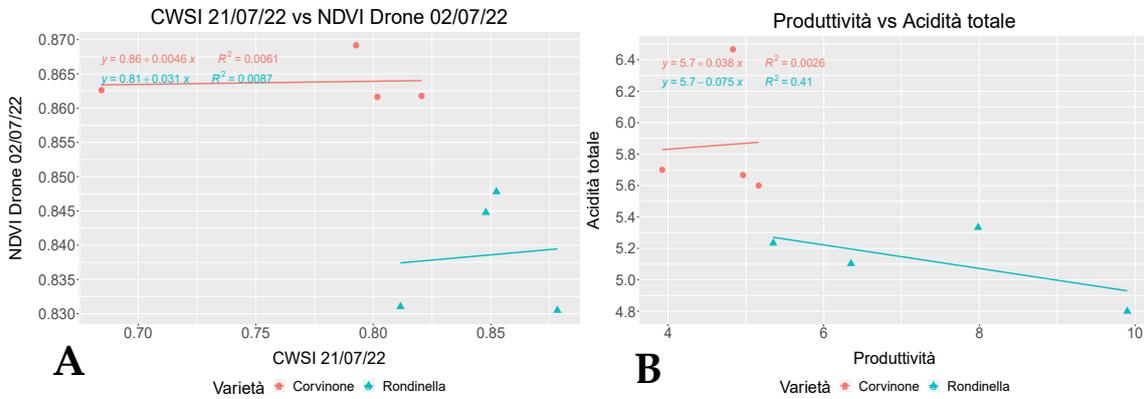


FIGURA 27. Sono rappresentati due grafici a dispersione con la rispettiva retta di regressione. Nel grafico (A) viene osservata la relazione fra il CWSI e l'NDVI drone. Mentre nel grafico (B) si osserva la relazione fra produttività e acidità totale.

fatto che questi rilievi sono stati effettuati in luglio quando vi era una forte siccità. Mentre in Figura 27B osserviamo la relazione che c'è tra la produttività e l'acidità totale e qui osserviamo un andamento contrario tra le due varietà in quanto nel Corvinone all'aumentare della produzione aumenta anche l'acidità mentre nella Rondinella avviene l'opposto e quindi con più produzione l'acidità cala.

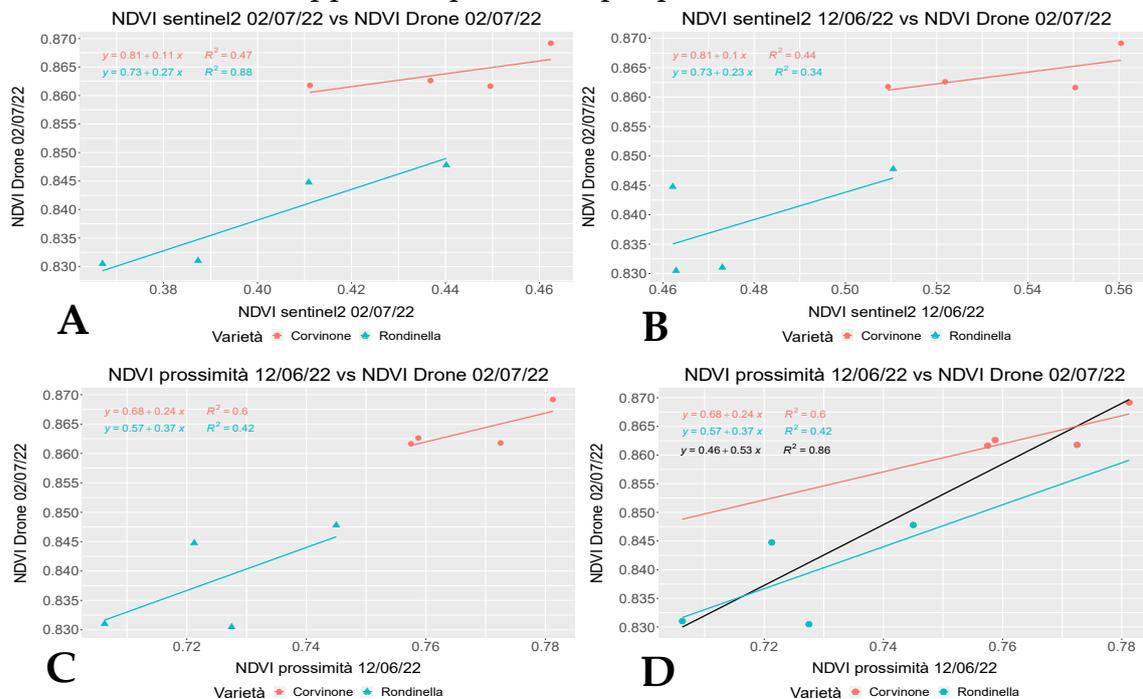


FIGURA 28. Sono rappresentati 4 grafici a dispersione con la rispettiva retta di regressione. Nel grafico (A) viene osservata la relazione fra l'NDVI Sentinel-2 2/07/22 con l'NDVI drone. Mentre nel grafico (B) si osserva la relazione fra NDVI Sentinel 12/06/22 con l'NDVI drone, segue il grafico (C) con l'NDVI di prossimità con l'NDVI del drone infine nel grafico (D) si osserva l'NDVI di prossimità 12/06/22 con l'NDVI drone.

