



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

USO DI IMMAGINI SENTINEL 2 PER IL CALCOLO DI INDICI VEGETAZIONALI

Caso studio di vigneti della provincia di Ancona

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
MIRCO MONTANARI

Relatore:
PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

SOMMARIO

SOMMARIO	3
ELENCO DELLE TABELLE.....	5
ELENCO DELLE FIGURE	7
ELENCO DEI GRAFICI	9
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	12
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	14
CAPITOLO 1 AGRICOLTURA DI PRECISIONE	18
1.1 Diffusione	20
1.1.1 Situazione in Italia	20
1.2 Agricoltura di precisione in Viticoltura	26
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI	34
2.1 Materiali.....	34
2.1.1 Copernicus Open Access Hub	34
2.1.2 Qgis.....	37
2.1.3 Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico	38
2.1.4 Quaderni di campagna	39
2.2 Metodi	39
2.2.1 CVI-Chlorophyll vegetation index	40
2.2.2 CI red e CI green – Chlorophyll index red Edge e Chlorophyll index green.....	41
2.2.3 NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.....	42
2.2.4 OSAVI – Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	44
2.2.5 mSAVI2 - Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2	45
2.2.6 Elaborazione immagini	46
CAPITOLO 3 DISCUSSIONI E RISULTATI	48
3.1 Dati di partenza	48
3.2 Risultati e Discussione analizzando l’intera area dei vigneti.....	55

3.3 Risultati e Discussione analizzando l'area dei vigneti con l'applicazione dell'Offset	68
3.4 Utilizzo convenzionale dell'indice NDVI per creazione di mappe in falso colore.....	79
CONCLUSIONI	82
BIBLIOGRAFIA	84

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1 - Rapporto tra meccanizzazione, superficie e numero di aziende dei Paesi più meccanizzati al mondo - Fonte: NationMaster (www.NationMaster.com)	22
Tabella 3-1 - Lavorazioni eseguite al vigneto di Loreto, nella prima colonna sono riportate le tipologie di lavorazioni, in quella centrale vi sono le date in cui sono state eseguite e nella colonna a destra le date dei rilevamenti satellitari.	49
Tabella 3-2 - Lavorazioni eseguite al vigneto di Arcevia, nella prima colonna sono riportate le tipologie di lavorazioni, in quella centrale vi sono le date in cui sono state eseguite e nella colonna a destra le date dei rilevamenti satellitari.	50
Tabella 3-3 - Lavorazioni eseguite al vigneto di Cupramontana, nella prima colonna sono riportate le tipologie di lavorazioni, in quella centrale vi sono le date in cui sono state eseguite e nella colonna a destra le date dei rilevamenti satellitari.	51
Tabella 3-4 - Risultati del vigneto di Loreto, nella tabella ci sono a sinistra le date dei rilevamenti satellitari e nelle restanti colonne i risultati degli indici, da sinistra a destra NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI che sono riportati come media dell'intero appezzamento per ogni data rispettiva.	56
Tabella 3-5 - Risultati del vigneto Arcevia 1, nella tabella ci sono a sinistra le date dei rilevamenti satellitari e nelle restanti colonne i risultati degli indici, da sinistra a destra NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI che sono riportati come media dell'intero appezzamento per ogni data rispettiva.	59
Tabella 3-6 - Risultati del vigneto Arcevia 2, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.....	59
Tabella 3-7 - Risultati del vigneto Cupramontana 1, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI,	

OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 64

Tabella 3-8 - Risultati del vigneto Cupramontana 2, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 64

Tabella 3-9 Risultati vigneto del Loreto con Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 69

Tabella 3-10 - Risultati del vigneto di Arcevia 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 71

Tabella 3-11 - Risultati del vigneto di Arcevia 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 72

Tabella 3-12 - Risultati del vigneto Cupramontana 1 con Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 75

Tabella 3-13 - Risultati del vigneto Cupramontana 2 con Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi..... 76

ELENCO DELLE FIGURE

- Figura 1-1 – Alla destra della figura è rappresentata una spandiconcime a rateo variabile durante il suo utilizzo mentre a sinistra troviamo la centralina di comando con il rispettivo terminale video. (Fonte - www.tecnovict.com)..... 28
- Figura 1-2 - Da sinistra sono rappresentate le defogliatrici Soft Touch 2 di Volentieri Pellenc e 111 VRT di Tecnovict nel pieno del loro funzionamento all'interno dei vigneti (Fonte: www.agronotizie.com). 29
- Figura 1-3 - Nella figura troviamo un atomizzatore pneumatico a rateo variabile CIMA in funzione durante una giornata dimostrativa in pieno campo (fonte - www.macchineagricolenews.it) 31
- Figura 1-4– A sinistra abbiamo una vendemmiatrice selettiva automatizzata sito-specifica e a destra la centralina di controllo con il rispettivo terminale video e il terminale video delle telecamere di sorveglianza degli organi di lavoro (fonte: ProfessioneVite: (Vai & Cavallaro, s.d.)) 33
- Figura 2-1 - configurazione orbitale SENTINEL-2 a doppio satellite (per gentile concessione di Astrium GmbH)..... 36
- L'NDVI è calcolato, come riportato dalla formula sopra, dalla luce riflessa dalla vegetazione nello spettro visibile e nel vicino infrarosso. La vegetazione sana (a sinistra nella Figura 2-2) assorbe la maggior parte della luce visibile che la colpisce e riflette la maggior parte della luce nel vicino infrarosso. Al contrario la vegetazione malata o scarsa (a destra) riflette una quantità di luce nello spettro del visibile maggiore e una quantità di luce nello spettro del vicino infrarosso minore. Quelli riportati Figura 2-2 sono valori a scopo puramente esemplificativo ma possiamo intendere molto chiaramente che una vegetazione sana e fitta darà un valore più vicino al 0.8/0.9, mentre una vegetazione scarsa o assente darà valori più vicini allo 0.1/0.2. Valori molto vicini allo 0 stanno a significare che in quell'area non vi è vegetazione ed invece valori al di sotto dello 0 e vicini al -1 sono caratteristici di aree che cadono al di sopra di uno specchio d'acqua..... 43

Figura 2-3 – Nella figura sopra riportata troviamo un esempio pratico del calcolo dell'indice NDVI e della vegetazione corrispondente ad alcuni valori che possono essere ottenuti (fonte: www.phys.org).....	44
Figura 2-4 - Particolare del processi di lavorazione delle immagini satellitari, nello specifico si tratta del processo di ritaglio con l'area dei vigneto per specificare la modalità di lavoro del programma Qgis.....	47
Figura 3-1 - Localizzazione vigneti nella provincia d'Ancona e partendo da sinistra e procedendo verso destra abbiamo i vigneti di Arcevia poi quelli di Cupramontana e poi vicino al mare Loreto.	48
Figura 3-2 - Rappresentazione grafica delle lavorazioni delle immagini satellitari per il calcolo dell'indice NDVI per ognuno dei rilevamenti satellitari, a queste è stato applicato un falso colore per evidenziare le zone a maggiore e a minore vigoria.	80

ELENCO DEI GRAFICI

Grafico 3-1 - Dati metereologici del comune di Loreto, in questo grafico sono rappresentate come colonne blu la somma delle precipitazioni che vi sono state tra i vari rilevamenti satellitari, mentre sono rappresentate come linea rossa le temperature medie che vi sono state sempre tra i vari rilevamenti satellitari (troviamo a sinistra la scala di riferimento delle temperature e a destra quella per le precipitazioni).....	53
Grafico 3-2 - Dati metereologici del comune di Arcevia, in questo grafico sono rappresentate come colonne blu la somma delle precipitazioni che vi sono state tra i vari rilevamenti satellitari mentre sono rappresentate come linea rossa le temperature medie che vi sono state sempre tra i vari rilevamenti satellitari (troviamo a sinistra la scala di riferimento delle temperature e a destra quella per le precipitazioni).....	53
Grafico 3-3 - Dati metereologici del comune di Cupramontana, in questo grafico sono rappresentate come colonne blu la somma delle precipitazioni che vi sono state tra i vari rilevamenti satellitari mentre sono rappresentate come linea rossa le temperature medie che vi sono state sempre tra i vari rilevamenti satellitari (troviamo a sinistra la scala di riferimento delle temperature e a destra quella per le precipitazioni).....	54
Grafico 3-4 - Indici vegetazionali del vigneto Loreto, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).....	57
Grafico 3-5 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Loreto, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).....	58
Grafico 3-6 - Indici vegetazionali del vigneto di Arcevia 1, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	60
Grafico 3-7 - Indici vegetazionali del vigneto di Arcevia 2, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	61

Grafico 3-8 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Arcevia 1, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).	62
Grafico 3-9 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Arcevia 2, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).	62
Grafico 3-10 - Indici vegetazionali del vigneto di Cupramontana 1, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	65
Grafico 3-11 - Indici vegetazionali del vigneto di Cupramontana 2, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	66
Grafico 3-12 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Cupramontana 1, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).	67
Grafico 3-13 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Cupramontana 2, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).	68
Grafico 3-14 - Indici vegetazionali del vigneto di Loreto a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	70
Grafico 3-15 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Loreto a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).	70
Grafico 3-16 - Indici vegetazionali del vigneto di Arcevia 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	73
Grafico 3-17 - Indici vegetazionali del vigneto di Arcevia 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).	73

Grafico 3-18 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Arcevia 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).....	74
Grafico 3-19 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Arcevia 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).....	74
Grafico 3-20 - Indici vegetazionali del vigneto di Cupramontana 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).....	77
Grafico 3-21 - Indici vegetazionali del vigneto di Cupramontana 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).....	77
Grafico 3-22 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Cupramontana 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).....	78
Grafico 3-23 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto di Cupramontana 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).....	78

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

GPS	Sistema di Posizionamento Globale o Global Positioning System.
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index.
MSS	Multispectral Scanner.
NIR	Near Infrared o Infrarosso vicino.
APR	Aeromobili a Pilotaggio Remoto.
ESA	Agenzia Spaziale Europea.
OSAVI	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index.
mSAVI2	modified Soil Adjusted Vegetation Index 2.
CVI	Chlorophyll Vegetation Index.
CI red	Chlorophyll Index red.
CI green	Chlorophyll Index green.
USA	United States of America.
INRA	Istitut National de la Recherche Agronomique.
EAF	Agricultural Industry Electronic Foundation.
AdP	Agricoltura di precisione.
SAU	Superficie Agraria Utilizzata.
GNSS	Sistemi Globali di Navigazione Tramite Satellite o Global Navigation Satellite System.
VRA	Distribuzione a Dose Variabile.
MIPAAF	Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.
CAD	Computer Aided Design.
VRT	Variable Rate Treatment o Trattamento a Dose Variabile.

DCM Digital Canopy Model.

EUMETSAT Organizzazione Europea per lo Sfruttamento dei Satelliti Meteorologici.

ECMWF Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a breve e lungo termine.

GIS Geographic Information System.

SIMN Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

LAI Leaf Area Index.

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Il settore agricolo negli ultimi anni è in una fase di profondi cambiamenti per far fronte ai nuovi scenari che si stanno delineando a livello locale e mondiale. Anche in questo settore si manifesta la richiesta di aumentare il livello di sostenibilità ambientale, considerando d'altro canto l'incremento della popolazione mondiale e la diminuzione delle superfici coltivabili. La figura del consumatore è diventata più consapevole ed esigente nella richiesta di informazioni sulle tecniche di coltivazione e allevamento e sulla qualità dei prodotti alimentari.

Gli aspetti sopra accennati stanno portando sempre più verso una produzione basata sull'Agricoltura di precisione (detta anche Precision Agriculture o Precision Farming) o, attualmente, definita anche Agricoltura 4.0. La tecnica ha i suoi primordi alla fine del XX secolo e si basa principalmente sulle tecnologie digitali. Lo scopo è di migliorare i processi di produzione e aumentare la redditività, il tutto minimizzando le emissioni di agenti inquinanti e mantenendo o aumentando gli standard qualitativi dei prodotti agricoli. Vi sono diverse definizioni di Agricoltura di precisione, una delle quali è stata data da Pierce & Nowak, 1999 che la definiscono come: "l'applicazione di tecnologie e principi per la gestione della variabilità dello spazio e del tempo associabili agli aspetti legati alla produzione agricola con l'obiettivo di migliorare le performance in termini di raccolto e di qualità ambientale".

L'Agricoltura di precisione utilizza un'ampia gamma di tecnologie dell'informazione, come ad esempio la mappatura del suolo e della resa, utilizzando un sistema di posizionamento globale (GPS), sistemi di guida automatica o assistita del trattore e applicazioni di input a tasso variabile, consentendo ai tecnici di mettere a punto le pratiche di produzione. Il tecnico ricava informazioni grazie alle nuove tecnologie e le sfrutta per aumentare e migliorare le produzioni, ridurre i costi e massimizzare i profitti. Tra queste tecnologie, una tra le più utilizzate è l'analisi di immagini multispettrali, tecnica che sarà oggetto di approfondimento di questa tesi.

Il primo uso dell'indice NDVI o Normalized Difference Vegetation Index risale al 1973 ed è riportato nello studio delle Grandi Pianure Americane (quest'area da Nord a Sud copre parte delle province canadesi di Alberta, Saskatchewan e Manitoba, quindi gli stati americani del Montana, Dakota del Nord, Dakota del Sud, Wyoming, Nebraska, Colorado, Kansas, Oklahoma, Nuovo Messico e Texas e infine la parte settentrionale dello stato messicano di

Coahuila) riportato da Rouse, et al. Il loro obiettivo era quello di monitorare il sistema vegetativo delle grandi pianure degli Stati Uniti d'America utilizzando indicatori fenologici dello sviluppo stagionale e gli effetti prodotti su di essi dall'andamento climatico. Il tutto grazie ai dati ricavati dal primo satellite lanciato dagli Stati Uniti che prendeva il nome di ERTS - 1, dotato di uno scanner multispettrale (multispectral scanner - MSS) il quale registrava dati sulle bande del rosso e del vicino infrarosso NIR. Sulla base dei risultati di questo progetto, i ricercatori individuarono alcuni potenziali usi delle stime della biomassa verde derivate dai dati raccolti dall'ERTS -1 ed erano: la valutazione quantitativa dello stadio di sviluppo delle colture; la determinazione delle quantità di foraggi da un pascolo in una determinata area; la determinazione della risposta relativa delle colture ai fattori ambientali; l'indicizzazione della crescita delle piante per previsioni di resa. I risultati dei calcoli basati sulle stime della biomassa verde sono stati poi utilizzati sia direttamente sia indirettamente nel vasto ambito dell'agricoltura.

Si può quindi affermare che questo studio abbia aperto le porte all'utilizzo delle immagini multispettrali in agricoltura. Successivamente, dopo un primo iniziale grande entusiasmo, ci si rese conto che l'indice NDVI presentava delle limitazioni poiché sensibile a più fattori esterni tra cui:

- La copertura nuvolosa, dove si distinguono nuvole profonde, che possono essere molto evidenti nelle immagini satellitari, e nubi sottili o di piccole dimensioni, che sono in grado di contaminare le misurazioni senza che l'operatore se ne accorga;
- Gli effetti dovuti ai cambi di colore del suolo in funzione del suo contenuto di acqua che potrebbero portare a letture errate, mettendo le variazioni cromatiche in rapporto a un cambiamento della vegetazione e non a una variazione di umidità;
- Gli effetti atmosferici, in quanto il contenuto di vapore acqueo dell'aerosol possono influenzare significativamente le misurazioni effettuate dallo spazio e quindi se non adeguatamente considerati possono portare a interpretazioni scorrette;
- Gli effetti anisotropi dovuti alla geometria del bersaglio, alla geometria angolare dell'illuminazione e dell'osservazione al momento delle misurazioni; questo perché tutte le superfici, artificiali o naturali, riflettono la luce in maniera differente ed in varie direzioni;
- Gli effetti spettrali dovuti a caratteristiche e prestazioni del sensore. L'applicazione di un medesimo algoritmo produce risultati diversi se applicato a misure acquisite con strumenti differenti.

Per queste ragioni l'utilizzo di questo indice non va preso alla leggera e bisogna tener conto delle suddette variabili, oltre a una serie di parametri vegetazionali come l'indice di area fogliare, la concentrazione di clorofilla, la biomassa, le precipitazioni, ecc.

Molte delle problematiche sopra elencate sono facilmente risolvibili effettuando rilievi con mezzi più prossimali come possono essere i droni o le telecamere montate su trattatrici a terra. Soprattutto i droni che inizialmente, come la maggior parte delle tecnologie aeree, erano nati per scopo militare, negli ultimi anni stanno trovando enormi utilizzi in campo civile ed agrario. Infatti i droni o APR (aeromobili a pilotaggio remoto) possono svolgere svariati compiti grazie a camere multi e iperspettrali e ad altri sensori tipo laser scanner, camere termiche, camere Rgb. Inoltre trovano già applicazione anche per trattamenti fitosanitari, soprattutto di tipo biologico, grazie al rilascio di insetti utili come ad esempio *Trichogramma maidis* per il controllo di *Ostrinia nubilalis* su mais. Il problema dell'utilizzo dei droni, però, è il costo di applicazione, affatto trascurabile, dovuto sia al costo dell'attrezzatura sia al costo per operatori specializzati.

Tenendo conto soprattutto di questa ultima considerazione, visto che l'utilizzo dei sensori multispettrali è nato con i satelliti e dal 1973 sono stati fatti enormi passi avanti nella tecnologia del telerilevamento, pur consapevoli dei limiti precedentemente elencati, l'obiettivo di questa tesi è capire se sia possibile ottenere informazioni utili e valide per il settore agricolo sfruttando i dati forniti gratuitamente dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) tramite il programma Copernicus.

Partendo dal presupposto che in letteratura si trovano numerosi tentativi di ovviare alle problematiche di incertezza del NDVI con algoritmi che ne correggono le imprecisioni, in questo studio abbiamo deciso di approfondire ed applicare le formule che tentano di correggere il riverbero del terreno. La scelta di sperimentare la validità di queste applicazioni è dovuta ai casi di studio, rappresentati da vigneti coltivati in spalliera che presentano una superficie non coperta dalla vegetazione di interesse molto rilevante. Infatti, la sperimentazione è stata condotta in 5 vigneti situati nelle Marche in provincia di Ancona, ubicati nei comuni di Arcevia (2 vigneti), di Cupramontana (2 vigneti) e di Loreto (1 vigneto). Gli indici sperimentati sono l'OSAVI – Optimized Soil Adjusted Vegetation Index - diretto discendente dell'NDVI, e mSAVI2, retto da un algoritmo più complesso che promette di apportare correzioni più significative ed efficaci. Inoltre, poiché i rilievi satellitari comprendono anche la banda del verde, è stato possibile utilizzare anche il CVI - chlorophyll vegetation index - per stimare la quantità di clorofilla della vegetazione. Sono stati inoltre presi in considerazione anche gli indici CI red e CI green, rispettivamente Chlorophyll index red Edge e Chlorophyll index

green, per avere anche in questo caso la possibilità di verificare quale dei tre indici possa fornire il dato migliore.

Capitolo 1

AGRICOLTURA DI PRECISIONE

I primi concetti riguardanti l'agricoltura di precisione, al contrario di quanto si possa pensare, risalgono a quasi un secolo fa. Infatti fin dagli anni '20 si parlava della variabilità spaziale dei fattori produttivi, nello specifico del suolo. Anche in precedenza (Mercer & Hall, 1911) ci sono state sperimentazioni per cercare di eliminare la variabilità spaziale del suolo con interventi studiati a livello di piccole parcelle, dando così il via alla metodologia della sperimentazione agraria. I passi successivi furono gli studi sul pH del suolo, campionato seguendo lo schema di una griglia regolare che veniva riportata fisicamente, contando i passi, e, una volta ricavata la mappa di pH del suolo studiato, veniva applicato, sempre con distribuzione manuale, il correttivo in dosi differenti in base al pH rilevato in ogni zona (Linsley & Bauer, 1929). Tutta questa procedura aveva una possibile applicazione perché, trattandosi degli anni '30, la dimensione degli appezzamenti era modesta, il costo del correttivo era elevato e la manodopera era relativamente economica. Tuttavia, con il passare degli anni e con l'arrivo della meccanizzazione, tutto ciò si perse. La consapevolezza della variabilità nel tempo e nello spazio dei fattori produttivi, però, rimase ben presente agli agricoltori, anche se fu ignorata per lasciare spazio alla semplificazione dell'agricoltura convenzionale che portò ad omogeneizzare il trattamento dell'intero appezzamento.

Il 1988 segna l'inizio dell'applicazione variabile alla meccanizzazione. In quell'anno, infatti, iniziarono a comparire sul mercato i primi macchinari per l'Agricoltura di precisione, in particolare uno spandiconcime a rateo variabile (AgChem Equipment Company del Minnesota, USA) che, però risultò inutilizzabile, poiché la ricerca non aveva ancora sviluppato le metodologie e le tecnologie adatte per la sua applicazione. Ciò che rivoluzionò e soprattutto diede una grande spinta all'Agricoltura di precisione fu l'applicazione del GPS (Global Positioning System) concepito negli anni '80 per scopi militari, ma aperto per la prima volta ad uso civile nel 1993 negli USA. Questo strumento rese possibile lo sviluppo di sistemi di mappatura installati sulle mietitrebbiatrici che permettevano di produrre delle mappe della resa degli appezzamenti. Tuttavia, dopo un iniziale interesse, a causa della difficoltà dell'utilizzo di questi dati e, soprattutto, della mancata percezione di un immediato ritorno economico, ci

si concentrò su altro. Sempre concentrandosi sulla variabilità del suolo, per quanto riguarda lo studio del terreno, già dagli anni '60, grazie allo studio di un ingegnere minerario, si iniziarono a mettere a punto tecniche per la quantificazione e l'analisi della variabilità spaziale del suolo. Proseguendo con lo sviluppo si arrivò agli anni '80 dove vennero iniziati ad essere impiegati i primi sensori EM38 in grado di misurare le proprietà geoelettriche del suolo, ma si dovette aspettare fino agli anni '90 per vedere i primi esemplari in commercio. A partire dagli anni '90 cominciarono ad essere utilizzate le immagini satellitari che permisero, sempre negli Stati Uniti, di distinguere negli appezzamenti zone con caratteristiche del suolo ritenute adatte ad una gestione agronomica uniforme.

