DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

VITICOLTURA DI PRECISIONE NELL'AREA DEL VERDICCHIO DI MATELICA. ANALISI DELLA VARIABILITÀ DEL VIGORE NEL TRIENNIO 2019-2021

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
MARCO NARCISI

Relatore:
PROF. ORIANA SILVESTRONI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Questo lavoro è dedicato a tutti coloro che mi sostengono,
in particolare i miei cari parenti e i miei amici.

INDICE

ELENCO DELLE TABELLE 5

ELENCO DELLE FIGURE 8

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI 11

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI 12

CAPITOLO 1 PARTE INTRODUTTIVA 13

1.1 Viticoltura di precisione 13

1.1.1 Inquadramento generale 13

1.1.2 Impiego del telerilevamento nella viticoltura di precisione 14

1.1.3 Remote e proximal sensing 15

1.1.4 Indici di vegetazione 18

1.2 Programma Copernicus per l'osservazione satellitare della Terra 20

1.2.1 Introduzione 20

1.2.2 Sentinel-2 21

1.3 Analisi della variabilità del vigneto 22

1.3.1 Introduzione 22

1.3.2 Principali indici per valutare la variabilità di un vigneto 23

CAPITOLO 2 PARTE SPERIMENTALE 27

2.1 Materiali e metodi 27

2.1.1 Condizioni sperimentali 27

2.1.2 Dati satellitari 30

2.1.3 Dati di campo 33

2.2 Risultati e discussione 36

2.2.1 Mappe di vigore 36

2.2.2 Evoluzione NDVI 54

2.2.3 Analisi della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 62

2.2.4 Rilievi di potatura, di vendemmia e composizione del mosto 67

CONCLUSIONI 77

BIBLIOGRAFIA 79

SITOGRAFIA 81

RINGRAZIAMENTI 82

APPENDICE 83

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Tabella riassuntiva delle possibili applicazioni relative al telerilevamento in viticoltura....16
Tabella 1-2: Interpretazione dell'indice NDVI nelle aree coltivate....19
Tabella 1-3: Bande spettrali di Sentinel-2....22
Tabella 1-4: Interpretazione dell'indice di Cambardella (Ci)....25
Tabella 2-1: Denominazione delle località con le coordinate geografiche (WGS84) delle zone dove ricadono i blocchi vitati oggetto di studio....27
Tabella 2-2: Superficie dei blocchi vitati oggetto di studio....29
Tabella 2-3: Dati meteorologici (temperature medie e precipitazioni cumulate) del biennio 2019-20 rilevati dalla stazione meteorologica di Fabriano centro. Dati estratti dal sito della protezione civile della regione Marche....30
Tabella 2-4: Blocchi vitati su cui ricadono le viti campione, per questi blocchi è stato valutato l'evoluzione temporale dell'indice NDVI durante il biennio 2019-20....31
Tabella 2-5: Date che sono state utilizzate per l'analisi della variabilità del vigore dei blocchi vitati oggetto di studio durante il triennio 2019-2021....32
Tabella 2-6: Valori impiegati per il calcolo dell'indice di Opportunità tecnica (TOi)....33
Tabella 2-7: Indici statistici e geostatistici calcolati a partire dai valori di NDVI rilevati in tre date rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 e riferiti alla zona Matelica 1 in località Fogliano....63
Tabella 2-8: Indici statistici e geostatistici calcolati a partire dai valori di NDVI rilevati in tre date rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 e riferiti alla zona Matelica 2 in località Balzani....64
Tabella 2-9: Indici statistici e geostatistici calcolati a partire dai valori di NDVI rilevati in tre date rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 e riferiti alla zona Matelica 3 in località Serre Alte....66
Tabella 2-10: Valori di NDVI e comportamento vegetativo delle viti nella stagione 2020 riguardanti il numero di germogli per vite (rilevato alla vendemmia), il peso del legno di potatura e il peso medio del tralcio. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati

rilevati sulle singole viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Matelica 1.....68
Tabella 2-11: Caratteristiche produttive rilevate alla vendemmia 2020 riguardanti il numero di grappoli per vite, il peso dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo e il peso medio dell'acino. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Matelica 1.....69
Tabella 2-12: Parametri compostivi delle uve alla vendemmia (concentrazione zuccherina, pH e acidità totale) e indici di equilibrio vegeto-produttivo (Uva / Legno e Uva / Germoglio). I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Matelica 1.....70
Tabella 2-13: Valori di NDVI e comportamento vegetativo delle viti nella stagione 2020 riguardanti il numero di germogli per vite (rilevato alla vendemmia), il peso del legno di potatura e il peso medio del tralcio. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei due blocchi oggetto di studio in località Balzani.....71
Tabella 2-14: Caratteristiche produttive rilevate alla vendemmia 2020 riguardanti il numero di grappoli per vite, il peso dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo e il peso medio dell'acino. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle viti campione selezionate nei due blocchi oggetto di studio in località Balzani.....72
Tabella 2-15: Parametri compositivi delle uve alla vendemmia (concentrazione zuccherina, pH e acidità totale) e indici di equilibrio vegeto-produttivo (Uva / Legno e Uva / Germoglio). I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei due blocchi oggetto di studio in località Balzani.....72
Tabella 2-16: Valori di NDVI e comportamento vegetativo delle viti nella stagione 2020 riguardanti il numero di germogli per vite (rilevato alla vendemmia), il peso del legno di potatura e il peso medio del tralcio. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati rilevati sulle singole viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Serre Alte.....73
Tabella 2-17: Caratteristiche produttive rilevate alla vendemmia 2020 riguardanti il numero di grappoli per vite, il peso dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo e il peso medio dell'acino. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle viti campione selezionate nei tre blocchi vitati oggetto di studio in località Serre Alte.....74
Tabella 2-18: Parametri compositivi delle uve alla vendemmia (concentrazione zuccherina, pH e acidità totale) e indici di equilibrio vegeto-produttivo (Uva / Legno e Uva / Germoglio).

I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei tre blocchi oggetto di studio in località Serre Alte.....74

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Variabilità delle caratteristiche al variare della tecnologia di Remote Sensing…..15
Figura 1-2: Riflettanza della vegetazione e del suolo al variare della lunghezza d'onda…….18
Figura 1-3: Satellite Sentinel-2.....21
Figura 1-4: Esempio di diverse strutture spaziali della variabilità. Da sinistra a destra migliora la struttura spaziale, tuttavia tutti e tre i campi condividono un simile coefficiente di variazione.....24
Figura 1-5: Esempio di variogramma sferico.....24
Figura 2-1: Località dove ricadono i blocchi vitati oggetto di studio.....27
Figura 2-2: Zone oggetto di studio con quota e delimitazione dei blocchi vitati. La linea nera indica il perimetro dei blocchi vitati mentre la linea rossa delimita il perimetro interno dei blocchi che esclude una fascia tampone per evitare l'effetto bordo.....28
Figura 2-3: Colori utilizzati nelle mappe basate sull'indice NDVI.....30
Figura 2-4: Blocchi vitati nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Immagine ricavata dal software QGIS.....31
Figura 2-5: Blocchi vitati nelle zone Matelica 2 (località Balzani) e Matelica 3 (località Serre Alte) con la posizione georeferenziata delle viti campione. Immagine ricavata dal software QGIS.....32
Figura 2-6: Mappe NDVI del periodo tra gennaio e giugno dell'anno 2019 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....37
Figura 2-7: Mappe NDVI del periodo tra luglio 2019 e gennaio 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....38
Figura 2-8: Mappe NDVI del periodo tra febbraio e luglio dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....40

Figura 2-9: Mappe NDVI del periodo tra agosto e ottobre dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....41
Figura 2-10: Mappe NDVI del periodo tra gennaio e giugno dell'anno 2019 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....43
Figura 2-11: Mappe NDVI del periodo tra luglio 2019 e gennaio 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....44
Figura 2-12: Mappe NDVI del periodo tra febbraio e luglio dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....46
Figura 2-13: Mappe NDVI del periodo tra agosto e ottobre dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....47
Figura 2-14: Mappe NDVI del periodo tra gennaio e giugno dell'anno 2019 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....49
Figura 2-15: Mappe NDVI del periodo tra luglio 2019 e gennaio 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....50
Figura 2-16: Mappe NDVI del periodo tra febbraio e luglio dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....52
Figura 2-17: Mappe NDVI del periodo tra agosto e ottobre dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....53
Figura 2-18: Dinamica temporale dell'indice NDVI nel biennio 2019-20 per due blocchi vitati (M1-01 e M1-02) nella zona Matelica 1 in località Fogliano. I valori di NDVI sono stati ricavati dalle immagini multispettrali registrate da Sentinel-2 per l'intero blocco.....55
Figura 2-19: Dinamica temporale dell'indice NDVI nel biennio 2019-20 per due blocchi vitati (M2-01 e M2-03) nella zona Matelica 2 in località Balzani. I valori di NDVI sono stati ricavati dalle immagini multispettrali registrate da Sentinel-2 per l'intero blocco.....58

Figura 2-20: Dinamica temporale dell'indice NDVI nel biennio 2019-20 per tre blocchi vitati (M3-04, M3-05 e M3-07) nella zona Matelica 3 in località Serre Alte. I valori di NDVI sono stati ricavati dalle immagini multispettrali registrate da Sentinel-2 per l'intero blocco.....60
Figura 2-21: Mappe NDVI rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 della zona Matelica 1 in località Fogliano. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....63
Figura 2-22: Mappe NDVI rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 della zona Matelica 2 in località Balzani. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....64
Figura 2-23: Mappe NDVI rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 della zona Matelica 3 in località Serre Alte. Mappe ottenute mediante il software QGIS.....66
Figura 2-24: Diagrammi a scatola e baffi ("box-plot") relativi a: a) valori dell'indice NDVI dei pixel in cui ricadono le viti campione delle tre zone vitate oggetto di studio, i valori di NDVI sono stati ricavati dall'immagine multispettrale registrata da Sentinel-2 il giorno 29 luglio 2020; b) valori del parametro peso medio del tralcio delle viti campione rilevati durante la potatura invernale e riferiti alla stagione vegetativa 2020. Le croci all'interno della scatola si riferiscono al valore medio.....75

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

C_i	Cambardella Index. Indice di Cambardella.
CV	Coefficiente di variazione.
DOC	Denominazione di Origine Controllata.
EO	Earth Observation. Osservazione della terra.
ESA	European Space Agency. Agenzia spaziale europea.
GIS	Geographic Information System. Sistema informativo geografico.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Sistema satellitare globale di navigazione.
GPS	Global Positioning System. Sistema di posizionamento globale.
MI	Moran Index. Indice di Moran.
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index. Indice di vegetazione normalizzato.
NIR	Near Infrared. Infrarosso vicino.
PA	Precision Agriculture. Agricoltura di Precisione.
QGIS	Quantum GIS.
RNIR	Riflettanza nella banda dell'infrarosso vicino.
RRED	Riflettanza nella banda del rosso.
SAPR	Sistemi aeromobili a pilotaggio remoto.
SWIR	Short Wave Infrared. Infrarosso ad onde corte.
TI	Tecnologia dell'informazione.
TO_i	Technical Opportunity index. Indice di Opportunità tecnica.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Aeromobile a pilotaggio remoto.
VI	Vegetation Index. Indice di vegetazione.
VIS	Spettro del visibile.
VP	Viticoltura di precisione.
VRT	Variable Rate Technology. Tecnologia a rateo variabile.

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

La presente tesi ha lo scopo di valutare le potenzialità applicative della viticoltura di precisione nell'area di coltivazione del Verdicchio di Matelica. Le indagini partono dall'uso dei dati raccolti dalla missione Copernicus che ha impiegato tra l'altro una sensoristica multispettrale che è stata montata su due satelliti Sentinel-2; l'ultimo dei quali lanciato nel marzo 2017. I satelliti Sentinel-2 registrano i dati multispettrali con una risoluzione massima di 10 m x 10 m e una cadenza temporale di cinque giorni, consentendo così di ottenere immagini della superficie terrestre costituite da pixel di 100 m^2, dimensione utilizzabile adeguatamente su coltivazioni a sviluppo uniforme (superficie coperta da una sola coltura), ma che può presentare qualche difficoltà quando si voglia applicare ad un sistema arboreo come il vigneto allevato a controspalliera; che origina un pixel costituito da fasce di vegetazione vitata alternate a più ampie fasce rappresentate da interfilari variamente gestiti. Pur nella consapevolezza che ciascun pixel registrato da Sentinel-2 contiene informazioni sulla vite in misura minoritaria rispetto allo spazio interfilare, abbiamo fatto ricorso alle bande 4 (665 nm ± 15) e 8 (842 nm ± 58) per calcolare attraverso il software QGIS il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) allo scopo di quantificare e valutare l'evoluzione temporale della variabilità della copertura vegetale presente in ampie aree vitate (superficie minima superiore a 6 ha) di tre zone di Matelica (Fogliano, Balzani e Serre Alte).

Le indagini, condotte nell'ambito del progetto "Vitinnova" (finanziato con il "Programma di Sviluppo Rurale Marche 2014-2020 misura 16.1 - Sostegno per la costituzione e la gestione dei gruppi operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura Azione 2"), hanno preso anche in esame diverse parcelle individuate all'interno delle tre zone caratterizzandole sotto il profilo vegetativo, produttivo e qualitativo alla ricerca di relazioni con l'indice NDVI.

Capitolo 1
PARTE INTRODUTTIVA

1.1 **Viticoltura di precisione**

1.1.1 *Inquadramento generale*

L'agricoltura di precisione (PA) è una strategia gestionale che utilizza le tecnologie dell'informazione (TI) con l'obiettivo di migliorare la produzione e la qualità (Matese et al., 2009). La viticoltura moderna può essere considerata una tipologia di agricoltura di precisione che consiste nell'applicazione delle tecnologie dell'informazione al fine di massimizzare il potenziale enologico dei vigneti (Matese et al., 2009).

L'obiettivo della viticoltura odierna è quello di massimizzare la qualità e la sostenibilità attraverso una riduzione e un uso più efficiente degli input quali energia, fertilizzanti e prodotti chimici, riducendo i costi di questi e garantendo la sostenibilità ambientale (Matese e Di Gennaro, 2015). In quest'ottica di sostenibilità, la viticoltura di precisione (VP) rappresenta una passo avanti per raggiungere gli obiettivi della viticoltura moderna, si tratta di un approccio gestionale che mira a sfruttare la più ampia gamma di osservazioni disponibili per descrivere la variabilità spaziale del vigneto (Matese e Di Gennaro, 2015), inoltre i vigneti non vengono considerati uniformi ma vengono gestiti tenendo conto delle esigenze sito-specifiche (Santesteban, 2019).

L'emergenza della viticoltura di precisione si è avuta a seguito dei progressi tecnologici nei seguenti ambiti: (i) lo sviluppo di sistemi di navigazione satellitare relativamente precisi e convenienti (GNSS), (ii) lo sviluppo di software progettati per gestire, analizzare e visualizzare dati spaziali o geografici, come ad esempio i sistemi informativi geografici (GIS); (iii) la crescente disponibilità di informazioni geolocalizzate acquisite a distanza (es. immagini satellitari); e (iv) lo sviluppo di macchine operatrici basate sulla VRT (tecnologia a rateo variabile) (Santesteban, 2019).

Inoltre, la continua riduzione dei costi necessari ad acquistare le tecnologie è un altro fattore che sta contribuendo alla diffusione della viticoltura di precisione (Genesio et al., 2012).

1.1.2 *Impiego del telerilevamento nella viticoltura di precisione*

Per telerilevamento o EO (Earth Observation) si intende un modo per ottenere informazioni da oggetti che si basa sulla raccolta e sull'analisi di dati senza che lo strumento usato per il rilievo sia in contatto diretto con l'oggetto studiato (www.esa.int). Il telerilevamento consente di ottenere informazioni coerenti e riproducibili sulla canopy di una coltura (es. vigore vegetativo, stress idrico, contenuto clorofilla etc.) e sulla sua evoluzione temporale.
Nel telerilevamento l'acquisizione di immagini avviene mediante l'impiego di sensori che sono posizionati su mezzi aerei o terrestri e che sono in grado di rilevare l'energia riflessa (firma spettrale) dalle superfici, in particolare le regioni dello spettro elettromagnetico rilevate dai sensori sono quelle del visibile (VIS, *Visible Spectroscopy*, λ compresa tra 390 e 700 nm) e dell'infrarosso vicino (NIR, *Near InfraRed*, λ compresa tra 780 e 2500 nm).
Gli elementi fondamentali del telerilevamento sono:
1) Un mezzo in grado di sostenere il sensore;
2) Una superficie da osservare;
3) Un sensore per osservare la superficie;
4) Informazioni che si ottengono dai dati dell'immagine e in che modo esse vengono utilizzate e salvate (www.esa.int).

Nella viticoltura di precisione le fasi del telerilevamento sono le seguenti:
1) Pianificazione, acquisizione e calibrazione geometrica e radiometrica delle immagini multisprettrali (satelliti, aerei, droni) e generazione di indici spettrali;
2) Identificazione automatica dei pixel generati;
3) Utilizzo di metodi geostatistici di interpolazione (es. Kriging) che consentono di recuperare la continuità spaziale dell'indice in modo da generare mappe di vigore/umidità;
4) Classificazione delle mappe di vigore/umidità utilizzando un numero limitato di classi (es. tre classi);
5) Impiego di macchine operatrici basate sulla Variable Rate Technology - VRT (macchine operatrici a rateo variabile) munite di un sistema di posizionamento satellitare (GNSS) e in grado di effettuare interventi colturali differenziali (Lessio e Borgogno Mondino, 2015).

Per effettuare un'applicazione a rateo-variabile è necessario conoscere la posizione esatta di un'informazione territoriale e quindi risulta importante il concetto di "georeferenziazione", termine che si riferisce alla relazione esistente tra un'informazione territoriale e la sua

posizione nello spazio. Per la localizzazione delle informazioni territoriali si utilizza il sistema di posizionamento globale (GPS - *Global Positioning System*).

1.1.3 *Remote e proximal sensing*

Le osservazioni di una parete vegetale possono essere effettuate sia a distanza ravvicinata o a contatto con la superficie e in questo caso parliamo di proximal sensing, mentre se le osservazioni vengono effettuate da lunghe distanze parliamo di remote sensing (o telerilevamento) (www.ricercatuscania.it).

Nel proximal sensing i sensori vengono generalmente collocati su trattrici che transitano all'interno del campo, mentre nel remote sensing i sensori vengono posizionati su mezzi aerei (es. droni) o satellitari.

Sia nel proximal che nel remote sensing i sensori utilizzati consentono di studiare una superficie analizzando il suo comportamento a differenti lunghezze d'onda (www.ricercatuscania.it).

I mezzi principali impiegati per il remote sensing sono riassunti in figura 1-1 che riporta alcune informazioni sulla quota di volo, sulla copertura dell'areale e la conseguente risoluzione spazio-temporale e sulla complessità del processamento dei dati.

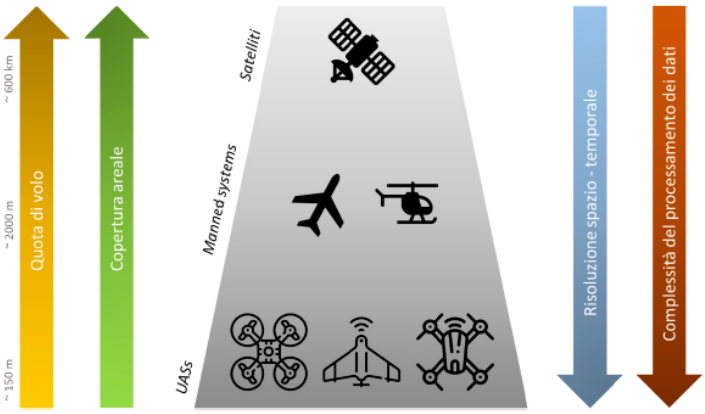


Figura 1-1: Variabilità delle caratteristiche al variare della tecnologia di Remote Sensing

Fonte: Casabona, 2020

La scelta del mezzo da utilizzare per il rilievo della vegetazione è influenzata da una serie di fattori che riguardano in prima istanza la superficie complessiva da osservare e il livello di dettaglio (risoluzione spaziale) necessario (tabella 1-1). A questi si aggiunge anche il sistema

di allevamento del vigneto che incide sull'omogeneità o meno di copertura della superficie vitata.

Tabella 1-1: Tabella riassuntiva delle possibili applicazioni relative al telerilevamento in viticoltura

Fonte: https://www.oataitalia.it/telerilevamento-ottico-per-lagricoltura-di-precisione/

Tipo di acquisizione	Scala di utilizzo
Rilevamento prossimale (da terra)	Di singola pianta/individuo
Acquisizioni da Drone	Di singolo appezzamento
Acquisizioni da Aereo	Consortile (aree di media dimensione)
Acquisizioni da Satellite	Regionale (aree di grandi dimensioni)

Di seguito vengono analizzati in dettaglio i principali mezzi per il proximal e il remote sensing (tabella 1-1).

- Satelliti

I satelliti ruotano intorno alla Terra con un periodo di rivoluzione che varia in funzione del satellite. Il periodo di rivoluzione ci dà informazioni sulla risoluzione temporale (periodo di tempo che intercorre fra il passaggio del satellite al di sopra di una certa area e il passaggio successivo al di sopra della stessa area) e quindi sulla disponibilità delle immagini in diversi periodi dell'anno. Il satellite PlanetScope presenta una risoluzione temporale giornaliera, mentre nel caso di Landsat 8 la risoluzione temporale è di 16 giorni (www.agricolus.com).

L'ottenimento di immagini idonee è influenzato dalle condizioni climatiche, la presenza di una copertura nuvolosa al di sopra dell'area di studio non consente l'utilizzazione dell'immagine ai fini del telerilevamento.

La risoluzione spaziale delle immagini satellitari varia in funzione del tipo di satellite e della banda considerata, ad esempio il satellite PlanetScope è in grado di generare immagini con un'elevata risoluzione spaziale (3 metri), mentre Landsat 8 fornisce immagini con risoluzione spaziale di 30 metri (docs.sentinel-hub.com).

I costi del telerilevamento satellitare sono abbastanza contenuti e il processo di elaborazione dei dati ottenuti risulta semplice e rapido.

- **Sistemi a pilotaggio remoto**

A questa categoria fanno parte i dispositivi SAPR (Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

I dispositivi SAPR o UAV (meglio noti come "droni") sono mezzi aerei che possono essere pilotati oppure sono in grado di volare in maniera autonoma, elaborando i dati e restituendo delle informazioni all'agricoltore.

I dispositivi SAPR o UAV forniscono immagini con un'elevata risoluzione spaziale (anche di qualche centimetro) e quindi consentono di visualizzare in modo preciso l'interfila, le chiome e l'eventuale presenza di manufatti (www.agricolus.com), un altro vantaggio dei droni è che possono operare anche in presenza di una copertura nuvolosa.

La risoluzione temporale nel caso dei dispositivi SAPR o UAV è irregolare in quanto il volo viene eseguito su "richiesta" dell'agricoltore (www.agricolus.com).

Generalmente i sensori posizionati sui droni rilevano la riflettanza nelle bande del visibile, red-edge e infrarosso vicino, mentre raramente sono in grado di includere bande nella lunghezza d'onda dello SWIR (*Short Wave Infrared*, λ compresa tra 900 e 1700 nm), di conseguenza con questi sensori non si possono ricavare gli indici multispettrali di clorofilla e di stress idrico che richiedono la misura della riflettanza nella lunghezza d'onda dello SWIR (www.agricolus.com).

Un altro svantaggio dei droni sono i costi elevati di elaborazione dei dati.

- **Rilievi prossimali (proximal sensing)**

Negli ultimi anni si sono sviluppati dei sistemi che consentono di effettuare un rilievo prossimale della vegetazione, in questo modo è possibile ottenere informazioni ad elevata risoluzione spaziale e senza dover ricorrere a successive operazioni per diminuire l'interferenza del suolo e della vegetazione interfilare (www.ricercatuscania.it).

I sensori utilizzati nel proximal sensing sono in grado di registrare informazioni georeferenziate ad altissima frequenza, inoltre i sensori sono dotati di una fonte luminosa propria e quindi è possibile operare in qualsiasi condizione di illuminazione e senza differenze percepite nel calcolo degli indici di vegetazione (www.ricercatuscania.it).