I parametri analizzati però sono molto varietà dipendenti, quindi, sono difficili da valutare. In Figura 28 vengono presentate le relazioni che ci sono tra l'NDVI calcolato dai 3 diversi sensori in diverse date. I pannelli A-B, infatti, mostrano la relazione che c'è tra il Sentinel 2 che è stato osservato il 2 Luglio e il 12 Giugno con l'NDVI preso da drone il 2 Luglio, in entrambi i casi si vede come all'aumentare dell'NDVI del drone aumenti anche l'NDVI del Sentinel 2 in entrambe le date. Mentre invece nei pannelli C-D vediamo la relazione tra l'NDVI con sensore prossimale con l'NDVI da drone e si osserva come le due rette abbiano una pendenza molto simile e per questo è stata fatta una terza retta di regressione non tenendo in considerazione le due varietà per mostrare ancora meglio come all'aumentare di uno dei due NDVI aumenti anche l'altro; infatti, tra questi due parametri vi è una correlazione alta e molto significativa.

4.3 VIGNETO DI SAMA FRUTTA GUYOT

Il vigneto Sama frutta Guyot presenta 14 differenti blocchi 10 dei quali sono a corvina gli altri 4 sono corvinone. Entrambe le varietà sono allevate a Guyot.

4.3.1 Mappe di vigore

NDVI (drone)



NDVI Drone

NDVI Prossimale



NDVI Sentinel 2

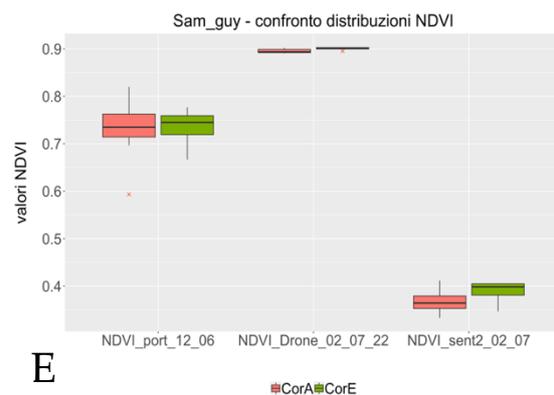


FIGURA 28. Mappe tematiche dell'NDVI del vigneto di Sama frutta a Guyot(A) rilevato da sensore prossimale (B), satellite Sentinel-2 (C) e drone (D) e grafico a box-plot che raffigura la distribuzione dei valori in funzione delle 2 diverse varietà presenti: Corvinone, Corvina(E). In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

Ora passiamo ad analizzare le mappe di vigore rappresentate dall'indice NDVI preso sempre da drone, Sentinel 2 e tramite lo strumento prossimale. Iniziamo ad analizzare l'indice preso da drone (Figura 28B) anche in questo caso come negli altri vigneti i valori sono molto alti però hanno una distribuzione molto ridotta in ogni caso ci mostrano come ci siano zone in cui il vigore vegetativo è più alto soprattutto fra i blocchi 2 e 3 mentre i blocchi che mostrano un vigore vegetativo basso sono nei blocchi 1,2,3 e tra i blocchi 9 e 10, questo si può vedere in parte anche dalla mappa che rappresenta il vigneto. Guardando il box-plot (Figura 28E) vediamo come l'NDVI da drone sia molto ristretto e con valori più alti mentre invece l'NDVI da Sentinel-2 mostra sempre valori più bassi perché come detto già precedentemente il Sentinel considera anche la porzione dell'interfila e non solo la parete fogliare.