In parallelo agli studi sul suolo, ci si rese conto che era necessario conoscere oltre alla variabilità del suolo anche la variabilità stagionale della coltura. Sempre negli USA, più precisamente presso l'Università dell'Oklahoma, si iniziarono a installare dei sensori ottici su trattori in grado di fornire dati per il calcolo di indici vegetazionali come il NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Lo scopo era lo sviluppo di un sistema affidabile e selettivo in campo per la gestione della concimazione azotata a rateo variabile così da differenziare al meglio le dosi all'interno dell'appezzamento. Vi furono vari sviluppi di questa tecnica fino ad arrivare in Francia, dove si pensò di utilizzare i dati satellitari per ottenere le informazioni e il tutto fu possibile mediante un grande progetto di ricerca nazionale che coinvolgeva vari centri tra cui l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), l'agenzia spaziale francese, società private e associazioni di produttori agricoli (Guerif & King, 2007). Da queste ricerche scaturì un servizio che forniva mappe per la concimazione azotata a partire dai dati satellitari.

A questo punto si avevano sia i macchinari per eseguire concimazioni a rateo variabile, sia i dati sui quali basare la decisione della quantità da applicare in un determinato punto.

Nodo critico del sistema fu la mancanza di un protocollo standardizzato di comunicazione tra trattori e macchine operatrici dei diversi costruttori. Per ovviare a ciò, già dalla fine degli anni '90 è stato messo a punto un sistema di comunicazione standard che segue il protocollo ISO 11783 denominato ISO-BUS. Dalla decisione di adottare questo standard, l'associazione EAF (Agricultural Industry Electronic Foundation), che rappresenta le principali case costruttrici di attrezzature, trattore agricoli e attrezzature elettroniche per l'agricoltura, si è impegnata e si impegna nello sviluppo ed adozione della tecnologia ISO-BUS a livello mondiale.

Nell'ultimo decennio, l'attività di rilievo ha avuto un enorme sviluppo, in termini di tecnologie e di vettori. Infatti ai satelliti e ai voli dedicati si sono affiancati droni che, grazie a

sensori multispettrali e iperspettrali appositamente miniaturizzati, sono in grado di fornire una grande quantità di dati a costi relativamente bassi.

1.1 Diffusione

Oggigiorno l'Agricoltura di precisione è in crescente diffusione soprattutto nei paesi tecnologicamente più avanzati, anche se l'adozione di queste "nuove" tecniche e metodologie non ha avuto la diffusione rapida preventivata; al contrario, procede un po' a rilento a causa del maggiore costo delle attrezzature rispetto alle convenzionali, e soprattutto alla non immediata semplicità di utilizzo. Stato pioniere e con maggior tasso di diffusione della tecnologia sono gli Stati Uniti d'America dove, grazie ad un'indagine effettuata interrogando i rivenditori di attrezzature agricole tramite questionari, si stima che circa l'80% degli agricoltori utilizzi sistemi di guida dei trattori con GPS, dei quali il 50% con guida autonoma mentre il restante 30% con guida assistita. Per quanto riguarda le macchine operatrici, i sistemi GPS sono usati per il controllo delle sezioni irriganti nel 33%, per la semina nel 24%, nel 30% per le concimazioni a rateo variabile e solo nel 13% per i trattamenti fitosanitari (Erikson & Widmar, 2015). Per quanto riguarda il controllo del suolo, il 40% utilizza sistemi di campionamento a griglia e il 4% usa sistemi geoelettrici; sempre il 4% utilizza sensori di prossimità per il controllo della clorofilla. In Australia i più interessati all'Agricoltura di precisione sono i cerealicoltori; già nel 2012 l'AdP veniva utilizzata dal 20% degli agricoltori. Inoltre suscita molto interesse l'utilizzo del Controlled Traffic System, adottato dal 25% degli agricoltori, utilizzato per gestire il traffico dei macchinari così da salvaguardare la fertilità del terreno, evitando il compattamento del suolo. In Europa fino ad ora il tasso di diffusione è stato abbastanza contenuto e si concentra soprattutto nelle grandi aziende cerealicole del Centro-Nord Europa, con una diffusione maggiore in Germania, Francia e Paesi Scandinavi e una crescente adozione nei Paesi dell'Est.

1.1.1 *Situazione in Italia*

Nonostante siano acclamate le potenzialità della tecnologia, la diffusione dell'AdP in Italia rimane molto limitata rispetto alla situazione internazionale. Questo lento trasferimento tecnologico non è dovuto alla mancanza di offerta e nemmeno alla scarsità di ricerche e sperimentazioni intraprese nel nostro territorio. Le cause possono essere sia gli ambienti fortemente eterogenei, la dimensione aziendale, le caratteristiche del territorio, sia l'età e il livello di istruzione degli agricoltori. In Italia, le imprese di medie e piccole dimensioni rappresentano una fetta notevolissima del totale delle aziende e della superficie agricola

utilizzata (SAU). La sfida dell'Agricoltura di precisione deve riguardare quindi non solo le imprese già strutturate, ma anche quelle che attraverso pochi ma efficaci interventi possono riorganizzarsi, anche attraverso specifici strumenti di aggregazione. Si ricorda, inoltre, come l'AdP si innesti in un territorio caratterizzato da produzioni di alta qualità, distintive e tipiche, di elevato grado di apprezzamento. Il contenuto tecnologico apportato dovrà dunque tener conto di metodi produttivi e processi che valorizzino questi aspetti. Si cita in merito l'importanza delle tecnologie volte alla tracciabilità dei prodotti di qualità maggiormente soggetti a frodi e contraffazioni (falso made in Italy). L'offerta di tecnologie presenti nel mercato in Italia non ha niente da invidiare agli altri mercati europei e tutte sono state testate sperimentalmente da Enti di ricerca. Il sistema produttivo agricolo dispone, infatti, delle seguenti tecnologie:

- GNSS (sistemi globali di navigazione tramite satellite) affidabili, precisi, 3 flotte di satelliti, correzioni sempre più accurate.
- Sistemi di guida semiautomatici e in alcuni casi anche automatici con monitor di grandi dimensioni.
- Mappatura delle produzioni su colture estensive, industriali e vite.
- Sensori per la rilevazione degli indici di vegetazione delle colture, sensori "on the go" per la caratterizzazione del terreno, sensoristica applicata alle macchine e alle attrezzature per la gestione interna ed esterna. Massiccia presenza di sensori montati su droni e uso di immagini satellitari ed aeree ad hoc.
- Modelli di supporto alle decisioni, modelli previsionali di caratteri climatico, agronomico, economico, ecc. per ogni tipo di situazione e coltura.
- Sistemi di analisi, elaborazione, archiviazione e visualizzazione dei dati abbinati a GIS per un razionale sistema informativo aziendale e per la tracciabilità esterna.
- ISOBUS per trattori e macchine operatrici.
- Macchine operatrici a rateo variabile in grado di leggere mappe di prescrizione per tutte le operazioni colturali.
- Macchine operatrici meccatroniche in grado di modificare in tempo reale la loro funzionalità sulla base delle variabili condizioni di lavoro.
- Sistemi di telemetria concepiti soprattutto per ragioni logistiche e di assistenza tecnica alle macchine per i rivenditori.

Nonostante l'ampia offerta di mercato e in considerazione del fatto che ormai questa tecnologia è stata introdotta in Italia da qualche decennio, la situazione nel Paese rimane ancora nella prima fase di sviluppo, a differenza di altri paesi europei ed extra europei. Prima

di analizzare la situazione dell'AdP in Italia occorre fare alcune premesse relative alla situazione della meccanizzazione in generale. La meccanizzazione italiana è molto spinta, con un parco macchine agricole composto da oltre 1.700.000 trattori. La consistenza è oggettivamente imponente: se consideriamo che il parco trattori mondiale è stimato dalla FAO in oltre 27 milioni di unità, l'Italia risulterebbe coprire da sola il 6,3% del totale dei trattori presenti sul pianeta e sarebbe superata solamente dagli USA e dal Giappone. Considerando la ridotta superficie arabile e il grande numero di trattori, la superficie dominata da un trattore è una delle più basse al mondo (Tabella 1-1).

Paese	Parco trattori (milioni)	Superficie arabile (milioni ha)	Superficie dominata da un trattore (ha/trattore)	Numero di aziende (milioni)
USA	4,80	174,40	36	2,2
Giappone	2,03	4,36	2	2,9
Italia	1,75	7,74	4	1,6
India	1,52	159,65	105	129,2
Polonia	1,31	12,14	9	2,1
Francia	1,26	18,51	15	0,5
Germania	1,03	11,90	12	0,3
Spagna	0,88	13,70	15	1,0
Cina	0,84	103,40	123	220,0
Canada	0,77	45,66	59	
UK	0,50	5,73	11	0,2
Argentina	0,28	27,90	100	0,3

Tabella 1-1 - Rapporto tra meccanizzazione, superficie e numero di aziende dei Paesi più meccanizzati al mondo - Fonte: NationMaster (www.NationMaster.com)

D'altra parte l'Italia è anche il terzo produttore al mondo di trattori e di macchine agricole, alle spalle solamente della Germania e degli USA. I trattori immatricolati all'anno sono attualmente meno di 20.000 unità. Le mietitrebbiatrici presenti sono circa 30.000 con vendite annuali di circa 300 unità. Una notevole diffusione riguarda anche le principali macchine semoventi e le attrezzature per la distribuzione.

Con questi dati, anche se stimati, emerge come il ricambio completo del parco macchine avvenga in periodi troppo lunghi tali da rendere le macchine esistenti tecnicamente obsolete, poco economiche e pericolose dal punto di vista della sicurezza. L'età media dei trattori è di 20 anni e solo il 22% ha un'età inferiore ai 10 anni. Per le quasi 40.000 mietitrebbiatrici tale percentuale si riduce al 15%. Per le operatrici, solo il 15% degli spandiconcime e il 17,3% per i distributori di fitofarmaci ha meno di 10 anni. La situazione non sembra essere nel complesso né competitiva, né, tanto meno, sostenibile. È chiaro che un ammodernamento è auspicabile e un sostegno da parte dell'Ente pubblico è necessario, ma deve essere coerente e funzionale ai moderni sviluppi che l'agricoltura sta subendo in questi decenni ad opera anche delle tecnologie dell'AdP. Per delineare nel futuro prossimo l'implementazione raggiunta dalle tecnologie dell'Agricoltura di precisione si sottolinea la possibilità di avvalersi della rete dei venditori e riparatori di macchine come operatori titolati per colmare i vuoti di informazione e conoscenza, in relazione all'effettivo uso di macchine e sistemi tecnologicamente evoluti. Nel riportare alcuni dati relativi alla situazione italiana dell'AdP, si sottolineano le difficoltà incontrate nel reperire informazioni attendibili che sono frutto di colloqui con le principali ditte che operano nel settore agricolo (John Deere, New Holland, Agco, Kuhn, Claas, Topcon, Caffini, Arvatec, Spektra agri). Sono emerse le seguenti considerazioni (Sartori, 2016):

- Mappatura delle produzioni: le mietitrebbiatrici (MT) con sistema di mappatura delle produzioni operanti sono circa 1.600, di cui 150 unità vendute all'anno negli ultimi due anni. Orientativamente esse coprono il 10% della superficie destinata alla cerealicoltura. Il 30% delle falciatrici (FTC) semoventi vendute attualmente ha sensori per monitorare la resa, l'umidità e la qualità del prodotto trinciato. L'andamento delle raccogliatrici con sistemi di mappatura è destinato ad aumentare sia per le MT, grazie alla sempre maggiore domanda nel Centro-Sud Italia, sia per le FTC anche in virtù della diffusione degli impianti di digestione anaerobica, la cui gestione richiede informazioni più dettagliate sulla produzione e sulle caratteristiche del prodotto da insilare.

- Sistemi di guida con GNSS: è il settore "driver" in cui i volumi di affari sono attualmente più alti. I kit di guida con barra e led luminosi da installare sui trattori già esistenti (after market) sono il 7-8% dei trattori venduti annualmente. Le stesse barre di guida sono poi spesso fornite dai costruttori di irroratrici ad un prezzo contenuto. In ogni caso la tendenza è stazionaria dal momento che molti utilizzatori abbandonano questo sistema per passare alla guida semiautomatica di tipo elettrico o idraulico. Per contro, i sistemi di guida semiautomatica venduti sui trattori nuovi hanno registrato un sensibile aumento in questi ultimi 3

anni e la loro diffusione si aggira attorno all'1% dei trattori venduti ogni anno (meno di 300 unità/anno).

- ISOBUS: attualmente non sembra ci siano stati incrementi significativi in questo campo anche a causa della mancanza di "competenza" dell'utilizzatore medio italiano rispetto agli altri utilizzatori europei. Infatti, se alcuni dei maggiori costruttori di attrezzi dotati di protocolli standardizzati di comunicazione in Germania e Olanda installano l'ISOBUS su oltre il 45% delle macchine prodotte e in Francia ci si attesta su un 30%, in Italia ne sono provvisti solo il 10% dei trattori venduti, esclusivamente nelle fasce di alta potenza, mentre è presente solo nel 3-5% delle altre attrezzature. Queste percentuali sono tuttavia destinate a crescere nei prossimi anni per gli effetti delle tecnologie ad oggi in via di definizione e che saranno disponibili a breve.

- Controllo automatico delle attrezzature: nelle irroratrici, i dispositivi per il controllo delle sezioni venduti in questi ultimi 2 anni after market, e quindi su macchine esistenti, sono circa 200 (6%), mentre tali dispositivi inclusi nelle nuove macchine sono circa il 4-5% sul totale dei mezzi venduti annualmente. Il 10% degli atomizzatori a getto mirato per vigneti prevedono la chiusura delle sezioni e controllo del ventilatore elettroidraulico soprattutto in prossimità delle fasce di rispetto (direttiva 2009/128/CE). Solo il 10% degli spandiconcime venduti all'anno (circa 150 unità) sono equipaggiati con sistemi mecatronici di controllo delle bordure, monitor e sistemi di trasmissione del moto non meccanici. Per quanto concerne l'irrigazione, la quasi totalità degli impianti ad ala articolata e il 30% degli irrigatori mobili presentano sistemi di controllo remoto.

- VRA: la distribuzione a dose variabile con i principi dell'AdP (attraverso le mappe di prescrizione) viene applicata realmente da non più di 200 aziende in tutta Italia e solo per quanto riguarda il controllo della concimazione, sia minerale che organica. Le semine con variazione della dose risultano attualmente ad una fase sperimentale. Parimenti la VRA basata su sensori "on the go" (radiometri principalmente) è applicata raramente e solo su determinate colture (riso) a scopi sperimentali. Per quanto concerne l'irrigazione, sono attivi in Italia solamente 2 impianti fissi e circa 15 irrigatori mobili sono in grado di effettuare irrigazione a volumi variabili.

- Servizi extra-aziendali: si stima che nel prossimo futuro il volume d'affari previsto per le consulenze agronomiche e la fornitura di servizi sia superiore a quello dei sistemi di guida. Attualmente però le scarse informazioni ricevute permettono di stimare in circa 10.000 ha la superficie di suolo mappata con sensori geoelettrici o con misuratori di umidità a scopi irrigui. Difficilmente stimabile è quella coperta da sensori multispettrali per la determinazione degli

indici di vegetazione soprattutto nel settore orticolo e viticolo. Uno sviluppo chiave per l'utilizzo operativo e multitemporale di immagini satellitari è il programma europeo Copernicus, per il quale la fornitura di dati ottici e radar è completa, gratuita e aperta. La costellazione di satelliti Sentinel-2 ha una risoluzione di 10 m e numerose bande spettrali anche nell'infrarosso, di particolare interesse è la frequente copertura di estese zone agricole. Numerose e con tendenza all'aumento sono infine gli studi di consulenza agronomica, gli spinoff e start-up che offrono servizi differenziati dal supporto alle decisioni, alle ricognizioni aeree con droni.

Per quanto riguarda la ricerca sull'Agricoltura di precisione in Italia, nonostante i finanziamenti non siano comparabili con quelli degli altri Paesi nel settore, ha comunque avuto una buona produttività scientifica che ci colloca al nono posto mondiale per numero di pubblicazioni. Da un'indagine effettuata dal gruppo di lavoro sull'Agricoltura di precisione del MiPAAF nel 2016 (CREA, 2016), sono stati censiti 140 progetti/attività di ricerca: il 33% è coordinato da un'università italiana, il 27% da un ente pubblico di ricerca ed il restante 40% da un privato, un'amministrazione pubblica o un ente/università straniera. Dall'analisi delle parole chiave più ricorrenti si desume che molte attività riguardano i droni (19%), la viticoltura (14%), GIS e telerilevamento (18%). Le filiere in cui concentrano la maggior parte delle ricerche in Italia sono la viticola e la cerealicola.

La prevalenza della viticoltura deriva dalla redditività della coltura, dalla vivacità tecnico-culturale del settore e dalle tecnologie innovative in linea con le attuali richieste del comparto. Infatti, specialmente in questo comparto, la massimizzazione del reddito si ha grazie all'aumento del valore del prodotto che si ottiene aumentandone la qualità, cosa resa possibile applicando la viticoltura di precisione. Infine, un ulteriore obiettivo trasversale alle filiere produttive ed alle tecnologie impiegabili, che sostiene l'introduzione delle tecniche di Agricoltura di precisione, è rappresentato dalla necessità di quantificare l'inefficienza nell'impiego di lavoro, fertilizzanti, sementi, diserbanti, combustibili e lubrificanti che vengono oggi impegnati, senza che esista una reale necessità per un loro impiego. Infatti, l'adozione delle diverse tecniche di Agricoltura di precisione consente di ottimizzare l'attività di gestione e di ridurre, fino ad azzerare quasi completamente, gli sprechi. L'incremento di efficienza generale fornisce ampia giustificazione economica, energetica ed ambientale all'applicazione dei criteri di AdP. Grazie alla riduzione degli sprechi, infatti, si recuperano economie da investire in sistemi di precisione, o per adattare i mezzi pre-esistenti con maggiore convinzione che gli oneri sostenuti siano recuperabili.

1.2 Agricoltura di precisione in Viticoltura

La filiera viti-vinicola è quella con il maggiore ed avanzato sviluppo dell'Agricoltura di precisione. Ciò deriva essenzialmente da alcuni fattori di forza del nostro sistema di ricerca e dalla vivacità tecnico-culturale del settore, ma specialmente per le tecnologie innovative proprie dell'Agricoltura di precisione che possono offrire soluzioni applicative particolarmente in linea con quelle che sono le attuali richieste del comparto. Proprio in viticoltura, infatti, la massimizzazione del reddito avviene specialmente attraverso l'aumento del valore percepito del prodotto (ovvero della sua qualità). A testimoniare ciò vi è il fatto che le prime esperienze di Viticoltura di precisione iniziarono in Australia già dai primi anni 2000 (Bramley & Williams, 2001) con i primi tentativi di differenziare le aree di produzione in base alla quantità di produzione, la diversità dei suoli e del loro stato. Invece in Francia nello stesso periodo si inizia ad applicare queste tecnologie alla raccolta differenziata (Tisseyre, et al., 2001). Negli anni seguenti si sono evolute le prime tecniche di controllo sito-specifico dei trattamenti colturali per esempio con l'irrigazione affrontata da Ortega-Farias, et al., 2003. Con il passare degli anni si iniziarono ad utilizzare sensori prossimali e remoti per monitorare lo stato di salute delle piante e dei fattori produttivi, come suolo, microambiente, grappolo e pianta (Mulla, 2013) (Ruiz-Garcia, et al., 2009). In contemporanea si svilupparono le prime macchine automatiche a controllo sito-specifico per l'erogazione dei trattamenti fitosanitari, delle concimazioni, della defogliazione e la raccolta differenziata (Escola, et al., 2007). La vendemmia di precisione, come già accennato, rappresenta un approccio metodologico indirizzato alla qualità del prodotto di eccellenza ed alla sua sostenibilità. L'uva e il vino di qualità sono l'espressione e la sintesi del territorio di provenienza e qualsiasi azione volta a caratterizzare ulteriormente il territorio per supportare un intervento mirato accresce la qualità e la caratterizzazione del prodotto finale. Nella viticoltura, soprattutto in collina, all'interno del medesimo vigneto si trovano aree con diversa composizione e struttura del terreno, umidità, radiazione e microclima; a queste diversità la coltura risponde di conseguenza, evidenziando differenti stati di espressione fisiologica, riassumibili nella stima del vigore vegetativo. In viticoltura, le mappe di vigore possono essere utilizzate per effettuare scelte vendemmiali (a livello di vigneto o di comprensorio) e fornire la possibilità di compiere operazioni colturali non in maniera generalizzata ma mirata, sia spazialmente che temporalmente (es. vendemmia di precisione). Le mappe tematiche di interesse del viticoltore possono essere differenti e riguardare le rese per superficie, acidità, zuccheri, polifenoli, antociani, ecc. Quindi la Viticoltura di precisione, grazie all'impiego delle tecnologie a sua

disposizione, permette di raccogliere le diverse informazioni necessarie ad elaborare un quadro completo della qualità del vigneto e delle sue uve, e grazie a ciò impostare una gestione colturale razionale.