Gli svantaggi del proximal sensing sono legati alla ridotta superficie oraria osservabile in quanto la velocità del rilievo è condizionata dalla velocità con cui vengono eseguite le comuni pratiche di gestione meccanizzate all'interno del vigneto. Con il proximal sensing possiamo rilevare circa 20 ettari di vigneto all'interno di una giornata, mentre utilizzando il

telerilevamento satellitare (es. satellite IKONOS) è possibile osservare 500 ettari in una sola foto (www.ricercatuscania.it).

1.1.4 *Indici di vegetazione*

Gli Indici di Vegetazione (VI) sono delle trasformazioni parametriche di alcune bande spettrali progettate per massimizzare la sensibilità a particolari fenomeni biofisici (ad esempio attività fotosintetica, contenuto d'acqua etc.) e ridurre al minimo la sensibilità a fattori come le proprietà del suolo, l'illuminazione solare e le condizioni atmosferiche (Camps-Valls et al., 2021).

Gli indici di vegetazione forniscono informazioni sullo stato di salute delle colture, sulla copertura vegetale, sulla produttività e sullo stato nutrizionale.

La vegetazione assorbe la radiazione solare a diversi intervalli di lunghezza d'onda, in seguito la vegetazione riemette queste radiazioni e la componente riemessa nelle bande dell'infrarosso vicino (NIR), del rosso (RED) e dell'infrarosso ad onde corte (Short Wave Infrared – SWIR) dà informazioni sullo stato di salute e sullo stress idrico.

Come si può notare dalla figura 1-2, la vegetazione fotosinteticamente attiva assorbe la maggior parte della luce rossa (RED) che la colpisce e riflette gran parte della luce nell'intervallo dell'infrarosso vicino (NIR). La vegetazione che si trova in situazione di stress riflette di più la luce rossa (RED) e meno quella dell'infrarosso vicino (NIR) rispetto ad una situazione di pianta sana.

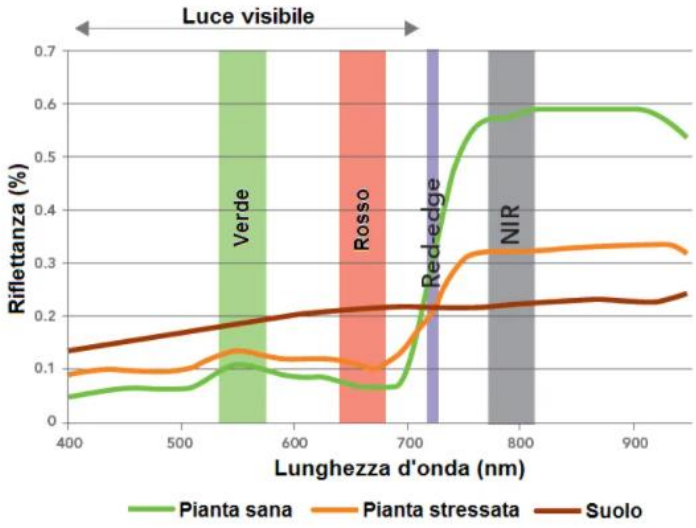


Figura 1-2: Riflettanza della vegetazione e del suolo al variare della lunghezza d'onda

Fonte: https://www.dronebee.it/agriprecisione/

L'indice di vegetazione più utilizzato è l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e viene calcolato con la seguente formula (Genesio et al., 2012):

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$$

dove R_{NIR} = riflettanza nella banda dell'infrarosso vicino

R_{RED} = riflettanza nella banda del rosso

L'indice NDVI assume valori compresi tra -1 e 1, come riassunto in tabella 1-2, che riporta le linee interpretative dell'indice NDVI. Valori dell'indice NDVI inferiori a 0,3 denotano una copertura vegetale molto bassa o addirittura assente, valori di NDVI compresi tra 0,4 e 0,6 indicano una copertura vegetale da medio-bassa a media associata a livelli di sviluppo vegetativo che possono essere anche alti, infine valori di NDVI superiori a 0,7 denotano una copertura vegetale da alta a molto alta associata a livelli di elevato sviluppo vegetativo.

Tabella 1-2: Interpretazione dell'indice NDVI nelle aree coltivate

Fonte:https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/#:~:text=L'indice%20di%20vegetazione%20pi%C3%B9,RED)%2F(NIR%2BRED

NDVI	INTERPRETAZIONE
< 0.1	Suolo nudo o nuvole
0.1 - 0.2	Copertura vegetale quasi assente
0.2 - 0.3	Copertura vegetale molto bassa
0.3 - 0.4	Copertura vegetale bassa con vigoria bassa o copertura vegetale molto bassa con vigoria alta
0.4 - 0.5	Copertura vegetale medio-bassa con vigoria bassa o copertura vegetale molto bassa con vigoria alta
0.5 - 0.6	Copertura vegetale media con vigoria bassa o copertura vegetale medio-bassa con vigoria alta
0.6 - 0.7	Copertura vegetale medio-alta con vigoria bassa o copertura vegetale media con vigoria alta
0.7 - 0.8	Copertura vegetale alta con vigoria alta
0.8 - 0.9	Copertura vegetale molto alta con vigoria molto alta
0.9 - 1	Copertura vegetale totale con vigoria molto alta

1.2 **Programma Copernicus per l'osservazione satellitare della Terra**

1.2.1 *Introduzione*

Copernicus è un programma europeo di osservazione satellitare della Terra lanciato nel 1998 dalla Commissione Europea e da un pool di agenzie spaziali (www.asi.it).
I principali obiettivi del programma Copernicus sono quelli di fornire sistemi e servizi di osservazione della Terra innovativi e di garantire all'Europa un accesso autonomo ai dati ambientali e alle tecnologie di base dell'osservazione della Terra e dei servizi di geo-informazione (eur-lex.europa.eu).
Il programma Copernicus si compone di tre componenti:

- Componente di servizi: Copernicus fornisce informazioni standardizzate e in maniera sostenibile attraverso un insieme di servizi finanziati dalla Commissione. I dati messi a disposizione possono essere utilizzati per una serie di scopi quali lo sviluppo sostenibile, la salvaguardia della natura, la pianificazione regionale e locale, l'agricoltura, la silvicoltura, la pesca, la salute, la protezione civile, le infrastrutture, il trasporto e il turismo.
- Componente spaziale: questa componente è coordinata dall'ESA (European Space Agency) e garantisce osservazioni spaziali sostenibili per le componenti di servizi.
- Componente *in situ*: Copernicus raccoglie informazioni da una moltitudine di sensori situati a terra, in mare o nell'aria. Questi dati provengono da organizzazioni europee e non europee e dai diversi paesi dell'UE (eur-lex.europa.eu).

I dati messi a disposizione da Copernicus sono disponibili gratuitamente in modo da promuovere l'utilizzo di questi e stimolare i mercati europei connessi all'osservazione della Terra.
L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta attualmente lavorando su sette famiglie di missioni satellitari in modo da rispondere alle esigenze del programma Copernicus, i satelliti prendono il nome di "Sentinelle" e ciascuno di esso è specializzato su determinate applicazioni.
Le varie missioni Sentinel hanno i seguenti obiettivi:
- Sentinel-1 fornisce immagini radar per servizi terrestri e oceanici;
- Sentinel-2 fornisce immagini ottiche per servizi di monitoraggio del territorio (copertura vegetale, suolo e acqua);
- Sentinel-3 fornisce servizi per la misura di variabili come la topografia della superficie marina, la temperatura della superficie marina e terrestre;
- Sentinel-4 e Sentinel-5 forniscono dati per il monitoraggio della composizione atmosferica;

- Sentinel-5P è il precursore di Sentinel-5 e fornisce dati sulla qualità dell'aria fino al lancio del Sentinel-5;
- Sentinel-6 fornisce servizi per la misura della superficie del mare e per lo studio del clima (www.copernicus.eu).

1.2.2 *Sentinel-2*

La missione Sentinel-2 si basa su due satelliti identici (Sentinel-2A e Sentinel-2B) che sono posizionati sulla stessa orbita al fine di ottenere una copertura ottimale (figura 1-3). I satelliti Sentinel-2A e Sentinel-2B sono stati lanciati rispettivamente il 23 giugno 2015 e il 7 marzo 2017 e sono stati progettati in modo tale da avere una vita utile di circa sette anni (Tadei, 2017).
Le informazioni sono prelevate sia sulla terraferma che nelle aree costiere e in una fascia compresa tra 56° latitudine Sud e 84° latitudine Nord. Per la calibrazione degli strumenti vengono acquisiti dati anche al di fuori delle normali zone di acquisizione come Dome C in Antartide (Tadei, 2017).

Figura 1-3: Satellite Sentinel-2

Fonte: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description

I satelliti Sentinel-2A e 2B sono dotati di un dispositivo multispettrale in grado di acquisire quattro bande nella lunghezza d'onda del visibile e dell'infrarosso vicino con risoluzione spaziale di 10 metri (bande 2, 3, 4 e 8), sei bande nella lunghezza d'onda dell'infrarosso con risoluzione spaziale di 20 metri (bande 5, 6, 7, 8a, 11, 12) e tre bande con risoluzione spaziale di 60 metri (bande 1, 9 e 10), come sintetizzato in tabella 1-3.

Tabella 1-3: Bande spettrali di Sentinel-2

Fonte: http://www.alspergis.altervista.org/data/sentinel2.html

Banda	λ centrale (nm)	Larghezza banda (nm)	Risoluzione spaziale (m)
1	443	20	60
2	490	65	10
3	560	35	10
4	665	30	10
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8	842	115	10
8a	865	20	20
9	945	20	60
10	1380	30	60
11	1610	90	20
12	2190	180	20

1.3 **Analisi della variabilità del vigneto**

1.3.1 *Introduzione*

Per applicare i concetti della viticoltura di precisione è necessario quantificare e interpretare la variabilità spaziale presente all'interno di un vigneto, per fare ciò si ricorre all'utilizzo di indicatori affidabili e pertinenti.

La scelta degli indicatori da impiegare per lo studio della variabilità risulta complicato in quanto ancora non esistono delle metodiche precise e concordate su come studiare la variabilità di un vigneto (Leroux e Tisseyre, 2019).

Nello studio della variabilità di un vigneto le informazioni principali che si vogliono ottenere sono le seguenti:

- Comprendere se il vigneto è uniforme o eterogeneo;
- Comprendere la struttura spaziale della variabilità e valutare se nel vigneto oggetto di studio è possibile effettuare una gestione rateo variabile sito-specifica.

La variabilità presente all'interno di un vigneto è dovuta a numerosi fattori agronomici (caratteristiche chimiche e fisiche del suolo, disponibilità di nutrienti, disponibilità di acqua

etc.) e per questo motivo è importante che gli indicatori di variabilità spaziale siano più generali e universali possibili in modo da abbinare l'analisi di più parametri agronomici di interesse (Leroux e Tisseyre, 2019).

La variabilità spaziale della vite (o di una qualsiasi altra coltura) trova generalmente una spiegazione diretta nelle caratteristiche ambientali e in questo caso risulta facile capire quali siano i fattori limitanti nei confronti della vite, tuttavia esistono dei casi nella quale la variabilità spaziale dell'ambiente e la variabilità spaziale della vite non corrispondono in termini di entità della variabilità o distribuzione delle aree considerabili omogenee, in questi casi solo uno studio approfondito della variabilità può consentire di individuare i fattori non considerati a priori e pianificare opportuni interventi per modificarli o mitigarne gli effetti (Barracu, 2013).

1.3.2 *Principali indici per valutare la variabilità di un vigneto*

Di seguito vengono riportati alcuni indici utilizzati per valutare la variabilità presente all'interno di un vigneto.

- Coefficiente di Variazione

Il Coefficiente di Variazione (CV) viene calcolato con la seguente formula:

$$CV = \sigma / \mu$$

dove σ = deviazione standard

μ = media

Il principale vantaggio del coefficiente di variazione è legato alla facilità e alla velocità di calcolo: con due soli parametri è possibile ottenere informazioni sulla variabilità totale del vigneto. Lo svantaggio del coefficiente di variazione è legato al fatto che questo indice non tiene conto della natura spaziale dei dati.

Il limite principale del coefficiente di variazione nello studio della variabilità è visivamente rappresentato in figura 1-4 dove è possibile osservare tre differenti strutture spaziali che condividono un simile coefficiente di variazione, ma una diversa aggregazione della variabilità: il campo situato a destra presenta una migliore struttura spaziale della variabilità e quindi si presta maggiormente ad una gestione sito-specifica (Leroux e Tisseyre, 2019).

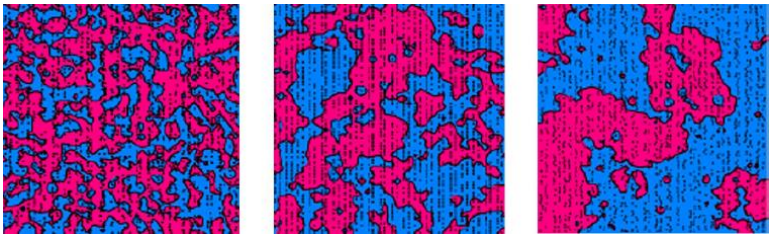


Figura 1-4: Esempio di diverse strutture spaziali della variabilità. Da sinistra a destra migliora la struttura spaziale, tuttavia tutti e tre i campi condividono un simile coefficiente di variazione

Fonte: Leroux e Tisseyre, 2019

Un altro svantaggio del coefficiente di variazione si presenta quando si confrontano campi di dimensioni molto diverse: i campi più grandi presentano generalmente variazioni maggiori (e quindi un coefficiente di variazione più alto) rispetto ai campi più piccoli in cui le variazioni sono generalmente più basse.

- Indici basati sul variogramma

Il variogramma è un importante strumento della statistica spaziale da cui si possono ricavare degli indici per studiare la variabilità spaziale (Leroux e Tisseyre, 2019). Il variogramma (figura 1-5) è una funzione che ha l'obiettivo di descrivere la dipendenza spaziale tra osservazioni separate da una certa distanza nello spazio. La funzione del variogramma è caratterizzata dai parametri range, sill e nugget.

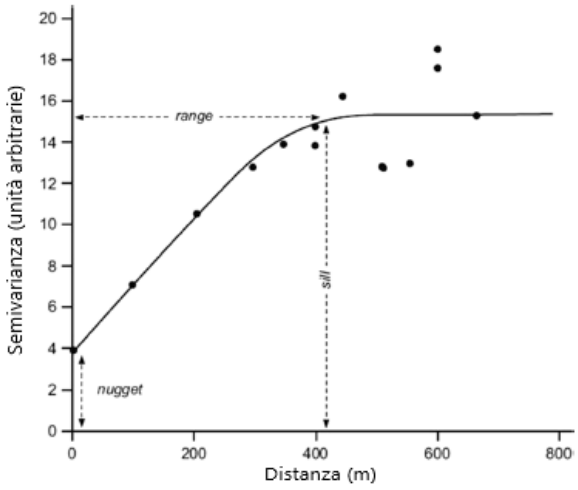


Figura 1-5: Esempio di variogramma sferico

Fonte: Leroux e Tisseyre, 2019

Range: corrisponde alla distanza oltre la quale le osservazioni non sono più spazialmente correlate. In altre parole, due osservazioni separate da una distanza spaziale maggiore del range non condividono alcuna relazione;
Sill: rappresenta la varianza massima tra i punti misurati;
Nugget: rappresenta le variazioni casuali su piccola scala dovute a differenze da punto a punto. Infatti, anche se all'interno del campo si può osservare una tendenza o un modello spaziale, osservazioni molto ravvicinate potrebbero presentare alcune differenze (Leroux e Tisseyre, 2019).

Sulla base di alcuni parametri del variogramma è possibile calcolare l'Indice di Cambardella (C_i). L'indice viene calcolato nel seguente modo:

$$C_i = (Nugget / Sill) \times 100$$

L'indice di Cambardella (C_i) stima la quota della varianza totale che non risulta spazialmente organizzata (Santesteban et al., 2013). L'interpretazione dell'indice di Cambardella è riportata in tabella 1-4.

Tabella 1-4: Interpretazione dell'indice di Cambardella (C_i)
Fonte: Leroux e Tisseyre, 2019

Ci	Struttura spaziale
> 75%	Debole
25 - 75%	Buona
< 25%	Ottima

- Indice di Moran (MI)
L'Indice di Moran rappresenta uno dei principali metodi per la misura dell'autocorrelazione spaziale. L'indice di Moran varia da -1 ad 1, in genere un coefficiente di Moran positivo alto rappresenta la tendenza all'aggregazione e quindi una copertura vegetale simile tende a formare ampi assembramenti nello spazio, viceversa valori negativi bassi indicano una tendenza alla frammentazione e una copertura vegetale simile tende a disperdersi come assembramenti più piccoli nello spazio (Zhang et al., 2009). Valori prossimi allo zero indicano l'assenza di clustering e descrivono una distribuzione tendenzialmente casuale della variabile.

L'indice di Moran viene calcolato con la seguente formula:

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}(x_i - \overline{x})(x_j - \overline{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}$$

dove x_i *e* x_j = valori della variabile x in due posizioni

$\overline{x}$ = valore medio della variabile x

w_{ij} = peso dei vicini

n = numero totale della variabile x

- Indice di Opportunità tecnica (TOi)

Il TOi (Indice di Opportunità tecnica) è un indice che consente di valutare l'idoneità del vigneto ad una gestione sito-specifica.

Il TOi tiene conto dell'area minima (definita "kernel") all'interno della quale le macchine basate sulla VRT (Variable Rate Technology) possono operare in modo affidabile. Il kernel (k) dipende dalle caratteristiche delle macchine operatrici e può essere definito dalla seguente equazione:

$$k = (\beta + d)\ (vt + d)$$

dove β = larghezza di applicazione della macchina

v = velocità del veicolo

t = tempo necessario per modificare il tasso di applicazione

d = imprecisione del sistema di posizionamento

Il TOi varia da 0 ad 1, valori vicini a zero indicano una bassa opportunità tecnica mentre valori prossimi ad 1 indicano un'elevata opportunità tecnica. Il valore minimo di TOi per il quale un vigneto si presta bene ad una gestione sito-specifica è di 0,5 (Tisseyre e McBratney, 2008).

Capitolo 2
PARTE SPERIMENTALE

2.1 **Materiali e metodi**

2.1.1 *Condizioni sperimentali*

I blocchi (o appezzamenti) vitati oggetto di studio, ricadenti in tre località (figura 2-1) situate nel territorio di Matelica (MC), appartengono a Cantine Belisario s.a.c. che ne cura anche la gestione. In tabella 2-1 vengono riportate le località con le coordinate geografiche delle zone dove ricadono i blocchi vitati oggetto di studio.

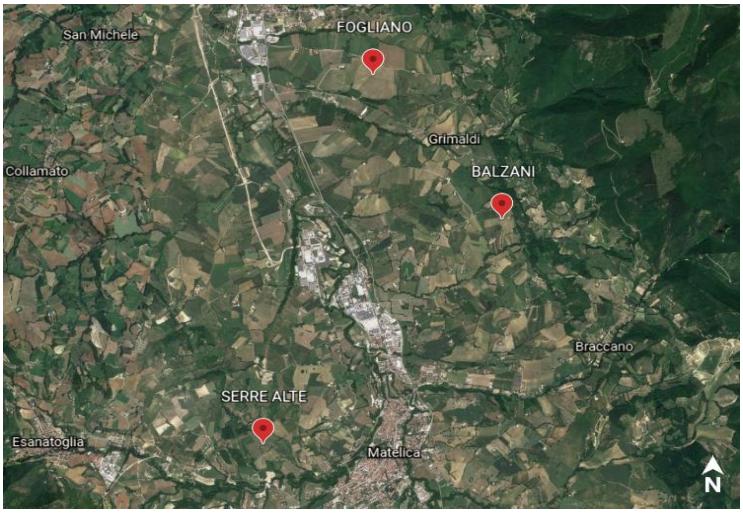


Figura 2-1: Località dove ricadono i blocchi vitati oggetto di studio

Fonte: https://www.google.it/intl/it/earth/

Tabella 2-1: Denominazione delle località con le coordinate geografiche (WGS84) delle zone dove ricadono i blocchi vitati oggetto di studio

Zona	*Località*	*Latitudine N*	*Longitudine E*
Matelica 1	Fogliano	43°30’41.54 N	13°00’63.29 E
Matelica 2	Balzani	43°28’40.82 N	13°02’90.91 E
Matelica 3	Serre Alte	43°25’21.87 N	12°98’64.75 E

Tutti i blocchi vitati sono caratterizzati dalla presenza del Verdicchio, cioè un vitigno a bacca bianca diffuso nella regione Marche e in particolare nelle province di Ancona e Macerata dove sono presenti alcune aree contrassegnate con la DOC (DOC del Verdicchio dei Castelli di Jesi e DOC del Verdicchio di Matelica).

I blocchi vitati sono situati in una zona collinare delimitata ad Ovest dalla dorsale appenninica umbro-marchigiana e ad Est dalla dorsale appenninica marchigiana, per questo motivo questa zona viticola subisce una minore influenza del mare rispetto ad altre zone viticole delle Marche situate ad esempio nella collina litoranea (figura 2-2).

Matelica (Marche), Italia centrale

Matelica 1 (M1)

Località Fogliano, 310 - 390 m s.l.m.

Matelica 2 (M2)

Località Balzani, 400 - 480 m s.l.m.

Matelica 3 (M3)

Località Serre Alte, 415 - 510 m s.l.m.

Figura 2-2: Zone oggetto di studio con quota e delimitazione dei blocchi vitati. La linea nera indica il perimetro dei blocchi vitati mentre la linea rossa delimita il perimetro interno dei blocchi che esclude una fascia tampone per evitare l'effetto bordo

I blocchi vitati situati nella zona Matelica 1 in località Fogliano sono allevati in parte a Guyot Monolaterale (distanza sulla fila di 1,0 m) e in parte a Guyot Bilaterale (distanza sulla fila di 1,2 m), la distanza tra i filari è di 2,6 m.
I blocchi vitati situati nella zona Matelica 2 in località Balzani sono allevati a Guyot Bilaterale con distanze di 2,5 m tra i filari e di 1,0 m sulla fila, anche nei blocchi vitati situati nella zona Matelica 3 in località Serre Alte le viti sono allevate a Guyot Bilaterale.
In tabella 2-2 vengono riportate le superfici dei blocchi vitati oggetto di studio.

Tabella 2-2: Superficie dei blocchi vitati oggetto di studio

ZONA	BLOCCO	SUPERFICIE (ha)
Matelica 1 (22,66 ha)	M1-01	6,20
	M1-02	3,47
	M1-03	2,47
	M1-04	2,98
	M1-05	4,41
	M1-06	3,13
Matelica 2 (6,73 ha)	M2-01	0,70
	M2-02	2,15
	M2-03	1,64
	M2-04	1,05
	M2-05	1,19
Matelica 3 (13,75 ha)	M3-01	1,67
	M3-02	0,38
	M3-03	1,15
	M3-04	1,88
	M3-05	1,14
	M3-06	0,55
	M3-07	2,49
	M3-08	2,18
	M3-09	1,18
	M3-10	1,13

In tabella 2-3 vengono riportati i dati meteorologici del biennio 2019-20 registrati dalla stazione termopluviometrica di Fabriano centro; che possiamo considerare rappresentativa per le diverse zone di Matelica in cui ricadono i blocchi vitati oggetto di studio.

Tabella 2-3: Dati meteorologici (temperature medie e precipitazioni cumulate) del biennio 2019-20 rilevati dalla stazione meteorologica di Fabriano centro. Dati estratti dal sito della protezione civile della regione Marche

Fonte:http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexjs.sol?lang=it

Mese	Temperatura media 2019 (°C)	Temperatura media 2020 (°C)	Precipitazione cumulata 2019 (mm)	Precipitazione cumulata 2020 (mm)
Gennaio	2,8	5,0	100,6	13
Febbraio	6,2	8,8	22,6	48
Marzo	9,9	7,7	33	112,2
Aprile	11,2	11,8	110,8	83,4
Maggio	13,1	15,9	185,8	171,2
Giugno	23,1	19,3	34	90,2
Luglio	23,7	22,5	84,6	27,8
Agosto	23,8	24,0	25,8	84,4
Settembre	18,3	18,3	89,4	219,6
Ottobre	15,1	12,8	44,2	119,4
Novembre	10,8	9,1	200,4	60,6
Dicembre	7,6	5,9	142,8	204,2
Valore annuo	**13,8**	**13,42**	**1074**	**1234**

2.1.2 *Dati satellitari*

In questa tesi per prima cosa sono state analizzate le mappe NDVI relative a diversi periodi del biennio 2019-20 di tutti i blocchi vitati oggetto di studio, le mappe NDVI sono state estratte mediante il software QGIS.