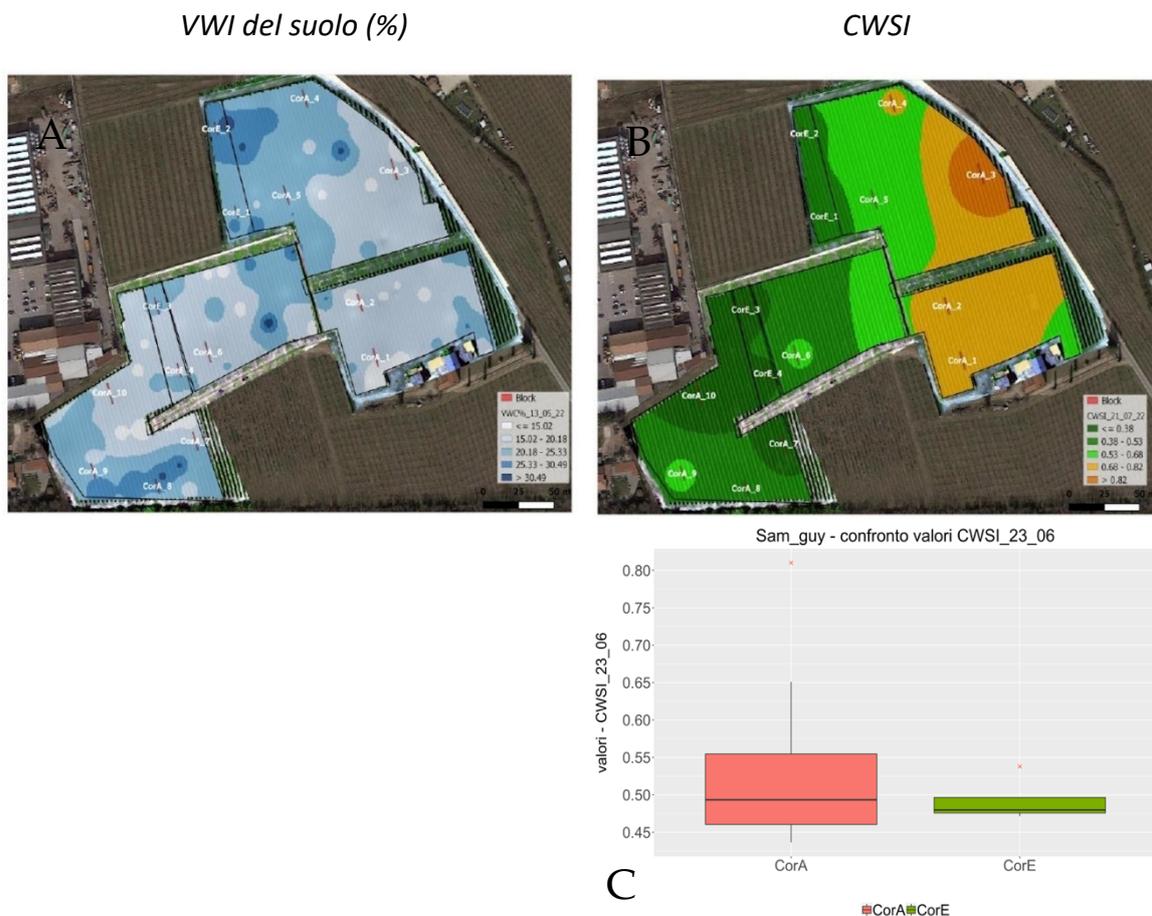


FIGURA 29. Mappe tematiche del contenuto idrico del suolo(A), e dello stress idrico della pianta(B) del vigneto di Moron con allevamento a pergola accompagnati dal box plot (C) che raffigura la distribuzione dei valori in funzione delle 2 diverse varietà: Corvinone, Rondinella. In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

Analizzando il contenuto idrico del suolo (Figura 29A) possiamo vedere come ci siano zone dell'appezzamento che presentano un maggior contenuto idrico come ad esempio la zona in cui ci sono i blocchi di Corvinone 1 e 2 ma anche nella zona a sud dove ci sono i blocchi 7,8 e 9 della Corvina, mentre le zone che hanno un minor contenuto idrico sono prevalentemente quelle in cui ci sono i blocchi 1,2,3 infatti poi se andiamo ad osservare lo stress idrico della pianta vediamo come si osserva che sono proprio queste tre zone ad aver subito un maggiore stress in particolare il blocco 3. Il box-plot (Figura 29C) rappresenta la distribuzione dei valori di CSWI indicando come la varietà che ha subito uno stress maggiore è stata la Corvina con valori di CWSI nel range 0,45 - 0,75.

4.3.2 Analisi di correlazione

Osservando la matrice di correlazione tra i rilievi raccolti nel vigneto di Sama Frutta allevato a Guyot, possiamo osservare che rispetto alle altre matrici risultano meno correlazioni con un valore elevato però possiamo osservare delle correlazioni che sono altamente significative come, ad esempio, quella tra gli antociani e i polifenoli. Altre correlazioni molto significative sono lo spessore della buccia con il peso dell'acino e con la concentrazione zuccherina.