Le operazioni che si possono effettuare con l'aiuto delle nuove tecnologie partono dai primi momenti di progettazione e realizzazione di un nuovo impianto. Infatti le tecnologie per la realizzazione di un nuovo impianto sono molteplici ed in continua evoluzione e si avvalgono della progettazione informatica tramite Computer Aided Design (CAD) che sfrutta informazioni georeferenziate sulle variazioni geo-pedo-climatiche. Grazie a tutto ciò si riescono a creare modelli per l'automatizzazione delle varie operazioni meccaniche di realizzazione e poi successiva conduzione dell'impianto. Con tali strumenti è possibile valutare la struttura definitiva dell'impianto, potendo analizzare, attraverso simulazioni, la compatibilità ambientale, l'erosione, la vocazionalità delle pendici e l'efficienza operativa dei cantieri meccanizzati che vi dovranno operare (Casa R., 2016).

- Concimazioni e applicazioni localizzate a rateo variabile sono state tra le prime applicazioni tecniche di Agricoltura di precisione. In viticoltura, basandosi sulla dotazione del terreno e sulle asportazioni in base alla produttività del vigneto, si quantificano le dosi di concimazione così da poter condizionare il vigore vegetativo in modo tale da ottenere migliori risultati in termini di qualità delle uve. Tutto questo assume una notevole importanza in quegli appezzamenti dove troviamo forti differenze nel terreno, magari dovute alla presenza di diversi orizzonti pedologici. L'applicazione di una concimazione a rateo variabile rispetto ad una convenzionale può portare ad un risparmio di prodotto che arriva fino al 30% (Donna , et al., 2013). Le macchine spandi concime a rateo variabile si avvalgono principalmente di 3 elementi: a) il ricevitore GPS per il rilevamento della posizione della trattrice con lo spandi concime che quindi permette; b) la centralina con terminale video che garantisce all'operatore il controllo delle operazioni; c) la mappa di prescrizione che riporta le varie zone con le rispettive diverse quantità di concime. Tramite i tre elementi i dispositivi di controllo degli organi di distribuzione ricevono istruzioni in merito alla giusta erogazione di quantità di fertilizzante. Per quanto riguarda gli spandiconcime a rateo variabile per la viticoltura troviamo 2 tipologie: nel primo tipo la distribuzione avviene grazie a due interratori che distribuiscono il prodotto lungo le file (Figura 1-1), mentre nel secondo la distribuzione avviene a spaglio e quindi meno localizzata, pur riuscendo ad applicare una dose variabile anche se con una precisione inferiore (Casa, 2016).



Figura 1-1 – Alla destra della figura è rappresentata una spandiconcime a rateo variabile durante il suo utilizzo mentre a destra troviamo la centralina di comando con il rispettivo terminale video. (Fonte - www.tecnovict.com).

- Interventi differenziati sull'apparato vegetale con defogliatrici VRT (Variable Rate Treatment). La defogliazione è una pratica che ha preso sempre più piede in viticoltura poiché permette di avere una produzione a livello del grappolo d'uva di una qualità maggiore. La presenza di una parete ricca di foglie impedisce infatti il ricircolo d'aria e l'ingresso dei raggi solari, determinando un ambiente più favorevole per lo sviluppo di parassiti. Tuttavia bisogna effettuare questa operazione con moderazione, perché se è vero che l'ingresso della luce solare apporta dei benefici, un suo eccesso potrebbe essere controproducente e causare un'eccessiva disidratazione delle bacche con un conseguente eccesso del grado zuccherino dei mosti. Quindi l'operazione di defogliazione deve essere preceduta da una fase preliminare per quantificare il grado di defogliazione da applicare ad ogni zona del vigneto e ciò avviene o con sensori prossimali e quindi fotodiodi per la misura diretta della riflettanza fogliare, o con sensori remoti come fotocamere multispettrali e quindi portati da veicoli aerei da cui si ricavano mappe di vigoria basate sull'indice NDVI. La gestione VRT si basa sul principio che ad una vigoria fogliare maggiore corrisponde un maggior numero di foglie e quindi ne deriva che il livello di defogliazione da attuare dovrà essere più intenso, mentre ad una vigoria fogliare minore corrisponderà un numero di foglie minore e di conseguenza la defogliazione sarà più leggera. Gli elementi operativi sono costituiti da due rulli controrotanti verticali, dei quali uno in gomma ed uno metallico forato, e da un sistema di aspirazione assiale. Grazie alla depressione provocata dal sistema di aspirazione, le foglie vengono richiamate verso il cilindro metallico forato e con l'insieme delle forze di rotazione dei rulli e di avanzamento del

macchinario vengono distaccate dalla vite (Figura 1-2). La variazione della quantità di foglie distaccate avviene grazie ad una elettrovalvola proporzionale che in base ai comandi del computer di bordo aumenta o diminuisce il flusso d'olio del motore idraulico variando così il numero di giri del rullo forato e conseguentemente la capacità di asportazione fogliare (Casa R., 2016).



Figura 1-2 - Da sinistra sono rappresentate le defogliatrici Soft Touch 2 di Volentieri Pellenc e 111 VRT di Tecnovict nel pieno del loro funzionamento all'interno dei vigneti (Fonte: www.agronotizie.com).

- Irrorazione a rateo variabile in base alla misura diretta (sensori a bordo) o indiretta (mappe di prescrizione a sistemi di navigazione e automazione). A questo si aggiunge la possibilità di poter variare nello stesso passaggio un'applicazione differenziata e mirata di diversi pesticidi o dell'applicazione contemporanea e differenziata di pesticidi e concimi fogliari. In viticoltura come sappiamo bene la gestione dei trattamenti fitosanitari è una delle operazioni cardine per ottenere una produzione di qualità e quantità ed inoltre negli ultimi anni si sono aggiunte ulteriori complicazioni date dall'insorgenza di resistenze e dalle limitazioni sempre più stringenti dell'utilizzo di prodotti cuprici. L'evoluzione nell'occupazione dello spazio nella parete da parte della vite varia molto nelle varie fasi vegetative e quindi capiamo bene che si rende necessario adottare soluzioni tecnologiche in grado di abbattere le dispersioni, soprattutto nelle prime fasi di sviluppo. Tutto ciò permette di colpire in maniera più efficiente la vegetazione, garantendo un deposito del prodotto sulla vegetazione maggiore

e conseguentemente ci permette di ridurre le dosi e i volumi distribuiti ad ettaro. Per effettuare tutto ciò è necessario l'impiego sia di sensori prossimali (centraline a terra e sensori nel suolo e sulla pianta) sia da remoto (da satellite, aereo o drone), il tutto collegato a sistemi di supporto decisionale ed applicati alle macchine irroratrici (Figura 1-3). Inoltre vi sono anche i sensori di rilevamento delle caratteristiche fisico-dimensionali delle piante con i quali è possibile acquisire automaticamente i DCM (digital canopy model), modelli digitali della vegetazione necessari per attuare i modelli che provvedono all'adattamento delle dosi e del luogo in cui applicare il prodotto fitosanitario in base allo sviluppo e alle caratteristiche della chioma. Per quanto riguarda invece la regolazione della quantità di miscela, questa può essere effettuata tramite mappe di vigoria generate grazie all'indice NDVI, e l'acquisizione di questo dato può avvenire in tempo reale per mezzo di sensori oppure attraverso il caricamento di mappe di prescrizione. Inoltre, un aspetto da non sottovalutare è che grazie all'adozione di queste tecniche si può tener sempre sotto controllo la lotta fitosanitaria dal centro aziendale grazie alla telemetria e quindi si ha la possibilità di intervenire tempestivamente nel caso di errori (Casa R., 2016).

Ciò rende anche possibile tracciare tutte le operazioni di difesa fitosanitaria e quindi di avere in automatico il registro dei trattamenti. Grazie ai sistemi di irrorazione VRT, le quantità distribuite possono essere ridotte di oltre il 30% determinando incrementi del 20% in termini di profitto (Kulczycki & Grocholski, 2013).



Figura 1-3 - Nella figura troviamo un atomizzatore pneumatico a rateo variabile CIMA in funzione durante una giornata dimostrativa in pieno campo (fonte - www.macchineagricolenews.it)

- Gestione differenziata del suolo, in termini di qualità e quantità dell’inerbimento (miscugli autunno vernini) e delle coltivazioni interfilari da sovescio. Tali tecnologie, mediante sistemi di guida assistita e controlli sui gruppi di lavorazione o di distribuzione delle seminatrici, consentono di realizzare una semina differenziata semi-automatizzata di miscugli composti da graminacee, leguminose, crucifere, miscele di fiori e piante con un apparato radicale con una elevata capacità di penetrazione e dirompimento, oppure lavorazioni a differenti profondità. Tutto ciò è possibile grazie ad una serie di sensori per il rilevamento della posizione degli organi rotanti, trasduttori di posizione, sensori di velocità e di semina che tutti assieme inviano dati al computer di bordo che costituisce la vera e propria centrale di comando. Infatti, in esso sono pre-caricate delle mappe di semina/lavorazione differenziata (quantità e/o tipologia dei semi o nel caso delle lavorazioni le varie profondità) impostate dall’agronomo responsabile della gestione del vigneto (Casa, 2016).

- Controllo dell’inerbimento e della pacciamatura differenziati per creare una copertura del sottofila nelle zone più esposte ai venti e alla insolazione, al fine di ridurre l’evaporazione, o il taglio a raso con pacciamatura nell’interfila per ridurre l’insorgenza di infestanti nelle zone

più umide. Nell'ultimo decennio la semina di colture da sovescio nei vigneti è in forte crescita grazie ai suoi benefici. Infatti questa tecnica svolge funzioni molto importanti tra cui le più rilevanti sono la riduzione dell'erosione e del compattamento del suolo durante la stagione umida, il miglioramento della struttura del terreno ed infine l'aumento della disponibilità di sostanza organica e dell'attività biologica. Per adottare tale tecnica sono disponibili varie specie vegetali, la cui scelta dipende dallo scopo che si vuol raggiungere e dalle caratteristiche pedoclimatiche. Grazie alle seminatrici VRT si possono effettuare semine differenziate semi-automatizzate di miscugli di sementi di graminacee, leguminose, crucifere, miscele di fiori e piante a radici con elevato grado di penetrazione e dirompimento. Tali dispositivi sono dotati di computer di bordo con uscite analogiche e/o digitali con le quali si comandano dispositivi elettrici o elettroidraulici che a loro volta controllano i vari elementi di regolazione della seminatrice. Inoltre sono necessari alcuni sensori come encoder per il rilevamento della posizione degli organi ruotanti, trasduttori di posizione, sensori di velocità e di semina (i quali hanno il compito di "contare" i semi), tutti questi dispositivi inviano i dati al computer di bordo il quale gestisce tutte le varie operazioni. All'interno del computer di bordo sono caricate le mappe di semina differenziata nelle quali sono specificate le varie zone con il rispettivo quantitativo e tipologia di seme di ognuna specie/miscuglio che vengono impostate dal mission manager. L'inerbimento inoltre è attuato anche in inverno per non lasciare il suolo nudo e quindi esposto alle intemperie, soprattutto all'azione battente delle piogge che assieme al ruscellamento causano problemi di erosione (Casa, 2016).

- Sistemi di irrigazione a controllo separato nelle diverse aree degli appezzamenti (Ghinassi, et al., 2010).
- Raccolta differenziata delle uve (Vieri, 2006) (Briot, et al., 2015). Questo perché si è visto che dove il vigneto dispone di maggiori input nutritivi e condizioni ambientali favorevoli imposta il suo sviluppo verso una produzione vegetativa/quantitativa, mentre in zone con condizioni climatiche e nutrizionali sfavorevoli adotta una risposta opposta. Tali differenze sono state anche evidenziate come contenuto totale di polifenoli, polifenoli estraibili, accumulo di solidi solubili, °Brix (Bramley, 2005) (Cortell, et al., 2005). Quindi si può intendere bene quanto sia importante differenziare la raccolta delle uve per valorizzare le stesse e i vini che ne deriveranno. Il massimo livello della vendemmia meccanica selettiva è rappresentato da macchine vendemmiatrici che realizzano la separazione automatica di due livelli qualitativi di uve nei due cassoni di raccolta sulla base di almeno un criterio di selezione.

Ad esempio il sistema EnoControl™, brevettato da New Holland Agricolture (Figura 1-4), si basa sulla combinazione di GPS e un micro computer di bordo per acquisire ed attuare istruzioni relative a mappe cartografiche di prescrizione. I dati forniti dalla mappa vengono letti in base alla posizione del macchinario per selezionare automaticamente le uve e smistarle nei due differenti cassoni in base a dove si sta effettuando la raccolta. Questa tecnologia offre una ottima versatilità operativa in quanto il lavoro è svolto in modo completamente autonomo dalla macchina, però è essenziale un'ottima organizzazione della vendemmia che dev'essere supportata da rigorosi schemi di pianificazione basati sulla acquisizione dei dati e la relativa interpretazione per la realizzazione delle mappe di prescrizione da validare in campo (Casa, 2016) (Pierce & Nowak, 1999).



Figura 1-4– A sinistra abbiamo una vendemmiatrice selettiva automatizzata sito-specifica e a destra la centralina di controllo con il rispettivo terminale video e il terminale video delle telecamere di sorveglianza degli organi di lavoro (fonte: ProfessioneVite: (Vai & Cavallaro, s.d.))

Capitolo 2

MATERIALI E METODI

2.1 Materiali

2.1.1 Copernicus Open Access Hub

Copernicus è un programma dell'Unione Europea finalizzato allo sviluppo di servizi europei di informazione basati su dati satellitari e dati in situ (non in spazio).

Il programma è coordinato e gestito dalla Commissione Europea, attuato in collaborazione con gli Stati membri, l'Agenzia spaziale europea (ESA), l'organizzazione europea per lo sfruttamento dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF), le agenzie dell'UE e Mercator Océan.

Copernicus è stato concepito appositamente per soddisfare le esigenze degli utenti. Sulla base di osservazioni satellitari e in situ, i servizi Copernicus forniscono in tempo quasi reale dati con una copertura globale, che possono essere utilizzati anche per rispondere a esigenze locali e regionali; tali dati ci aiutano a capire meglio il nostro pianeta e a gestire in modo sostenibile l'ambiente in cui viviamo.

Copernicus è servito da una serie di satelliti dedicati (le famiglie Sentinel) e da missioni partecipanti (satelliti commerciali e pubblici esistenti). Il lancio di Sentinel-1A nel 2014 da parte dell'Unione Europea ha segnato l'avvio di un processo che prevede la messa in orbita di una costellazione di quasi 20 ulteriori satelliti entro il 2030.

Copernicus raccoglie inoltre informazioni da sistemi in situ come le stazioni di terra, che forniscono dati acquisiti da numerosi sensori posizionati al suolo, in mare o nell'atmosfera.

Analizzandoli ed elaborandoli, i servizi Copernicus trasformano questa ricchezza di dati raccolti da satelliti e in situ in informazioni a valore aggiunto. Le serie di dati acquisiti nel corso di anni e decenni sono indicizzate e rese comparabili garantendo così il monitoraggio dei cambiamenti; i modelli strutturali sono esaminati e utilizzati per aumentare la capacità di previsione, ad esempio, nell'analisi degli oceani e dell'atmosfera. Dalle immagini satellitari sono create mappe, individuate caratteristiche ed anomalie ed estrapolate informazioni statistiche (Copernicus, s.d.).

I dati che sono stati utilizzati per la realizzazione degli elaborati sono stati raccolti dalla missione Sentinel 2, per la precisione Sentinel 2 A. La missione Copernicus Sentinel-2 comprende una costellazione di due satelliti in orbita polare posti nella stessa orbita sincrona con il sole, in fase di 180° l'uno rispetto all'altro. Questa mira a monitorare la variabilità nelle condizioni della superficie terrestre; la sua ampia larghezza di andana e il tempo di rivisitazione (passaggio sullo stesso punto) elevato (10 giorni all'Equatore con un satellite e 5 giorni con 2 satelliti in condizioni senza nuvole che si traducono in 2-3 giorni alle medie latitudini) garantiranno il monitoraggio dei cambiamenti della superficie terrestre (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>). Quindi avendo scelto di utilizzare i dati rilevati dal solo satellite Sentinel 2 A questi sono disponibili con una frequenza di 10 giorni se le condizioni meteorologiche sono ottimali. Nel caso contrario, quindi se si presentano situazioni di coperture nuvolose, i dati sono disponibili con intervalli di tempo maggiori. Sentinel 2 è una missione europea di imaging multispettrale ad alta risoluzione e ad ampio raggio. Ogni satellite SENTINEL-2 pesa circa 1,2 tonnellate. SENTINEL-2A e SENTINEL-2B sono stati entrambi lanciati con il lanciatore europeo VEGA.

La durata del satellite è di 7,25 anni, che include una fase di messa in servizio in orbita di 3 mesi. Le batterie e i propellenti sono stati forniti per ospitare 12 anni di operazioni, comprese le manovre di deorbitazione a fine vita. I due satelliti SENTINEL-2 identici operano simultaneamente, in fase di 180° l'uno rispetto all'altro, in un'orbita sincrona al sole a un'altitudine media di 786 km. La posizione di ogni satellite SENTINEL-2 nella sua orbita viene misurata da un ricevitore GNSS (Global Navigation Satellite System) a doppia

frequenza. La precisione orbitale è mantenuta da un sistema di propulsione dedicato (Figura 2-1).

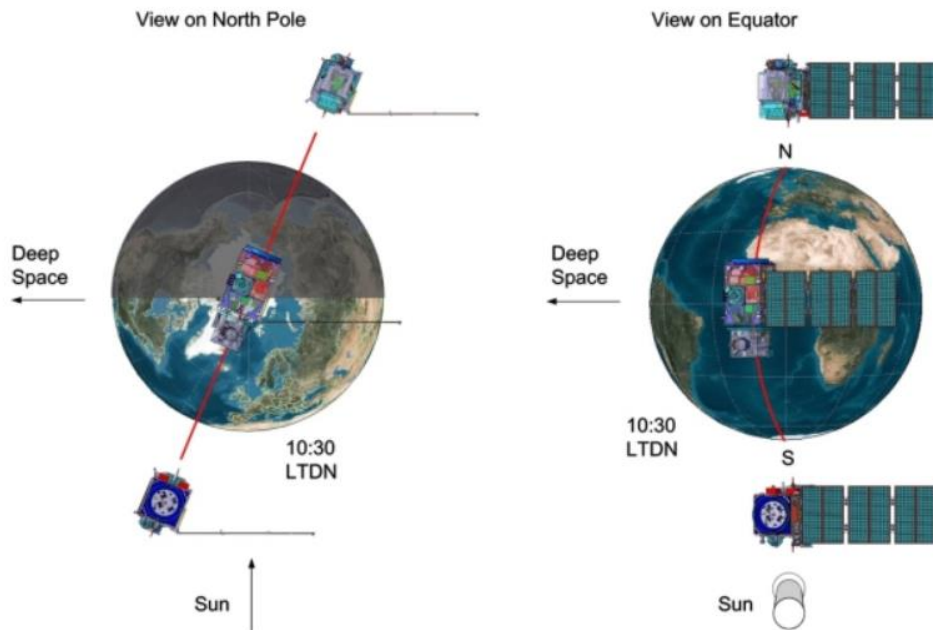


Figura 2-1 - configurazione orbitale SENTINEL-2 a doppio satellite (per gentile concessione di Astrium GmbH)

Il sistema satellitare SENTINEL-2 è stato sviluppato da un consorzio industriale guidato da Astrium GmbH (Germania). Astrium SAS (Francia) è responsabile dello strumento multispettrale (MSI).

SENTINEL-2 trasporta un carico utile di uno strumento ottico che campiona 13 bande spettrali: quattro bande a 10 m, sei bande a 20 m e tre bande a 60 m di risoluzione spaziale. La larghezza dell'andana orbitale è di 290 km. Le bande da noi utilizzate rientrano nelle 4 bande con risoluzione a 10 m dove troviamo:

- La banda n°2 che corrisponde ad una lunghezza d'onda di circa 493 nm e al colore blu;
- La banda n°3 che corrisponde ad una lunghezza d'onda di 560 nm e al colore verde;
- La banda n°4 che corrisponde ad una lunghezza d'onda di circa 665 nm e al colore rosso;
- La banda n°8 che corrisponde ad una lunghezza d'onda di circa 833 nm ed al Near Infra-Red (NIR) (Anon., s.d.).

La missione Sentinel-2 acquisisce sistematicamente dati su aree terrestri e costiere in una fascia di latitudine che si estende da 56° Sud (Isla Hornos, Capo Horn, Sud America) a 82,8° Nord (sopra la Groenlandia) e monitora:

- tutte le acque costiere fino a 20 km dalla riva
- tutte le isole maggiori di 100 km²
- tutte le isole dell'UE
- il Mar Mediterraneo
- tutti i mari chiusi (es. Mar Caspio).

Inoltre, lo scenario di osservazione di Sentinel-2 include osservazioni a seguito di richieste degli Stati membri o dei servizi Copernicus (ad es. Antartide, Baia di Baffin).

2.1.2 *Qgis*

QGIS è un software GIS (Geographic Information System), che permette di analizzare ed editare dati spaziali e di generare cartografia. QGIS supporta sia dati vettoriali che raster, oltre che i principali database spaziali come PostgreSQL/PostGIS o Spatialite.