Per la tematizzazione delle mappe NDVI sono state utilizzate nove classi di colore riportate in figura 2-3.

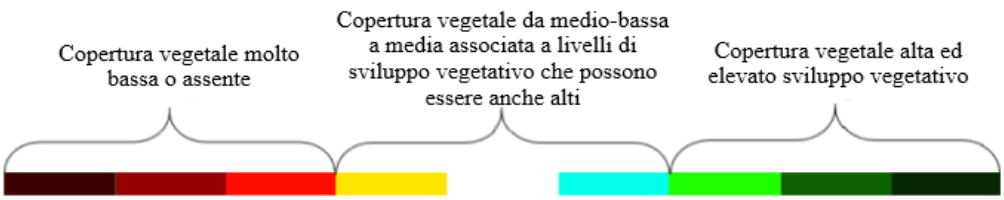


Figura 2-3: Colori utilizzati nelle mappe basate sull'indice NDVI

L'evoluzione temporale dell'indice NDVI di alcuni blocchi vitati (tabella 2-4) è stato valutato durante il biennio 2019-20, in questi blocchi vitati ricadono delle viti campione di cui si dispongono i dati di potatura e di vendemmia della stagione vegetativa 2020.

Tabella 2-4: Blocchi vitati su cui ricadono le viti campione, per questi blocchi è stato valutato l'evoluzione temporale dell'indice NDVI durante il biennio 2019-20

ZONA	LOCALITÀ	BLOCCHI
Matelica 1	Fogliano	M1-01, M1-02
Matelica 2	Balzani	M2-01, M2-03
Matelica 3	Serre Alte	M3-04, M3-05, M3-07

Nella zona Matelica 1 (figura 2-4) le viti campione ricadono nei blocchi vitati M1-01 e M1-02. In particolare, le file che presentano le viti campione sono le seguenti:

- Blocco M1-01: 16, 19, 20, 31, 36, 37, 41, 42, 92, 93, 97, 98, 118, 119, 127 e 128
- Blocco M1-02: 175, 176, 199 e 200

(Le file sono numerate a partire dalla prima fila in alto a sinistra del blocco M1-01 verso destra).

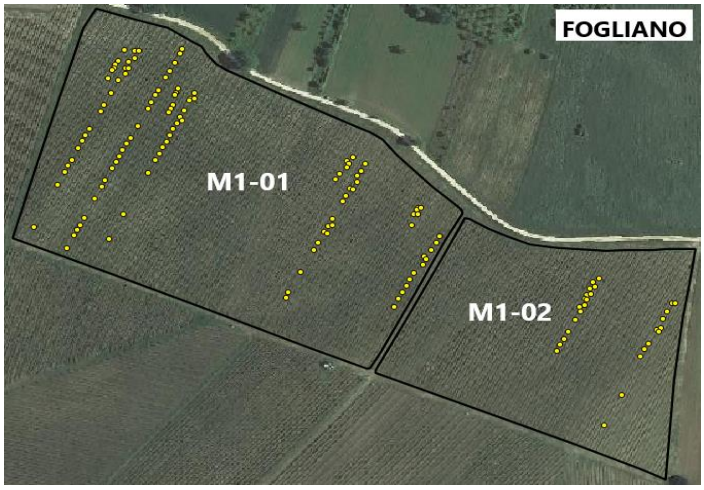


Figura 2-4: Blocchi vitati nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Immagine ricavata dal software QGIS

Nella zona Matelica 2, sita in località Balzani, le viti campione ricadono su due filari adiacenti dei blocchi vitati M2-01 e M2-03. Nella zona Matelica 3, sita in località Serre Alte, le viti campione ricadono su due filari adiacenti dei blocchi M3-04, M3-05 e M3-07 (figura 2-5).

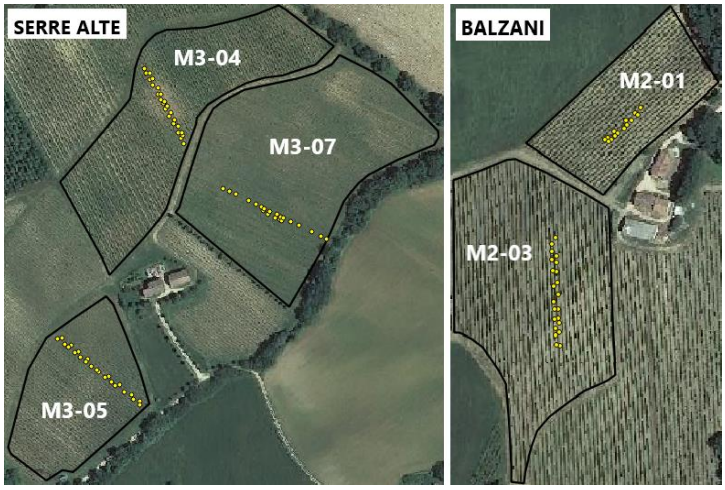


Figura 2-5: Blocchi vitati nelle zone Matelica 2 (località Balzani) e Matelica 3 (località Serre Alte) con la posizione georeferenziata delle viti campione. Immagine ricavata dal software QGIS

L'analisi della variabilità del vigore dei blocchi vitati oggetto di studio è stata eseguita utilizzando i dati NDVI rilevati in tre date del triennio 2019-2021 (tabella 2-5). Le date a partire dalle quali sono stati calcolati gli indici statistici e geostatistici sono rappresentative della struttura spaziale della variabilità del vigore dei blocchi vitati oggetto di studio.

Tabella 2-5: Date che sono state utilizzate per l'analisi della variabilità del vigore dei blocchi vitati oggetto di studio durante il triennio 2019-2021

ANNO	GIORNO
2019	25 luglio
2020	29 luglio
2021	13 agosto

L'analisi della variabilità del vigore dei blocchi vitati è stata eseguita calcolando i seguenti parametri statistici e geostatistici:

- Coefficiente di Variazione (CV);
- Indice di Moran (MI);
- Indice di Cambardella (C_i);
- Indice di Opportunità tecnica (TO_i).

Il Coefficiente di Variazione (CV) è stato calcolato con il software QGIS, gli indici di Moran (MI) e di Cambardella (C_i) sono stati estrapolati dal software ArcGIS Pro e l'indice di Opportunità tecnica (TO_i) è stato estrapolato dal software GeoFIS attribuendo ai parametri i valori riportati in tabella 2-6.

Tabella 2-6: Valori impiegati per il calcolo dell'indice di Opportunità tecnica (TO_i)

Parametro	**Valore**
Larghezza di applicazione della macchina	1,80 m
Velocità del veicolo	6 km/h
Tempo necessario per modificare il tasso di applicazione	3 s
Imprecisione del sistema di posizionamento	1 m

2.1.3 *Dati di campo*

Nel corso della stagione vegetativa 2020 le viti campione delle diverse zone vitate sono state oggetto di numerosi rilievi al fine di valutarne il comportamento vegetativo e produttivo, i rilievi sono stati effettuati sia al momento della vendemmia che durante la potatura invernale. Nella zona Matelica 1 (località Fogliano) le file che presentano le viti campione sono state raggruppate nel seguente modo:

- Blocco M1-01: 16-20, 31, 36-42, 92-98, 118-128;
- Blocco M1-02: 175-176 e 199-200.

Nella zona Matelica 1 (località Fogliano) sono stati confrontati i valori di diversi parametri del comportamento vegetativo e produttivo (riferiti a ciascun gruppo di filari) ottenuti mediando i dati di potatura e di vendemmia della stagione vegetativa 2020 delle singole viti campione. Nelle zone Matelica 2 (località Balzani) e Matelica 3 (località Serre Alte) sono stati confrontati i valori ottenuti mediando i dati di potatura e di vendemmia della stagione vegetativa 2020 delle singole viti campione situate su due filari adiacenti dei blocchi vitati M2-01, M2-03, M3-04, M3-05 e M3-07.
Nello specifico, nella tesi sono stati esaminati i seguenti aspetti:

- NDVI e comportamento vegetativo

I valori di NDVI rilevati per ciascun pixel su cui ricadono le viti campione sono stati mediati e confrontati con parametri vegetativi come il numero medio di germogli per vite, la quantità

media di tralci potati per vite e il peso medio del tralcio (quest'ultimo valutato come il rapporto tra peso totale dei tralci asportati e numero dei tralci asportati). Il numero di germogli è stato rilevato durante il periodo di vendemmia, mentre la quantità di tralci potati e il peso medio del tralcio sono stati valutati mediante rilievi eseguiti durante la potatura invernale.
I valori di NDVI che sono stati utilizzati fanno riferimento sia al triennio 2019-2021 (media dei valori di NDVI delle tre date estive rappresentative della variabilità del vigore) che al giorno 29 luglio 2020.

- Comportamento produttivo

I parametri produttivi presi in considerazione sono il numero medio di grappoli per vite, il peso medio dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo (valutato come il rapporto tra quantità di uva vendemmiata e numero di grappoli raccolti) e il peso medio dell'acino (valutato come il rapporto tra peso netto totale e numero di acini raccolti).
I dati relativi al comportamento produttivo sono stati rilevati durante la vendemmia 2020.

- Composizione uve

I parametri presi in considerazione per la valutazione della composizione delle uve alla vendemmia sono:

- Concentrazione zuccherina (determinata mediante l'utilizzo del rifrattometro ed espressa come percentuale di solidi solubili);
- Acidità totale (espressa come g/l di acido tartarico);
- pH

I campioni di acini raccolti al momento della vendemmia sono stati trasferiti in laboratorio per essere ammostati, il mosto ottenuto è stato dapprima filtrato e in seguito sottoposto ad analisi al fine di rilevare i diversi parametri di composizione delle uve.

- Indici di equilibrio vegeto-produttivo

Per la valutazione del livello di equilibrio vegeto-produttivo delle chiome sono stati calcolati i seguenti indici:

- Uva / Legno
- Uva / Germoglio

L’indice Uva / Legno è stato calcolato rapportando il peso dell’uva vendemmiata da una vite per il peso del legno di potatura asportato dalla vite stessa. L’indice Uva / Germoglio consente di valutare la produzione media di uva per germoglio ed è stato calcolato rapportando il peso dell’uva vendemmiata da una vite per il numero di germogli contati sulla stessa vite al momento della vendemmia.

2.2 **Risultati e discussione**

2.2.1 *Mappe di vigore*

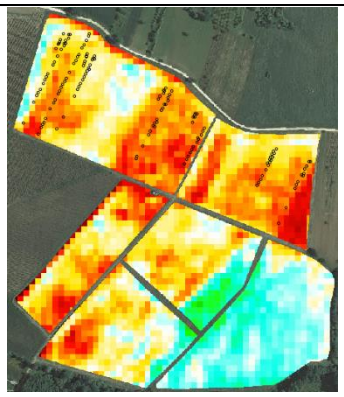
Le mappe di vigore ottenute dall'elaborazione dei dati registrati nel biennio 2019-20 da Sentinel-2 verranno presentate ed analizzate separatamente per le tre località.

- Matelica 1 (località Fogliano)

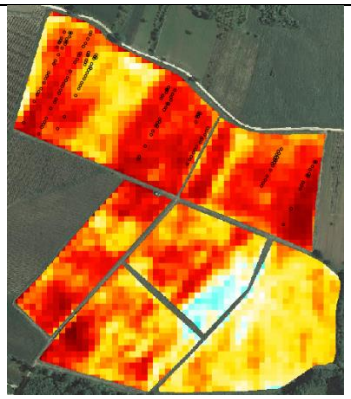
I valori di NDVI del biennio 2019-20 ottenuti nei diversi blocchi della zona di Matelica 1 sono riportati nelle figure 2-6, 2-7, 2-8 e 2-9 e ci permettono di fare le prime considerazioni sull'evoluzione della copertura vegetale e sul suo stato di sviluppo. Nel gennaio 2019 l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare bassi valori di NDVI per quasi tutti i blocchi vitati, fatta eccezione per il blocco in basso a destra (M1-05) e per una piccola parte dei due blocchi ad esso adiacenti (M1-04 e M1-06); che mostrano un livello di copertura vegetale medio associato ad un discreto sviluppo vegetativo delle specie erbacee presenti nello spazio interfilare (figura 2-6). Nel febbraio 2019 i valori di NDVI hanno subito un generale abbassamento, segno di una riduzione del grado di copertura vegetale delle piante nell'interfilare. Nei mesi di marzo e aprile 2019, periodo in cui lo sviluppo vegetativo della vite non è ancora iniziato o è ai suoi albori, si è verificato un aumento dei valori di NDVI rispetto al mese di febbraio e si è confermata la presenza di una maggiore copertura vegetale connotata da uno sviluppo vegetativo superiore nei blocchi situati nella parte in basso a destra (M1-04, M1-05 e M1-06).

Nel mese di giugno 2019, periodo in cui la crescita dei germogli di vite ha di norma raggiunto o superato il 70% della sua dimensione finale, i valori di NDVI hanno subito un generale incremento in quasi tutti i blocchi, fatta eccezione per i due blocchi situati in basso a destra (M1-05 e M1-06). Questa condizione è da ascriversi ad interventi di gestione dell'interfilare che hanno portato a ridurre lo sviluppo delle specie erbacee al fine di limitare la competizione idrica e nutrizionale che esse esercitano nei confronti della vite.

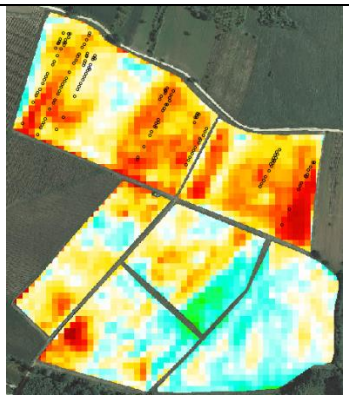
Nell'estate 2019, nei mesi di luglio e agosto (figura 2-7), si è verificato un generale incremento dei valori di NDVI che testimoniano la presenza di una copertura vegetale di livello medio e talora elevato nei blocchi posti in basso a sinistra (M1-03, M1-04 e M1-06). Si nota anche la presenza di aree a vigore variabile all'interno dei diversi blocchi vitati con gradi di aggregazione percepibili anche visivamente. Nel mese di settembre 2019, i valori di NDVI rimangono a livelli generalmente medi o medio-alti; fatta eccezione per il blocco in basso a destra (M1-05). La situazione di ottobre 2019 presenta un incremento dei valori NDVI in tutti i blocchi che testimonia una ripresa dello sviluppo vegetativo delle piante interfilare.



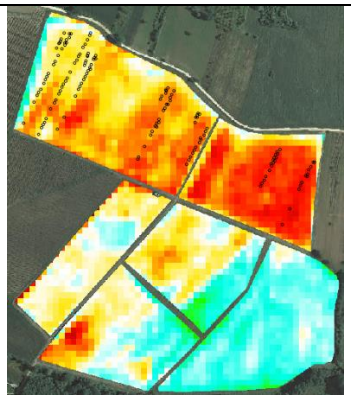
16-01-2019



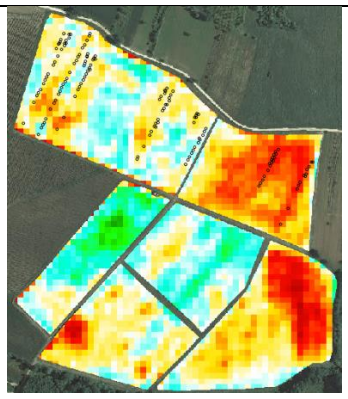
20-02-2019



22-03-2019



16-04-2019



15-06-2019

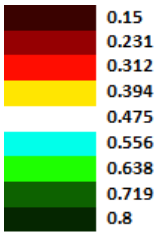


Figura 2-6: Mappe NDVI del periodo tra gennaio e giugno dell'anno 2019 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

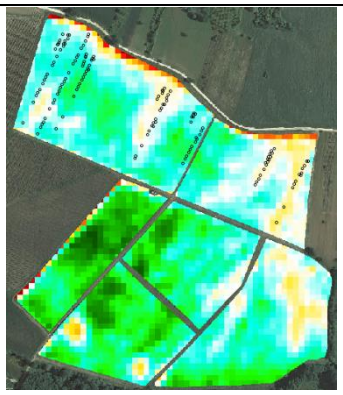
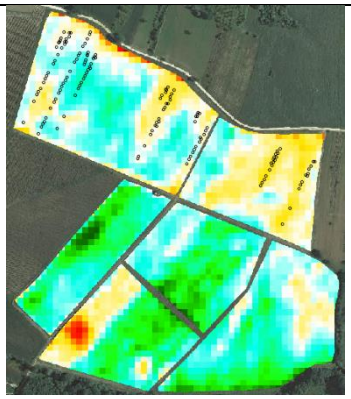
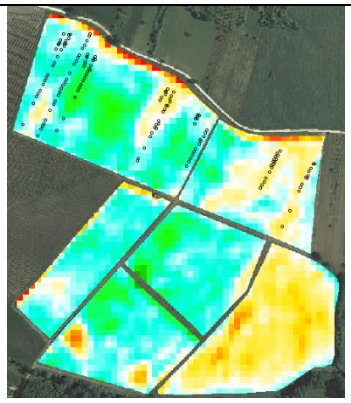
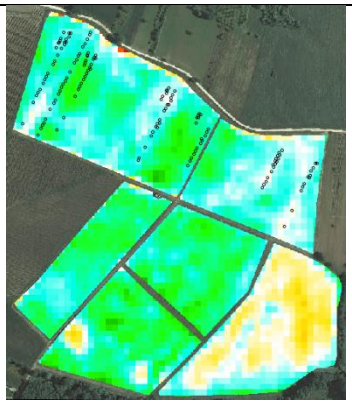
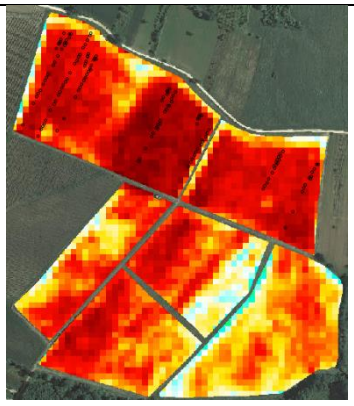
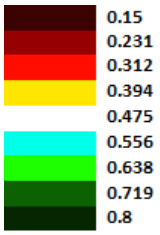
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>25-07-2019</td><td>19-08-2019</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>13-09-2019</td><td>08-10-2019</td></tr>
<tr><td>  </td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>01-01-2020</td></tr>
</table>

Figura 2-7: Mappe NDVI del periodo tra luglio 2019 e gennaio 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

Nel gennaio 2020 i valori di NDVI sono risultati molto bassi in tutti i blocchi tranne in una piccola porzione del blocco in basso a destra (M1-05) e in quello centrale ad esso adiacente (M1-04). Questi bassi valori segnalano la presenza di una modesta copertura vegetale nell'interfilare ed un altrettanto contenuto sviluppo vegetativo (figura 2-7).
I dati di febbraio 2020 sono stati molto simili a quelli del mese precedente, mentre a marzo 2020 si è registrato un generale incremento dei valori di NDVI a testimonianza di una ripresa vegetativa delle specie erbacee presenti nell'interfilare in quanto il germogliamento della vite è avvenuto successivamente (figura 2-8).
Nel mese di aprile 2020 è continuato l'incremento dei valori di NDVI che ha interessato tutti i blocchi vitati oggetto di studio ed in particolare i blocchi posti in basso (M1-03, M1-04, M1-05 e M1-06). Nello stesso periodo i due blocchi in alto (M1-01 e M1-02) hanno presentato livelli di NDVI più bassi e caratterizzati da una certa variabilità al loro interno.
Nei mesi di aprile e giugno dell'anno 2020 nel blocco centrale (M1-04) è possibile osservare la presenza di una striscia con valori di NDVI più alti rispetto alle zone circostanti. Le verifiche fatte con il tecnico dell'azienda ci hanno permesso di individuare la fonte di questa variabilità nella presenza di una prova di inerbimento con trifoglio bianco (*Trifolium repens* L.) che l'azienda aveva messo in atto a partire dal 2019. Nel mese di giugno, inoltre, si è notato un abbassamento dei valori di NDVI che ha interessato unicamente il blocco in basso a destra (M1-05), evento che si era registrato anche nell'anno precedente (confronta figura 2-8 e 2-6).
Nel mese di luglio 2020 i valori di NDVI sono aumentati nei blocchi in alto a sinistra (M1-01) e in basso a destra (M1-05), mentre si sono abbassati nei blocchi in basso a sinistra (M1-03) e al centro (M1-04 e M1-06); quest'ultima variazione è verosimilmente ascrivibile ad interventi di gestione del suolo volti al contenimento delle essenze erbacee dell'interfilare.
Nel mese di agosto 2020 (figura 2-9) i valori di NDVI sono stati molto simili a quelli del mese di luglio, così come la struttura spaziale della variabilità. Nel caso del blocco in basso a sinistra (M1-03), pur permanendo una struttura spaziale della variabilità simile a quella del mese precedente, si è registrato un incremento dei valori di NDVI da ascriversi verosimilmente ad uno sviluppo più accentuato delle erbe presenti nell'interfilare. La struttura spaziale della variabilità registrata nel mese di settembre 2020 è molto simile a quella dei mesi di luglio e agosto, tuttavia nel mese di settembre rispetto al mese precedente si osserva un calo dei valori di NDVI che risulta più accentuato nei blocchi in basso a destra (M1-05) e in basso (M1-06).
Infine, come avvenuto nell'anno 2019, anche nell'anno 2020 si registra per il mese di ottobre un incremento dei valori di NDVI che interessa tutti i blocchi vitati oggetto di studio.