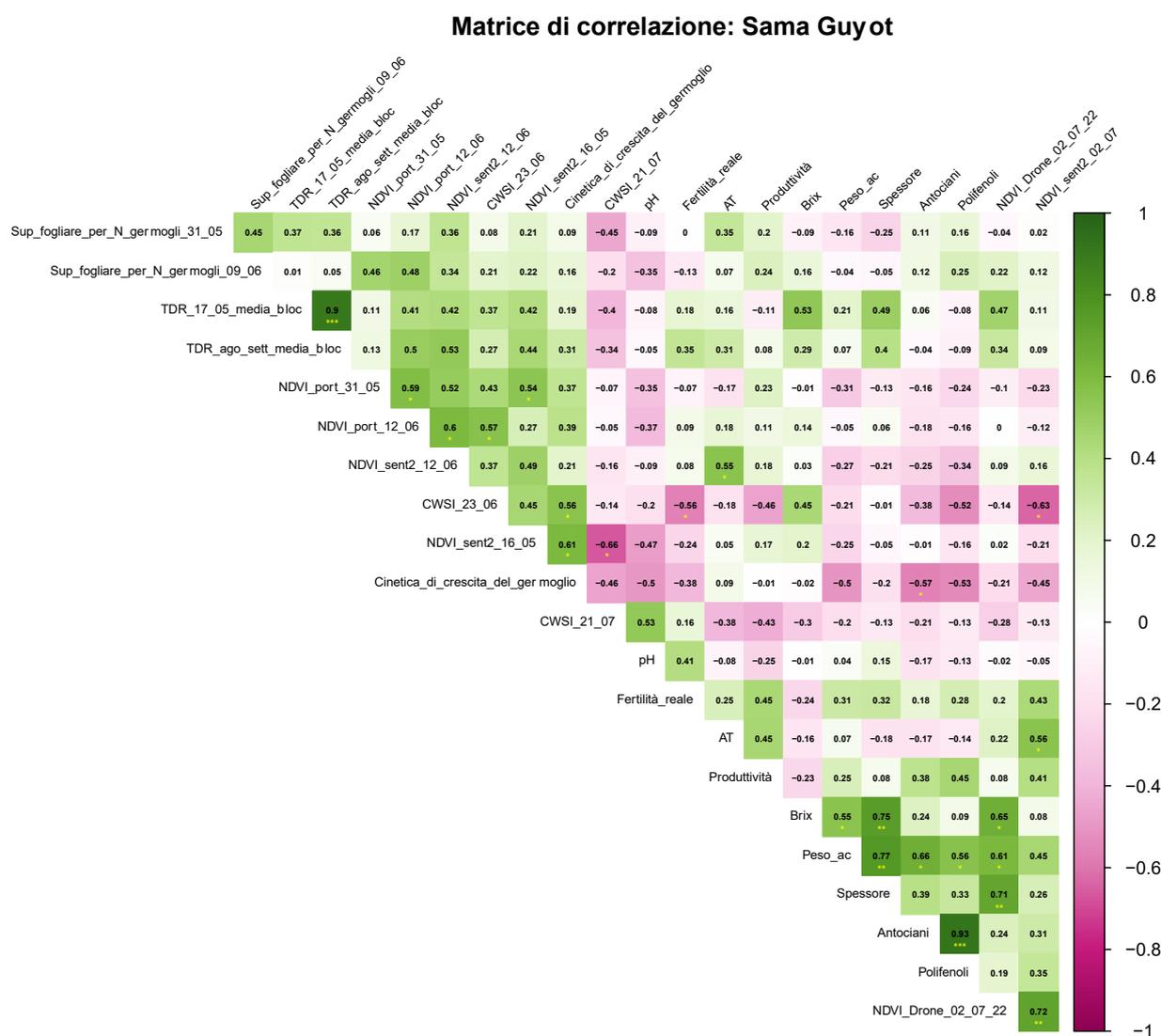


FIGURA 30. Mappa di correlazione Sama frutta Guyot con p-Value. Il valore del p-Value è rappresentato dagli asterischi in cui quando vi è un solo asterisco significa che quella correlazione è significativa se ci sono due asterischi è molto significativa mentre con tre asterischi si hanno valori altamente significativi.

Basandoci sulle correlazioni osservate nella matrice andremo ad analizzare i grafici a dispersione con la rispettiva linea di regressione dei parametri più importanti. In Figura 31A possiamo osservare la relazione che c'è tra il CSWI preso il 23 luglio ed il °Brix, possiamo notare come nella Corvina si ottenga il cosiddetto stress idrico controllato questo sta ad indicare che all'aumentare dello stress idrico c'è una maggiore concentrazione del °Brix all'interno dell'acino.

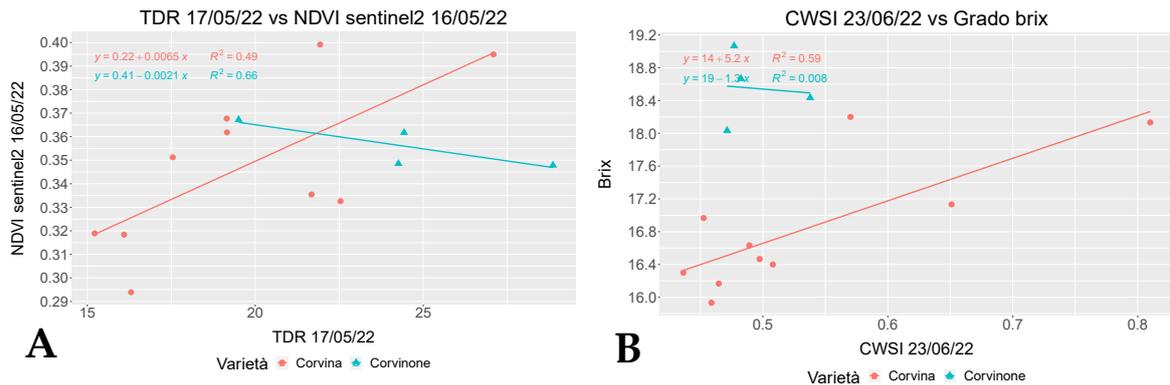


FIGURA 31. Sono rappresentati due grafici a dispersione con la rispettiva retta di regressione. Nel grafico (A) viene osservata la relazione fra il TDR e l'NDVI Sentinel-2. Mentre nel grafico (B) si osserva la relazione fra il CSWI e il °Brix.

Mentre se andiamo ad osservare la Figura 31B si sta analizzando il comportamento tra il TDR effettuato il 17 maggio con l'NDVI Sentinel 2, rilievo svolto il 16 maggio, e possiamo dire che il contenuto di acqua nel suolo non ha avuto effetto sull'NDVI del Corvinone, mentre su Corvina si ha l'effetto opposto e quindi più aumenta il contenuto idrico nel suolo, di conseguenza, aumenta anche l'indice NDVI misurato con il satellite però questa variazione è minima perché si passa da uno 0,32 ad uno 0,40.