Essendo distribuito come pacchetto Open Source, il codice sorgente di QGIS è liberamente messo a disposizione dagli sviluppatori e può essere scaricato e modificato. Il cuore di QGIS è scritto in C++ e supporta pienamente Python 3. Questo permette la sua riprogrammazione per rispondere a specifiche esigenze. Per aumentare le funzionalità e la compatibilità possono altresì essere compilati dei plugin in Python, piccole estensioni caricate al momento del lancio del programma che ne estendono le funzioni.

QGIS permette di far confluire dati provenienti da diverse fonti in un unico progetto di analisi territoriale. I dati, divisi in Layers, possono essere analizzati e da essi viene creata l'immagine/mappa con il graficismo che può essere personalizzato dall'utente ed eventualmente rispondere alle analisi tipiche del GIS - gradazione di colori, sfumatura di colore, valore unico. La mappa può essere arricchita da icone e da etichette dipendenti dagli attributi degli elementi cartografici. Un sistema di scripting può essere invocato per gestire operazioni ripetitive sui dati. Se si installa il supporto GRASS, i Tools di GRASS sono richiamabili da QGIS per essere applicati sui dati del progetto.

La scelta di utilizzare Qgis è stata dettata dal fatto che appunto sia open source e che permetta di svolgere calcoli su immagini georeferenziate come quelle che derivano da Sentinel 2. Il fatto di lavorare con immagini georeferenziate permette di localizzare con precisione all'interno delle immagini esclusivamente i pixel o comunque la porzione che corrisponde ai

nostri appezzamenti. In modo particolare per questo studio ciò è di fondamentale importanza poiché permette di svolgere le lavorazioni e le comparazioni sempre con il medesimo insieme di pixel che corrispondono con precisione a un punto sul terreno.

2.1.3 Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico

Il Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile gestisce la rete di monitoraggio della Regione Marche; tale rete è formata a sua volta dalla fusione di due reti, una meccanica (RM) ed una in telemetria (RT).

La rete meccanica è nata nel 1916 ad opera del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). I sensori a disposizione sono termometri e pluviometri la cui quantità, periodo di funzionamento e localizzazione sul territorio si è evoluta nel corso degli anni subendo una serie considerevole di cambiamenti. Per fornire un'idea qualitativa sull'evoluzione di questa rete, si segnala che i termometri sono sempre stati circa 20 mentre i pluviometri sono scesi da circa 150 nel 1950 a 90 nel 2000.

A seguito del trasferimento alle regioni delle competenze degli uffici periferici del SIMN, e successivamente con la deliberazione della Giunta Regionale n.2748 del 20/11/2001, dal 2002 il servizio di Protezione Civile è stato incaricato di assolvere le funzioni trasferite. In attuazione del programma per il potenziamento delle reti di monitoraggio meteo-idro-pluviometriche (L.n. 267 del 03/08/1998) la Regione Marche si è dotata di un sistema di monitoraggio in telemetria. Attivato nel giugno 2000 il primo nucleo della rete, a partire dal 2004 la rete RT si è via via ingrandita per arrivare, a marzo 2009, ad avere 53 termometri, 77 pluviometri, 13 anemometri, 15 barometri, 30 igrometri, 16 sensori di radiazione solare e 7 nivometri. Vi sono inoltre 70 idrometri ad ultrasuoni e microonde, a 52 dei quali è associata un'asta idrometrica per la calibrazione della misura. A partire dall'anno 2005 sono inoltre state stimate e aggiornate annualmente le scale di deflusso in corrispondenza di 8 sezioni idrometriche.

Per quanto riguarda la rete RT, che ha sostituito definitivamente la RM, a gennaio 2019 si registrano 127 pluviometri, 111 termometri, 103 idrometri, 17 anemometri, 16 barometri, 91 igrometri, 9 nivometri e 16 sensori di radiazione solare; sono inoltre presenti un sensore di conducibilità, un sensore di salinità, 2 sensori di torbidità, un sensore di livello falda e 3 sensori di temperatura dell'acqua. Sono inoltre in corso campagne di misura della portata in alveo e la definizione e aggiornamento delle scale di deflusso in corrispondenza di sezioni idrometriche significative.

Di tutta la rete di cui abbiamo parlato nel nostro studio, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle stazioni metereologiche di Arcevia (che corrisponde al numero 123), Loreto (che corrisponde al numero 610), Cupramontana (che corrisponde al numero 118) e Moie (che corrisponde al numero 506).

Dalle stazioni metereologiche abbiamo ottenuto i dati riguardanti la temperatura media giornaliera e la precipitazione giornaliera. Per quanto riguarda le stazioni di Arcevia e Loreto non sono stati riscontrati problemi, mentre la stazione di Cupramontana è sprovvista del sensore per il rilevamento della temperatura; per ricavare tale dato è stato necessario ricorrere alla stazione metereologica di Moie che è nelle immediate vicinanze.

2.1.4 Quaderni di campagna

Per quanto riguarda le lavorazioni effettuate nei vigneti, si prendono in analisi i quaderni di campagna delle aziende proprietarie dei vigneti. In questo caso non si è potuto far altrimenti perché lavorando su immagini dell'anno precedente a quello in corso era impossibile rilevare personalmente tutte le operazioni di campo. Le aziende sono tre, una per ogni comune in cui sono localizzati i vigneti, quindi abbiamo l'azienda di Loreto, quella di Arcevia e quella di Cupramontana. Le lavorazioni che vengono effettuate sui 5 vigneti non sono numerose e possiamo suddividerle in 2 gruppi: nel primo troviamo le operazioni rivolte alla gestione della vite (o parte aerea) e nel secondo le operazioni rivolte alla gestione del terreno. Il primo gruppo si suddivide in operazioni che possiamo riassumere in questo rapido elenco: potatura, stralciatura, legatura dei tralci (ovviamente questa operazione è presente o meno in base al sistema di allevamento del vigneto), spollonatura, scacchiatura dei germogli, cimatura e vendemmia. Nel secondo gruppo invece troviamo: concimazione, ripuntatura (su tutta la superficie o a file alterne), vangatura (su tutta la superficie o a file alterne), trinciatura, pirodiserbo e passaggi con l'arieggiatore. Per rendere più comprensibile il susseguirsi di queste operazioni rispetto ai rilevamenti satellitari, nel capitolo delle discussioni sono state riunite in tabelle (una per ogni azienda) in cui vengono riportate le date sia delle prime che delle seconde, così da facilitarne il confronto con i dati raccolti.

2.2 Metodi

I metodi utilizzati per elaborare le immagini satellitari sono indici vegetazionali, che sono stati confrontati per la loro capacità di interpretare lo stato vegetazionale delle colture. Di seguito si dettagliano singolarmente i diversi indici utilizzati.

2.2.1 CVI-Chlorophyll vegetation index

Il CVI è un indice studiato per misurare da remoto il contenuto di clorofilla nelle foglie, o meglio nella chioma dell'intera pianta. Grazie ai nostri occhi riusciamo a distinguere numerose variazioni del colore verde delle foglie, un occhio esperto riesce addirittura a capire dal colore del fogliame di cosa necessita la coltura. Tutto ciò è possibile perché in base al contenuto di clorofilla possiamo capire se la coltura si trova in uno stato di stress o meno. Per supportare la valutazione umana con strumenti tecnici, si è passati alla misurazione del contenuto di clorofilla in campo, ma è facilmente intuibile di come questa sia un'operazione dispendiosa soprattutto in termini di tempo. In agricoltura vi è la necessità di strumenti economici e che diano risposte quasi immediate per far sì che essi possano avere un'applicazione pratica e soprattutto possano essere di aiuto agli agricoltori. Con l'utilizzo di telecamere multispettrali e iperspettrali si sta cercando di ovviare a questi problemi. Blackmer, et al., hanno riscontrato un'elevata sensibilità della banda verde al pigmento fotosintetico. Per la stima della concentrazione di clorofilla fogliare è stato proposto il "Green NDVI", che utilizza una banda verde anziché una banda rossa come nel classico NDVI (Gitelson,, et al., 1996) (Gitelson & Merzlyac, 1996). Allo stesso modo il "Green Simple Ratio" (Green SR), il rapporto tra le riflettanze nel NIR e le parti verdi dello spettro, utilizzando una banda verde piuttosto che una banda rossa, come nel classico SR, può essere considerato per la stima del contenuto del pigmento. Schepers, et al., hanno riportato una correlazione molto alta tra il rapporto di riflettanza a banda stretta 550/850 nm (cioè l'inverso del Green SR) e la concentrazione di clorofilla per foglie di mais coltivate con diverse concimazioni azotate. In modo da ottenere un VI a banda larga che incorpora l'informazione spettrale della banda verde con sensibilità al contenuto di clorofilla fogliare e insensibile alla variazione del LAI, Vincini et al. hanno sviluppato il Chlorophyll Vegetation Index (Vincini, et al., 2007):

$$CVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Green}} * \frac{\rho_{Red}}{\rho_{Green}}$$

Il CVI si ottiene dal Green SR introducendo il rapporto rosso/verde in modo da minimizzare la sensibilità alle differenze nel LAI della chioma prima della chiusura della stessa. Il rapporto rosso/verde (Gamon & Surfus, 1999) è stato utilizzato per stimare lo sviluppo del fogliame nelle chiome. Il CVI si basa su due presupposti:

- (i) Dopo la chiusura della chioma il Green SR è sensibile alla concentrazione di clorofilla fogliare e non è affetto da LAI;
- (ii) Prima della chiusura della chioma, il rapporto rosso/verde, rappresentativo dell'abbondanza relativa di vegetazione e suolo, può essere utilizzato come fattore di normalizzazione del LAI per minimizzare il sensibilità dell'indice ai parametri strutturali della vegetazione.

2.2.2 *CI red e CI green – Chlorophyll index red Edge e Chlorophyll index green*

A differenza del CVI, il Chlorophyll index red Edge e il Chlorophyll index green non hanno all'interno della formula il rapporto rosso/verde. Questi vengono trattati assieme perché sono molto simili, la loro differenza sta in ciò che troviamo nel denominatore della formula. Nel CI red abbiamo il nir o rosso diviso per la banda del rosso a cui poi viene sottratto 1, mentre nel CI green troviamo al posto della banda del rosso, quella del verde.

$$CI\ red = \frac{\rho NIR}{\rho Red} - 1$$

$$CI\ green = \frac{\rho NIR}{\rho Green} - 1$$

Si sono scelte queste due regioni dello spettro visibile perché nel bordo verde e nell'infrarosso vicino (circa 700 nm), il coefficiente specifico di assorbimento delle clorofille è molto basso e non supera nemmeno il 6% di quello blu e rosso, che con il loro elevato assorbimento portano ad una repentina saturazione delle bande causando una perdita di sensibilità (Heath, 1969) (Lichtenthaler, 1987); tuttavia, le foglie verdi assorbono più dell'80% della luce incidente in questi intervalli spettrali (Moss & Loomis, 1952) (Gausman & Allen, 1973) (Heath, 1969) (Gausman, et al., 1969) (Gitelson & Merzlyak, 1994). In questi intervalli spettrali, la profondità di penetrazione della luce nella foglia è risultata essere da quattro a sei volte più alta che nel blu e rosso (Fukshansky, et al., 1993) (Merzlyak & Gitelson, 1995).

Gitelson, et al., 2002, nel tentativo di capire perché gli indici (RNIR/R550) -1 e (RNIR/R700) -1 sono risultati efficaci nel migliorare la precisione di valutazione della clorofilla, hanno confrontato gli spettri di riflettanza di foglie con quasi lo stesso contenuto di clorofilla ma diversa riflettanza nel NIR. Il risultato è il seguente: in tutti i casi, maggiore è la

riflettonza nella banda del NIR, maggiori sono le riflettonze nell'intervallo intorno a 550 nm e 700 nm, e quindi nelle bande del bordo verde e rosso. I processi che regolano il comportamento di riflettonza nella banda del NIR e lo spettro visibile sono molto diverse. Nella banda del NIR, un aumento della riflettonza potrebbe avere più cause scatenanti che sono: un aumento dello spessore e/o della densità delle foglie; nel campo del visibile invece, un aumento della riflettonza indica una diminuzione del contenuto di pigmento. Nelle foglie con lo stesso contenuto di clorofilla, un aumento dello spessore fogliare potrebbe portare ad un aumento di riflettonza nella banda del NIR e ad una diminuzione di concentrazione di clorofilla (con la stessa quantità di clorofilla ma un volume maggiore la concentrazione diminuisce); questo ha causato un aumento nelle riflettonze nel bordo verde e rosso. Una diminuzione invece dello spessore delle foglie potrebbe causare una diminuzione della riflettonza nella banda del NIR e un aumento della concentrazione di clorofilla, che ha causato una diminuzione della riflettonza nel bordo verde e rosso. Questi indici hanno dimostrato di essere accurati nel quantificare la clorofilla totale presente all'interno delle chiome.

2.2.3 NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

Gli Indici Vegetativi (VI) sono stati sviluppati per capire le variabili della chioma e per servire come base per molte applicazioni di telerilevamento per la gestione delle colture perché sono correlati con diverse importanti proprietà biofisiche, come il LAI. Gli indici vegetativi forniscono diverse informazioni. Il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) viene calcolato dal vicino infrarosso e dalle bande rosse dello spettro elettromagnetico e fornisce una misura di assorbimento della luce rossa da parte della clorofilla e della riflessione della radiazione infrarossa da parte di celle piene d'acqua. Fenologia e vigore sono i principali fattori che influenzano l'NDVI. I valori NDVI sono compresi tra -1,0 e 1,0, con acqua con valori negativi, suolo con valori leggermente positivi, e vegetazione con valori sempre più elevati che si avvicinano a 0,9 per fitta copertura vegetale (Bannari, et al., 1995).

Il lavoro pionieristico di Rouse, et al., ha dimostrato che NDVI può essere utilizzato per una descrizione accurata della copertura vegetale grazie alla sua forte relazione con determinate proprietà fisiche della vegetazione, come: quantità di radiazione fotosinteticamente attiva assorbita, indice di area fogliare LAI, copertura vegetale frazionata e biomassa. La parte di gran lunga più studiata dello spettro della vegetazione è il limite rosso spettrale, situato tra 670 e 800 nanometri (nm) (Myneni & Asrar, 1994) (Veroustraete, et al., 1996) (Carter, 1998) (Goetz, et al., 1999) (Inoue, et al., 2008) (Ustin, et al., 2009). La regione

del limite rosso è caratterizzata da un brusco cambiamento nella riflettanza della chioma tra il rosso (670 nm) e il vicino infrarosso (NIR) (800 nm), causato dagli effetti combinati del forte assorbimento di clorofilla nelle lunghezze d'onda del rosso e dall'elevata riflettanza nel NIR (Gates, et al., 1965) (Tucker, 1979) (Horler, et al., 1983). La posizione del limite rosso (REP) ha dimostrato di avere una buona correlazione con il contenuto di clorofilla ed è definita dal punto di massima pendenza tra la regione di assorbimento della clorofilla rossa e la regione ad alta riflettanza NIR.

Quasi tutti gli indici di vegetazione satellitari utilizzano questa formula di differenza per quantificare la densità della crescita delle piante sulla Terra: radiazione del vicino infrarosso meno radiazione visibile (il rosso) divisa per radiazione del vicino infrarosso più radiazione visibile (il rosso). Il risultato di questa formula è chiamato Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Scritta matematicamente, la formula è:

$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + \rho Red}$$

L'NDVI è calcolato, come riportato dalla formula sopra, dalla luce riflessa dalla vegetazione nello spettro visibile e nel vicino infrarosso. La vegetazione sana (a sinistra nella Figura 2-2) assorbe la maggior parte della luce visibile che la colpisce e riflette la maggior parte della luce nel vicino infrarosso. Al contrario la vegetazione malata o scarsa (a destra) riflette una quantità di luce nello spettro del visibile maggiore e una quantità di luce nello spettro del vicino infrarosso minore. Quelli riportati Figura 2-2 sono valori a scopo puramente esemplificativo ma possiamo intendere molto chiaramente che una vegetazione sana e fitta darà un valore più vicino al 0.8/0.9, mentre una vegetazione scarsa o assente darà valori più vicini allo 0.1/0.2. Valori molto vicini allo 0 stanno a significare che in quell'area non vi è

vegetazione ed invece valori al di sotto dello 0 e vicini al -1 sono caratteristici di aree che cadono al di sopra di uno specchio d'acqua.

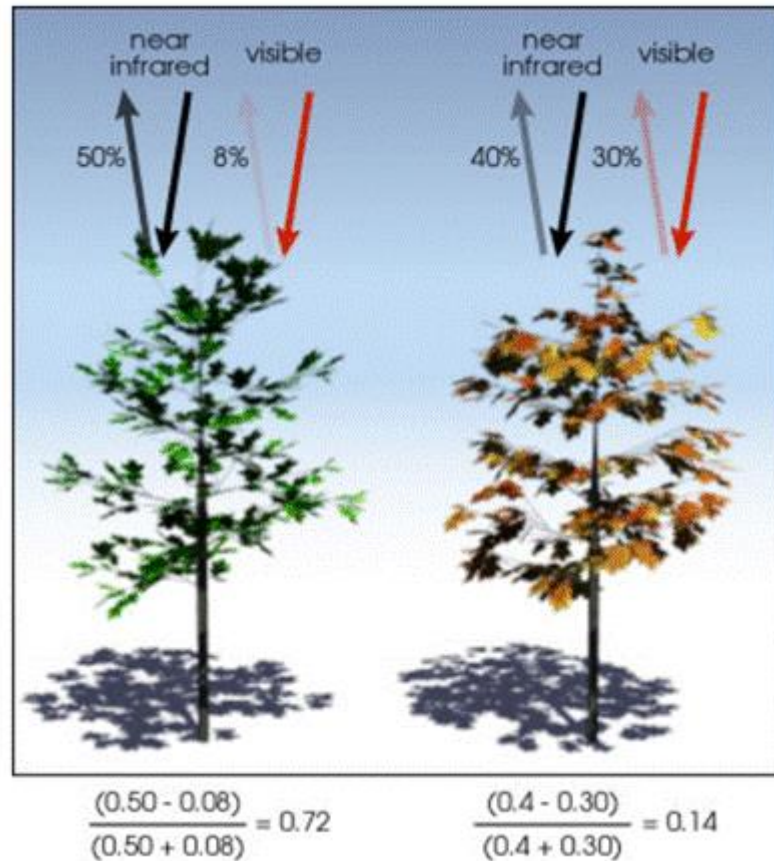


Figura 2-3 – Nella figura sopra riportata troviamo un esempio pratico del calcolo dell'indice NDVI e della vegetazione corrispondente ad alcuni valori che possono essere ottenuti (fonte: www.phys.org).

2.2.4 OSAVI – Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

Sebbene l'NDVI si sia dimostrato utile nella stima delle proprietà della vegetazione, molte importanti influenze esterne ed interne ne limitano l'utilità globale. Gli indici migliorati in genere incorporano un fondo del suolo e/o un adeguamento atmosferico, uno di questi indici è chiamato Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). Il problema con l'indice di vegetazione corretto per il suolo (SAVI) è che richiede di specificare il fattore di correzione della brillantezza del suolo L che varia da 0, per copertura vegetale molto alta, a 1 per copertura vegetale molto bassa. La maggior parte dei ricercatori usa 0,5 per L, che è per copertura vegetale intermedia. L = 0 rende SAVI equivalente a NDVI (Huete, 1988). Il motivo per cui è

stato selezionato l'indice OSAVI e non il SAVI, per questo studio, è dovuto al facile utilizzo del primo nel contesto delle osservazioni operative sui paesaggi agrari. Infatti, la sua determinazione non necessita di informazioni sulle proprietà ottiche del suolo, e inoltre, offre i migliori risultati per la maggior parte delle colture agricole (Rondeaux, et al., 1996). In letteratura si possono trovare due differenti formule per calcolare l'indice OSAVI che differiscono esclusivamente per una moltiplicazione come riportato di seguito:

$$OSAVI = \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + \rho Red + 0.16}$$

$$OSAVI = \frac{\rho NIR - \rho Red}{\rho NIR + \rho Red + 0.16} * 1 + 0.16$$

La moltiplicazione comporta un aumento del risultato finale senza influire sulla curva finale che deriverà dall'elaborazione dei dati. Detto ciò la scelta è ricaduta sulla prima formula in quanto l'obiettivo è soprattutto quello di comparare i vari indici con il più blasonato NDVI; la differenza tra la formula del NDVI e dell'OSAVI scelto per questo studio è la somma del valore 0.16 al denominatore.

2.2.5 *mSAVI2 - Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2*

Il *mSAVI2* (Qi, et al., 1994), è un indice di vegetazione modificato per il suolo che cerca di affrontare alcune delle limitazioni dell'NDVI quando applicato su aree con un alto grado di superficie del suolo esposta. Il problema con il SAVI originale è che richiede di specificare il fattore di correzione della luminosità del suolo *L* attraverso tentativi ed errori in base alla quantità di vegetazione presente nell'area di studio. Questo ha portato la maggior parte dei ricercatori a usare semplicemente il valore *L* predefinito di 0,5, inoltre crea il problema di dover conoscere la quantità di vegetazione o la copertura per definire il valore di *L* prima di poter applicare SAVI che dovrebbe fornire informazioni su quanta vegetazione c'è. Qi, et al., 1994 hanno sviluppato il *mSAVI2* per calcolare in modo più affidabile e semplice un fattore di correzione della luminosità del suolo (Jiang, et al., 2007) (Qi, et al., 1994) (Qi, et al., 1994) (Ray, 2011). Il *mSAVI2* è calcolata seguendo l'equazione:

$$mSAVI2 = \frac{[(2 * \rho NIR + 1) - \sqrt{(2 * \rho NIR + 1)^2 - 8 * (\rho NIR - \rho Red)}]}{2}$$

Come possiamo ben vedere, anche se la formula è molto più complessa rispetto alle altre, vengono utilizzate sempre e solo la riflettanza nella banda del NIR e quella nella banda del

limite rosso. Questo accade perché sia l'OSAVI che il mSAVI2 nascono come tentativo di migliorare l'NDVI che può subire molte variazioni causate da agenti esterni.