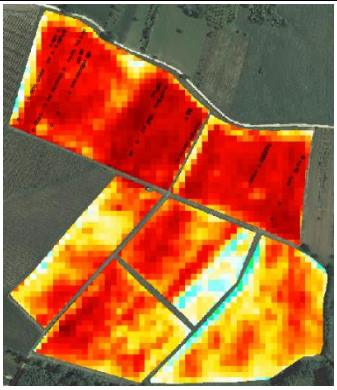
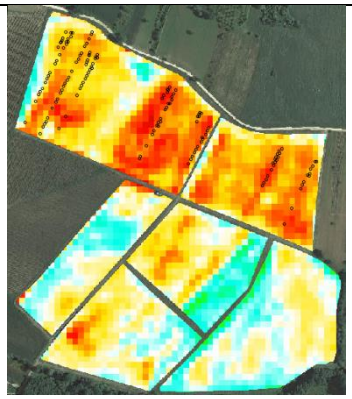
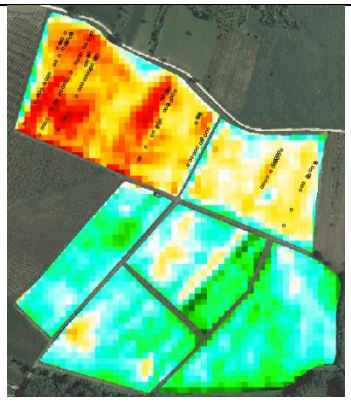
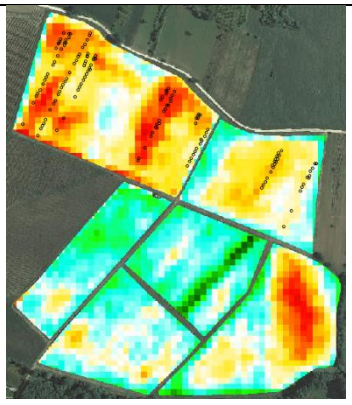
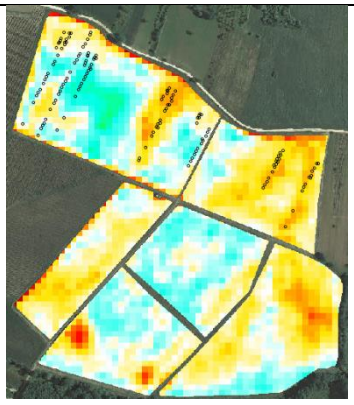
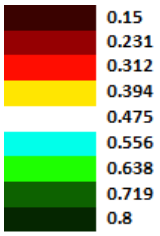
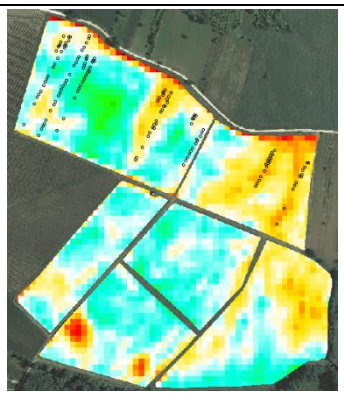
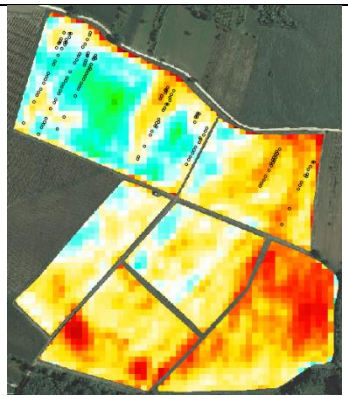
	
20-02-2020	21-03-2020
	
25-04-2020	24-06-2020
	
24-07-2020	

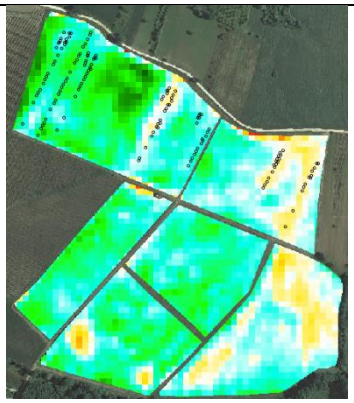
Figura 2-8: Mappe NDVI del periodo tra febbraio e luglio dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS



13-08-2020



12-09-2020



22-10-2020

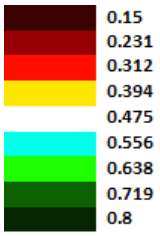


Figura 2-9: Mappe NDVI del periodo tra agosto e ottobre dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 1 in località Fogliano con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

- Matelica 2 (località Balzani)

I valori di NDVI del biennio 2019-20 ottenuti nei diversi blocchi della zona di Matelica 2 sono riportati nelle figure 2-10, 2-11, 2-12 e 2-13.

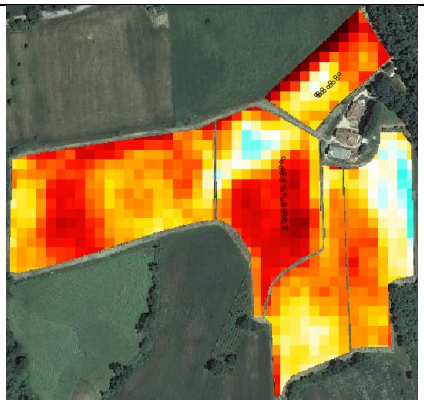
Nel mese di gennaio 2019 l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare bassi valori di NDVI per quasi tutti i blocchi vitati, fatta eccezione per la porzione alta del blocco centrale (M2-03) e per la porzione alta del blocco in basso a destra (M2-05) che mostrano un livello di copertura vegetale medio associato ad un discreto sviluppo vegetativo delle specie erbacee presenti nello spazio interfilare (figura 2-10). Nel febbraio 2019 i valori di NDVI hanno subito un generale abbassamento; il che denota una riduzione del grado di copertura vegetale delle piante dell'interfilare. Nel mese di marzo 2019, rispetto al mese precedente, si osserva un incremento dei valori di NDVI in tutti i blocchi vitati. Questo incremento è dovuto al maggiore sviluppo vegetativo della copertura vegetale presente nell'interfilare.

Nell'aprile 2019, rispetto al mese precedente, nel blocco a sinistra (M2-02) si osserva un incremento dei valori di NDVI. Viceversa, nei blocchi in alto (M2-01), in basso (M2-04) e nella porzione alta del blocco centrale (M2-03) e del blocco in basso a destra (M2-05) si registra un calo dei valori di NDVI.

Nel mese di giugno 2019 si registra un incremento dei valori di NDVI in quasi tutti i blocchi vitati, fatta eccezione per il blocco a sinistra (M2-02) dove si osserva un lieve calo dell'NDVI.

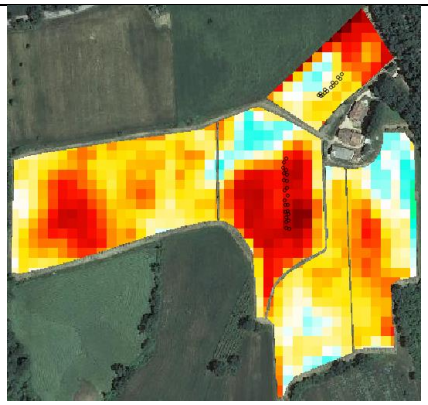
Nel mese di luglio 2019 nei blocchi vitati in alto (M2-01) e a sinistra (M2-02) si osserva un incremento dei valori di NDVI, mentre negli altri blocchi si registra un abbassamento dei valori di NDVI (figura 2-11). Nei mesi di agosto e settembre dell'anno 2019 i valori di NDVI e la struttura spaziale della variabilità dei blocchi vitati risultano molto simili a quelli rilevati per il mese di luglio. In questi mesi estivi si nota molto la presenza di aree a vigore variabile all'interno dei diversi blocchi vitati con gradi di aggregazione percepibili anche visivamente.

La situazione di ottobre 2019 presenta un incremento dei valori di NDVI in tutti i blocchi dovuto ad una ripresa dello sviluppo vegetativo delle piante interfilare. In particolare, nella porzione bassa del blocco in alto (M2-01) si osservano alti valori di NDVI che denotano la presenza di una copertura vegetale alta associata a livelli di elevato sviluppo vegetativo.

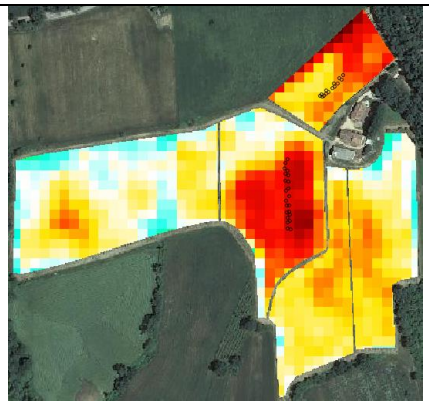


16-01-2019

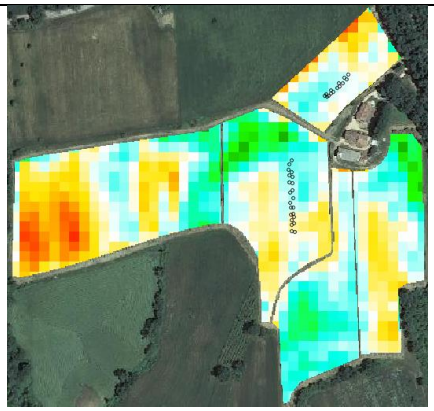
20-02-2019



22-03-2019



16-04-2019



15-06-2019

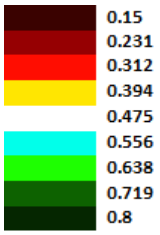
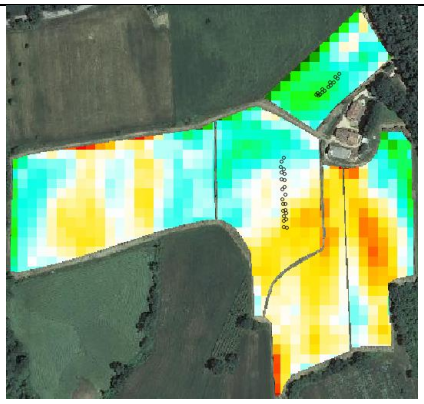
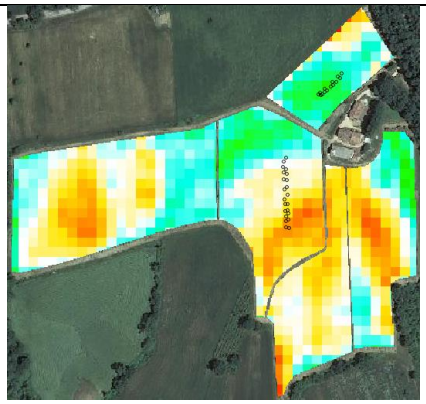


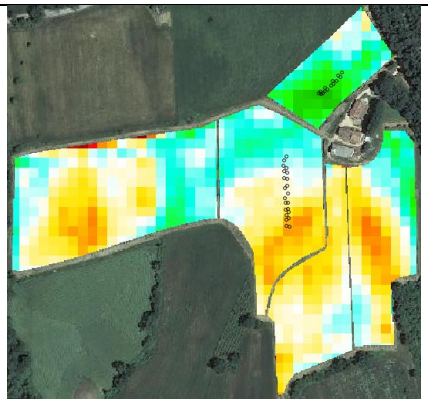
Figura 2-10: Mappe NDVI del periodo tra gennaio e giugno dell'anno 2019 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS



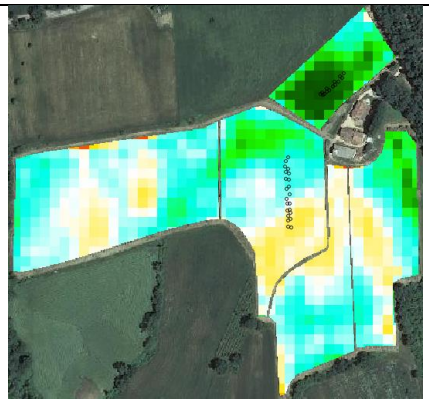
25-07-2019



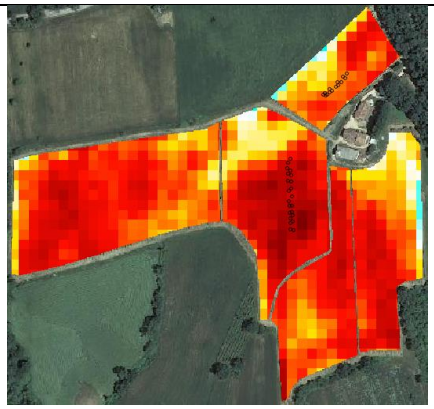
19-08-2019



13-09-2019



08-10-2019



01-01-2020

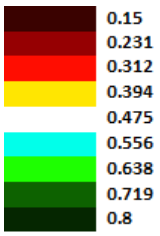


Figura 2-11: Mappe NDVI del periodo tra luglio 2019 e gennaio 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

Nel mese di gennaio 2020 i valori di NDVI sono risultati molto bassi in tutti i blocchi vitati; il che denota la presenza di una scarsa copertura vegetale nell'interfilare caratterizzata da un limitato sviluppo vegetativo (figura 2-11). Nei mesi di febbraio e marzo dell'anno 2020 si osserva un incremento dei valori di NDVI in tutti i blocchi vitati, l'aumento è dovuto alla ripresa vegetativa delle specie erbacee presenti nell'interfilare (figura 2-12).

Nell'aprile 2020 si osserva, in tutti i blocchi vitati, un abbassamento complessivo dei valori di NDVI che testimoniano la presenza di una copertura vegetale bassa e medio-bassa. Questa condizione è da ascriversi ad interventi di gestione dell'interfilare che hanno ridotto lo sviluppo delle essenze erbacee.

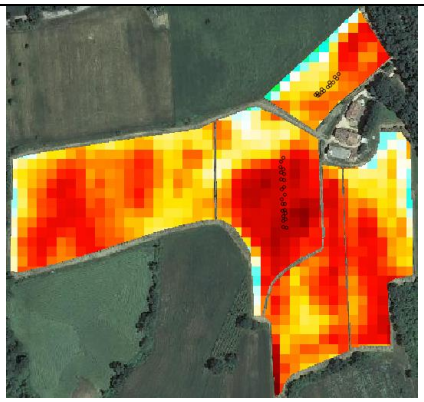
Nel mese di giugno 2020 si osserva un nuovo incremento dei valori di NDVI che interessa tutti i blocchi vitati e che testimonia la presenza di una copertura vegetale di livello medio e, in alcune porzioni, medio-alto.

Nel mese di luglio 2020 nei blocchi in alto (M2-01), al centro (M2-03) e in basso a destra (M2-05) si osserva un aumento dei valori di NDVI, nel blocco a sinistra (M2-02) si osserva invece un lieve calo dei valori di NDVI mentre nel blocco in basso i valori di NDVI rimangono pressoché simili a quelli registrati nel mese precedente.

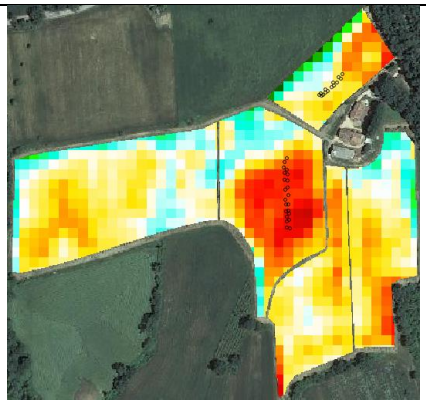
Nel mese di agosto 2020 si osserva, rispetto al mese precedente, un abbassamento dei valori di NDVI che interessa tutti i blocchi vitati. Questo calo è verosimilmente ascrivibile ad interventi di gestione dell'interfilare (figura 2-13).

Settembre 2020 risulta molto simile al mese precedente in termini di struttura spaziale della variabilità, mentre per quanto riguarda l'indice NDVI si osserva una riduzione dei valori che interessa la zona di basso vigore situata a cavallo dei blocchi vitati situati al centro (M2-03), in basso (M2-04) e in basso a destra (M2-05). Inoltre, i mesi di luglio, agosto e settembre dell'anno 2020 rilevano una struttura spaziale della variabilità molto simile a quella osservata negli stessi periodi dell'anno precedente.

Come registrato nell'anno 2019, anche per il mese di ottobre 2020 si osserva un incremento dei valori di NDVI in tutti i blocchi dovuto ad una ripresa dello sviluppo vegetativo delle piante interfilare. In particolare, nel blocco vitato situato in alto (M2-01) si osservano dei valori di NDVI che testimoniano la presenza di una copertura vegetale alta associata a livelli di elevato sviluppo vegetativo.

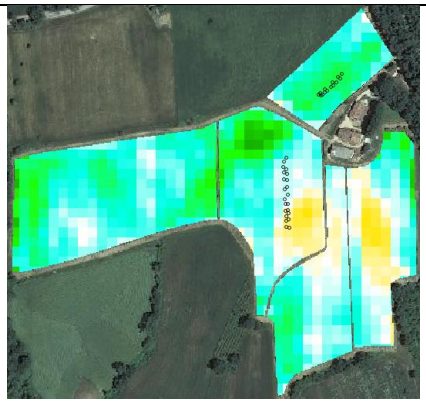


20-02-2020

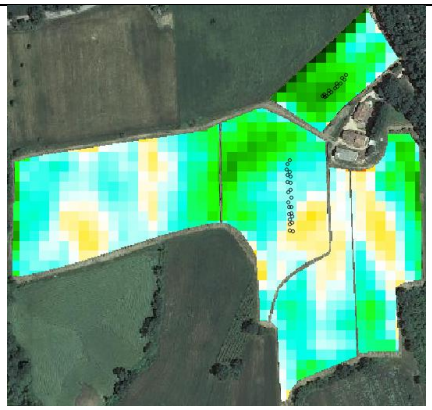


21-03-2020

25-04-2020



24-06-2020



24-07-2020

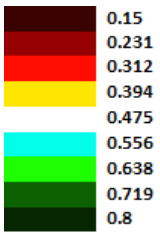
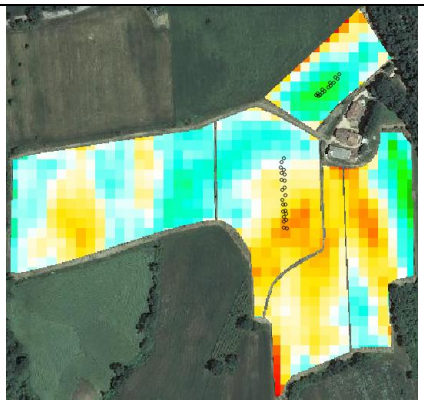
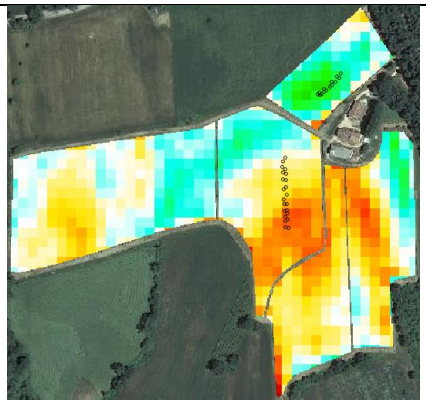


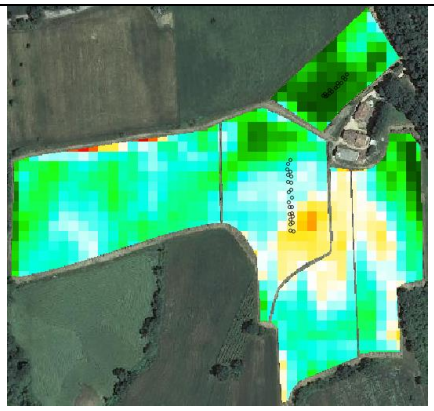
Figura 2-12: Mappe NDVI del periodo tra febbraio e luglio dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS



13-08-2020



12-09-2020



22-10-2020

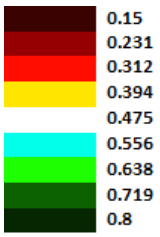


Figura 2-13: Mappe NDVI del periodo tra agosto e ottobre dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 2 in località Balzani con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

- Matelica 3 (località Serre Alte)

I valori di NDVI del biennio 2019-20 ottenuti nei diversi blocchi della zona Matelica 3 sono riportati nelle figure 2-14, 2-15, 2-16 e 2-17.

Nel mese di gennaio 2019 l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare valori medi di NDVI in tutti i blocchi vitati della zona centrale e alta di Matelica 3, mentre per quanto riguarda i nuovi impianti (tre blocchi in basso) si osservano bassi valori di NDVI nella zona centrale del blocco in basso a sinistra (M3-08), medi valori di NDVI nel blocco in basso (M3-09) e alti valori di NDVI nel blocco in basso a destra (M3-10). In quest'ultimo blocco i valori di NDVI denotano la presenza di una copertura vegetale alta associata a livelli di elevato sviluppo vegetativo (figura 2-14).

Nel mese di febbraio 2019 i valori di NDVI hanno subito un generale abbassamento in tutti i blocchi vitati, segno di una riduzione del grado di copertura vegetale delle piante nell'interfilare.

Nei mesi di marzo e aprile dell'anno 2019 si osserva un incremento dei valori di NDVI in tutti i blocchi della zona centrale e alta. In particolare, nel mese di aprile 2019 nei blocchi a sinistra (M3-03 e M3-05) si osservano alti valori di NDVI che testimoniano la presenza di una copertura vegetale alta associata a livelli di elevato sviluppo vegetativo. Nello stesso periodo nei blocchi in basso (M3-08, M3-09 e M3-10) si osservano bassi valori di NDVI e questa condizione è da ascriversi ad interventi di contenimento delle specie erbacee nell'interfilare.

Nel mese di giugno 2019 nei blocchi della zona centrale e alta si osserva un abbassamento dei valori di NDVI, questo calo è verosimilmente attribuito ad interventi di gestione dell'interfilare volti al contenimento delle essenze erbacee.

Nel luglio 2019, rispetto al mese precedente, si osserva un incremento dei valori di NDVI che interessa tutti i blocchi vitati, fatta eccezione per il blocco in alto a sinistra (M3-02) (figura 2-15). I blocchi vitati in basso (M3-08, M3-09 e M3-10) passano da una situazione di copertura vegetale molto bassa (giugno 2019) ad una copertura vegetale media (luglio 2019).

Nei due mesi successivi (agosto e settembre 2019) si osserva un abbassamento dei valori di NDVI in tutti i blocchi vitati e nel mese di ottobre 2019 si registra un nuovo incremento dei valori di NDVI che testimonia una ripresa dello sviluppo vegetativo delle piante interfilare.

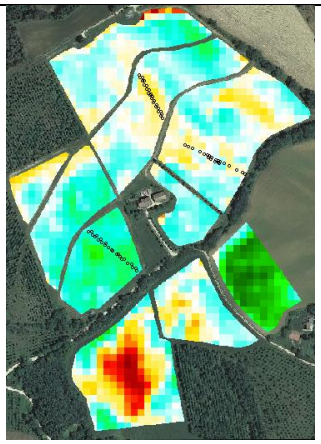
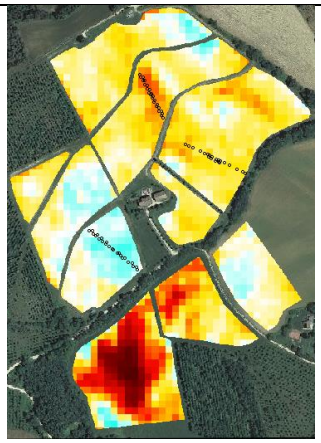
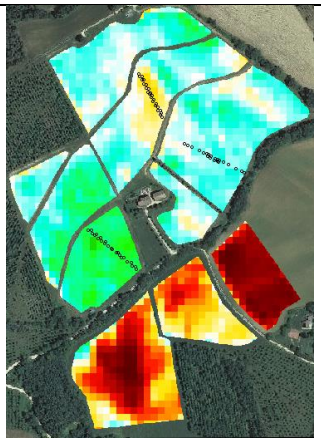
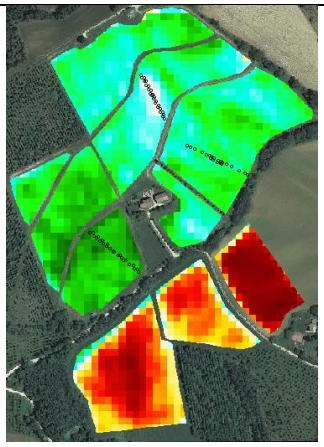
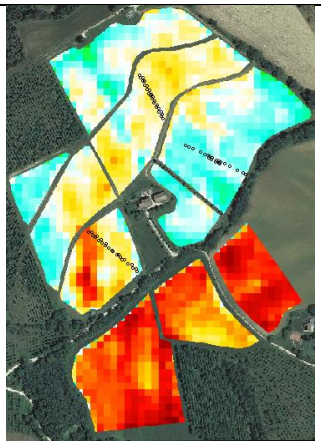
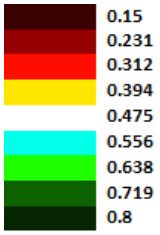
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>16-01-2019</td><td>20-02-2019</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>22-03-2019</td><td>16-04-2019</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>15-06-2019</td><td></td></tr>
</table>

Figura 2-14: Mappe NDVI del periodo tra gennaio e giugno dell'anno 2019 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

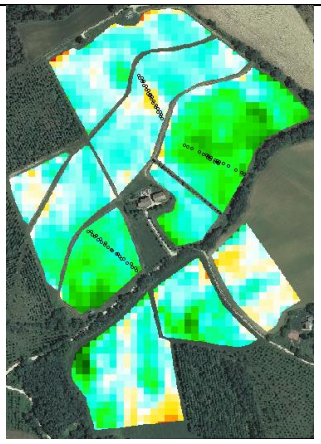
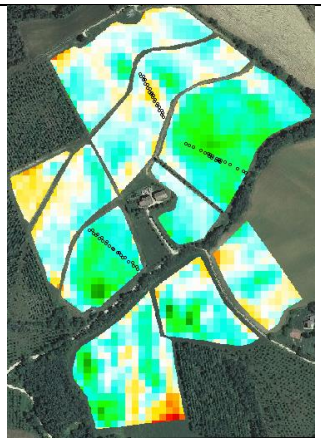
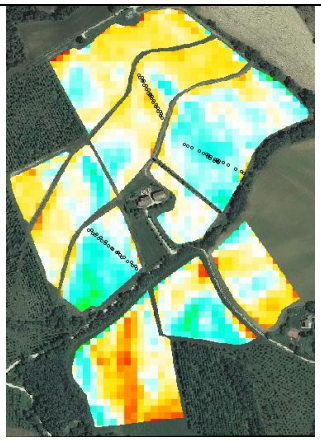
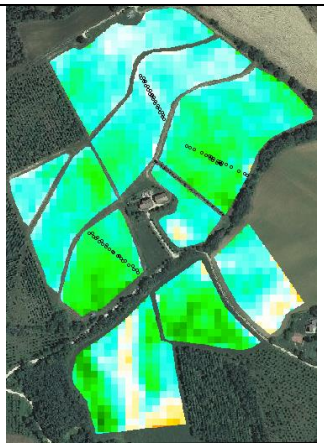
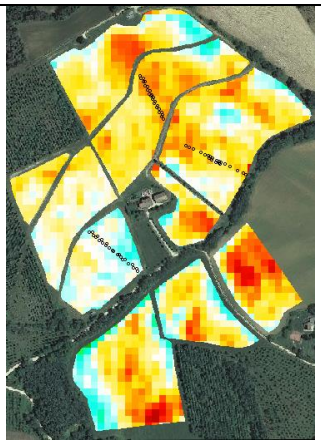
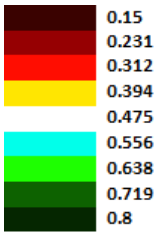
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>25-07-2019</td><td>19-08-2019</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>13-09-2019</td><td>08-10-2019</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>01-01-2020</td><td></td></tr>
</table>

Figura 2-15: Mappe NDVI del periodo tra luglio 2019 e gennaio 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

Nel mese di gennaio 2020 si osservano valori medio-bassi di NDVI in quasi tutti i blocchi vitati e in particolare in alcune porzioni dei blocchi in alto (M3-01), al centro (M3-06) e in basso (M3-08 e M3-10) si osservano delle zone che rilevano bassi valori di NDVI (figura 2-15).