4.4 VIGNETO DI BREONE

L'ultimo sito che è stato osservato è quello di Breone (il più piccolo dei quattro analizzati), questo vigneto è mono varietale in cui si trova solo Corvina e si trova su una zona collinare rispetto agli altri tre siti che invece si trovano sul piano. Nel vigneto c'è una lieve pendenza verso sud

4.4.1 Mappe di vigore

NDVI (drone)



NDVI prossimità

NDVI Sentinel 2



NDVI Drone

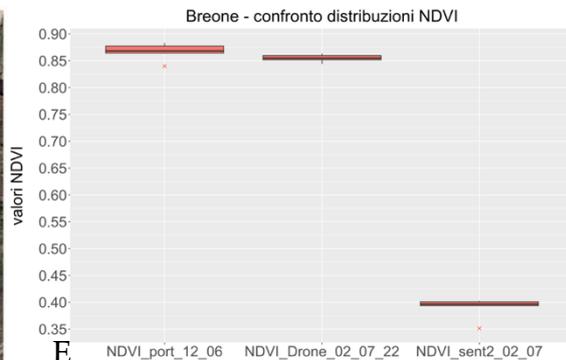


FIGURA 32. Mappe tematiche dell'NDVI del vigneto Breone(A) rilevato da sensore prossimale (B), satellite Sentinel-2 (C) e drone (D) e grafico a box-plot che raffigura la distribuzione dei valori in funzione delle 2 diverse varietà presenti: Corvinone, Corvina(E). In rosso sono riportate le aree di studio (ROI).

Analizzando la Figura 32. in cui sono rappresentate le mappe di vigore dei diversi valori dell'NDVI con il relativo box plot Figura 32E. I valori su cui fare maggiore affidamento sono quelli presi da drone e da Sentinel 2 Figura 32A/B anche se con il Sentinel c'è da ricordare che non analizza solo la parete fogliare della vite come nel caso del drone ma considera anche l'effetto del suolo e quindi i valori come si può osservare sono notevolmente più bassi, guardando i box plot in ogni caso la distribuzione dei valori è molto ristretta.

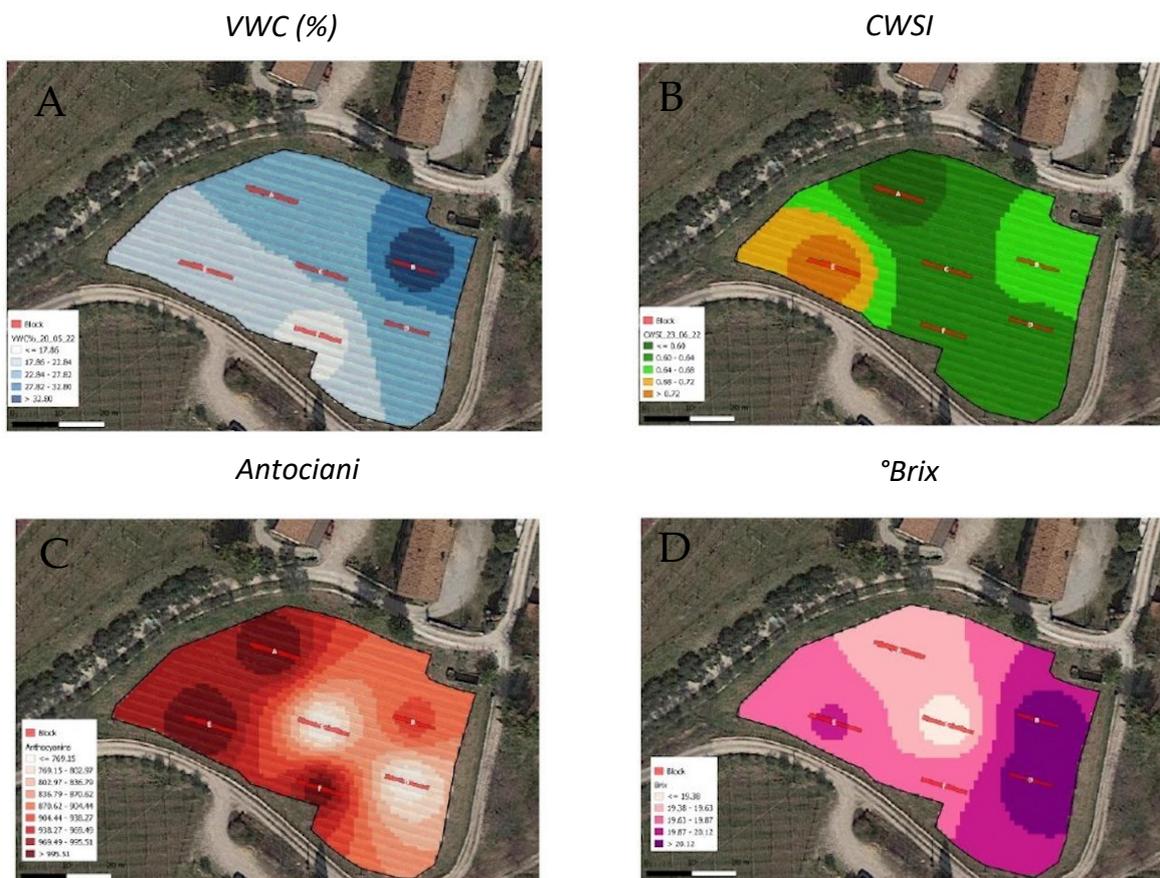


FIGURA 33. Mappe tematiche del contenuto idrico del suolo(A), dello stress idrico della pianta(B), degli antociani(C) e del °Brix(D) del vigneto Breone.