2.2.6 Elaborazione immagini

Dopo la scelta dei vari indici da prendere in studio e degli appezzamenti da seguire, si è proceduto con lo scaricare dal portale di Copernicus Open Access Hub il vario materiale di cui si necessitava. Con materiale s'intendono tutte le immagini satellitari che sono state rilevate dal satellite Sentinel 2 A. Prima di procedere con questa operazione sono stati localizzati spazialmente i terreni del nostro caso di studio che sono situati rispettivamente nei comuni di Arcevia, Cupramontana e Loreto.

Come detto precedentemente, i vari indici non lavorano bene se vi è la presenza di una copertura data dalle nubi, quindi come primo passo sono state eliminate tutte le immagini dove erano presenti. Una volta effettuata questa selezione sono rimaste 13 immagini satellitari per tutto il 2020. Di ognuna di esse si sono utilizzate solo 3 bande, cioè: la 8 o NIR, la 4 o Red e la 3 o Green. Con il programma Qgis sono stati effettuati i calcoli per ricavare i valori corrispondenti ad ogni indice per l'intera immagine satellitare. Sempre con il medesimo programma, visto che per lo studio è necessaria esclusivamente l'area dell'immagine che ricade al di sopra degli appezzamenti presi in esame, si sono ritagliate le immagini in modo da far rimanere esclusivamente i pixel inerenti gli appezzamenti.

Il lavoro è continuato così per ogni immagine ripetendolo per ogni indice e appezzamento. Successivamente tramite la funzione Landscape Statistics si è calcolata la media dei valori dei pixel, derivati dal calcolo degli indici, che componevano l'area di ogni singolo appezzamento così da poter ottenere il valore medio per ogni appezzamento in ogni data.

Il tutto è stato riportato su un foglio Excel dove elaborando i dati ottenuti è stata generata una tabella per ogni singolo appezzamento con al suo interno tutti i valori medi inerenti per ogni data e per ogni indice, come riportato nel prossimo capitolo. Da questo sono derivati vari grafici per visualizzare meglio l'andamento dei vari indici e le differenze tra essi.

Terminata questa prima fase, tutto il procedimento è stato ripetuto ma, questa volta, applicando un offset di 10m. La ripetizione si è resa necessaria dato che nell'eseguire il ritaglio dell'immagine con il contorno degli appezzamenti, il programma mantiene anche i pixel che non sono completamente all'interno dell'area, come riportato in Figura 2-3.

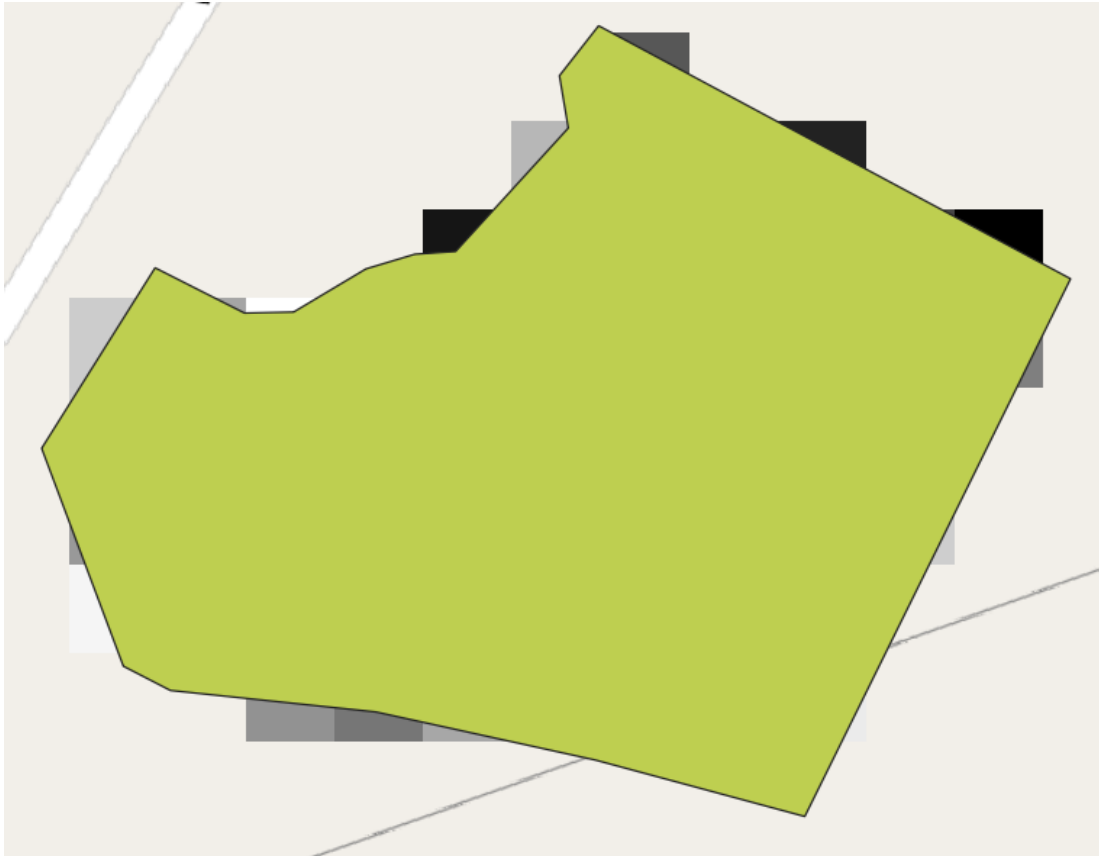


Figura 2-4 - Particolare del processi di lavorazione delle immagini satellitari, nello specifico si tratta del processo di ritaglio con l'area dei vigneto per specificare la modalità di lavoro del programma Qgis.

I 10m sono dovuti dal fatto che, come specificato sopra, la risoluzione delle immagini è di 10m*10m, quindi eseguire un offset con una misura inferiore sarebbe risultato inutile.

Capitolo 3

DISCUSSIONI E RISULTATI

3.1 Dati di partenza

Risultati

Come precedentemente riportato, lo studio riguarda ben 5 vigneti differenti collocati in 3 diverse località. Per prima cosa si identificheranno i vari vigneti: il vigneto posizionato nel comune di Loreto prende il nome di vigneto di Loreto in quanto è l'unico vigneto presente, mentre per gli altri due comuni in cui sono presenti 2 appezzamenti questi prenderanno il nome di Arcevia 1 e Arcevia 2 per quanto riguarda il comune di Arcevia e invece Cupramontana 1 e Cupramontana 2 per il comune di Cupramontana. Nella immagine seguente (Figura 3-1) è specificato il loro posizionamento spaziale.

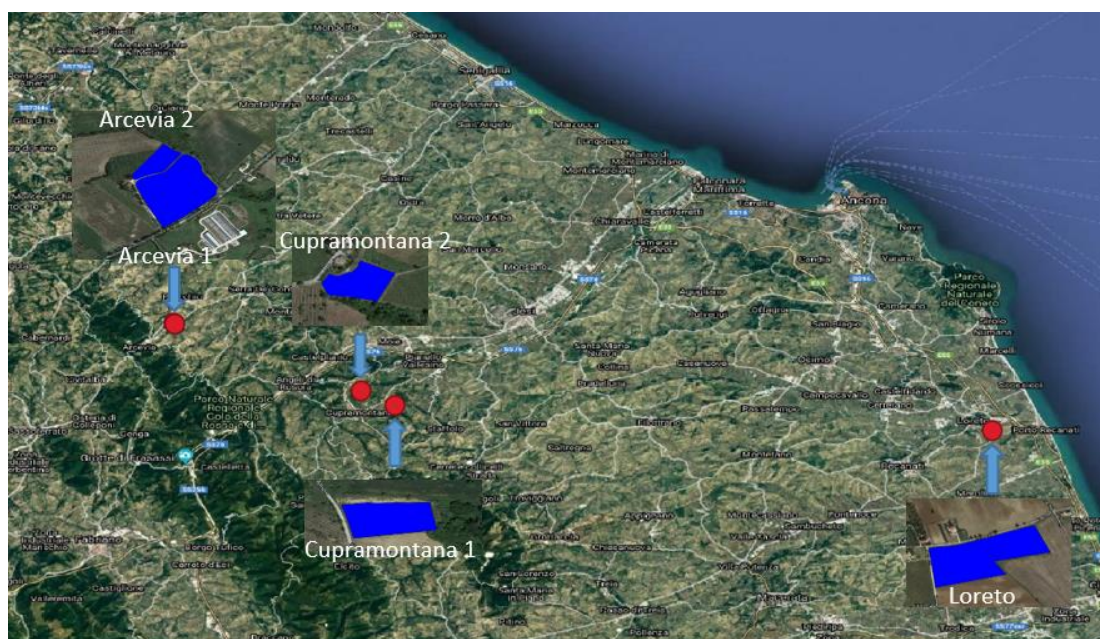


Figura 3-1 - Localizzazione vigneti nella provincia d'Ancona e partendo da sinistra e procedendo verso destra abbiamo i vigneti di Arcevia poi quelli di Cupramontana e poi vicino al mare Loreto.

Prima di passare all'analisi dei grafici si ha la necessità di delineare quali e soprattutto quando sono state effettuate le lavorazioni per la gestione del vigneto. Per far ciò, avendo effettuato lo studio su immagini dell'anno già trascorso, queste informazioni sono state reperite nei quaderni di campagna delle 3 aziende proprietarie dei vigneti. Anche in questo caso per rendere il tutto più schematico possibile e di facile lettura, i risultati sono stati riportati in 3 tabelle (Tabella 3-1; 3-2; 3-3).

Loreto		
Lavorazioni	Data	Immagini satellitari
Concimazione + Ripuntatura	20/01/2020	
		15/02/2020
Potatura	Febbraio	
Stralciatura	Febbraio	
		16/03/2020
Legatura tralci	Aprile	
		05/04/2020
		15/04/2020
		25/04/2020
Vangatura	Maggio	
Spollonatura	Maggio	
		25/05/2020
Trinciatura	03/06/2020	
		24/06/2020
Cimatura piu Pirodiserbo	10/07/2020	
		24/07/2020
		13/08/2020
		23/08/2020
		12/09/2020
Vendemmia meccanica	25/09/2020	
		22/10/2020
		01/11/2020

Tabella 3-1 - Lavorazioni eseguite al vigneto di Loreto, nella prima colonna sono riportate le tipologie di lavorazioni, in quella centrale vi sono le date in cui sono state eseguite e nella colonna a destra le date dei rilevamenti satellitari.

Arcevia		
Lavorazioni	Data	Immagini satellitari
Potatura	07-14/02/2020	
		15/02/2020
Concimazione + Ripuntatura a file alterne	20/02/2020	
Stralciatura	21-29/02/2020	
		16/03/2020
Legatura tralci	01-08/04/2020	
		05/04/2020
		15/04/2020
Vangatura a file alterne + Trinciatura	20/04/2020	
		25/04/2020
Spollonatura	12/05/2020	
		25/05/2020
Scacchiatura dei germogli	01/06/2020	
Trinciatura	03/06/2020	
		24/06/2020
Cimatura	26/06/2020	
Cimatura	21/07/2020	
		24/07/2020
Trinciatura	03/08/2020	
		13/08/2020
		23/08/2020
		12/09/2020
Vendemmia meccanica	20/09/2020	
		22/10/2020
		01/11/2020
Concimazione	20/11/2020	
Arieggiatore	30/11/2020	

Tabella 3-2 - Lavorazioni eseguite al vigneto di Arcevia, nella prima colonna sono riportate le tipologie di lavorazioni, in quella centrale vi sono le date in cui sono state eseguite e nella colonna a destra le date dei rilevamenti satellitari.

Cupramontana		
Lavorazioni	Data	Immagini satellitari
		15/02/2020
Concimazione + Ripuntatura a file alterne	18/02/2020	
Stralciatura	21-29/02/2020	
		16/03/2020
Potatura	01-06/04/2020	
		05/04/2020
Stralciatura	06-12/04/2020	
Legatura tralci	12-18/04/2020	
		15/04/2020
Trinciatura N°1	20/04/2020	
		25/04/2020
Spollonatura	14/05/2020	
		25/05/2020
Scacchiatura dei germogli	01-08/06/2020	
Trinciatura N°2	02/06/2020	
Cimatura	15/06/2020	
		24/06/2020
Cimatura	20/07/2020	
		24/07/2020
Trinciatura N°3	04/08/2020	
		13/08/2020
		23/08/2020
		12/09/2020
Vendemmia meccanica	15/10/2020	
		22/10/2020
		01/11/2020
Concimazione	21/11/2020	
Arieggiatore	28/11/2020	

Tabella 3-3 - Lavorazioni eseguite al vigneto di Cupramontana, nella prima colonna sono riportate le tipologie di lavorazioni, in quella centrale vi sono le date in cui sono state eseguite e nella colonna a destra le date dei rilevamenti satellitari.

Come si può notare le tabelle prodotte sono soltanto 3 poichè i vigneti ricadenti nel comune di Arcevia condividono le stesse pratiche agronomiche, così come i due vigneti di Cupramontana. Osservando le tabelle si può notare come le lavorazioni eseguite nei vari vigneti sono all'incirca le medesime, eccetto per alcune differenze come il passaggio con l'arieggiatore che non viene effettuato nel vigneto di Loreto e sempre nel vigneto di Loreto viene effettuata una sola concimazione ad anno mentre negli altri 4 abbiamo una concimazione ad inizio ed una a fine anno. Altro particolare non da trascurare è la gestione dell'inerbimento,

in quanto nel vigneto di Loreto si praticano 4 interventi suddivisi in: una ripuntatura, una vangatura a file alterne, una trinciatura ed un passaggio con il pirodiserbo. Nei vigneti di Arcevia troviamo lo stesso numero di interventi, ma al posto del pirodiserbo si effettua una seconda trinciatura; nei vigneti di Cupramontana allo stesso modo vengono eseguiti 4 interventi che sono ancor più semplificati in quanto a seguito della ripuntatura iniziale si susseguono ben 3 trinciature. Passando a controllare gli interventi per il contenimento vegetativo delle viti si nota che la situazione è completamente differente. In tutti e 5 i vigneti abbiamo la potatura iniziale e la spollonatura, ma poi iniziano le variazioni. Nel vigneto di Loreto non viene effettuata la scacchiatura dei germogli e si ha una sola cimatura, mentre negli altri 4 appezzamenti troviamo la scacchiatura dei germogli più 2 passaggi di cimatura. Da tutto ciò si deduce che il vigneto di Loreto sia meno vigoroso, e ciò è testimoniato dal fatto che non è necessaria la scacchiatura dei germogli e che è sufficiente una sola cimatura; altra testimonianza è il fatto che gli interventi per il controllo dell'interfilare sono più atti ad eliminare l'inerbimento che semplicemente a contenerlo (ripuntatura, vangatura e pirodiserbo).

Oltre a questi dati è necessario conoscere l'andamento climatico sia per quanto riguarda le temperature medie che per le precipitazioni giornaliere, in quanto entrambi questi fattori influenzano l'andamento vegetativo dei vigneti. Per l'ottenimento di questi dati, come specificato sopra, ci si è affidati al Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico e tutto è stato tradotto nel Grafico 3-1, Grafico 3-2, Grafico 3-3.

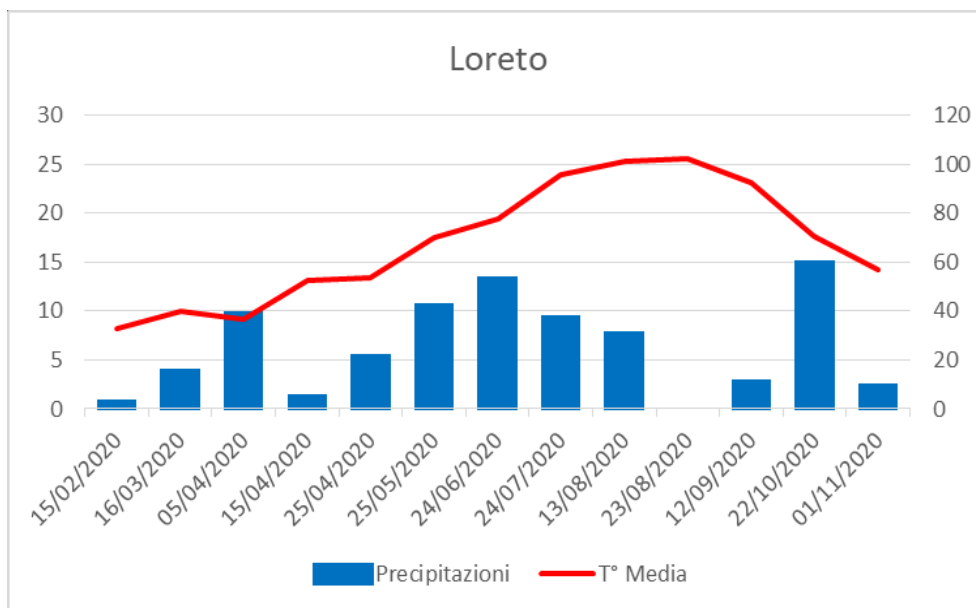


Grafico 3-1 - Dati metereologici del comune di Loreto, in questo grafico sono rappresentate come colonne blu la somma delle precipitazioni che vi sono state tra i vari rilevamenti satellitari mentre sono rappresentate come linea rossa le temperature medie che vi sono state sempre tra i vari rilevamenti satellitari (troviamo a sinistra la scala di riferimento delle temperature e a destra quella per le precipitazioni).

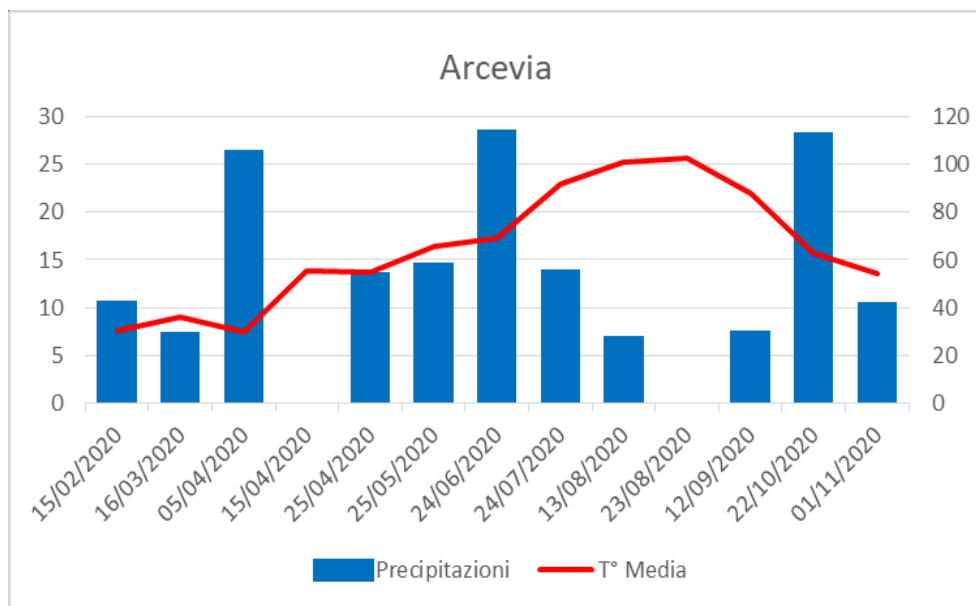


Grafico 3-2 - Dati metereologici del comune di Arcevia, in questo grafico sono rappresentate come colonne blu la somma delle precipitazioni che vi sono state tra i vari rilevamenti satellitari mentre sono rappresentate come linea rossa le temperature medie

che vi sono state sempre tra i vari rilevamenti satellitari (troviamo a sinistra la scala di riferimento delle temperature e a destra quella per le precipitazioni).

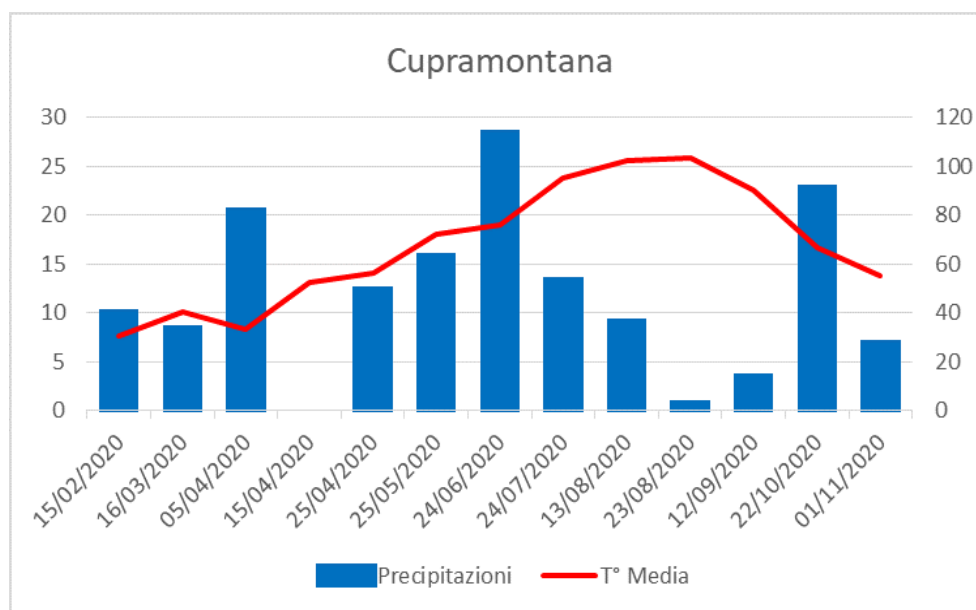


Grafico 3-3 - Dati meteorologici del comune di Cupramontana, in questo grafico sono rappresentate come colonne blu la somma delle precipitazioni che vi sono state tra i vari rilevamenti satellitari mentre sono rappresentate come linea rossa le temperature medie che vi sono state sempre tra i vari rilevamenti satellitari (troviamo a sinistra la scala di riferimento delle temperature e a destra quella per le precipitazioni).