Nel mese di febbraio 2020, rispetto al mese precedente, si osserva un lieve incremento dei valori di NDVI nei blocchi a sinistra (M3-02, M3-03 e M3-05) e in alto (M3-01, M3-04 e M3-07), mentre nei blocchi in basso a destra (M3-09 e M3-10) si osserva un abbassamento dei valori di NDVI e nel caso del blocco centrale (M3-06) e del blocco in basso a sinistra (M3-08) i valori di NDVI rimangono pressoché simili a quelli registrati nel mese precedente (figura 2-16).

Come rilevato nell'anno 2019, anche nel marzo 2020 si osserva un incremento dei valori di NDVI che interessa quasi tutti i blocchi vitati fatta eccezione per quelli in basso (M3-08, M3-09 e M3-10) in cui si osserva un abbassamento dei valori a seguito di interventi volti al contenimento delle specie erbacee nell'interfilare.

A partire da aprile 2020 si verifica un incremento dei valori di NDVI che si protrae fino al mese di giugno dove nei blocchi vitati si osservano alti valori di NDVI che testimoniano la presenza di una copertura vegetale alta associata a livelli di elevato sviluppo vegetativo. Nello stesso periodo, nel blocco in basso a destra (M3-10) si osservano valori medi di NDVI mentre nei blocchi in basso a sinistra (M3-08 e M3-09) si osservano valori di NDVI medio-alti.

Nel mese di luglio 2020 si rileva un abbassamento dei valori di NDVI in tutti i blocchi vitati, questo calo è verosimilmente ascrivibile ad interventi di gestione del suolo finalizzati al contenimento delle essenze erbacee dell'interfilare.

Nell'agosto 2020 i valori di NDVI rimangono pressoché simili a quelli osservati nel mese precedente, fatta eccezione per i blocchi in alto (M3-01) e in alto a sinistra (M3-02 e M3-03) dove si rilevano lievi abbassamenti dei valori di NDVI e nel caso del blocco a sinistra (M3-05) si osserva un lieve aumento dei valori di NDVI (figura 2-17).

Rispetto al mese precedente, nel settembre 2020 nei blocchi vitati in alto (M3-01 e M3-04) e in basso a sinistra (M3-08) si osserva un abbassamento dei valori di NDVI, mentre nel blocco a sinistra (M3-05) si osserva un lieve aumento dei valori di NDVI. In tutti gli altri blocchi vitati i valori di NDVI rimangono simili a quelli osservati nel mese precedente.

Come osservato nell'anno 2019, anche la situazione di ottobre 2020 presenta un incremento dei valori di NDVI che testimonia una ripresa dello sviluppo vegetativo delle piante interfilare in tutti i blocchi della zona Matelica 3.

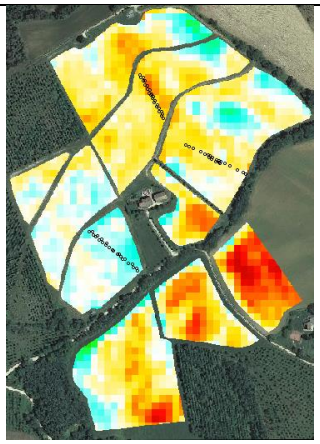
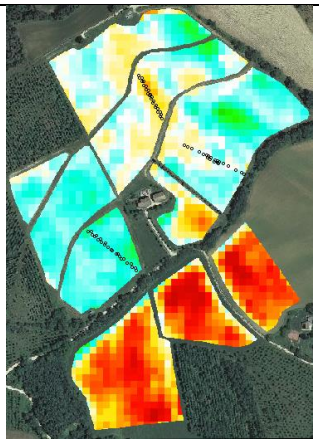
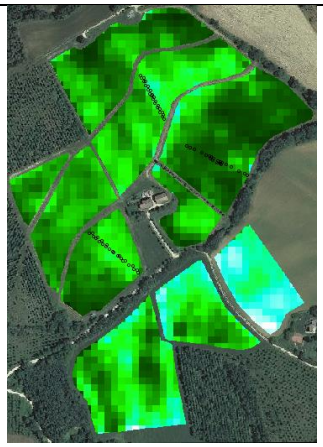
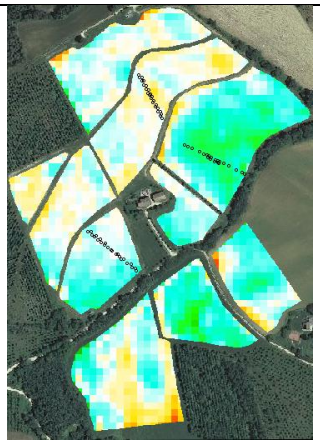
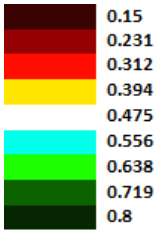
	
20-02-2020	21-03-2020
	
25-04-2020	24-06-2020
	
24-07-2020	

Figura 2-16: Mappe NDVI del periodo tra febbraio e luglio dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

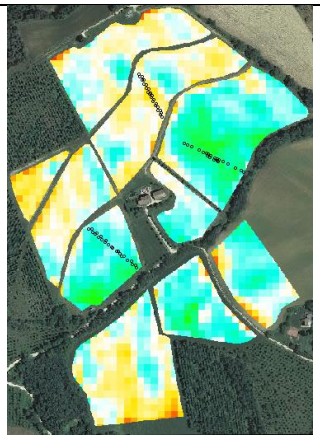
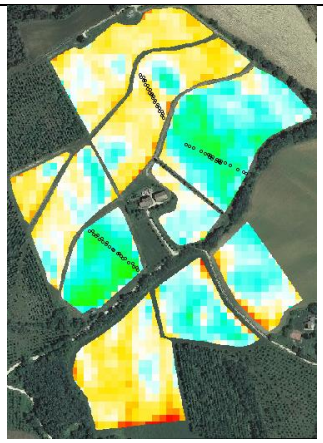
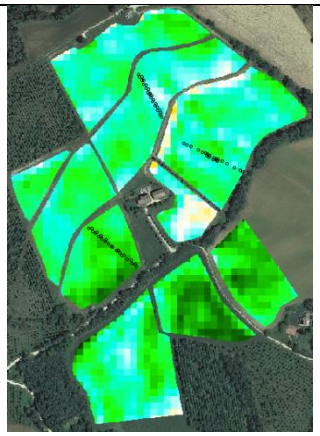
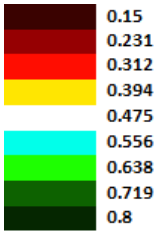
	
13-08-2020	12-09-2020
	
22-10-2020	

Figura 2-17: Mappe NDVI del periodo tra agosto e ottobre dell'anno 2020 dei blocchi vitati di Verdicchio nella zona Matelica 3 in località Serre Alte con la posizione georeferenziata delle viti campione. Mappe ottenute mediante il software QGIS

2.2.2 *Evoluzione NDVI*

Quando si studia l'evoluzione temporale dell'indice NDVI è importante effettuare le seguenti considerazioni di carattere generale:

- Dal giorno 1 (1 gennaio) al giorno 90 (31 marzo) i valori di NDVI rilevati per ciascun pixel fanno riferimento esclusivamente all'eventuale presenza di una copertura vegetale nell'interfilare, dato che il Verdicchio a Matelica inizia il germogliamento tra la fine di marzo e la metà di aprile;
- Durante il mese di aprile la chioma delle viti di Verdicchio a Matelica presenta una dimensione limitata sia in altezza sia in larghezza e quindi ha una scarsa influenza sul valore di NDVI rilevato per ciascun pixel;
- L'influenza della chioma della vite sul valore di NDVI si può considerare rilevante nel caso del verdicchio a Matelica solo a partire dal giorno 120 (30 aprile).

Di seguito viene riportata una serie di grafici che mostrano l'evoluzione temporale dell'NDVI medio durante il biennio 2019-20 dei blocchi vitati in cui ricadono le viti campione che sono state usate per la validazione a terra e per lo studio delle relazioni tra NDVI e parametri vegetativi, produttivi e qualitativi.
Per valutare se i valori medi di NDVI rilevati nei diversi blocchi vitati di una determinata zona presentano delle differenze statisticamente significative sono stati effettuati i seguenti test statistici:

- Test z (per i blocchi vitati delle zone Matelica 1 e Matelica 2);
- Analisi della varianza o ANOVA (per i blocchi vitati della zona Matelica 3).

- Matelica 1 (località Fogliano)

All'inizio dell'anno 2019 (16 gennaio 2019) l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare per i blocchi M1-01 e M1-02 dei valori di NDVI rispettivamente di 0,39 e 0,36 (figura 2-18).
Dal giorno 16 (16 gennaio 2019) i valori di NDVI tendono a diminuire in entrambi i blocchi vitati, questo calo si protrae fino al giorno 51 (20 febbraio 2019) dove nei blocchi M1-01 e M1-02 si rilevano dei valori di NDVI rispettivamente di 0,33 e 0,31.
Dal giorno 51 (20 febbraio 2019) in entrambi i blocchi vitati si verifica un incremento dei valori di NDVI e nel giorno 71 (12 marzo 2019) nei blocchi M1-01 e M1-02 si rilevano dei valori rispettivamente di 0,39 e 0,36.

Nel blocco M1-01 l'NDVI si mantiene costante fino al giorno 106 (16 aprile 2019) e in seguito subisce un calo che si protrae fino al giorno 156 (5 giugno 2019) dove viene raggiunto il valore minimo (0,29) per il blocco. Nel blocco M1-02 l'NDVI diminuisce a partire dal giorno 81 (22 marzo 2019) e nel giorno 156 (5 giugno 2019) viene raggiunto il valore minimo (0,26) per il blocco.

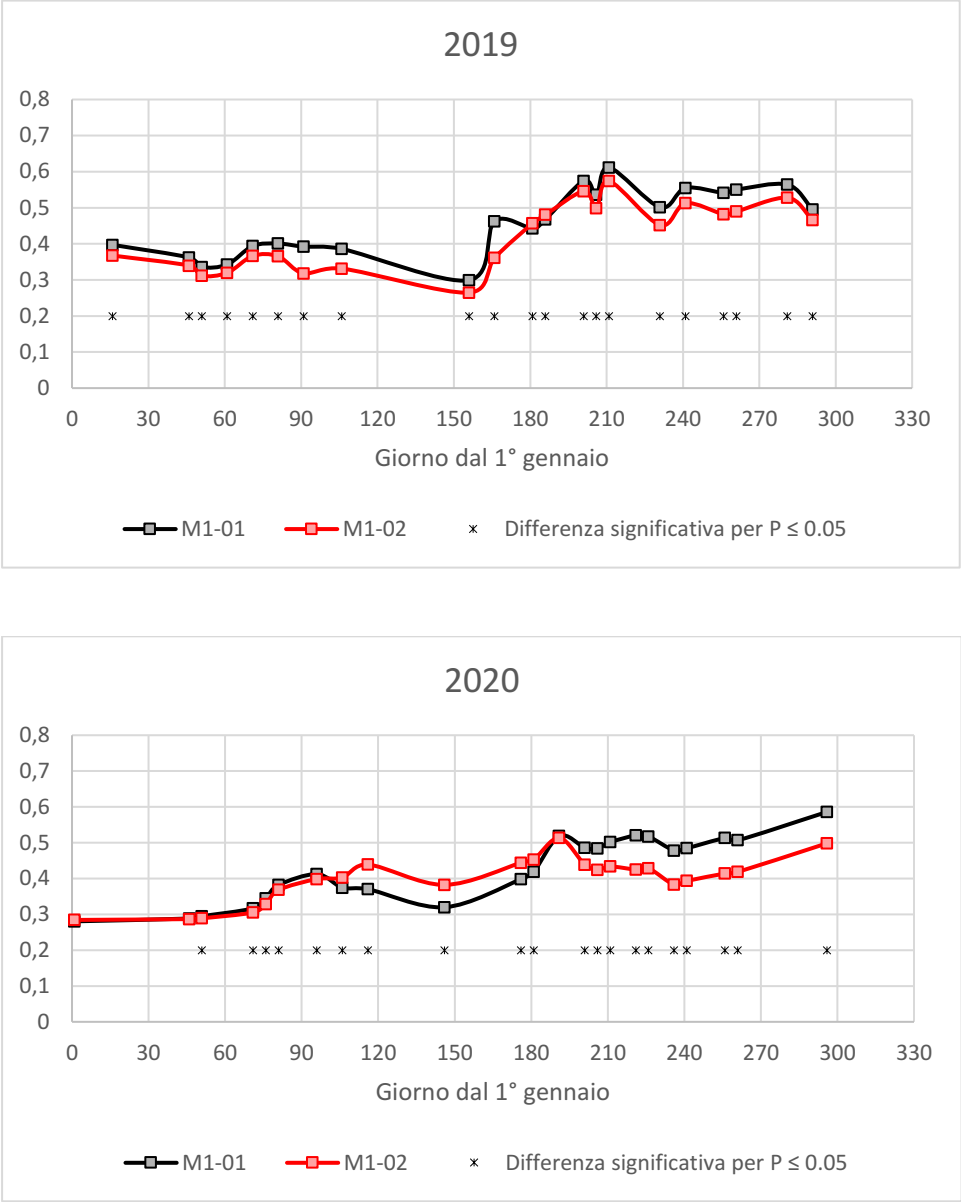


Figura 2-18: Dinamica temporale dell'indice NDVI nel biennio 2019-20 per due blocchi vitati (M1-01 e M1-02) nella zona Matelica 1 in località Fogliano. I valori di NDVI sono stati ricavati dalle immagini multispettrali registrate da Sentinel-2 per l'intero blocco

A partire dal giorno 156 (22 marzo 2019) in entrambi i blocchi vitati si verifica un incremento dei valori di NDVI. Nello specifico, nel blocco M1-02 i valori di NDVI aumentano fino al giorno 201 (20 luglio 2019) dove viene rilevato un valore di 0,54. In seguito, nel giorno 206 (25 luglio 2019) si osserva un lieve calo dell'NDVI e nel giorno 211 (30 luglio 2019) viene rilevato il valore massimo di NDVI (0,57) per il blocco M1-02. Per quanto riguarda il blocco M1-01, il valore di NDVI aumenta fino al giorno 166 (15 giugno 2019) quando si rileva un valore di 0,46; nei successivi 15 giorni, si verifica un lieve calo dei valori di NDVI e a partire dal giorno 181 (30 giugno 2019) i valori di NDVI aumentano nuovamente fino al giorno 201 (20 luglio 2019), quando si registra un valore di 0,57. Nel giorno 206 (25 luglio 2019) nel blocco M1-01 si rileva un lieve calo dei valori di NDVI, a questo calo segue un nuovo aumento e nel giorno 211 (30 luglio 2019) l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare il valore massimo di NDVI (0,61) per il blocco M1-01.

Dal giorno 211 (30 luglio 2019) al giorno 231 (19 agosto 2019) in entrambi i blocchi si verifica un abbassamento dei valori di NDVI, a questo calo segue un lieve incremento dell'NDVI e nel giorno 241 (29 agosto 2019) nei blocchi M1-01 e M1-02 si registrano dei valori rispettivamente di 0,55 e 0,51.

In seguito, l'NDVI tende a rimanere costante fino al giorno 281 (8 ottobre 2019) e nel giorno 291 (18 ottobre 2019) i valori di NDVI rilevati in entrambi i blocchi risultano poco inferiori a 0,5.

Dal primo giorno dell'anno 2020 (1 gennaio 2020) al giorno 46 (15 febbraio 2020) nei due blocchi vitati oggetto di studio non si rilevano differenze statisticamente significative dei valori medi di NDVI che risultano lievemente inferiori a 0,3 (figura 2-18). In seguito, dal giorno 71 (11 marzo 2020) in entrambi i blocchi vitati si verifica un incremento dei valori di NDVI e nel giorno 96 (5 aprile 2020) i blocchi M1-01 e M1-02 presentano dei valori rispettivamente di 0,41 e 0,39.

A partire dal giorno 96 (5 aprile 2020) nel blocco M1-01 si verifica un calo dell'NDVI che si protrae fino al giorno 146 (25 maggio 2020) quando viene raggiunto un valore di 0,31. Nel blocco M1-02 il calo si verifica a partire dal giorno 116 (25 aprile 2020) e si protrae fino al giorno 146 (25 maggio 2020) quando viene rilevato un valore di NDVI pari a 0,38.

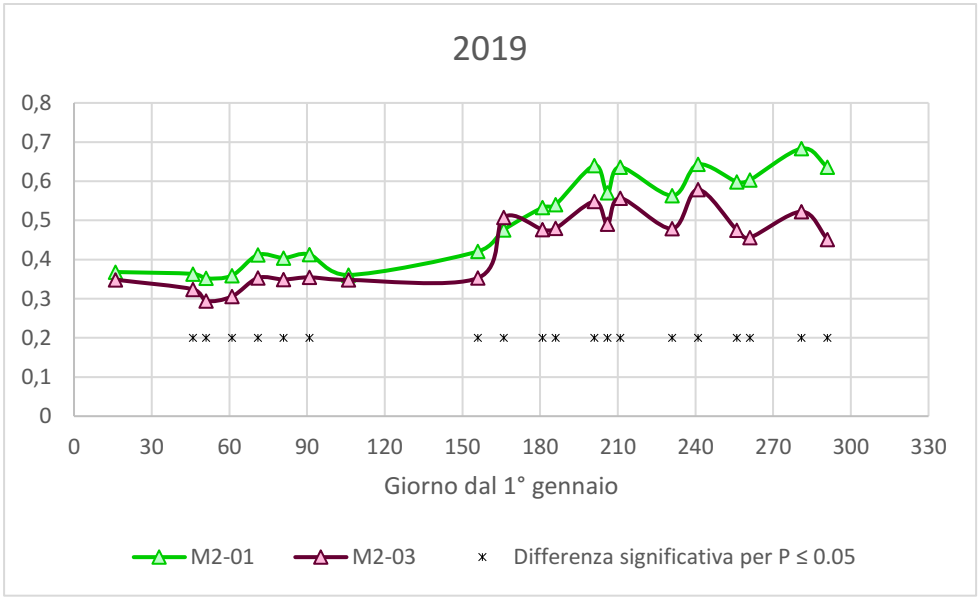
Dal giorno 146 (25 maggio 2020) in entrambi i blocchi vitati si verifica un incremento dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 191 (9 luglio 2020); giorno in cui non si rilevano differenze statisticamente significative dei valori medi di NDVI che risultano di 0,51 sia nel blocco M1-01 che nel blocco M1-02 (quest'ultimo blocco raggiunge il suo valore massimo di NDVI per l'anno 2020).

Dal giorno 191 (9 luglio 2020) al giorno 261 (17 settembre 2020) il blocco M1-01 mantiene, seppure con lieve fluttuazioni, un valore di NDVI quasi costante (circa 0,5). In seguito, dal giorno 261 (17 settembre 2020) nel blocco M1-01 si verifica un aumento dei valori di NDVI e nel giorno 296 (22 ottobre 2020) si raggiunge il valore massimo (0,58) per il blocco.
Nel blocco M1-02, a partire dal giorno 191 (9 luglio 2020) i valori di NDVI tendono a diminuire e questo calo si protrae fino al giorno 236 (23 agosto 2020) dove si registra un valore di 0,38. A questo calo segue un incremento dei valori di NDVI e nel giorno 296 (22 ottobre 2020) l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare per il blocco M1-02 un valore di 0,49.

- Matelica 2 (località Balzani)

Durante il biennio 2019-20 i valori medi di NDVI rilevati nel blocco M2-01 risultano il più delle volte superiori rispetto a quelli rilevati nel blocco M2-03 (figura 2-19).
All'inizio dell'anno 2019, nel giorno 16 (16 gennaio 2019), i blocchi vitati M2-01 e M2-03 non hanno manifestato differenze statisticamente significative e i valori di NDVI rilevati sono rispettivamente di 0,36 e 0,34. Nel blocco M2-01 il valore di NDVI si mantiene costante fino al giorno 61 (2 marzo 2019), in seguito si verifica un lieve incremento dell'NDVI e dal giorno 71 (12 marzo 2019) al giorno 91 (1 aprile 2019) l'NDVI si mantiene stabile con valori intorno a 0,4. Nel giorno 106 (16 aprile 2019) nel blocco M2-01 si osserva un calo dell'NDVI e il valore rilevato è di 0,36.
Il blocco M2-03 all'inizio dell'anno manifesta un lieve calo dell'NDVI che si interrompe il giorno 51 (20 febbraio 2019) dove viene rilevato il valore minimo di NDVI (0,29). Dal giorno 51 (20 febbraio 2019) nel blocco M2-03 si verifica un lieve incremento dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 71 (12 marzo 2019) dove si rileva un valore di 0,35. In seguito, l'NDVI medio (0,35) del blocco M2-03 si mantiene costante fino al giorno 156 (5 giugno 2019).
Nel blocco M2-01 dal giorno 106 (16 aprile 2019) si verifica un incremento dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 201 (20 luglio 2019); giorno in cui l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare un valore di 0,64. Nel blocco M2-03 dal giorno 156 (5 giugno 2019) si verifica un incremento dei valori di NDVI e nel giorno 166 (15 giugno 2019) si rileva un valore di 0,5. A partire dal giorno 201 (20 luglio 2019) nel blocco M2-01 si verifica una fase caratterizzata da fluttuazioni dell'NDVI e nel giorno 281 (8 ottobre 2019) l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare il valore massimo (0,68) per questo blocco.

A partire dal giorno 166 (15 giugno 2019) nel blocco M2-03 si verifica una fase caratterizzata da fluttuazioni dell'NDVI e nel giorno 241 (29 agosto 2019) si rileva il valore massimo (0,57) per il blocco. Nel giorno 291 (18 ottobre 2019) i blocchi M2-01 e M2-03 presentano valori di NDVI rispettivamente di 0,63 e 0,45.