Iniziando ad osservare le diverse mappe tematiche rappresentate nella Figura 33. vediamo come il contenuto idrico dell'acqua all'interno del suolo (Figura 33A) sia diviso in due zone uno un po' più vigorosa che sarebbe quella a nord-est dell'immagine mentre nel lato opposto osserviamo un contenuto idrico più basso soprattutto nel blocco F. Passando alla mappa della concentrazione zuccherina (Figura 33D) all'interno dell'acino possiamo osservare come i blocchi B e D siano quelli che hanno ottenuto valori più alti mentre il blocco C ha ottenuto

concentrazioni zuccherine più basse all'interno del vigneto. Continuando ad analizzare il blocco C nella mappa degli antociani è anche in questo caso il blocco con i valori più bassi insieme al blocco D. Mentre i valori più alti per quanto riguarda gli antociani (Figura 33C)li troviamo nei blocchi A e F. Per terminare . passiamo alla mappa dello stress idrico delle piante (Figura 33B) CWSI in cui salta subito all'occhio come la parte a sud-ovest sia quella che presenti un maggior stress idrico, il resto dell'appezzamento poi non sembra aver sofferto di stress idrico.

4.4.2 Analisi di correlazioni

Nella matrice di correlazione osservata nella Figura 34 possiamo osservare come ci siano diverse correlazioni significative tra queste sono state prese quelle più interessanti e sono stati fatti dei grafici a dispersione per osserva più da vicino la



FIGURA 34. Mappa di correlazione Breone con p-Value. Il valore del p-Value è rappresentato dagli asterischi in cui quando vi è un solo asterisco significa che quella correlazione è significativa se ci sono due asterischi è molto significativa mentre con tre asterischi si hanno valori altamente significativi.

loro relazione. Andando ad analizzare i grafici di Figura 35 possiamo vedere la relazione che c'è tra il CWSI e la superficie fogliare per il numero di germogli (Figura 35A) e possiamo vedere come all'aumentare della superficie fogliare aumenta anche il livello di stress delle piante arrivando a valori superiori allo 0,75. Il grafico che mette in evidenza la cinetica di crescita con la superficie fogliare (Figura 35B) ci mostra come valori più alti di crescita hanno minore superficie fogliare quindi quando i germogli sono più lunghi danno meno foglie. Analizzando la correlazione tra l'indice NDVI Sentinel 2 e il CWSI Figura 35C possiamo vedere che più i valori dello stress idrico sono alti minore sarà la vigoria nel vigneto.