Come si può notare dai grafici qui sopra riportati, c'è una differenza evidente tra le precipitazioni rilevate a Loreto rispetto a quelle di Arcevia e Cupramontana. La somma dei mm di pioggia caduti dal 1° gennaio al 1° novembre 2020 (data dell'ultimo rilievo satellitare) riportano che a Loreto sono caduti circa 302 mm di pioggia, invece ad Arcevia circa 643 mm e a Cupramontana circa 587 mm. D'altro canto invece le temperature medie sono all'incirca identiche, eccetto per il periodo invernale dove ad Arcevia abbiamo qualche grado in meno, infatti delle tre è la località più vicina alla montagna. A conferma di ciò che è stato appena affermato vi è il calcolo della temperatura media per il periodo compreso dal 1° gennaio al 1° novembre 2020 (come per le precipitazioni), e sia a Loreto che a Cupramontana si ha una temperatura media di circa 17°C mentre ad Arcevia di circa 16°C. I dati meteo confermano quanto già detto in merito alla gestione dei vigneti, perché a quasi parità di temperature medie Loreto ha le precipitazioni che sono la metà (o quasi) delle altre due località. La gestione dell'interfilare diretta verso l'eliminazione delle infestanti ha ancora più senso visto che, dalla

prospettiva del bilancio idrico della coltura, le infestanti dimostrano essere delle competitorici. Inoltre in questo vigneto viene effettuata una sola concimazione e gli interventi di contenimento della chioma sono ridotti ad una cimatura; da un lato quindi si limitano eccessi di elementi nutritivi per evitare un eccessivo vigore della pianta, dall'altro le scarse precipitazioni fanno sì che lo sviluppo della pianta sia contenuto.

Dall'elaborazione delle immagini satellitari ci si aspetta come prima cosa un andamento degli indici che rispecchi quello che è il normale sviluppo fenologico della vite, però con l'influenza dell'interfilare, e come secondo risultato delle flessioni della curva in concomitanza degli interventi di gestione del vigneto, come scacchiatura dei germogli, cimatura e soprattutto tutti quegli interventi volti alla gestione dell'interfilare.

3.2 Risultati e Discussione analizzando l'intera area dei vigneti

I risultati sono stati suddivisi in base agli appezzamenti e riportati in formato tabellare per delineare e rendere evidenti le differenze tra i vari indici. Come primo passo sono stati analizzati i risultati ottenuti dalle elaborazioni dell'intera superficie dell'appezzamento, per poi passare ai risultati ottenuti dalle elaborazioni delle superfici con l'applicazione dell'offset di 10 metri per l'eliminazione dell'effetto bordo. Fatta questa premessa si può passare ai dati che sono stati ottenuti partendo dalle immagini satellitari fornite da Copernicus. Qui di seguito abbiamo le tabelle dove sono riportati i 6 indici che abbiamo utilizzato sono suddivisi nelle varie colonne, mentre nelle righe troviamo i vari rilevamenti effettuati dal satellite che sono identificati dalla data in cui sono stati eseguiti. Ciò che si nota immediatamente è il fatto che negli indici vegetazionali tra l'indice NDVI e l'indice OSAVI non troviamo differenze, mentre per quanto riguarda l'indice mSAVI2 vi sono valori più elevati rispetto agli altri due (ciò è dovuto dalla correzione che attua l'indice rispetto al suolo). Per sintetizzare sono stati realizzati dei grafici a partire dalle tabelle. Più precisamente si è deciso di creare 2 grafici da ogni singola tabella. La scelta è stata dettata dal fatto che, come riportato nel capitolo precedente, si stanno utilizzando 3 indici vegetazionali (NDVI; OSAVI; mSAVI2) e 3 indici per la stima della clorofilla (CVI; CI red; CI green). Ovviamente trattandosi di indici differenti questi hanno anche scale differenti, ulteriore motivo che rende necessaria questa divisione.

Il primo vigneto analizzato è quello di Loreto. La caratteristica dei dati ricavati è che hanno la tendenza ad avere dei valori più bassi rispetto agli altri appezzamenti e ciò è in linea con i risultati attesi. Ciò che si nota immediatamente guardando i dati in Tabella 3-4 è che troviamo in ben 2 date, il 16/03/2020 e 05/04/2020, si rilevano dei valori molto bassi che per quanto

riguarda l'NDVI sono correlati a vegetazione assente o molto scarsa. Questo dato era prevedibile in quanto la gestione dell'interfilare volta ad eliminare la competizione di altre piante ed il fatto che la vite non abbia ancora germogliato fa sì che si abbia scarsa vegetazione.

Loreto						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,56	0,56	0,72	2,59	2,98	4,39
16/03/2020	0,19	0,19	0,32	0,48	1,07	2,82
05/04/2020	0,19	0,19	0,32	0,46	1,00	2,70
15/04/2020	0,23	0,23	0,37	0,59	1,09	2,72
25/04/2020	0,26	0,26	0,42	0,72	1,10	2,52
25/05/2020	0,62	0,62	0,77	3,26	2,79	3,34
24/06/2020	0,72	0,72	0,83	5,04	3,54	3,41
24/07/2020	0,40	0,40	0,58	1,36	1,85	3,44
13/08/2020	0,49	0,49	0,66	2,98	2,23	3,52
23/08/2020	0,47	0,47	0,64	1,77	2,26	3,77
12/09/2020	0,45	0,45	0,62	1,66	1,99	3,38
22/10/2020	0,63	0,63	0,78	3,45	3,25	3,94
01/11/2020	0,60	0,60	0,75	3,05	2,84	3,61

Tabella 3-4 - Risultati del vigneto di Loreto, nella tabella ci sono a sinistra le date dei rilevamenti satellitari e nelle restanti colonne i risultati degli indici, da sinistra a destra NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI che sono riportati come media dell'intero appezzamento per ogni data rispettiva.

Ora aiutandosi anche con il Grafico 3-4 è possibile vedere che tutti e tre gli indici utilizzati forniscono la medesima informazione: gli indici NDVI e OSAVI si sovrappongono, mentre l'mSAVI2 riporta valori leggermente superiori ma comunque in linea con gli altri due.

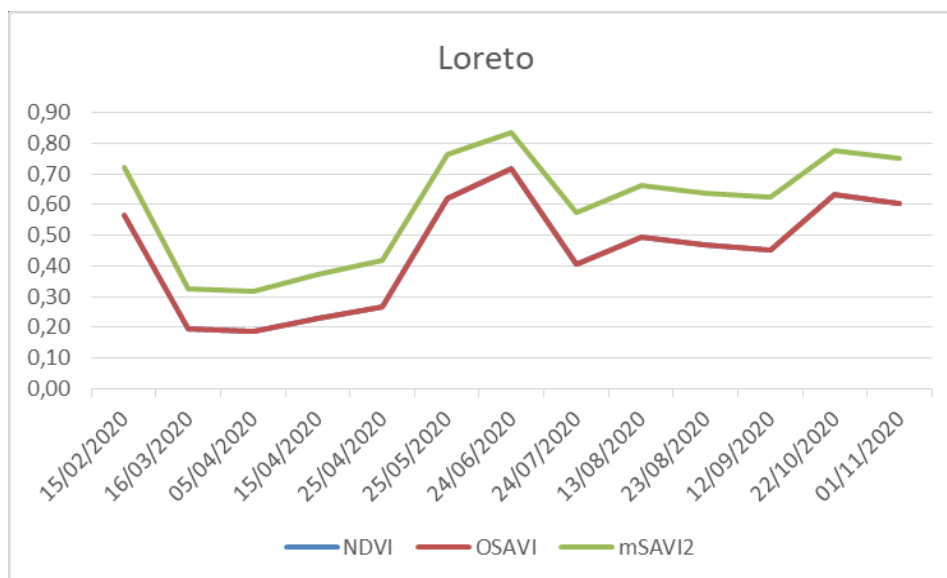


Grafico 3-4 - Indici vegetazionali del vigneto Loreto, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

Confrontando il Grafico 3-4 con le lavorazioni effettuate si può affermare che queste sono rilevabili dalle variazioni riportate dagli indici. Infatti è possibile identificare la ripresa vegetativa che dal 25/04/2020 in poi fa innalzare tutti gli indici e va addirittura quasi a mascherare la vangatura e spollonatura che si hanno a maggio. Tra il 25/05/2020 e il 24/06/2020 abbiamo una trinciatura che va ad appiattire la curva, curva in discesa nel rilevamento successivo a causa della cimatura e del passaggio di pirodiserbo, che sono di fatto gli ultimi interventi finalizzati a limitare la vegetazione. Dal 24/07/2020 in poi si nota che la curva risale leggermente, per poi stabilizzarsi; ciò è dato dal fatto che la vite ha finito il suo sviluppo e le uve iniziano la maturazione, le precipitazioni diminuiscono e le temperature medie si attestano attorno ai 25°C. Per quanto riguarda invece gli indici per la stima della clorofilla, questi sono riportati nel Grafico 3-5.

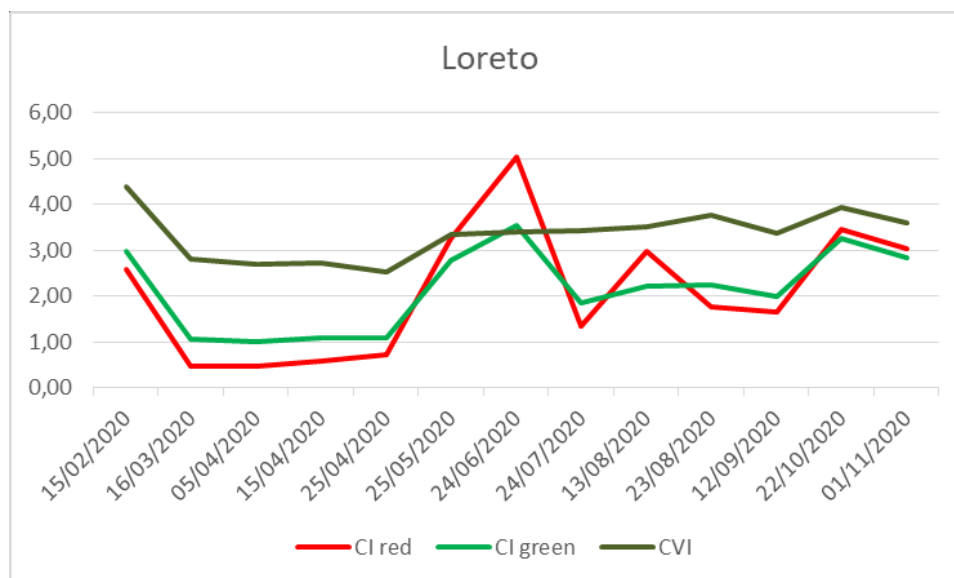


Grafico 3-5 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Loreto, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

Rispetto agli indici vegetazionali, qui si trovano molte differenze tra i vari indici; la più evidente è quella che si ha tra l'andamento del CVI rispetto al CI red e il CI green. Come specificato sopra, il CVI contiene al suo interno il rapporto tra la banda del rosso e la banda del verde che dovrebbe correggere il risultato in base alla copertura fogliare e rimuovere quello che è l'effetto del terreno. A quanto pare questo indice non riesce, in questo caso, ad apportare le correzioni sperate in quanto risulta molto difficoltoso avere la registrazione del massimo di clorofilla il 15/02/2020 e non invece nel pieno dell'esplosione vegetativa come accade con gli altri 2 indici. Per quanto riguarda il CI red e il CI green, questi ricordano l'andamento degli indici vegetazionali con una differenza: il CI red percepisce maggiormente quelli che sono le variazioni di vegetazione. Ciò è dimostrato dal fatto che al 24/06/2020 la clorofilla rilevata dal CI red è maggiore rispetto ad entrambi gli altri due indici ed inoltre evidenzia anche la ripresa della vegetazione il 13/08/2020 dopo la cimatura e il pirodiserbo.

Ora è la volta dei vigneti presenti nel comune di Arcevia, quindi del vigneto Arcevia 1 e Arcevia 2. Questi vigneti sono contigui, ma con esposizioni differenti: Arcevia 1 ha una esposizione verso Est mentre Arcevia 2 ha una esposizione a Nord/Est che comporta una ripresa vegetativa più lenta e temperature più fresche rispetto al primo. I due appezzamenti sono stati comunque trattati assieme poichè vengono gestiti alla stessa maniera. Qui di seguito sono riportate la Tabella 3-5 e la Tabella 3-6 in cui sono presenti i dati riguardanti i due vigneti.

Arcevia 1						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,64	0,64	0,78	3,55	2,97	3,58
16/03/2020	0,59	0,59	0,74	2,90	2,64	3,38
05/04/2020	0,45	0,45	0,62	1,61	1,82	3,01
15/04/2020	0,39	0,39	0,57	1,30	1,56	2,84
25/04/2020	0,41	0,41	0,59	1,42	1,52	2,62
25/05/2020	0,38	0,38	0,55	1,20	1,43	2,66
24/06/2020	0,48	0,48	0,64	1,81	1,78	2,72
24/07/2020	0,56	0,56	0,72	2,53	2,37	3,09
13/08/2020	0,50	0,50	0,67	2,01	2,05	3,09
23/08/2020	0,49	0,49	0,65	1,89	2,08	3,26
12/09/2020	0,56	0,56	0,72	2,56	2,45	3,27
22/10/2020	0,67	0,67	0,80	4,05	3,24	3,57
01/11/2020	0,57	0,57	0,73	2,66	2,52	3,32

Tabella 3-5 - Risultati del vigneto Arcevia 1, nella tabella ci sono a sinistra le date dei rilevamenti satellitari e nelle restanti colonne i risultati degli indici, da sinistra a destra NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI che sono riportati come media dell'intero appezzamento per ogni data rispettiva.

Arcevia 2						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,66	0,66	0,80	3,88	3,23	3,74
16/03/2020	0,52	0,52	0,68	2,14	2,19	3,23
05/04/2020	0,56	0,56	0,72	2,57	2,37	3,15
15/04/2020	0,50	0,50	0,67	1,99	2,03	3,07
25/04/2020	0,49	0,49	0,66	1,93	1,88	2,79
25/05/2020	0,49	0,49	0,66	1,92	1,94	3,00
24/06/2020	0,51	0,51	0,68	2,12	2,03	2,87
24/07/2020	0,64	0,64	0,78	3,49	2,79	3,16
13/08/2020	0,66	0,66	0,79	3,84	2,94	3,24
23/08/2020	0,62	0,62	0,77	3,31	2,85	3,37
12/09/2020	0,68	0,68	0,81	4,21	3,18	3,39
22/10/2020	0,76	0,76	0,86	6,29	4,19	3,71
01/11/2020	0,66	0,66	0,79	3,85	3,17	3,51

Tabella 3-6 - Risultati del vigneto Arcevia 2, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Come si nota, per fare subito un confronto con il vigneto precedente, in entrambi i vigneti di Arcevia i valori minimi dell'NDVI sono più del doppio rispetto ai valori minimi del vigneto di Loreto. Infatti, come riportato dalla tabella delle lavorazioni, in questi vigneti si opta per una gestione più volta a contenere le infestanti e non ad eliminarle ed inoltre si effettuano 2 concimazioni. Però d'altro canto i valori massimi non sono di molto superiori a quelli registrati a Loreto quindi, anche se l'inerbimento condiziona i rilevamenti, nella fase di massimo sviluppo della vite è questa che condiziona prevalentemente i risultati. Questa gestione che tende a mantenere l'inerbimento è probabilmente necessaria per permettere l'ingresso della trattrice anche a seguito di una pioggia visto che abbiamo appurato che in questo comune abbiamo piogge consistenti. Detto ciò, passiamo all'analisi del Grafico 3-6 e Grafico 3-7 in cui sono riportati gli indici vegetazionali dei vigneti Arcevia 1 e Arcevia 2.

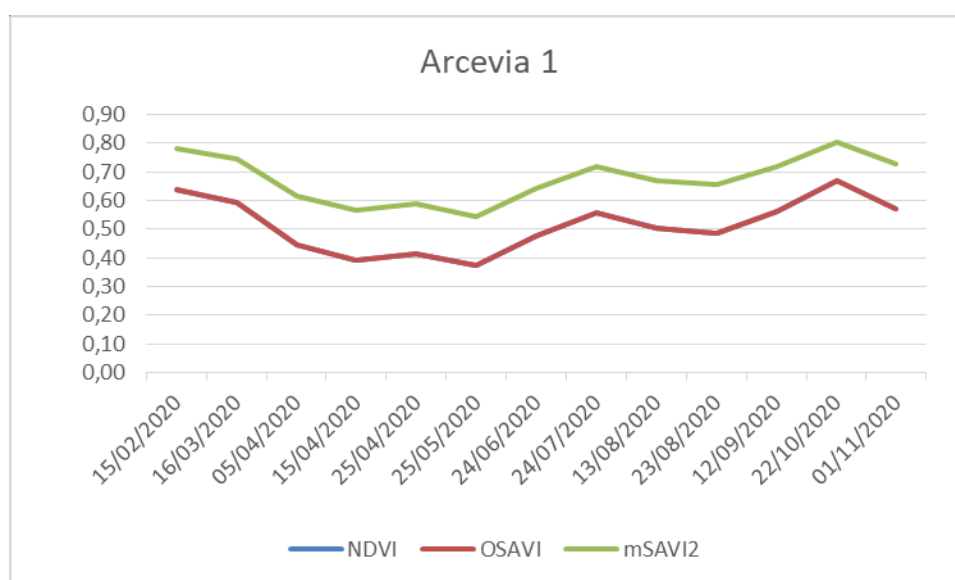


Grafico 3-6 - Indici vegetazionali del vigneto Arcevia 1, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

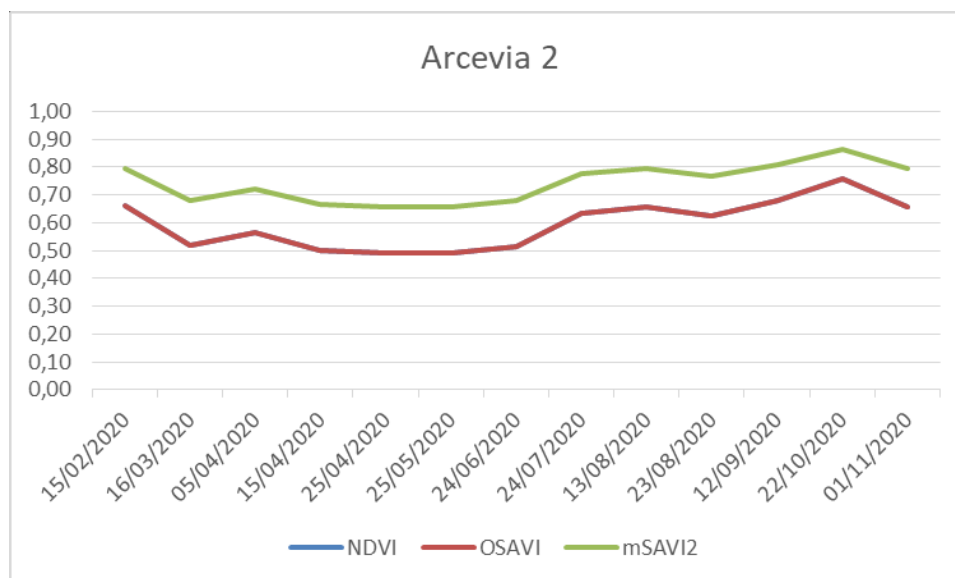


Grafico 3-7 - Indici vegetazionali del vigneto Arcevia 2, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

Come si può vedere dai due grafici, per prima cosa possiamo affermare che le differenze tra gli indici sono simili a quelle rilevate nel Grafico 3-4 e quindi l'NDVI e l'OSAVI sono identici e l'mSAVI2 corre perpendicolarmente agli altri due indici ma con valori più elevati. La seconda cosa evidente è che quasi sicuramente l'esposizione più a Nord del vigneto Arcevia 2 garantisce un microclima migliore in caso di estati calde come quella del 2020 ed infatti si notano meno differenze tra i massimi e i minimi rilevati. Passando al confronto con le lavorazioni, si nota una diminuzione a seguito della ripuntatura a file alterne eseguita il 20/02/2020 che grazie anche alle basse temperature e alle ingenti piogge protrae i suoi effetti fino alla ripresa vegetativa. A questo punto si dovrebbe verificare un repentino innalzamento della curva, ma ciò non accade soprattutto in Arcevia 2. Questo potrebbe avere due cause: la prima è che la posizione dei due vigneti vicino alla montagna, con conseguenti temperature più basse, portano ad una ripresa vegetativa più tardiva; la seconda invece potrebbe essere il fatto che la trinciatura viene effettuata con un mese di anticipo rispetto a Loreto e avendo la vite una vegetazione molto contenuta, questa riesce ad evitare una flessione verso il basso della curva ma non a provocarne un innalzamento. Il 24/06/2020 si ha un aumento dei valori nonostante la scacchiatura dei germogli e la trinciatura, quindi siamo nel pieno sviluppo della vite che viene confermato anche dal rilievo successivo che rimane sulla stessa linea nonostante 2 cimature. Giunti a questo punto la trinciatura del 03/08/2020 viene rilevata dagli indici che riportano un abbassamento dei valori che rimarranno su questo valore fino alla vendemmia

dopo la quale risalgono a causa dello sviluppo dell'inerbimento dell'interfilare. Nel Grafico 3-8 e Grafico 3-9, riportati di seguito, troviamo ulteriore conferma di ciò che è stato appena affermato.