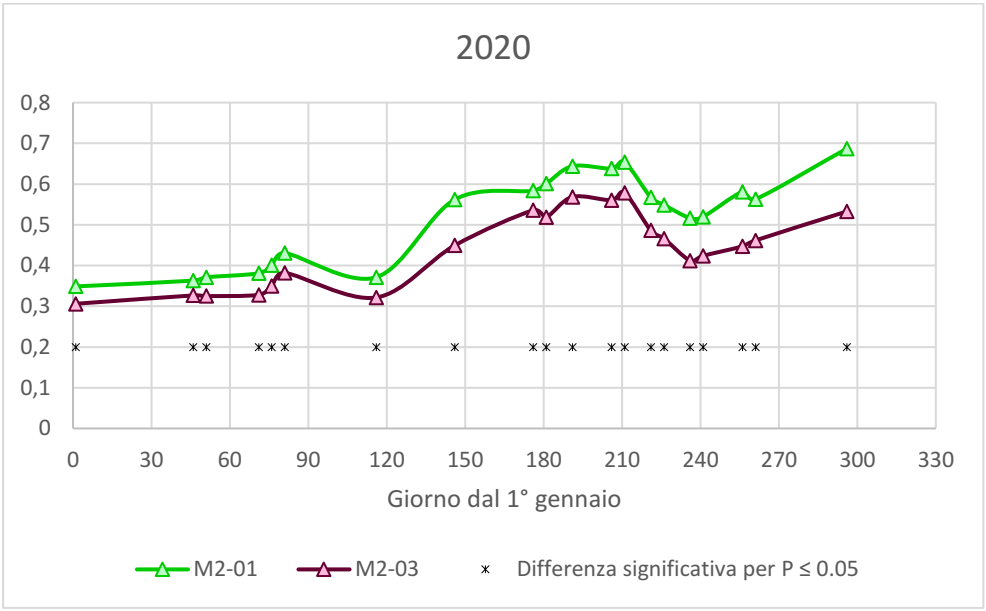
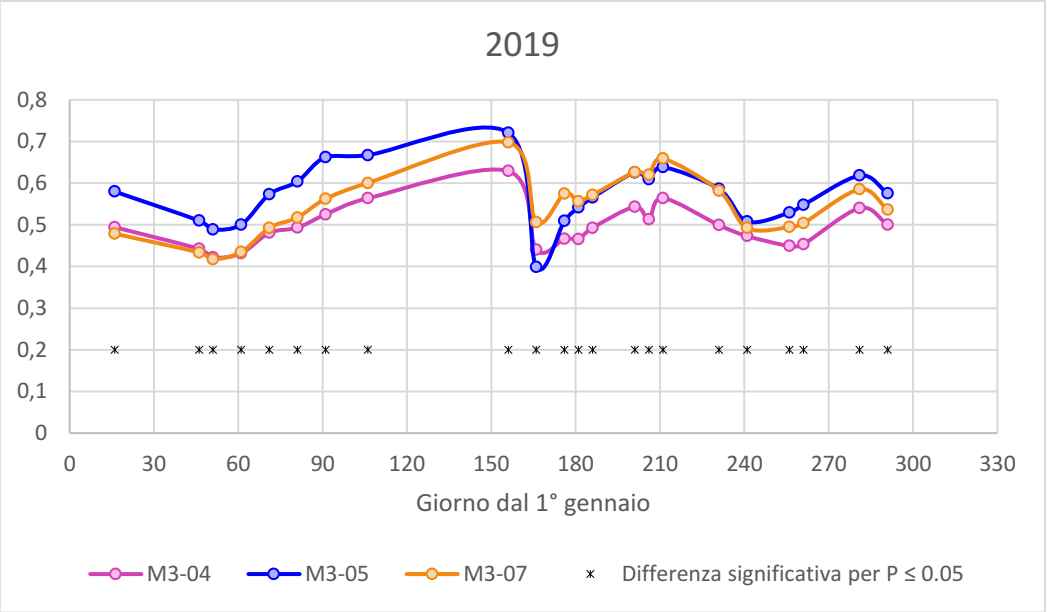


Figura 2-19: Dinamica temporale dell'indice NDVI nel biennio 2019-20 per due blocchi vitati (M2-01 e M2-03) nella zona Matelica 2 in località Balzani. I valori di NDVI sono stati ricavati dalle immagini multispettrali registrate da Sentinel-2 per l'intero blocco

Nel giorno 1 dell'anno 2020 (1 gennaio 2020) i blocchi vitati M2-01 e M2-03 presentano valori di NDVI rispettivamente di 0,34 e 0,30 (figura 2-19). In seguito, in entrambi i blocchi si verifica un incremento dei valori di NDVI che risulta più accentuato a partire dal giorno 71 (11 marzo 2020). L'incremento dell'NDVI si protrae fino al giorno 81 (21 marzo 2020) dove nei blocchi M2-01 e M2-03 si rilevano valori rispettivamente di 0,43 e 0,38.
Dal giorno 81 (21 marzo 2020) in entrambi i blocchi si verifica un calo dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 116 (25 aprile 2020) dove nei blocchi M2-01 e M2-03 si rilevano valori rispettivamente di 0,37 e 0,32.
Dal giorno 116 (25 aprile 2020) in entrambi i blocchi vitati si verifica un incremento dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 211 (29 luglio 2020) dove si rilevano valori di 0,65 per il blocco M2-01 e 0,57 (valore massimo) per il blocco M2-03.
Dal giorno 211 (29 luglio 2020) in entrambi i blocchi vitati si verifica un abbassamento dei valori di NDVI (ascrivibile ad interventi di gestione del suolo volti al contenimento delle essenze erbacee dell'interfilare) che si protrae fino al giorno 236 (23 agosto 2020) dove l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare per i blocchi M2-01 e M2-03 valori rispettivamente di 0,51 e 0,41.
A partire dal giorno 236 (23 agosto 2020) in entrambi i blocchi si verifica un incremento dei valori di NDVI e nel giorno 296 (22 ottobre 2020) il blocco M2-01 raggiunge il valore massimo (0,68). Nello stesso giorno nel blocco M2-03 si rileva un valore di NDVI pari a 0,53.

- Matelica 3 (località Serre Alte)

All'inizio dell'anno 2019 (16 gennaio 2019) i blocchi vitati M3-04 e M3-07 presentano valori di NDVI poco inferiori a 0,5, mentre il blocco M3-05 presenta un valore pari a 0,57 (figura 2-20). A partire dal giorno 16 (16 gennaio 2019) in tutti i blocchi vitati si verifica un calo dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 51 (20 febbraio 2019), dove nei blocchi M3-04 e M3-07 si rileva un valore di NDVI di circa 0,42 e nel blocco M3-05 si rileva un valore di 0,48.
Dal giorno 51 (20 febbraio 2019) si verifica un incremento dei valori di NDVI che si protrae fino al giorno 156 (5 giugno 2019) quando in tutti e tre i blocchi si raggiunge il valore massimo di NDVI. Nello specifico, nel giorno 156 (5 giugno 2019) il blocco M3-05 presenta un valore di NDVI di 0,72, il blocco M3-07 presenta un valore di 0,69 e il blocco M3-04 presenta un valore di 0,62. Dieci giorni dopo, nel giorno 166 (15 giugno 2019), si rileva un abbassamento dei valori di NDVI in tutti i blocchi vitati, calo verosimilmente ascrivibile ad interventi di gestione del suolo volti al contenimento delle essenze erbacee dell'interfilare.



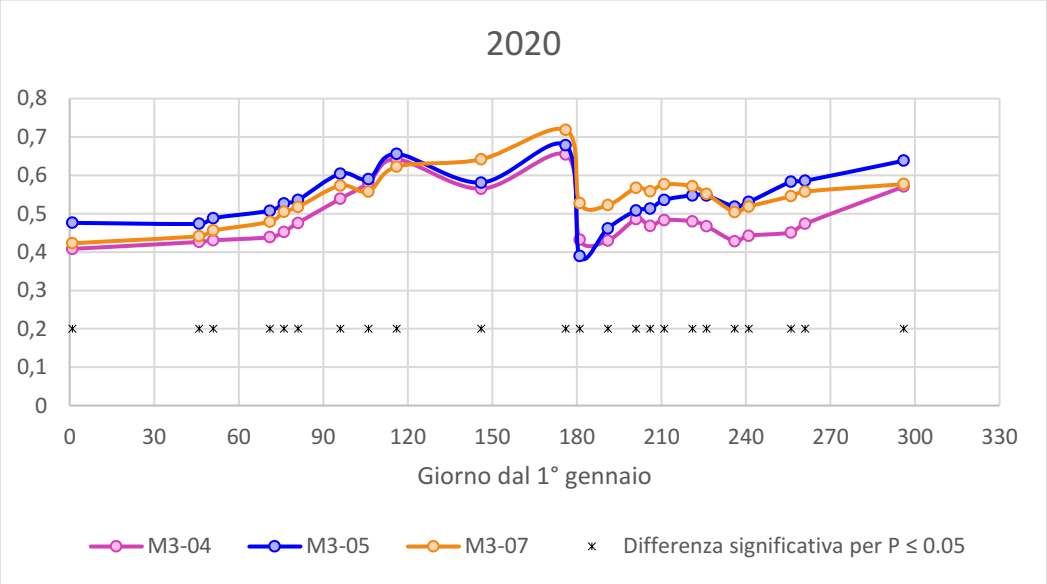


Figura 2-20: Dinamica temporale dell'indice NDVI nel biennio 2019-20 per tre blocchi vitati (M3-04, M3-05 e M3-07) nella zona Matelica 3 in località Serre Alte. I valori di NDVI sono stati ricavati dalle immagini multispettrali registrate da Sentinel-2 per l'intero blocco

Nello specifico, il calo risulta più forte per il blocco M3-05 che nel giorno 166 (15 giugno 2019) presenta un valore di NDVI di 0,39, mentre nello stesso giorno i blocchi M3-04 e M3-07 mostrano valori di NDVI rispettivamente di 0,44 e 0,50. In seguito, i valori di NDVI tendono ad aumentare in tutti i blocchi vitati fino al giorno 211 (30 luglio 2019); quando i

blocchi M3-05 e M3-07 presentano valori di NDVI rispettivamente di 0,63 e 0,65. Nello stesso giorno, il blocco M3-04 presenta un valore di NDVI più basso (0,56).
Dal giorno 211 (30 luglio 2019) si verifica un nuovo calo dell'NDVI che nei blocchi M3-05 e M3-07 si protrae fino al giorno 241 (29 agosto 2019); dove vengono raggiunti valori di NDVI rispettivamente di 0,50 (M3-05) e 0,49 (M3-07). Nel caso del blocco M3-04 il calo si protrae fino al giorno 256 (13 settembre 2019) quando si raggiunge un valore di NDVI di 0,44.
Dopo questo calo segue una nuova fase di aumento dell'NDVI che, in base all'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2, si protrae fino al giorno 281 (8 ottobre 2019); quando per i blocchi M3-05, M3-07 e M3-04 si rilevano dei valori rispettivamente di 0,61, 0,58 e 0,54. Infine, nel giorno 291 (18 ottobre 2019) si osserva un lieve calo dell'NDVI e i valori scendono a 0,57 nel blocco M3-05, 0,53 nel blocco M3-07 e 0,50 nel blocco M3-04.
Nel giorno 1 dell'anno 2020 (1 gennaio 2020) il blocco M3-05 presenta un valore di NDVI (0,47) superiore rispetto ai blocchi M3-07 (0,42) e M3-04 (0,40) (figura 2-20). I valori di NDVI si mantengono costanti dal giorno 1 (1 gennaio 2020) al giorno 46 (15 febbraio 2020).
Dal giorno 46 (15 febbraio) in tutti i blocchi vitati si verifica un incremento dell'NDVI. Nei blocchi M3-05 e M3-07 l'aumento dell'NDVI si protrae fino al giorno 96 (5 aprile 2020), quando si rilevano valori rispettivamente di 0,60 e 0,57, mentre nel blocco M3-04 l'incremento dell'NDVI si protrae fino al giorno 116 (25 aprile 2020) quando si tocca un valore di 0,64.
Dal giorno 96 (5 aprile 2020) al giorno 106 (15 aprile 2020) nei blocchi M3-05 e M3-07 si verifica un lieve abbassamento dell'NDVI, a questo calo segue una ripresa che si interrompe il giorno 116 (25 aprile 2020) quando nei blocchi M3-05 e M3-07 si rilevano dei valori di NDVI rispettivamente di 0,65 e 0,62.
Dal giorno 116 (25 aprile 2020) nei blocchi M3-04 e M3-05 si verifica un calo dell'NDVI che si porta nel giorno 146 (25 maggio 2020) a valori poco inferiori a 0,6. A questo calo segue un nuovo incremento dell'NDVI e nel giorno 176 (24 giugno 2020) i blocchi M3-04 e M3-05 raggiungono il loro valore massimo (rispettivamente di 0,65 e 0,67).
Per quanto riguarda il blocco M3-07, a partire dal giorno 116 (25 aprile 2020) si rileva un incremento dell'NDVI che si protrae fino al giorno 176 (24 giugno 2020); quando l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 mostra il valore massimo (0,71) per il blocco.
Nel giorno 181 (29 giugno 2020) si osserva un abbassamento dell'NDVI nei blocchi M3-04, M3-05 e M3-07, a seguito di questo calo si raggiungono dei valori di NDVI rispettivamente di 0,43, 0,38 e 0,52. Questo calo è verosimilmente ascrivibile ad interventi di gestione dell'interfilare che hanno portato a ridurre lo sviluppo delle specie erbacee.

Dal giorno 181 (29 giugno 2020) nei blocchi vitati M3-04, M3-05 e M3-07 si assiste ad un recupero dei valori di NDVI che risulta più accentuato per il blocco M3-05. A questo aumento dell'NDVI segue un lieve calo che si arresta il giorno 236 (23 agosto 2020); quando nei blocchi M3-04, M3-05 e M3-07 si rilevano dei valori rispettivamente di 0,42, 0,51 e 0,50.
Dal giorno 236 (23 agosto 2020) si verifica un nuovo incremento dell'NDVI che risulta più accentuato per i blocchi M3-04 e M3-05 che nel giorno 296 (22 ottobre 2020) presentano dei valori rispettivamente di 0,57 e 0,63. Il blocco M3-07 nel giorno 296 (22 ottobre 2020) presenta un valore di NDVI di 0,57.

2.2.3 *Analisi della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021*

Di seguito vengono riportati i risultati dell'analisi della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 nelle diverse zone vitate oggetto di studio.

- Matelica 1 (località Fogliano)

Nella zona Matelica 1, sita in località Fogliano, i coefficienti di variazione (CV) più alti nel corso del triennio 2019-2021 sono stati registrati nei blocchi vitati M1-01, M1-05 e M1-06, mentre i valori più bassi sono stati rilevati nei blocchi M1-03 e M1-04 (tabella 2-7). I coefficienti di variazione più alti per la maggior parte dei blocchi vitati della zona Matelica 1 sono stati registrati nel 2021 (13 agosto), fatta eccezione per i blocchi M1-03 e M1-04 che hanno presentato i coefficienti di variazione più alti rispettivamente nella stagione 2020 (29 luglio) e 2019 (25 luglio).
L'incremento della variabilità (e quindi del coefficiente di variazione) dei valori di NDVI rilevati nel corso del triennio 2019-2021 nei blocchi vitati M1-01 e M1-02 si osserva molto bene in figura 2-21. Nella stessa figura si osserva, per il blocco M1-05, un aumento della variabilità nel corso della stagione 2021 rispetto alla stagione 2020 (rilievo del 29 luglio).
Il coefficiente di variazione misura la variabilità totale ma non fornisce informazioni su come la variabilità si distribuisce nello spazio; per questo motivo per studiare la variabilità del vigore è importante valutare anche altri indici (Indice di Moran e Indice di Cambardella) che prendono in considerazione la natura spaziale dei dati.
Nel corso del triennio 2019-2021 i valori più alti dell'indice di Moran (MI) si rilevano nel blocco M1-05, per cui questo blocco è quello che nella zona Matelica 1 ha la maggiore tendenza a formare dei cluster (ampi raggruppamenti spaziali di pixel con valori di NDVI simili) (tabella 2-7). Inoltre, i valori più alti dell'indice di Moran nel corso del triennio 2019-2021 nei blocchi vitati della zona Matelica 1 si osservano il giorno 13 agosto 2021, fatta

eccezione per il blocco M1-04 che rileva il valore più alto (0,74) dell'indice di Moran il giorno 25 luglio 2019.

I blocchi vitati della zona Matelica 1 manifestano un'ottima struttura spaziale della variabilità in quanto nel corso del triennio 2019-2021 l'indice di Cambardella (Ci) risulta sempre inferiore alla soglia del 25%. Nei giorni 25 luglio 2019 e 29 luglio 2020, nel blocco M1-03, si rilevano degli indici di Cambardella (rispettivamente di 7,2 e 9,8) lievemente più alti rispetto a quelli calcolati negli altri blocchi vitati.

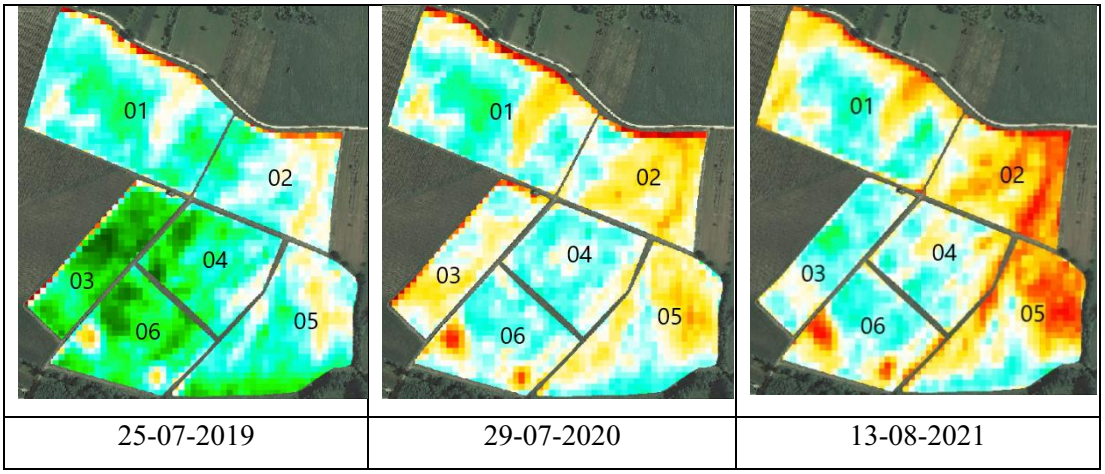


Figura 2-21: Mappe NDVI rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 della zona Matelica 1 in località Fogliano. Mappe ottenute mediante il software QGIS

Tabella 2-7: Indici statistici e geostatistici calcolati a partire dai valori di NDVI rilevati in tre date rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 e riferiti alla zona Matelica 1 in località Fogliano

Blocco Matelica 1 (M1)	Area (ha)	Coefficiente di Variazione (CV)			Indice di Moran (MI)			Indice di Cambardella (Ci)			Indice di Opportunità tecnica (TOi)		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
01	6,20	8,4	11,2	11,4	0,72	0,74	0,77	0,1	0,1	0,1	0,82	0,80	0,84
02	3,47	9,0	9,2	10,7	0,76	0,65	0,77	0,1	0,8	0,1	0,81	0,73	0,79
03	2,47	6,0	7,3	7,0	0,56	0,60	0,74	7,2	9,8	0,3	0,79	0,77	0,81
04	2,98	9,5	5,7	8,1	0,74	0,54	0,62	0,1	5,1	2,0	0,79	0,70	0,74
05	4,41	11,1	9,5	14,9	0,81	0,77	0,84	0,1	0,1	0,1	0,84	0,84	0,85
06	3,13	11,2	10,9	12,8	0,74	0,73	0,78	0,0	0,0	0,1	0,78	0,80	0,84

Il blocco M1-05, oltre a registrare i valori più alti dell'indice di Moran e del coefficiente di variazione, risulta anche il blocco vitato che nel corso del triennio 2019-2021 rileva i valori più alti dell'indice di Opportunità tecnica (TOi), per questo motivo il blocco M1-05 è quello che nella zona Matelica 1 si presta maggiormente ad una gestione sito-specifica.
Oltre al blocco M1-05, anche i blocchi vitati M1-01 e M1-06 nel corso del triennio 2019-2021 rilevano alti valori di TOi; in particolare il giorno 13 agosto 2021 dove si registrano dei valori di 0,84 in entrambi i blocchi.

- Matelica 2 (località Balzani)

Nella zona Matelica 2 in località Balzani i coefficienti di variazione (CV) più alti nel corso del triennio 2019-2021 sono stati rilevati nei blocchi vitati M2-03 e M2-05, mentre i coefficienti di variazione più bassi sono stati rilevati nei blocchi M2-01 e M2-04 (tabella 2-8).

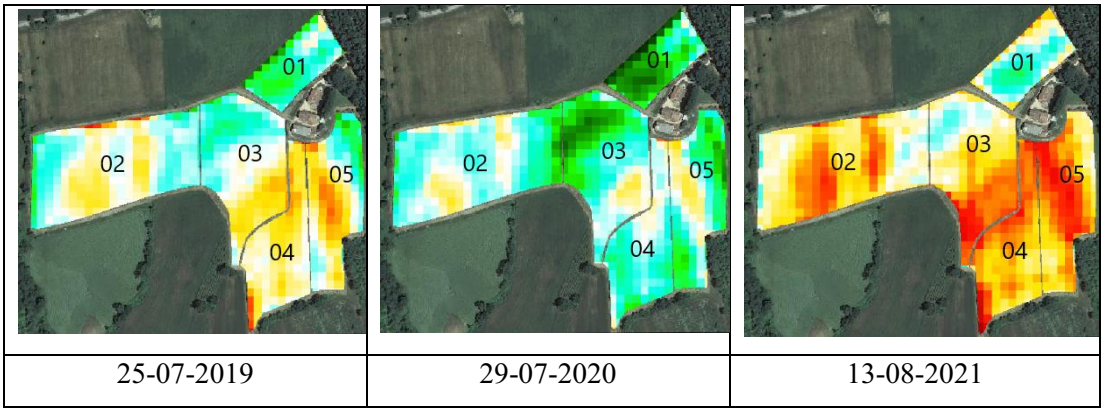


Figura 2-22: Mappe NDVI rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 della zona Matelica 2 in località Balzani. Mappe ottenute mediante il software QGIS

Tabella 2-8: Indici statistici e geostatistici calcolati a partire dai valori di NDVI rilevati in tre date rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 e riferiti alla zona Matelica 2 in località Balzani

Blocco Matelica 2 (M2)	Area (ha)	Coefficiente di Variazione (CV)			Indice di Moran (MI)			Indice di Cambardella (Ci)			Indice di Opportunità tecnica (TOi)		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
01	0,70	8,4	8,2	7,6	0,69	0,68	0,43	2,6	9,6	10,2	0,82	0,84	0,70
02	2,15	8,6	10,5	11,5	0,70	0,75	0,72	0,1	0,1	0,1	0,79	0,76	0,78
03	1,64	12,8	14,5	14,1	0,88	0,89	0,87	0,1	0,1	0,1	0,87	0,86	0,87
04	1,05	6,4	7,6	6,2	0,56	0,66	0,46	3,4	0,1	5,3	0,73	0,76	0,68
05	1,19	15,4	13,8	11,2	0,76	0,67	0,70	0,1	0,1	0,0	0,80	0,81	0,84

Il blocco M2-03, oltre ad essere il blocco che nella zona Matelica 2 rileva i coefficienti di variazione più alti, risulta anche il blocco dove nel corso del triennio 2019-2021 si registrano i valori più alti dell'indice di Moran (MI), quindi in questo blocco i pixel con valori di NDVI simili hanno una forte tendenza a formare dei cluster nello spazio. Nello specifico, in figura 2-22 nel blocco M2-03 si possono distinguere tre zone che manifestano valori diversi di NDVI: la zona in alto (vicino ai blocchi M2-01 e M2-02) presenta valori di NDVI più alti, la zona in basso (vicino al blocco M2-04) presenta valori di NDVI più bassi mentre la zona centrale del blocco presenta valori di NDVI intermedi.

I blocchi M2-01 e M2-04, oltre a manifestare una variabilità più bassa rispetto agli altri blocchi vitati della zona Matelica 2, risultano anche i blocchi dove nel corso del triennio 2019-2021 si rilevano i valori più bassi dell'indice di Moran (tabella 2-8). Nello specifico, il giorno 13 agosto 2021 nei blocchi M2-01 e M2-04 si registrano dei valori di MI rispettivamente di 0,43 e 0,46.