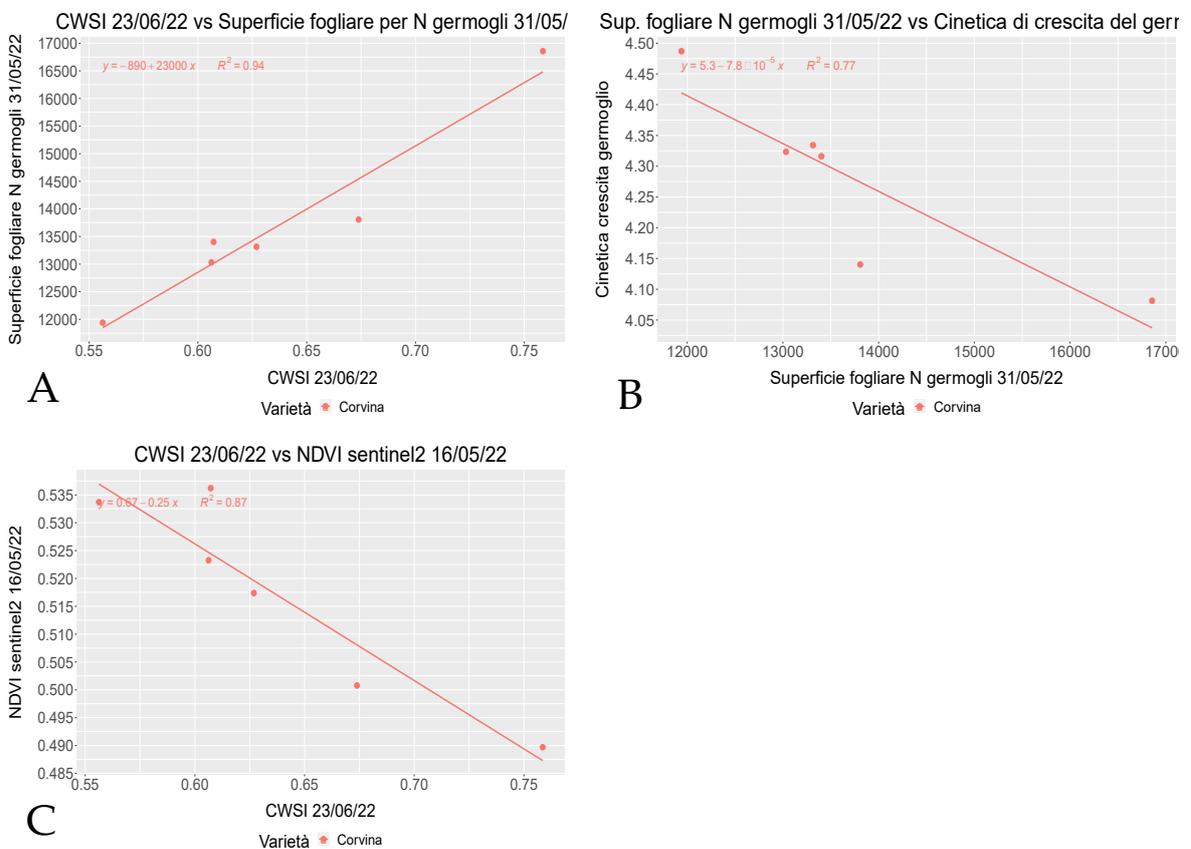


FIGURA 35. Sono rappresentati 3 grafici a dispersione con la rispettiva retta di regressione. Nel grafico (A) viene osservata la relazione fra il CSWI e la sup. fogliare Mentre nel grafico (B) si osserva la relazione fra la sup. fogliare e la cinetica di crescita mentre nel grafico (C) vi è la relazione fra CSWI e l'NDVI Sentinel-2..

I diversi colori rappresentano i vari vigneti come giallo per Breone, viola per Moron, rosso per Sama Guyot e rosa per Sama pergola.

Analizzando la Figura 25 si può osservare come le due componenti principali siano in grado di spiegare in totale più del 55% della varianza osservata. Quello che mi differenzia il Sama Guyot e Sama pergola dagli altri due vigneti è la componente orizzontale, le variabili che sono più correlate con la componente orizzontale sono: NDVI Sentinel e l'NDVI da drone. In questo caso, sicuramente l'NDVI più interessante è quello preso da drone perché ci fornisce un miglior riferimento sulla vigoria.

Nella parte a destra della PCA ci sono i parametri legati al suolo come, ad esempio, l'NDVI da Sentinel 2, poi c'è il contenuto idrico di acqua nel suolo (VWC) e il CWSI. Di conseguenza i diversi vigneti si divideranno seguendo questi parametri. Mentre le componenti che si muovono più sull'asse verticale (PC2) che ci permettono di differenziare fra le forme di allevamento quindi tra i quadrati gialli e i pallini viola e il quadrato rosso e i pallini rosa e i parametri sono la superficie fogliare con la produttività (equilibrio vegeto-produttivo) e il peso del grappolo.

Le pergole si trovano nel quadrante inferiore perché hanno valori più bassi di superficie fogliare sulla produttività perché hanno produzioni più alte. In questa PCA è più complesso osservare l'effetto varietale mentre è più semplice osservare l'effetto della forma di allevamento.

CONCLUSIONI

La viticoltura di precisione si basa su tecniche e scelte agronomiche che puntano ad una elevata qualità ma allo stesso tempo anche ad un uso razionale delle risorse. Queste tecniche utilizzano diverse metodologie di raccolta dati, tra cui l'uso di sensori per il telerilevamento satellitare, droni con camere multispettrali e altri strumenti prossimali. Le diverse informazioni ottenute dall'utilizzo di questi strumenti vengono adottate per sostituire o quantomeno ad affiancare le misure dirette sulla pianta che richiedono più tempo e lavoro per ricavare la stessa informazione. Per svolgere tale passo sono necessarie dei controlli preliminari sull'affidabilità dei sensori e del loro potenziale. Una cosa da tenere sempre in considerazione è che comunque la fisiologia della pianta è flessibile ad ambienti, condizioni climatiche e a diverse metodologie di allevamento e questo potrebbe dare effetti diversi sul dato rilevato tramite tali sistemi. In questo elaborato di tesi si è osservato la presenza di eterogeneità all'interno di quattro vigneti posizionati in zone diverse della Valpolicella mediante l'utilizzo di sistemi di sensori, in modo tale da cercare di comprendere il diverso comportamento delle varietà analizzate (Corvina, Corvinone, Rondinella e Molinara) ma anche della loro forma d'allevamento (Guyot e pergola). Sulla base dei risultati ottenuti possono essere fatte diverse considerazioni soprattutto sul dato relativo all'NDVI in quanto i valori raccolti dal satellite Sentinel-2, il quale ha una bassa risoluzione spaziale, non riescono a discriminare l'effetto varietale, però riescono bene ad individuare zone ad alta e bassa vigoria. Se, invece, al dato Sentinel-2 si accoppiano anche valori ottenuti dal drone, il quale è in grado di differenziare il suolo dalla chioma della varietà, allora si riesce a scartare l'effetto suolo e si ottiene un diverso gradiente che rispecchia maggiormente le caratteristiche varietali. Sono state ottenute buone correlazioni tra i valori di NDVI e la cinetica di crescita dei germogli, i °Brix e il contenuto idrico del suolo. La maggior problematica dell'applicazione delle

tecniche di viticoltura di precisione resta l'accessibilità alle piccole realtà viticole. Questo è causato anche dal fatto che la maggior parte degli agricoltori non si sente pronta ad investire su nuove tecnologie per implementare la qualità dei loro prodotti, ma si basa ancora sui metodi classici, talvolta empirici, che danno sì una garanzia di ottenere un buon prodotto però non consentono di evolvere. Infatti, l'obiettivo del futuro sarà quello di sviluppare nuove tecnologie ma soprattutto quello di trasmettere agli operatori del settore questo progresso, quindi è necessario far conoscere con chiarezza potenzialità e limiti.