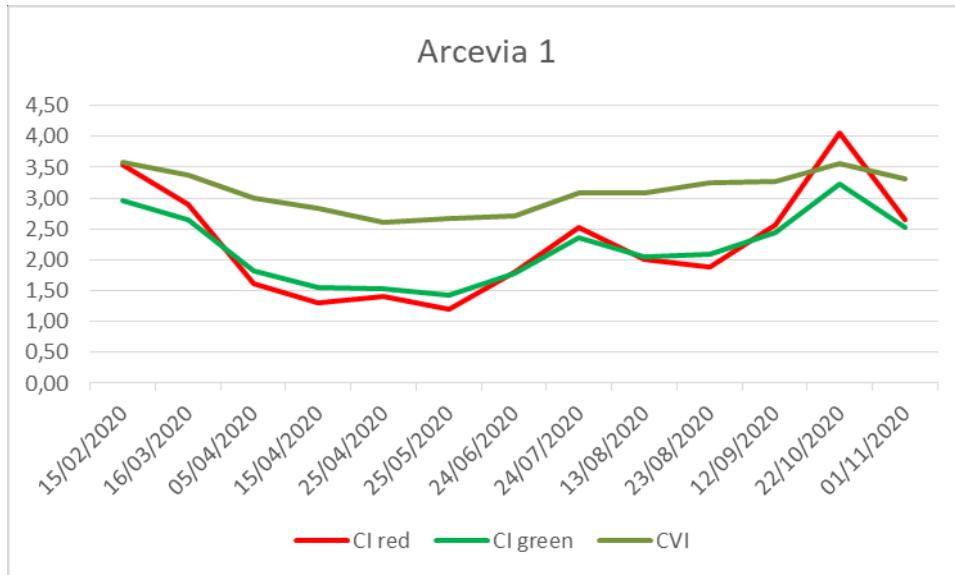


Grafico 3-8 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Arcevia 1, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

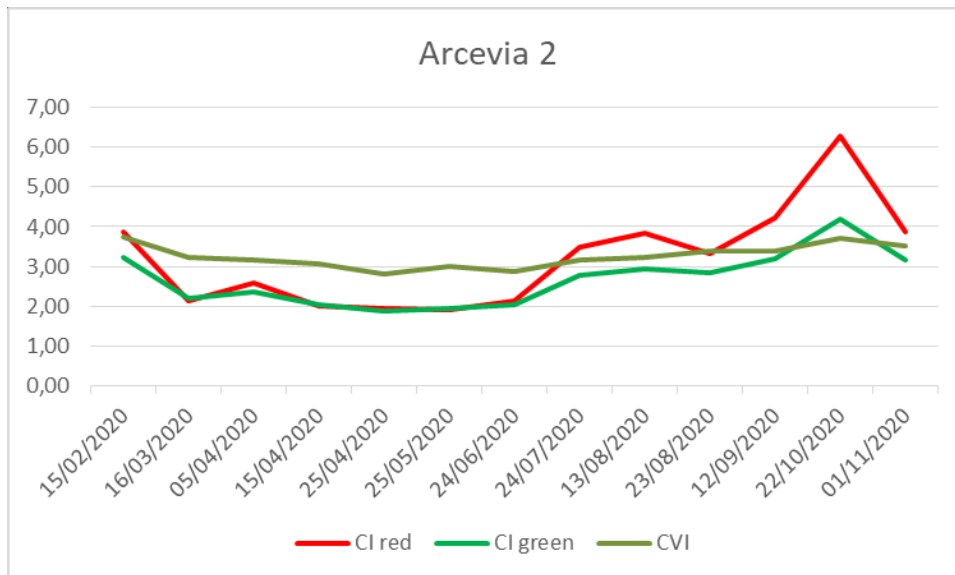


Grafico 3-9 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Arcevia 2, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

Come appurato nel vigneto di Loreto, anche in questo caso il CVI è abbastanza costante e non riporta picchi né negativi né positivi, facendo sì che il suo utilizzo non fornisca alcuna informazione utilizzabile nel nostro caso. Passando invece all'analisi degli altri due indici, è chiaro che soprattutto il CI red presenta dei picchi notevoli che in entrambi gli appezzamenti si eguagliano ai picchi rilevati con gli indici vegetazionali. La cosa che risalta maggiormente è il fatto che su valori bassi, il CI green e red siano sostanzialmente uguali, ma nel momento in cui i valori iniziano ad innalzarsi, questi tendono a separarsi e il CI red riporta sempre valori superiori al CI green. Nel caso del vigneto di Arcevia 2, questa maggiore sensibilità del CI red ha reso più apprezzabile l'effetto della trinciatura del 03/08/2020, ma soprattutto ha amplificato la flessione negativa il 23/08/2020, periodo in cui si sono registrate le temperature medie più elevate e non vi sono state precipitazioni. Nel caso di Arcevia 1, questo particolare è meno evidente perché già subito dopo la trinciatura si notava una fase calante; anche in questo caso però il CI red esalta meglio questo particolare, anche se di poco rispetto al CI green.

Si prosegue con l'analisi dei risultati riguardanti i vigneti nel comune di Cupramontana, che come quelli del comune di Arcevia sono stati trattati assieme avendo subito gli stessi interventi di gestione e avendo i medesimi rilevamenti meteorologici. A differenza dei vigneti di Arcevia, questi sono posti a più di 2 Km di distanza e la loro esposizione è Nord/Est-Est per quanto riguarda il vigneto Cupramontana 1 e Nord/Nord-Est per il vigneto Cupramontana 2. Ciò che potremmo aspettarci guardando l'esposizione dei due vigneti è che il vigneto Cupramontana 1 sia più vigoroso, essendo esposto più a Est rispetto Cupramontana 2 che è più esposto a Nord. Quindi iniziando subito con un confronto tra dati NDVI riportati nella Tabella 3-7 e Tabella 3-8 notiamo che anche in questo caso abbiamo valori minimi che sono più del doppio di quelli di Loreto come nei rilevamenti nel comune di Arcevia.

Cupramontana 1						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,66	0,66	0,80	3,89	3,39	3,96
16/03/2020	0,71	0,71	0,83	4,85	3,82	3,89
05/04/2020	0,72	0,72	0,84	5,06	3,81	3,96
15/04/2020	0,74	0,74	0,85	5,78	4,25	4,09
25/04/2020	0,66	0,66	0,79	3,82	3,33	3,69
25/05/2020	0,61	0,61	0,76	3,14	2,72	3,30
24/06/2020	0,48	0,48	0,64	1,81	1,77	2,75
24/07/2020	0,51	0,51	0,68	2,14	2,14	3,18
13/08/2020	0,47	0,47	0,64	1,78	1,90	3,10
23/08/2020	0,43	0,43	0,61	1,53	1,87	3,30
12/09/2020	0,55	0,55	0,71	2,41	2,32	3,27
22/10/2020	0,74	0,74	0,85	5,61	3,86	3,48
01/11/2020	0,71	0,71	0,83	4,95	3,64	3,63

Tabella 3-7 - Risultati del vigneto Cupramontana 1, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Cupramontana 2						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,59	0,59	0,74	2,87	2,87	3,78
16/03/2020	0,66	0,66	0,80	3,35	3,35	3,65
05/04/2020	0,63	0,63	0,77	3,43	3,04	3,67
15/04/2020	0,69	0,69	0,82	3,62	3,62	3,78
25/04/2020	0,74	0,74	0,85	3,71	3,71	3,30
25/05/2020	0,56	0,56	0,72	2,40	2,40	3,24
24/06/2020	0,68	0,68	0,81	3,00	3,00	3,01
24/07/2020	0,62	0,62	0,77	2,92	2,92	3,43
13/08/2020	0,51	0,51	0,68	2,20	2,20	3,20
23/08/2020	0,52	0,52	0,68	2,14	2,37	3,43
12/09/2020	0,59	0,59	0,74	2,82	2,58	3,39
22/10/2020	0,64	0,64	0,78	3,49	2,98	3,52
01/11/2020	0,59	0,59	0,74	2,85	2,97	4,03

Tabella 3-8 - Risultati del vigneto Cupramontana 2, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Altro particolare che si nota grazie alle tabelle è come la differenza tra valori massimi e minimi sia minore rispetto ai casi precedenti, soprattutto per quanto riguarda Cupramontana 2. La gestione di questi due vigneti è praticamente volta al mantenimento dell'inerbimento nell'interfilare; eccetto una ripuntatura a file alterne ad inizio anno e il passaggio con l'arieggiatore a fine anno, non si hanno interventi che vanno a provocare un'eliminazione dell'inerbimento, ma solo interventi volti al suo contenimento/gestione. Proseguiamo ora con l'analisi del Grafico 3-10 e Grafico 3-11 che riportano l'andamento degli indici vegetazionali.

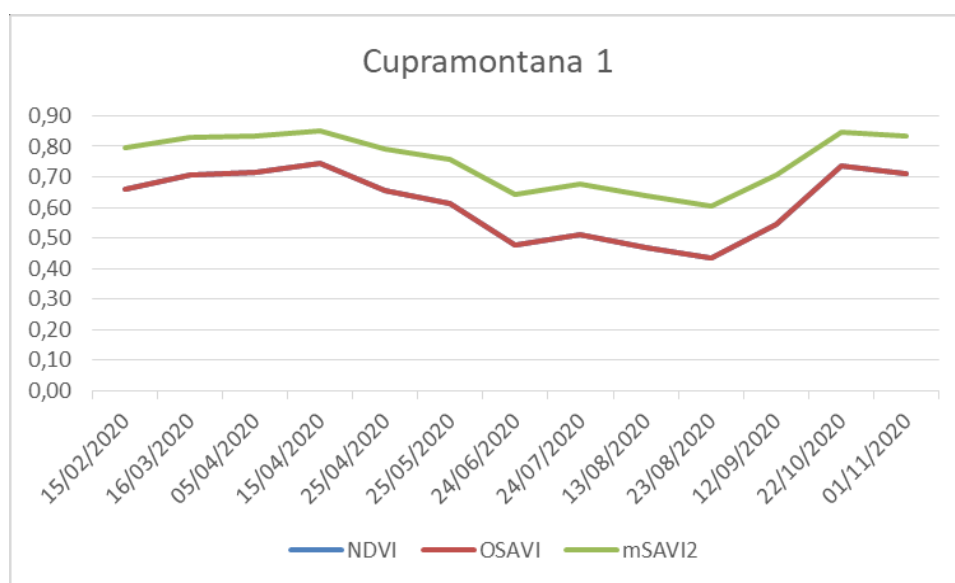


Grafico 3-10 - Indici vegetazionali del vigneto Cupramontana 1, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

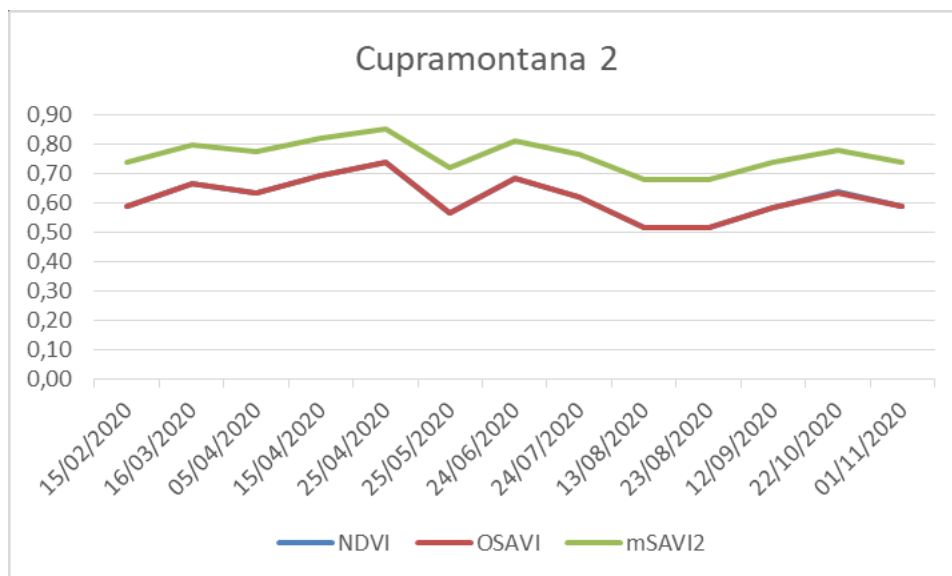


Grafico 3-11 - Indici vegetazionali del vigneto Cupramontana 2, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

Come si nota, sin da inizio anno si parte con valori abbastanza elevati in entrambi i vigneti, e nonostante la concimazione seguita da ripuntatura tra il primo e il secondo rilievo si ha un aumento degli indici. Da questo punto in avanti i due vigneti hanno due andamenti differenti, infatti si nota che quando in uno il valore degli indici si alza, nell'altro si abbassa, e viceversa. Nel vigneto Cupramontana 1 in linea di massima le variazioni corrispondono agli interventi effettuati; fino al 15/04/2020 si ha un costante aumento dei valori, fino a che non si interviene con la prima trinciatura che porta nel rilevamento successivo ad una inversione di tendenza che continua fino al 24/06/2020 a causa della spollonatura, della scacchiatura dei germogli, una seconda trinciatura e una cimatura. Dopodiché nonostante una seconda cimatura, i valori aumentano nel rilevamento del 24/07/2020, ma complice la terza trinciatura, tornano, anche se leggermente, a diminuire fino al 23/08/2020. Dopo questa data i valori degli indici vegetazionali risalgono sicuramente per una ripresa della vegetazione nell'interfilare che non viene più controllata o disturbata. Invece nel vigneto di Cupramontana 2 i valori degli indici sono in continuo aumento fino al 25/04/2020, poi si rileva un picco negativo il 25/05/2020, ma l'unico intervento effettuato è quello di spollonatura da quanto riportato nella tabella delle lavorazioni e ciò non è in linea con ciò che abbiamo visto finora. Stesso vale per il rilevamento effettuato il 24/06/2020 in cui i valori risultano in rialzo nonostante i ben 3 interventi che sono stati eseguiti (scacchiatura dei germogli, trinciatura e cimatura), e poi si iniziano ad avere valori in diminuzione dopo un semplice intervento di cimatura. Contrariamente a quanto

ipotizzabile, non c'è stata una diminuzione dei valori nella data di rilevamento successive agli interventi di trinciatura (25/04/2020 e 24/06/2020). Al contrario l'abbassamento dei valori si ha il 25/05/2020 e il 24/07/2020. Visto che i dati delle lavorazioni sono stati riferiti dalle aziende, è ipotizzabile che in questo vigneto gli interventi di trinciatura del 20/04/2020 e del 02/06/2020 in realtà siano stati effettuati in date successive. Per quanto riguarda i rilevamenti successivi invece i dati sono in linea con gli interventi effettuati; abbiamo infatti valori in diminuzione fino al 13/08/2020, che poi ricominciano a salire al 12/09/2020 e mantengono questo andamento fino alla fine dei rilevamenti. Per quanto riguarda i valori rilevati dagli indici per la stima della clorofilla riportati nel Grafico 3-12 e Grafico 3-13, troviamo una situazione speculare a quella nei grafici degli indici vegetazionali.

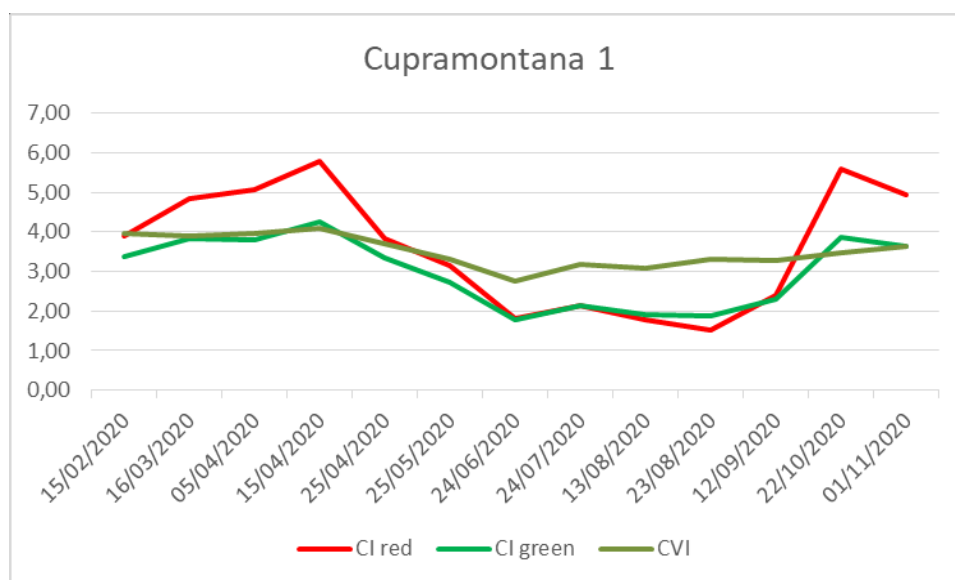


Grafico 3-12 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Cupramontana 1, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

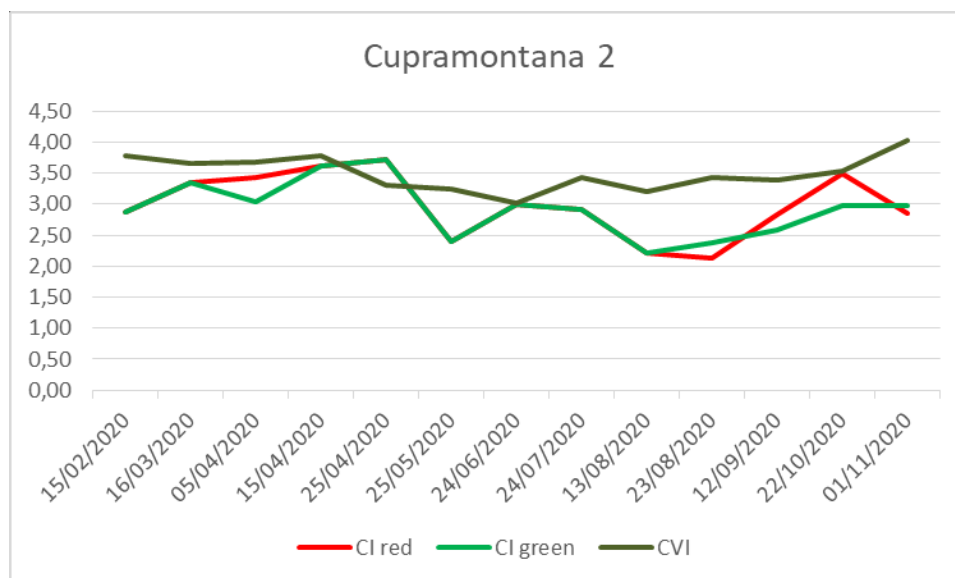


Grafico 3-13 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Cupramontana 2, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

Infatti sia per quanto riguarda Cupramontana 1 che Cupramontana 2, si può vedere come si abbiano sia i picchi positivi che quelli negativi nei medesimi rilevamenti in cui li abbiamo negli indici vegetazionali. Anche in questo caso in entrambi i grafici il CVI non riporta picchi o variazioni che ci possano dare informazioni aggiuntive. Invece come negli altri casi il CI green e il CI red amplificano ciò che ci hanno riportato gli indici vegetazionali con sempre il CI red che ha valori più elevati rispetto al CI green. Altra cosa che si nota è come in Cupramontana 2 si ha lo stesso problema riscontrato con gli indici vegetazionali e quindi possiamo affermare che sicuramente non è stato un errore degli indici. Inoltre possiamo escludere anche l'errore di calcolo perché il calcolo dei vari indici è stato effettuato sull'intera immagine satellitare e solo successivamente da questa sono state ritagliate le aree dei vigneti di nostro interesse e quindi se ci fosse stato un errore si sarebbe ripercosso su tutti e 5 i vigneti e non soltanto in uno.

3.3 Risultati e Discussione analizzando l'area dei vigneti con l'applicazione dell'Offset

Giunti a questo punto restano da analizzare quelli che sono i risultati che sono stati ottenuti applicando un offset di 10m e quindi eliminando tutti quei pixel sul bordo che potevano essere influenzati da ciò che circonda i vigneti. Inoltre il programma, effettuando il ritaglio dell'area corrispondente al vigneto, ovviamente non può tagliare il singolo pixel e da ciò deriva il fatto

che tutti quei pixel che sono compresi per più del 50% della loro superficie all'interno dell'area di taglio vengono presi per la loro interezza e questo implica che in alcuni casi si include all'interno dell'area del vigneto anche una porzione di terreno che non è vigneto. Ora si procederà all'analisi dei risultati ottenuti da questo processo iniziando, come sopra dal vigneto di Loreto i cui risultati sono riportati nella Tabella 3-9 e ciò che si nota immediatamente e che non vi siano differenze apprezzabili rispetto ai risultati senza Offset.