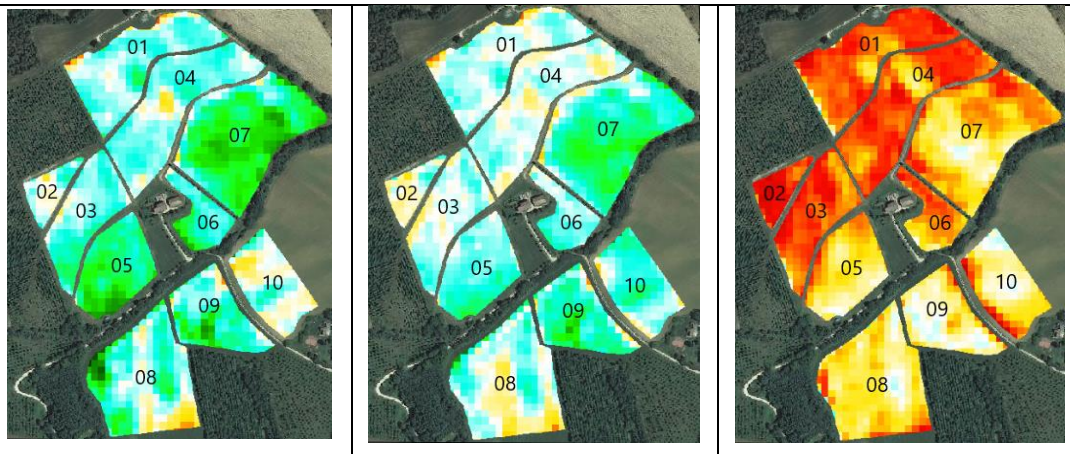
Anche i blocchi vitati della zona Matelica 2 presentano un'ottima struttura spaziale della variabilità: l'indice di Cambardella (C_i) nel corso del triennio 2019-2021 risulta sempre inferiore alla soglia del 25% in tutti i blocchi vitati.

Il blocco M2-03 risulta anche il blocco dove nel corso del triennio 2019-2021 si rilevano i valori più alti dell'indice di Opportunità tecnica (TO_i). Nello specifico, nei giorni 25 luglio 2019 e 13 agosto 2021 si rileva un TO_i di 0,87 e nel giorno 29 luglio 2020 si rileva un TO_i di 0,86. In base ai risultati ottenuti è possibile affermare che il blocco M2-03 è quello che nella zona Matelica 2 si presta più di tutti ad una gestione sito-specifica.

Anche il blocco M2-05 manifesta nel corso del triennio 2019-2021 valori elevati di TO_i e in particolare il giorno 13 agosto 2021 dove si rileva un valore di 0,84. Il blocco M2-01 nei giorni 25 luglio 2019 e 29 luglio 2020 rileva valori elevati di TO_i (rispettivamente 0,82 e 0,84), tuttavia il giorno 13 agosto 2021 si rileva un valore di 0,70.

- Matelica 3 (località Serre Alte)

Nella zona Matelica 3 in località Serre Alte i coefficienti di variazione (CV) più alti nel corso del triennio 2019-2021 sono stati registrati nei blocchi M3-08, M3-09 e M3-10 (tabella 2-9). Il blocco M3-08 il giorno 25 luglio 2019 rileva un coefficiente di variazione di 13,4 che rappresenta il valore più alto registrato nel corso del triennio 2019-2021 nella zona Matelica 3, negli anni successivi nel blocco M3-08 si verifica un abbassamento della variabilità (osservabile in figura 2-23) e nei giorni 29 luglio 2020 e 13 agosto 2021 si registrano dei coefficienti di variazione rispettivamente di 9,6 e 7,8 (tabella 2-9).



25-07-2019	29-07-2020	13-08-2021

Figura 2-23: Mappe NDVI rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 della zona Matelica 3 in località Serre Alte. Mappe ottenute mediante il software QGIS

Tabella 2-9: Indici statistici e geostatistici calcolati a partire dai valori di NDVI rilevati in tre date rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 e riferiti alla zona Matelica 3 in località Serre Alte

Blocco Matelica 3 (M3)	Area (ha)	Coefficiente di Variazione (CV)			Indice di Moran (MI)			Indice di Cambardella (Ci)			Indice di Opportunità tecnica (TOi)		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
01	1,67	5,6	4,5	6,5	0,39	0,33	0,50	0,7	4,9	0,1	0,76	0,65	0,74
02	0,38	6,6	6,4	6,9	-	-	-	2,4	0,1	2,1	0,72	0,69	0,72
03	1,15	6,1	4,7	6,4	0,65	0,44	0,43	0,1	3,2	1,1	0,77	0,73	0,75
04	1,88	6,8	5,1	8,9	0,56	0,42	0,58	1,2	5,1	0,8	0,76	0,64	0,78
05	1,14	5,3	5,1	6,7	0,63	0,67	0,65	0,4	1,3	0,3	0,82	0,82	0,70
06	0,55	7,3	4,6	8,2	0,60	0,49	0,64	0,1	20,5	3,7	0,85	0,78	0,84
07	2,49	6,1	6,5	9,5	0,54	0,61	0,73	1,7	3,5	0,1	0,79	0,84	0,86
08	2,18	13,4	9,6	7,8	0,66	0,57	0,45	0,3	0,5	4,4	0,75	0,74	0,65
09	1,18	9,3	7,0	6,7	0,57	0,38	0,37	3,4	2,6	10,3	0,76	0,62	0,67
10	1,13	8,2	6,9	9,1	0,52	0,60	0,57	5,3	0,4	2,0	0,62	0,76	0,80

I valori più alti dell'indice di Moran (MI) si rilevano nei blocchi M3-05 e M3-07. Nello specifico, nel blocco M3-07 nel corso del triennio 2019-2021 si osserva un incremento dei valori di MI e il giorno 13 agosto 2021 si rileva un valore di 0,73.

I valori più bassi di MI si registrano nel blocco M3-01 che nei giorni 25 luglio 2019 e 29 luglio 2020 rilevano valori rispettivamente di 0,39 e 0,33, mentre il giorno 13 agosto 2021 si rileva

un MI di 0,5. Anche il blocco M3-09 manifesta bassi valori di MI e in particolare nei giorni 29 luglio 2020 e 13 agosto 2021 dove si rilevano valori rispettivamente di 0,38 e 0,37.
Per il blocco M3-02 non è stato possibile calcolare l'indice di Moran in quanto il numero di dati, a seguito della dimensione limitata del blocco, non è sufficiente per eseguire una corretta analisi dell'autocorrelazione spaziale.
Anche i blocchi vitati della zona Matelica 3 presentano un'ottima struttura spaziale della variabilità: l'indice di Cambardella (Ci) nel corso del triennio 2019-2021 risulta sempre inferiore alla soglia del 25% in tutti i blocchi vitati.
Il blocco M3-07, oltre a manifestare alti valori di MI per la zona Matelica 3, risulta anche il blocco che nel corso del triennio 2019-2021 manifesta i valori più alti di TOi. Nello specifico, il blocco M3-07 i giorni 29 luglio 2020 e 13 agosto 2021 rileva valori rispettivamente di 0,84 e 0,86.
Anche nel blocco M3-06 si registrano alti valori di TOi; in particolare nei giorni 25 luglio 2019 e 13 agosto 2021 dove si rilevano valori rispettivamente di 0,85 e 0,84.

2.2.4 *Rilievi di potatura, di vendemmia e composizione del mosto*

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i valori medi dei parametri vegetativi e produttivi della stagione vegetativa 2020 e i valori di NDVI sia del giorno 29 luglio 2020 che del triennio 2019-2021 nel periodo estivo. Le medie dei parametri vegetativi e produttivi sono state calcolate a partire dai valori riferiti alle singole viti campione situate in diversi filari dei blocchi vitati oggetto di studio. I valori di NDVI sono stati calcolati mediando i valori dei singoli pixel su cui ricadono le viti campione.
L'NDVI estivo del triennio 2019-2021 è stato calcolato mediando i valori di NDVI delle tre date rappresentative della variabilità del vigore dei blocchi vitati oggetto di studio (25 luglio 2019, 29 luglio 2020 e 13 agosto 2021).

- Matelica 1 (località Fogliano)

I valori di NDVI rilevati il giorno 29 luglio 2020 risultano simili a quelli ottenuti mediando i valori di NDVI di tre date estive rappresentative della variabilità del vigore nel triennio 2019-2021 (25 luglio 2019, 29 luglio 2020 e 13 agosto 2021) (tabella 2-10).
Le viti campione situate nei gruppi di filari 92-98, 175-176 e 199-200 ricadono in zone segnate da valori di NDVI più bassi rispetto alle zone in cui sono presenti le altre viti campione. I valori più alti di NDVI sono stati rilevati nella zona in cui ricadono le viti campione dei gruppi di filari 36-42, 118-128 e della fila 31.

Tabella 2-10: Valori di NDVI e comportamento vegetativo delle viti nella stagione 2020 riguardanti il numero di germogli per vite (rilevato alla vendemmia), il peso del legno di potatura e il peso medio del tralcio. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati rilevati sulle singole viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Matelica 1

Fila	NDVI estivo 2019-2021	NDVI 29/07/2020	Germogli (No./vite)	Peso tralci potati (g/vite)	Peso medio tralcio (g)
16-20	0,473 ± 0,022	0,482 ± 0,037	11,1 ± 1,6	385 ± 85	40 ± 10
31	0,5 ± 0,034	0,489 ± 0,039	11,4 ± 1,9	430 ± 182	46 ± 17
36-42	0,534 ± 0,036	0,530 ± 0,042	12,1 ± 1,8	492 ± 186	50 ± 20
92-98	0,425 ± 0,021	0,401 ± 0,013	17 ± 2,2	386 ± 155	33 ± 14
118-128	0,504 ± 0,026	0,488 ± 0,028	17,1 ± 2,8	497 ± 144	43 ± 14
175-176	0,403 ± 0,005	0,396 ± 0,008	15,8 ± 1,9	329 ± 69	33 ± 6
199-200	0,396 ± 0,011	0,401 ± 0,011	15,8 ± 2,9	350 ± 79	39 ± 18

I rilievi eseguiti sul comportamento vegetativo (tabella 2-10) mostrano per le viti campione dei gruppi di filari 92-98 e 118-128 i valori più alti del parametro numero medio di germogli per vite presenti al momento della vendemmia (rispettivamente 17 e 17,1, con deviazioni standard di 2,2 e 2,8), seguono le viti campione dei gruppi di filari 175-176 e 199-200 in cui si rileva una media di 15,8 germogli per vite (con deviazioni standard rispettivamente di 1,9 e 2,9). Le viti campione del gruppo di filari 16-20 e della fila 31 mostrano il numero medio di germogli per vite più basso (rispettivamente 11,1 e 11,4).

Le indagini eseguite durante la potatura invernale hanno permesso di rilevare il peso del legno di potatura, ossia il peso totale dei tralci asportati da ciascuna vite con l'intervento cesorio. Le viti campione del gruppo di filari 118-128 presentano i valori più alti del peso del legno di potatura (497 g), che sono molto simili a quelli delle viti campione del gruppo di filari 36-42 (492 g), seguite da quelle della fila 31 (430 g). Le viti campione dei gruppi di filari 175-176 e 199-200 presentano i valori più bassi del parametro peso del legno di potatura (rispettivamente 329 g e 350 g). Inoltre le viti campione di questi due gruppi di filari, insieme a quelle del gruppo di filari 92-98, mostrano i valori più bassi del parametro peso medio del tralcio (importante parametro legato al vigore della vite). Dobbiamo evidenziare che si tratta sempre di filari che ricadono in zone dove l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha portato a calcolare bassi valori di NDVI. Le viti campione che presentano i valori più alti del parametro

peso medio del tralcio sono situate nei gruppi di filari 36-42 e 118-128 (rispettivamente 50 g e 43 g) e nella fila 31 (46 g).

Il comportamento produttivo delle viti è stato registrato alla vendemmia (tabella 2-11). Il numero di grappoli raccolti da ciascuna vite campione è variato tra un minimo di 9,8 e un massimo di 15,2. Il valore più alto è stato rilevato per le piante campione situate nel gruppo di filari 92-98, tallonate a brevissima distanza dalle viti campione del gruppo di filari 199-200 (14,9). Seguono le viti dei filari 118-128 (14,0) e dei filari 175-176 (13,9). I valori più bassi sono stati rilevati per le viti campione del gruppo di filari 16-20 (9,8) e della fila 31 (11,3).

La quantità di uva prodotta per vite è variata tra un minimo di 3523 g e un massimo di 5369 g. Il valore più elevato è stato registrato nei gruppi di filari 118-128, seguiti dai gruppi di filari 92-98 e 36-42 (rispettivamente 4488 g e 4413 g), mentre i valori più bassi sono stati rilevati per le viti campione della fila 31 (3523 g) e del gruppo di filari 175-176 (3590 g).

Tabella 2-11: Caratteristiche produttive rilevate alla vendemmia 2020 riguardanti il numero di grappoli per vite, il peso dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo e il peso medio dell'acino. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Matelica 1

Fila	Grappoli (No./vite)	Uva (g/vite)	Peso medio grappolo (g)	Peso medio acino (g)
16-20	9,8 ± 2,1	3688 ± 1067	374 ± 70	2,02 ± 0,15
31	11,3 ± 3,8	3523 ± 1433	313 ± 89	2,09 ± 0,16
36-42	13,0 ± 3,5	4413 ± 1746	337 ± 76	1,99 ± 0,20
92-98	15,2 ± 4,8	4488 ± 2109	286 ± 63	1,84 ± 0,22
118-128	14,0 ± 2,9	5369 ± 1695	382 ± 65	1,94 ± 0,24
175-176	13,9 ± 3,9	3590 ± 1166	262 ± 57	1,59 ± 0,19
199-200	14,9 ± 3,8	4310 ± 1351	289 ± 43	1,70 ± 0,23

Il peso medio del grappolo alla vendemmia ha subito variazioni tra un minimo di 262 g e un massimo di 382 g. I valori più alti del peso medio grappolo sono stati registrati per le viti campione del gruppo di filari 118-128 (382 g), seguite a brevissima distanza da quelle del gruppo di filari 16-20 (374 g). Livelli intermedi del peso medio grappolo sono stati mostrati dai gruppi di filari 36-42 (337 g) e dal filare 31 (313 g). I valori più bassi del parametro peso medio del grappolo sono stati rilevati per le viti campione dei gruppi di filari 175-176 (262 g), 92-98 (286 g) e 199-200 (289 g).

Il peso medio dell'acino è passato da un minimo di 1,59 g registrato per le viti dei filari 175-176 a un massimo di 2,09 g per le viti del filare 31. I pesi medi acino più alti in generale sono stati registrati nei primi tre gruppi di filari situati tra la fila 16 e la fila 42, mentre i valori più bassi hanno riguardato i filari 175-176 e 199-200 (rispettivamente 1,59 g e 1,7 g). I gruppi di filari 92-98 e 118-128 si collocano su valori intermedi (rispettivamente 1,84 g e 1,94 g).
La composizione dei mosti alla vendemmia è riportata in tabella 2-12. La concentrazione zuccherina dei mosti, espressa come percentuale di solidi solubili, è variata tra un minimo di 21,6 e un massimo di 24,3. La più alta percentuale di solidi solubili è stata rilevata nelle uve delle viti campione della fila 31, seguita da quelle dei gruppi di filari 16-20 (24,1%) e 36-42 (23,8%). I valori più bassi della percentuale di solidi solubili del mosto sono stati registrati per i gruppi di filari 118-128 (21,6%) e 199-200 (22,1%).
Il pH del mosto ha mostrato piccolissime variazioni tra i diversi gruppi di filari, passando da un minimo di 3,19 a un massimo di 3,22. L'acidità del mosto ha presentato variazioni più ampie passando da un minimo di 6,09 g/l a un massimo di 6,81 g/l. I valori più alti sono stati quelli dei gruppi di filari 175-176 e 199-200 (6,81 g/l in entrambi i gruppi, con deviazioni standard rispettivamente di 0,82 e 0,74), mentre i valori più bassi sono stati rilevati per le viti campione della fila 31 (6,09 g/l) e del gruppo di filari 16-20 (6,14 g/l).

Tabella 2-12: Parametri compostivi delle uve alla vendemmia (concentrazione zuccherina, pH e acidità totale) e indici di equilibrio vegeto-produttivo (Uva / Legno e Uva / Germoglio). I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Matelica 1

Fila	Solidi solubili (%)	pH mosto	Acidità totale (g/l)	Uva / Legno	Uva / Germoglio (g/germoglio)
16-20	24,1 ± 2,1	3,19 ± 0,10	6,14 ± 0,50	10,0 ± 3,5	339 ± 105
31	24,3 ± 2,1	3,21 ± 0,10	6,09 ± 0,56	8,9 ± 3,7	312 ± 129
36-42	23,8 ± 2,5	3,22 ± 0,10	6,31 ± 0,51	10,3 ± 6,5	368 ± 138
92-98	22,4 ± 2,0	3,21 ± 0,08	6,60 ± 0,58	12,0 ± 4,5	270 ± 137
118-128	21,6 ± 1,6	3,19 ± 0,08	6,48 ± 0,66	11,5 ± 4,0	316 ± 83
175-176	22,7 ± 1,1	3,21 ± 0,08	6,81 ± 0,82	10,9 ± 2,8	230 ± 74
199-200	22,1 ± 1,2	3,20 ± 0,09	6,81 ± 0,74	12,6 ± 3,6	275 ± 84

Gli indici di equilibrio fisiologico sono ugualmente riportati in tabella 2-12. L'indice Uva / Legno ha presentato valori assoluti abbastanza alti, compresi tra un minimo di 8,9 e un massimo di 12,6. I valori più alti, associabili ad un carico produttivo che potrebbe essere

eccessivo se comparato allo sviluppo vegetativo, sono stati ottenuti per le viti campione dei gruppi di filari 92-98 (12) e 199-200 (12,6), mentre i valori più bassi sono stati rilevati per le viti campione della fila 31 (8,9).
La produzione media di uva per germoglio ha presentato variazioni sensibili variando tra un minimo di 230 g e un massimo di 368 g. Il valore più alto è stato rilevato per le viti campione del gruppo di filari 36-42, seguite dalle viti campione del gruppo di filari 16-20 (339 g). I valori più bassi sono stati rilevati per le viti campione dei gruppi di filari 92-98 (270 g) e 175-176 (230 g).

- Matelica 2 (località Balzani)

La porzione del blocco M2-01 dove sono state selezionate le viti campione presenta valori di NDVI più alti rispetto a quelli registrati nel blocco M2-03 dove sono stati eseguiti rilievi a terra su viti campione (tabella 2-13). I rilievi a terra condotti sulle viti campione mostrano che il numero di germogli per vite è molto simile nei due blocchi, che si differenziano invece sia per quello che riguarda il peso del legno di potatura, sia per quanto attiene il peso medio del tralcio. Nello specifico, il blocco M2-01, rispetto al blocco M2-03, è contrassegnato da maggiori valori di NDVI, che si associano molto bene ad un maggior peso del legno di potatura e ad un più elevato peso medio del tralcio.

Tabella 2-13: Valori di NDVI e comportamento vegetativo delle viti nella stagione 2020 riguardanti il numero di germogli per vite (rilevato alla vendemmia), il peso del legno di potatura e il peso medio del tralcio. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei due blocchi oggetto di studio in località Balzani

Blocco	NDVI estivo 2019-2021	NDVI 29/07/2020	Germogli (No./vite)	Peso tralci potati (g/vite)	Peso medio tralcio (g)
M2-01	0,631 ± 0,016	0,696 ± 0,019	16,3 ± 3,6	968 ± 290	69 ± 32
M2-03	0,455 ± 0,040	0,520 ± 0,051	15,8 ± 3,1	630 ± 164	47 ± 14

Il comportamento produttivo delle viti campione selezionate nei due blocchi è riportato in tabella 2-14. Il blocco M2-01, rispetto al blocco M2-03, presenta un numero di grappoli un poco più alto e una maggiore produzione (+641 g/vite) dovuta al maggior peso medio grappolo (+38 g), che risulta a sua volta associato ad un maggior peso medio dell'acino (+0,28 g).

Tabella 2-14: Caratteristiche produttive rilevate alla vendemmia 2020 riguardanti il numero di grappoli per vite, il peso dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo e il peso medio dell'acino. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle viti campione selezionate nei due blocchi oggetto di studio in località Balzani

Blocco	Grappoli (No./vite)	Uva (g/vite)	Peso medio grappolo (g)	Peso medio acino (g)
M2-01	14 ± 4,3	4310 ± 1311	310 ± 38	2,27 ± 0,22
M2-03	13,2 ± 5	3669 ± 1771	272 ± 72	1,99 ± 0,22

La composizione del mosto alla vendemmia nei due blocchi situati in località Balzani è riportata in tabella 2-15. Il blocco M2-01, rispetto al blocco M2-03, ha presentato uve con una concentrazione zuccherina molto simile (25,8% *vs* 25,4%, con deviazioni standard rispettivamente di 2,2 e 1,6), un pH più basso (3,26 *vs* 3,34) e un'acidità totale più alta (7,02 g/l *vs* 6,24 g/l).

Tabella 2-15: Parametri compositivi delle uve alla vendemmia (concentrazione zuccherina, pH e acidità totale) e indici di equilibrio vegeto-produttivo (Uva / Legno e Uva / Germoglio). I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei due blocchi oggetto di studio in località Balzani

Blocco	Solidi solubili (%)	pH mosto	Acidità totale (g/l)	Uva / Legno	Uva / Germoglio (g/germoglio)
M2-01	25,8 ± 2,2	3,26 ± 0,11	7,02 ± 0,76	4,7 ± 1,5	262 ± 32
M2-03	25,4 ± 1,6	3,34 ± 0,08	6,24 ± 0,62	5,7 ± 2	229 ± 98

La valutazione degli indici di equilibrio fisiologico (tabella 2-15) mostra valori dell'indice Uva / Legno decisamente più bassi rispetto a quelli registrati in località Fogliano. Nello specifico, le viti campione del blocco M2-01, rispetto a quelle del blocco M2-03, presentano un indice Uva / Legno più basso (4,7 *vs* 5,7). Le viti campione del blocco M2-01 presentano germogli mediamente più produttivi rispetto a quelli delle viti campione del blocco M2-03.

- Matelica 3 (località Serre Alte)

Le viti campione del blocco M3-04 ricadono in una zona che rileva dei valori di NDVI più bassi rispetto alle zone dove ricadono le viti campione dei blocchi M3-05 e M3-07 (tabella 2-16).

Il comportamento vegetativo delle viti campione (tabella 2-16) del blocco M3-04, rispetto a quelle dei blocchi M3-05 e M3-07, si distingue per il minor numero medio di germogli per vite (14,3 *vs* 15 e 14,9), il più basso peso dei tralci potati per vite (313 g *vs* 537 g e 448 g) e il minor peso medio del tralcio (33 g *vs* 45 g e 38 g).

Tabella 2-16: Valori di NDVI e comportamento vegetativo delle viti nella stagione 2020 riguardanti il numero di germogli per vite (rilevato alla vendemmia), il peso del legno di potatura e il peso medio del tralcio. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati rilevati sulle singole viti campione situate nei filari oggetto di studio in località Serre Alte

Blocco	NDVI estivo 2019-2021	NDVI 29/07/2020	Germogli (No./vite)	Peso tralci potati (g/vite)	Peso medio tralcio (g)
M3-04	0,414 ± 0,034	0,456 ± 0,026	14,3 ± 2,9	313 ± 142	33 ± 15
M3-05	0,513 ± 0,017	0,529 ± 0,025	15,0 ± 2,4	537 ± 385	45 ± 26
M3-07	0,568 ± 0,014	0,616 ± 0,015	14,9 ± 2,3	448 ± 245	38 ± 18

Il comportamento produttivo delle viti campione (tabella 2-17) del blocco M3-04, rispetto a quelle dei blocchi M3-05 e M3-07, si connota per un numero medio di grappoli per vite più basso (10,2 *vs* 16,5 e 13,7) e un peso medio dell'uva vendemmiata per vite minore (3648 g *vs* 6486 g e 4877 g).

Le viti campione del blocco M3-05, oltre a presentare i valori più alti del numero medio di grappoli per vite e del peso medio dell'uva vendemmiata per vite, mostrano anche un peso medio del grappolo (398 g) più alto rispetto alle viti campione dei blocchi M3-04 (361 g) e M3-07 (356 g). Il peso medio dell'acino (2,11 g) si presenta invece lievemente inferiore rispetto a quanto rilevato per i blocchi M3-04 e M3-07 (2,17 g in entrambi i blocchi).