BIBLIOGRAFIA

- Alleweldt G. (1991). Ampelography a new challenge of research. Corso Internazionale di Ampelografia, OIV.
- Almutairi, El Battay A., Ait Belaid M, and Musa N. (2013). Comparative Study of SAVI and NDVI Vegetation Indices in Sulaibiya Area (Kuwait) Using Worldview Satellite Imagry. International Journal of Geosciences and Geomatics. V1, 50-53.
- Bazzi C.L.; Souza E.G. De; Betzek, N.M. (2015). Software para definição de unidades de manejo: teoria e prática. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. V55, 735
- Berni J. A. J., P. J. Zarco-Tejada, L. Suarez and E. Fereres (2009). Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 47(3): 722-738.
- Bramley R.G.V. (2022) Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes..Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. V1, 541-586.
- Calamita F.,Imran H,A, Vescovo L, Mekhalfi M,L La Porta N. (2021) Early Identification of Root Rot Disease by Using Hyperspectral Reflectance: The Case of Pathosystem Grapevine.
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Chéry, Ph., & Ribéreau-Gayon, P., (2001). Terroir influence on water status and nitrogen status of non irrigated Cabernet-Sauvignon (*Vitis vinifera*): vegetative development, must and wine composition. S. Afr. J. Enol. Vitic. 22(1), 8-15.
- Zhang C, John M. Kovacs. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: Ó Springer Science+Business Media. V13, 693-712.
- Davatgar N.; Neishabouri, M.R.; Sepaskhah, A.R. Delineation of site-specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. (2012). Geoderma, v.173/174, p.111-118.
- Fregoni M. (2013). Viticultura di qualità. 3° Edizione.

Johanna Albetis , Sylvie Duthoit , Fabio Guttler , Anne Jacquin , Michel Goulard Hervé Poilvé, Jean-Baptiste Féret and Gérard Dedieu (2017). Detection of Flavescence dorée Grapevine Disease Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Multispectral Imagery. *Remote Sensing* 9, V4, 308.

Juan M, Luís Pádua, Francisco R. Feito and Joaquim J. Sousa (2020) Automatic Grapevine Trunk Detection on UAV-Based Point Cloud. *Remote Sensing* 12, 3043.

Laslett, G.M.; Mcbratney, A.B.; Pahl, P.J.; Hutchinson, M.F. (1987) Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *European Journal of Soil Science. Journal of Soil Science.* V38, 325-341.

[Lee F. Johnson](#) Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard (2003). *Australian Journal of Grape and Wine Research.* V9, 96-101.

Matese Alessandro, Di Gennaro Salvatore Filippo. (2018). Practical Applications of a Multisensor UAV Platform Based on Multispectral, Thermal and RGB High Resolution Images in Precision Viticulture. *Agriculture.* V8, 116.

Ozdemir Gultekin, Abdullah Sessiz, Fatih Goksel Pekitkan Precision Viticulture Tools To Production Of High Quality Grapes. (2017). *Scientific Papers. Series B, Horticulture.* V61, 209-218.

Pantini D. (2019). Viticoltura di precisione, presente solo nel 23% delle aziende italiane. *Vite&Vino* V5.

Sassu A., Gambella F. , Ghiani L., Mercenaro L., Caria M. and Pazzona A.L. (2021) Advances in Unmanned Aerial System Remote Sensing for Precision Viticulture. *Sensor* 21. V3, 956

Turner , A. Lucieer , C. Watson. (2011) Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for hyper resolution vineyard mapping based on visible,multispectral, and thermal imagery. *School of Geography and Environmental Studies Conference.*

Van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3), 207-217

Van Leeuwen, P. Friant, M.-E. Jaeck S. Kuhnand O. Lavielle hierarchy of the role of climate, soil and cultivar in terroir effect can largely be explained by vine water status (2004). *Moët-Hennessy Technical Conference.*

Van Leeuwen, C., Seguin, (2006). The concept of terroir in viticulture. Journal of Wine Research, 17(1), 1-10,.

Sitografia

[Agricolus:](https://www.agricolus.com)

<https://www.agricolus.com>

[Agrifood.tech:](https://www.agrifood.tech)

[https://www.agrifood.tech/precision-farming/agricoltura-di-precisione-cose-e-
come-puo-aiutare-a-risolvere-le-sfide-alimentari-del-futuro/](https://www.agrifood.tech/precision-farming/agricoltura-di-precisione-cose-e-come-puo-aiutare-a-risolvere-le-sfide-alimentari-del-futuro/)

[Citra:](https://blog.citra.it/it/la-viticultura-4-0/)

<https://blog.citra.it/it/la-viticultura-4-0/>

[EGM96 drone solution provider:](https://www.egm96.it/servizi-con-droni/agricoltura-precisione/)

<https://www.egm96.it/servizi-con-droni/agricoltura-precisione/>

[Ministero dell'agricoltura della sovranità alimentare e delle foreste:](http://catalogoviti.politicheagricole.it/catalogo.php)

<http://catalogoviti.politicheagricole.it/catalogo.php>

[Vivai cooperativi rauscedo:](https://www.vivairauscedo.com/scheda-prodotto/corvina/)

<https://www.vivairauscedo.com/scheda-prodotto/corvina/>

[Eos:](https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/)

eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/