Tabella 2-17: Caratteristiche produttive rilevate alla vendemmia 2020 riguardanti il numero di grappoli per vite, il peso dell'uva vendemmiata per vite, il peso medio del grappolo e il peso medio dell'acino. I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle viti campione selezionate nei tre blocchi vitati oggetto di studio in località Serre Alte

Blocco	Grappoli (No./vite)	Uva (g/vite)	Peso medio grappolo (g)	Peso medio acino (g)
M3-04	10,2 ± 4,1	3648 ± 1615	361 ± 72	2,17 ± 0,20
M3-05	16,5 ± 4,6	6486 ± 2077	398 ± 90	2,11 ± 0,23
M3-07	13,7 ± 4,5	4877 ± 1927	356 ± 101	2,17 ± 0,26

La composizione del mosto alla vendemmia nei tre blocchi situati in località Serre Alte è riportata in tabella 2-18. La concentrazione zuccherina del mosto ottenuto dalle viti campione del blocco M3-05 è più bassa (21%) rispetto a quelle dei blocchi M3-04 e M3-07 (rispettivamente 24,5% e 23,3%). Anche il pH del mosto presenta valori più bassi per le viti campione del blocco M3-05 (3,05) rispetto a quelle dei blocchi M3-04 (3,24) e M3-07 (3,19). Analogamente, l'acidità del mosto presenta valori più alti per le viti campione del blocco M3-05 (8,24 g/l) rispetto a quelle dei blocchi M3-04 (6,75 g/l) e M3-07 (6,47 g/l).

Tabella 2-18: Parametri compositivi delle uve alla vendemmia (concentrazione zuccherina, pH e acidità totale) e indici di equilibrio vegeto-produttivo (Uva / Legno e Uva / Germoglio). I valori riportati in tabella sono ottenuti mediando i dati delle singole viti campione situate nei tre blocchi oggetto di studio in località Serre Alte

Blocco	Solidi solubili (%)	pH mosto	Acidità totale (g/l)	Uva / Legno	Uva / Germoglio (g/germoglio)
M3-04	24,5 ± 2,0	3,24 ± 0,10	6,75 ± 0,49	14,1 ± 9,2	260 ± 106
M3-05	21,0 ± 1,5	3,05 ± 0,07	8,24 ± 0,84	15,9 ± 7,0	441 ± 151
M3-07	23,3 ± 2,3	3,19 ± 0,10	6,47 ± 0,54	12,7 ± 5,9	332 ± 121

Le viti campione del blocco M3-05 presentano un indice Uva / Legno (15,9) più alto rispetto a quanto rilevato per le viti campione dei blocchi M3-04 (14,1) e M3-07 (12,7). Anche l'indice Uva / Germoglio risulta più alto per le viti campione del blocco M3-05 (441 g) rispetto a quelle

dei blocchi M3-04 (260 g) e M3-07 (332 g). Le viti campione del blocco M3-04 presentano germogli mediamente meno produttivi.

- Confronto delle tre località

A conclusione della tesi, i dati di NDVI delle zone in cui ricadono le viti campione delle tre località sono stati analizzati con un approccio di statistica di base unitamente ai dati sul peso medio del tralcio (figura 2-24).

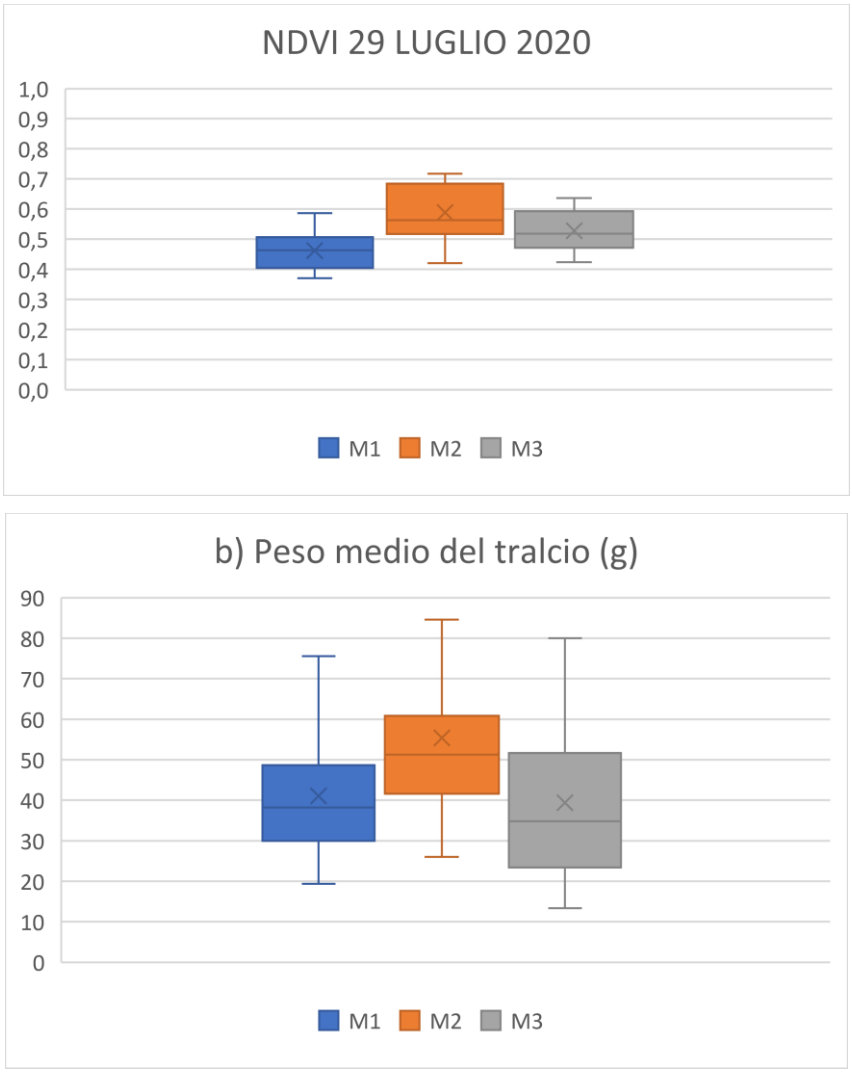


Figura 2-24: Diagrammi a scatola e baffi ("box-plot") relativi a: a) valori dell'indice NDVI dei pixel in cui ricadono le viti campione delle tre zone vitate oggetto di studio, i valori di NDVI sono stati ricavati dall'immagine multispettrale registrata da Sentinel-2 il giorno 29 luglio 2020; b) valori del parametro peso medio del tralcio delle viti campione rilevati durante la potatura invernale e riferiti alla stagione vegetativa 2020. Le croci all'interno della scatola si riferiscono al valore medio

Le viti campione di Matelica 2 (località Balzani) ricadono in zone che mediamente presentano valori di NDVI più alti rispetto alle zone dove ricadono le viti campione di Matelica 1 (località Fogliano) e Matelica 3 (località Serre Alte) (figura 2-24). Inoltre, le viti campione di Matelica 2 ricadono in zone che manifestano anche la variabilità maggiore dell'NDVI.

Per quanto riguarda il peso medio del tralcio (importante parametro di vigoria della vite), le viti campione della zona Matelica 2 rilevano dei valori medi e mediani (calcolati sulla base di tutte le viti campione) rispettivamente di 55 g e 51 g, questi valori risultano più alti rispetto a quelli rilevati per le viti campione delle zone Matelica 1 (41 g e 38 g) e Matelica 3 (39 g e 35 g). Le viti campione della zona Matelica 3 sono quelle che rilevano la variabilità maggiore del parametro peso medio del tralcio.

CONCLUSIONI

Le indagini, condotte nell'ambito del progetto "Vitinnova" (finanziato con il "Programma di Sviluppo Rurale Marche 2014-2020 misura 16.1 - Sostegno per la costituzione e la gestione dei gruppi operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura Azione 2"), hanno avuto lo scopo di valutare le potenzialità applicative di Sentinel-2 in tre zone vitate (Fogliano, Balzani e Serre Alte) dell'area di Matelica.

L'impiego del software QGIS e dei dati satellitari di Sentinel-2 ha consentito di estrapolare delle mappe NDVI (con risoluzione spaziale di 10 m x 10 m) del biennio 2019-20 delle tre zone vitate oggetto di studio. I pixel di 100 m^2 contengono informazioni sulla vite in misura minoritaria rispetto all'interfilare variamente gestito, tuttavia, è importante considerare che ad un miglior stato di salute dell'inerbimento è stato associato un maggiore stato di salute delle viti. Inoltre, è necessario considerare che la chioma di vite inizia ad avere un'influenza sul valore di NDVI calcolato per ogni pixel a partire dal mese di maggio in quanto nei mesi di gennaio, febbraio e marzo la vite non presenta organi verdi e nel mese di aprile la chioma di vite presenta una dimensione molto contenuta.

L'analisi delle mappe NDVI del biennio 2019-20 ha consentito di quantificare e valutare l'evoluzione temporale della variabilità della copertura vegetale presente nei blocchi vitati oggetto di studio. Inoltre, queste mappe hanno consentito di rilevare, all'interno dei diversi blocchi, l'eventuale presenza di aree a vigore variabile con gradi di aggregazione percepibili anche visivamente.

Infine, dalle mappe basate sull'indice NDVI si è notato che la variabilità del vigore ha la tendenza a mantenere la stessa organizzazione spaziale nel corso degli anni. In particolare, le mappe NDVI dei blocchi oggetto di studio del periodo estivo di fine luglio / inizio agosto del triennio 2019-2021 mostrano un'organizzazione spaziale della variabilità molto simile.

L'analisi della variabilità del vigore rappresenta uno studio preliminare per valutare quali siano i blocchi vitati, tra quelli oggetto di studio, che si prestano di più ad una gestione sito-specifica. Le indagini sono state eseguite utilizzando i dati NDVI rilevati in tre date estive del triennio 2019-2021 rappresentative della variabilità del vigore dei blocchi vitati oggetto di studio. I risultati ottenuti hanno permesso di mettere in luce che, anche all'interno di una zona vitata,

alcuni blocchi vitati si prestano di più ad una gestione sito-specifica rispetto ad altri. Nella zona Matelica 1 (località Fogliano) il blocco M1-05 è quello che si presta di più ad una gestione sito-specifica, seguono i blocchi M1-01 e M1-06. Nella zona Matelica 2 (località Balzani) è il blocco M2-03 a prestarsi maggiormente ad una gestione sito-specifica, segue il blocco M2-05. Nella zona Matelica 3 (località Serre Alte) i blocchi M3-06 e M3-07 sono quelli che si prestano di più ad una gestione sito-specifica. Se consideriamo tutte le zone vitate oggetto di studio, il blocco che si presta più di tutti ad una gestione sito-specifica è il blocco M2-03 della zona Matelica 2 (località Balzani), ciò è dovuto alla buona variabilità riscontrata nel blocco che risulta anche spazialmente ben organizzata.

In questa tesi sono stati utilizzati anche i dati di potatura e di vendemmia della stagione vegetativa 2020 di viti campione che ricadono in alcuni blocchi vitati delle zone oggetto di studio. I valori dei parametri vegetativi, produttivi e qualitativi delle viti campione sono stati mediati e in seguito confrontati con i dati NDVI. I risultati ottenuti hanno permesso di mostrare che i valori del parametro peso medio del tralcio (importante parametro di vigoria della vite) risultano mediamente più bassi nelle viti campione che ricadono nelle zone dove si è riscontrato (mediante l'elaborazione dei dati di Sentinel-2) un basso vigore. Anche per il parametro quantità media di tralci potati per vite i valori si presentano tendenzialmente più bassi nelle viti campione che ricadono in zone dove l'elaborazione dei dati registrati da Sentinel-2 ha rilevato un basso vigore. Infine, i valori dell'indice Uva / Germoglio, che consente di valutare la produzione media di uva per germoglio, risultano mediamente più bassi nelle viti campione che ricadono in aree dove si è rilevato un basso vigore.

BIBLIOGRAFIA

Barracu F., 2013. Variabilità spaziale e temporale di parametri applicati alla *Precision Farming* in risicoltura. Scuola di Dottorato di Ricerca. Scienze e Biotecnologie dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Università degli studi di Sassari.

Camps-Valls G., Campos-Taberner M., Moreno-Martinez A., Walther S., Duveiller G., Cescatti A., Mahecha M.D., Munoz-Mari J., Garcia-Haro F.J., Guanter L., Jung M., Gamon J.A., Reichstein M., Running S.W., 2021. A unified vegetation index for quantifying the terrestrial biosphere. Sci Adv. 2021 Feb 26;7(9):eabc7447. doi: 10.1126/sciadv.abc7447. PMID: 33637524; PMCID: PMC7909876.

Casabona M., 2020. Deep learning basato su immagini da drone per la super risoluzione di scene multispettrali acquisite da satellite. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Anno accademico 2019-2020. Politecnico di Torino.

Genesio L., De Filippis T., Di Gennaro F., Fiorillo E., Matese A., Primicerio J., Rocchi L., Vaccari F.P., 2012. La viticoltura di precisione. In "La ricerca applicata ai vini di qualità", a cura di *Di Blasi S.* Firenze University Press. 1: 9 – 48

Leroux C., Tisseyre B., 2019. How to measure and report within-field variability: A review of common indicators and their sensitivity. *Precis*. *Agric*., *20*, 562-590. https://doi.org/10.1007/s11119-018-9598-x

Lessio A., Borgogno Mondino E., 2015. Telerilevamento per l'agricoltura di precisione, *Università degli Studi di Torino*.

Matese A., Di Gennaro S.F., 2015.Technology in precision viticulture: a state of the art review. *International Journal of Wine Research*. 7:69-81. https://doi.org/10.2147/IJWR.S69405

Matese A., Di Gennaro S.F., Zaldei A, Genesio L., Vaccari F.P., 2009. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. Comput. Electron. Agric., 69, pp.51-58. 10.1016/j.compag.2009.06.016

Santesteban L.G., 2019. Precision viticulture and advanced analytics. A short review. *Food Chemistry 279, 58-62*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.140

Santesteban L.G., Guillaume S., Royo J.B., Tisseyre B., 2013. Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole vineyard scale?. *Precision Agriculture*, Springer Verlag, 14 (1), pp.2-17. (10.1007/s11119-012-9268-3). (hal-02598162).

Tadei F., 2017. Analisi di dati satellitari Sentinel ottici e radar per lo studio della copertura del suolo. Tesi A.A. 2015/2016. Corso di Studio in Ingegneria civile. ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA.

Tisseyre B., McBratney A.B., 2008. A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management: an application to viticulture. *Precision Agric* 9, 101-113. https://doi.org/10.1007/s11119-008-9053-5

Zhang X., Hu Y., Zhuang D., Qi Y., Ma X., 2009. NDVI spatial pattern and its differentiation on the Mongolian Plateau. *J. Geogr. Sci.* 19, 403-415

SITOGRAFIA

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_IT/SEMD6RZRA0G_0.html

http://www.ricercatuscania.it/data/files/finale/4_Linea_A2_Diprove.pdf

https://www.oataitalia.it/telerilevamento-ottico-per-lagricoltura-di-precisione/

https://www.agricolus.com/droni-e-satelliti-quali-scegliere-in-agricoltura/

https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/planet-scope/

https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/#:~:text=L'indice%20di%20vegetazione%20pi%C3%B9,RED)%2F(NIR%2BRED

https://www.dronebee.it/agriprecisione/

https://www.asi.it/scienze-della-terra/copernicus/

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/TXT/?uri=LEGISSUM:27020204_1

https://www.copernicus.eu/it/informazioni-su-copernicus/infrastruttura/scopri-i-nostri-satelliti

http://www.alspergis.altervista.org/data/sentinel2.html

https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description

http://app.protezionecivile.marche.it/sol/indexjs.sol?lang=it

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Cantine Belisario s.a.c. per avere messo a disposizione i vigneti di Verdicchio a Fogliano, Balzani e Serre Alte di Matelica e per avere fornito la collaborazione tecnica.

APPENDICE

Media e deviazione standard dei valori di NDVI rilevati nel 2019 ed estratti mediante QGIS per due blocchi vitati nella zona Matelica 1

Giorno dal 1° gennaio	**M1-01**		**M1-02**	
	Media	**Dev. St.**	**Media**	**Dev. St.**
16	0,397	0,049	0,367	0,042
46	0,361	0,044	0,339	0,04
51	0,335	0,043	0,311	0,039
61	0,342	0,039	0,319	0,035
71	0,393	0,046	0,366	0,04
81	0,4	0,046	0,365	0,041
91	0,392	0,053	0,317	0,036
106	0,385	0,035	0,331	0,021
156	0,299	0,045	0,264	0,039
166	0,462	0,046	0,36	0,034
181	0,442	0,035	0,457	0,032
186	0,467	0,032	0,48	0,029
201	0,574	0,033	0,545	0,039
206	0,535	0,044	0,498	0,044
211	0,611	0,039	0,573	0,04
231	0,501	0,042	0,451	0,037
241	0,554	0,037	0,512	0,032
256	0,541	0,051	0,481	0,043
261	0,55	0,051	0,489	0,043
281	0,564	0,041	0,527	0,037
291	0,494	0,043	0,465	0,032

Media e deviazione standard dei valori di NDVI rilevati nel 2020 ed estratti mediante QGIS per due blocchi vitati nella zona Matelica 1

Giorno dal 1° gennaio	**M1-01**		**M1-02**	
	Media	**Dev. St.**	**Media**	**Dev. St.**
1	0,28	0,044	0,284	0,027
46	0,288	0,032	0,286	0,018
51	0,294	0,035	0,289	0,022
71	0,316	0,045	0,305	0,023
76	0,344	0,045	0,328	0,023
81	0,382	0,044	0,368	0,024
96	0,412	0,046	0,398	0,023
106	0,374	0,046	0,402	0,026
116	0,37	0,037	0,439	0,027
146	0,319	0,027	0,382	0,022
176	0,398	0,046	0,444	0,045
181	0,418	0,056	0,452	0,054
191	0,518	0,064	0,513	0,058
201	0,486	0,055	0,438	0,037
206	0,484	0,053	0,424	0,036
211	0,501	0,056	0,433	0,04
221	0,52	0,062	0,425	0,044
226	0,517	0,061	0,428	0,042
236	0,478	0,061	0,382	0,044
241	0,484	0,064	0,393	0,05
256	0,513	0,059	0,414	0,042
261	0,507	0,059	0,418	0,047
296	0,586	0,055	0,498	0,044

Media e deviazione standard dei valori di NDVI rilevati nel 2019 ed estratti mediante QGIS per due blocchi vitati nella zona Matelica 2

Giorno dal 1° gennaio	**M2-01**		**M2-03**	
	Media	**Dev. St.**	**Media**	**Dev. St.**
16	0,368	0,063	0,348	0,075
46	0,363	0,061	0,323	0,08
51	0,351	0,053	0,294	0,072
61	0,359	0,046	0,305	0,069
71	0,411	0,058	0,353	0,081
81	0,404	0,065	0,349	0,09
91	0,412	0,085	0,354	0,114
106	0,36	0,039	0,347	0,067
156	0,42	0,067	0,352	0,088
166	0,476	0,036	0,507	0,069
181	0,532	0,04	0,476	0,056
186	0,54	0,034	0,479	0,043
201	0,64	0,036	0,548	0,053
206	0,57	0,048	0,49	0,062
211	0,636	0,041	0,556	0,061
231	0,563	0,051	0,478	0,082
241	0,642	0,048	0,578	0,071
256	0,598	0,057	0,475	0,065
261	0,603	0,054	0,456	0,061
281	0,683	0,05	0,522	0,069
291	0,635	0,051	0,451	0,062

Media e deviazione standard dei valori di NDVI rilevati nel 2020 ed estratti mediante QGIS per due blocchi vitati nella zona Matelica 2

Giorno dal 1° gennaio	**M2-01**		**M2-03**	
	Media	**Dev. St.**	**Media**	**Dev. St.**
1	0,348	0,036	0,306	0,063
46	0,362	0,037	0,326	0,06
51	0,371	0,046	0,325	0,065
71	0,38	0,059	0,328	0,082
76	0,4	0,057	0,349	0,081
81	0,43	0,06	0,381	0,076
116	0,371	0,026	0,321	0,055
146	0,561	0,025	0,449	0,067
176	0,583	0,023	0,535	0,071
181	0,601	0,043	0,518	0,051
191	0,644	0,042	0,568	0,072
206	0,638	0,044	0,56	0,076
211	0,653	0,053	0,578	0,083
221	0,567	0,05	0,486	0,067
226	0,549	0,052	0,466	0,062
236	0,516	0,048	0,412	0,062
241	0,519	0,058	0,423	0,062
256	0,58	0,05	0,447	0,075
261	0,562	0,056	0,461	0,069
296	0,687	0,048	0,532	0,084

Media e deviazione standard dei valori di NDVI rilevati nel 2019 ed estratti mediante QGIS per tre blocchi vitati nella zona Matelica 3

Giorno dal	M3-04		M3-05		M3-07	
1° gennaio	Media	Dev. St.	Media	Dev. St.	Media	Dev. St.
16	0,494	0,039	0,579	0,023	0,478	0,035
46	0,442	0,037	0,509	0,025	0,433	0,028
51	0,421	0,035	0,488	0,025	0,417	0,027
61	0,431	0,035	0,5	0,019	0,434	0,025
71	0,48	0,043	0,573	0,021	0,492	0,029
81	0,493	0,047	0,603	0,018	0,517	0,031
91	0,524	0,059	0,662	0,02	0,562	0,037
106	0,563	0,042	0,667	0,014	0,6	0,031
156	0,628	0,058	0,721	0,036	0,697	0,049
166	0,44	0,032	0,398	0,052	0,506	0,032
176	0,466	0,028	0,509	0,034	0,574	0,041
181	0,465	0,031	0,541	0,032	0,556	0,034
186	0,492	0,033	0,565	0,029	0,571	0,028
201	0,543	0,042	0,625	0,036	0,626	0,034
206	0,513	0,034	0,608	0,032	0,62	0,038
211	0,564	0,028	0,638	0,032	0,658	0,032
231	0,499	0,041	0,585	0,037	0,581	0,039
241	0,472	0,026	0,507	0,026	0,492	0,017
256	0,449	0,037	0,529	0,034	0,494	0,028
261	0,453	0,036	0,547	0,034	0,503	0,032
281	0,54	0,03	0,618	0,024	0,585	0,027
291	0,5	0,037	0,575	0,02	0,536	0,032

Media e deviazione standard dei valori di NDVI rilevati nel 2020 ed estratti mediante QGIS per tre blocchi vitati nella zona Matelica 3

Giorno dal	M3-04		M3-05		M3-07	
1° gennaio	Media	Dev. St.	Media	Dev. St.	Media	Dev. St.
1	0,408	0,035	0,476	0,024	0,422	0,039
46	0,426	0,035	0,473	0,023	0,441	0,037
51	0,43	0,039	0,488	0,021	0,456	0,039
71	0,438	0,045	0,507	0,021	0,479	0,047
76	0,452	0,045	0,526	0,022	0,505	0,048
81	0,476	0,043	0,535	0,021	0,517	0,043
96	0,538	0,046	0,604	0,021	0,573	0,046
106	0,58	0,05	0,589	0,024	0,556	0,042
116	0,641	0,051	0,655	0,024	0,622	0,042
146	0,565	0,032	0,58	0,031	0,641	0,034
176	0,654	0,027	0,678	0,033	0,718	0,029
181	0,432	0,023	0,389	0,03	0,527	0,026
191	0,43	0,023	0,461	0,031	0,522	0,03
201	0,485	0,027	0,508	0,029	0,567	0,036
206	0,468	0,022	0,512	0,029	0,558	0,036
211	0,483	0,024	0,535	0,027	0,576	0,037
221	0,48	0,033	0,547	0,03	0,571	0,04
226	0,467	0,035	0,547	0,034	0,551	0,04
236	0,428	0,043	0,518	0,036	0,504	0,044
241	0,442	0,044	0,53	0,039	0,518	0,048
256	0,45	0,041	0,583	0,031	0,545	0,039
261	0,473	0,04	0,585	0,033	0,557	0,042
296	0,57	0,036	0,637	0,03	0,577	0,032