Loreto Offset 10m						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,56	0,56	0,72	2,58	2,98	4,43
16/03/2020	0,19	0,19	0,32	0,46	1,04	4,01
05/04/2020	0,18	0,18	0,31	0,45	0,97	2,68
15/04/2020	0,22	0,22	0,36	0,57	1,07	2,72
25/04/2020	0,26	0,26	0,41	0,71	1,88	2,52
25/05/2020	0,63	0,63	0,77	3,36	2,84	3,36
24/06/2020	0,72	0,72	0,84	5,14	3,58	3,41
24/07/2020	0,41	0,41	0,58	1,38	1,88	3,47
13/08/2020	0,50	0,50	0,67	2,98	2,28	3,55
23/08/2020	0,48	0,48	0,65	1,84	2,31	3,83
12/09/2020	0,46	0,46	0,63	1,72	2,04	3,38
22/10/2020	0,64	0,64	0,78	3,50	3,31	4,01
01/11/2020	0,61	0,61	0,75	3,07	2,86	3,65

Tabella 3-9 Risultati vigneto del Loreto con Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Per apprezzare al meglio le possibili differenze si riportano subito il Grafico 3-14 e Grafico 3-15 qui di seguito.

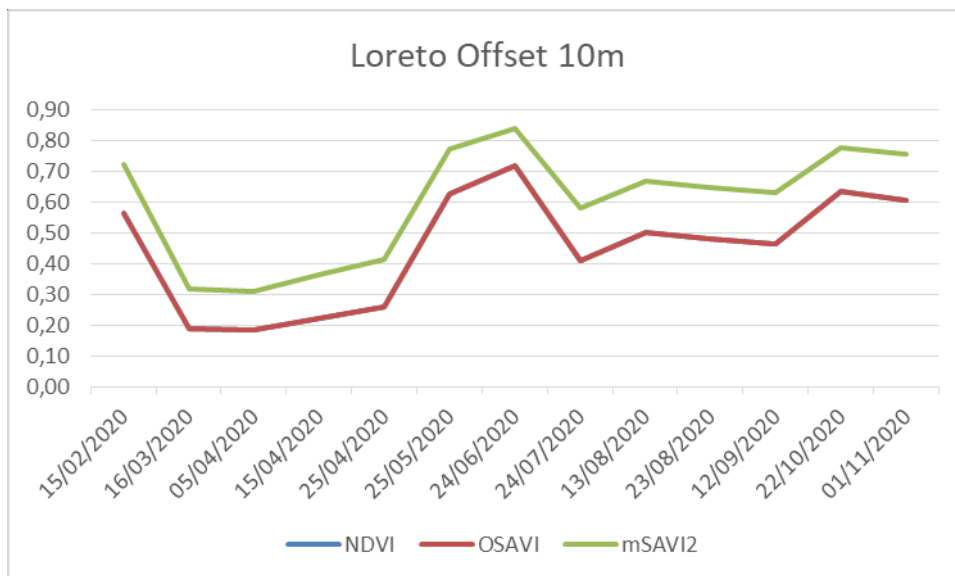


Grafico 3-14 - Indici vegetazionali del vigneto Loreto a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

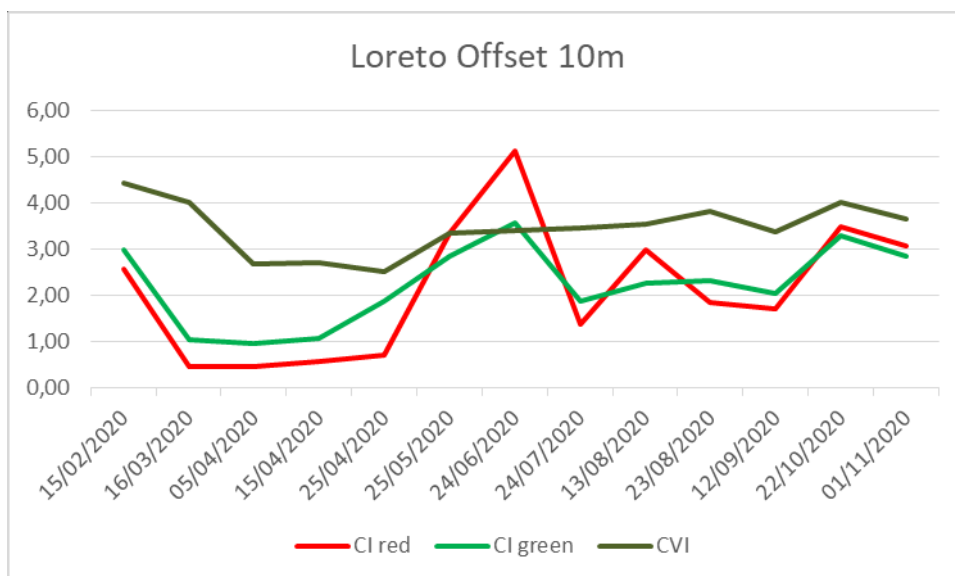


Grafico 3-15 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Loreto a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

Come si può ben vedere, la differenza con il Grafico 3-4 e Grafico 3-5 è davvero impercettibile, perché anche se i valori cambiano leggermente, si parla di pochi centesimi che non sono sufficienti a causare modificazioni rilevanti. Da ciò deriva che i picchi sia in positivo che in negativo ricadono nelle medesime date, e ripetere un confronto con la Tabella 3-4 delle lavorazioni vorrebbe dire ripetere quello che è stato detto nell'analisi precedente.

Si prosegue quindi con l'analisi della Tabella 3-10 e Tabella 3-11 dove sono riportati i dati riguardanti i vigneti di Arcevia e quindi Arcevia 1 ed Arcevia 2.

Arcevia 1 Offset 10m						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,63	0,63	0,77	3,45	2,91	3,54
16/03/2020	0,59	0,59	0,74	2,87	2,62	3,34
05/04/2020	0,44	0,44	0,61	1,60	1,80	2,97
15/04/2020	0,38	0,38	0,56	1,26	1,53	2,80
25/04/2020	0,41	0,41	0,58	1,38	1,40	2,59
25/05/2020	0,37	0,37	0,54	1,18	1,40	2,63
24/06/2020	0,47	0,47	0,64	1,77	1,75	3,09
24/07/2020	0,55	0,55	0,71	2,48	2,33	3,09
13/08/2020	0,50	0,50	0,66	1,98	2,00	3,07
23/08/2020	0,48	0,48	0,65	1,86	2,06	3,25
12/09/2020	0,56	0,56	0,72	2,52	2,42	3,25
22/10/2020	0,67	0,67	0,80	4,03	3,23	3,58
01/11/2020	0,57	0,57	0,73	2,67	2,52	3,31

Tabella 3-10 - Risultati del vigneto di Arcevia 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Arcevia 2 Offset 10m						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,66	0,66	0,79	3,84	3,15	3,65
16/03/2020	0,50	0,50	0,67	2,04	2,10	3,17
05/04/2020	0,57	0,57	0,72	2,61	2,37	3,14
15/04/2020	0,50	0,50	0,67	1,99	2,04	3,05
25/04/2020	0,50	0,50	0,67	2,00	1,92	2,80
25/05/2020	0,49	0,49	0,66	1,95	1,98	3,01
24/06/2020	0,51	0,51	0,67	2,05	1,96	2,86
24/07/2020	0,65	0,65	0,79	3,65	2,84	3,15
13/08/2020	0,67	0,67	0,80	4,01	2,95	3,22
23/08/2020	0,63	0,63	0,78	3,45	2,92	3,38
12/09/2020	0,69	0,69	0,82	4,44	3,34	3,45
22/10/2020	0,76	0,76	0,86	6,24	4,19	3,66
01/11/2020	0,65	0,65	0,79	3,78	3,09	3,52

Tabella 3-11 - Risultati del vigneto di Arcevia 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Come per la Tabella 3-9, anche in questi due casi non si rilevano differenze che vadano a modificare quello che è stato già detto precedentemente per Tabella 3-5 e Tabella 3-6. A conferma di ciò, qui di seguito sono riportati il Grafico 3-16 e Grafico 3-17 con gli indici vegetazionali e il Grafico 3-18 e Grafico 3-19 con gli indici per la stima della clorofilla.

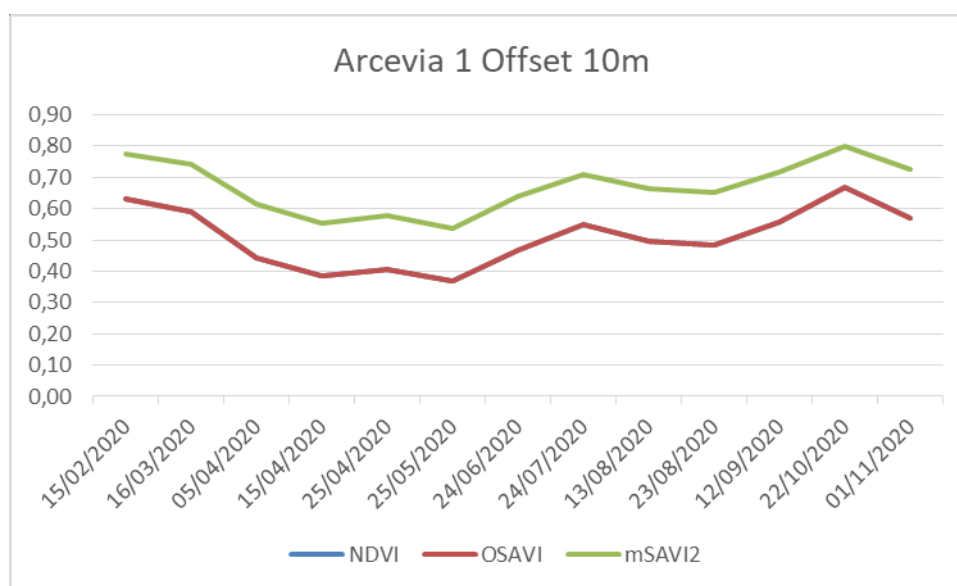


Grafico 3-16 - Indici vegetazionali del vigneto Arcevia 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

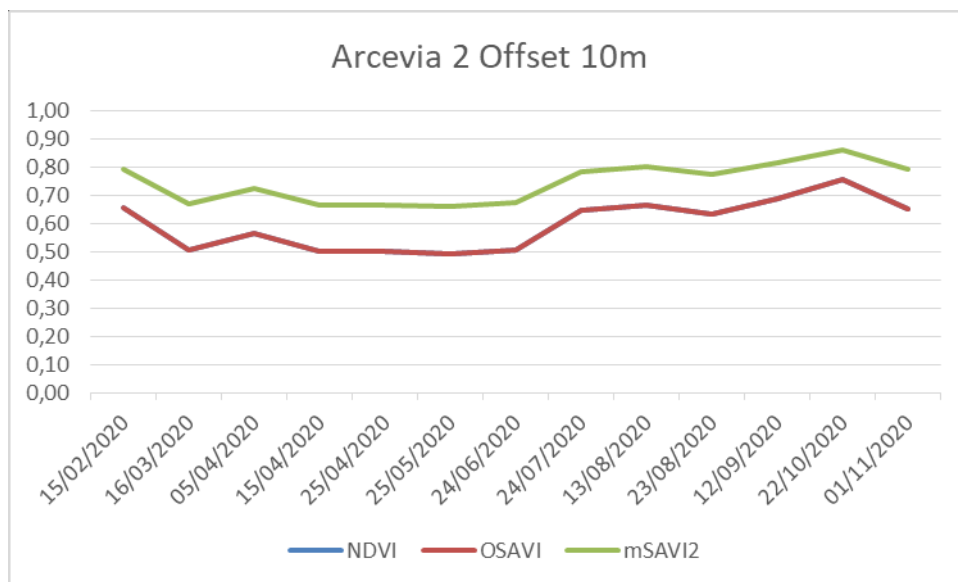


Grafico 3-17 - Indici vegetazionali del vigneto Arcevia 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

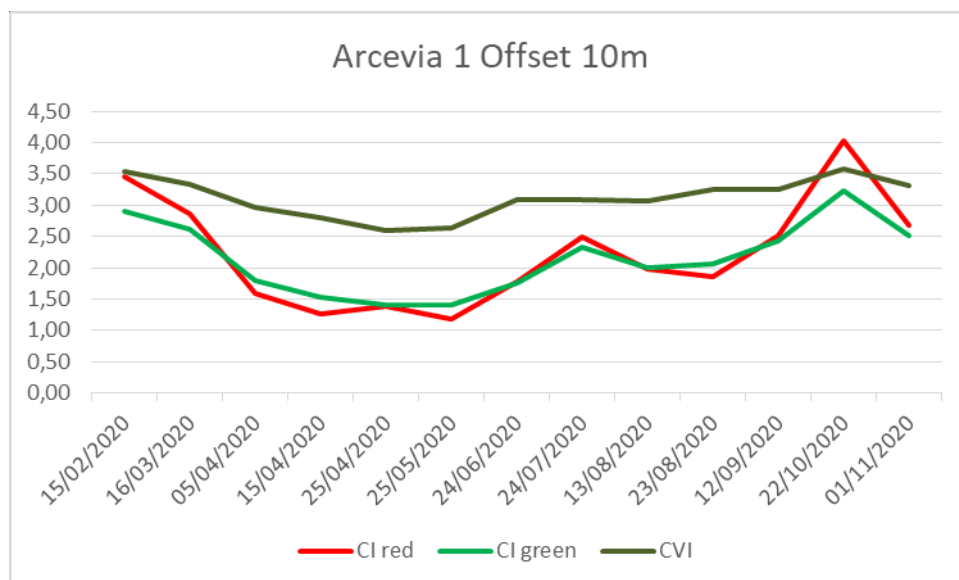


Grafico 3-18 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Arcevia 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodi di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

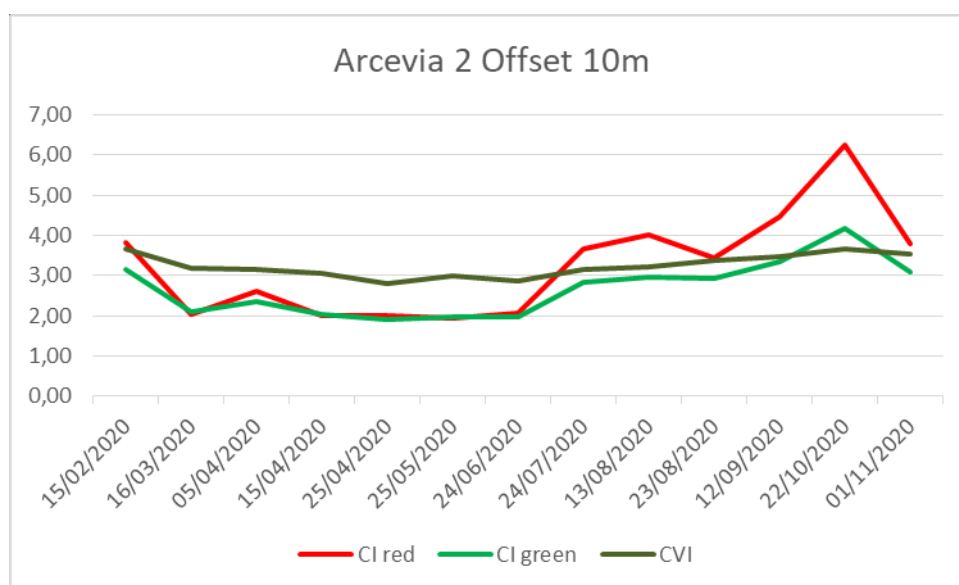


Grafico 3-19 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Arcevia 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodi di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

Vengono trattati assieme sia gli indici vegetazionali che quelli per la stima della clorofilla perché ciò che si deve affermare è semplicemente che l'andamento di tutti e quattro i grafici e

quindi dei rispettivi sei indici dei rispettivi 2 vigneti sono pressoché uguali al Grafico 3-6, Grafico 3-7, Grafico 3-8 e Grafico 3-9. Anche in questo caso i picchi positivi e negativi ricadono nelle medesime date come succedeva per il vigneto di Loreto e quindi ne deriva che come per il caso precedente sarebbe ripetitivo eseguire il confronto con le lavorazioni.

Per concludere rimangono valori riguardanti i vigneti di Cupramontana e quindi Cupramontana 1 e Cupramontana 2 che troviamo nella Tabella 3-12 e Tabella 3-13.

Cupramontana 1 Offset 10m						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,69	0,69	0,82	4,55	3,67	4,12
16/03/2020	0,74	0,76	0,86	6,19	4,42	3,93
05/04/2020	0,75	0,75	0,86	6,14	4,33	4,12
15/04/2020	0,79	0,79	0,89	7,69	5,08	4,19
25/04/2020	0,68	0,68	0,81	4,20	3,44	3,86
25/05/2020	0,62	0,62	0,77	3,30	2,76	3,33
24/06/2020	0,49	0,49	0,66	1,93	1,81	2,78
24/07/2020	0,51	0,51	0,68	2,12	2,22	3,22
13/08/2020	0,47	0,47	0,64	1,79	1,98	3,11
23/08/2020	0,44	0,44	0,61	1,55	1,93	3,36
12/09/2020	0,55	0,55	0,71	2,44	2,39	3,33
22/10/2020	0,74	0,74	0,85	5,59	3,85	3,47
01/11/2020	0,71	0,71	0,83	4,79	3,58	3,64

Tabella 3-12 - Risultati del vigneto Cupramontana 1 con Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Cupramontana 2 Offset 10m						
Data	NDVI	OSAVI	mSAVI2	CI red	CI green	CVI
15/02/2020	0,57	0,57	0,73	2,75	2,75	3,79
16/03/2020	0,64	0,64	0,78	3,08	3,08	3,59
05/04/2020	0,62	0,62	0,77	3,29	2,87	3,59
15/04/2020	0,68	0,68	0,81	3,47	3,47	3,71
25/04/2020	0,73	0,73	0,85	3,58	3,58	3,27
25/05/2020	0,56	0,56	0,72	2,32	2,32	3,14
24/06/2020	0,68	0,68	0,81	2,90	2,90	2,94
24/07/2020	0,62	0,62	0,76	2,88	2,88	3,40
13/08/2020	0,51	0,51	0,68	2,19	2,19	3,18
23/08/2020	0,52	0,52	0,68	2,13	2,33	3,45
12/09/2020	0,60	0,60	0,75	2,96	2,72	3,42
22/10/2020	0,60	0,60	0,75	3,03	2,76	3,48
01/11/2020	0,57	0,57	0,73	2,64	2,76	3,98

Tabella 3-13 - Risultati del vigneto Cupramontana 2 con Offset, nella tabella si trovano i risultati dell'elaborazione delle immagini satellitari le cui date di riferimento sono riportate nella prima colonna a sinistra mentre nelle restanti, da sinistra a destra, troviamo i vari indici NDVI, OSAVI, mSAVI2, CI red, CI green e CVI di cui sono riportate le medie che sono state ricavate dal calcolo degli stessi.

Come per i due casi precedenti, non si rilevano cambiamenti rilevanti nemmeno in questo caso eccetto nel primo periodo nel vigneto di Cupramontana 1. Infatti in questo vigneto per quanto riguarda gli indici CI red e CI green con il taglio del bordo esterno i valori hanno riportato un innalzamento notevole. Nel rilevamento del 15/04/2021 si passa da un valore di 5,78 a 7,69 per il CI red e da 4,25 a 5,08 per il CI green che sono cambiamenti notevoli rispetto ai pochi centesimi di variazione rilevati finora. Per capire al meglio quanto tutto ciò abbia influenzato l'andamento delle curve si riportano subito il Grafico 3-20, Grafico 3-21, Grafico 3-22 e Grafico 3-23.

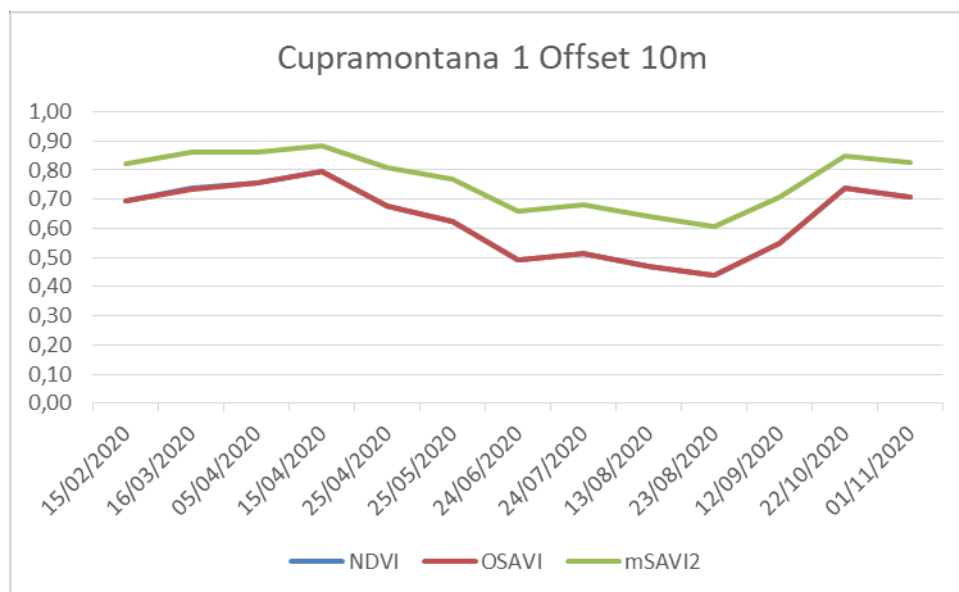


Grafico 3-20 - Indici vegetazionali del vigneto Cupramontana 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

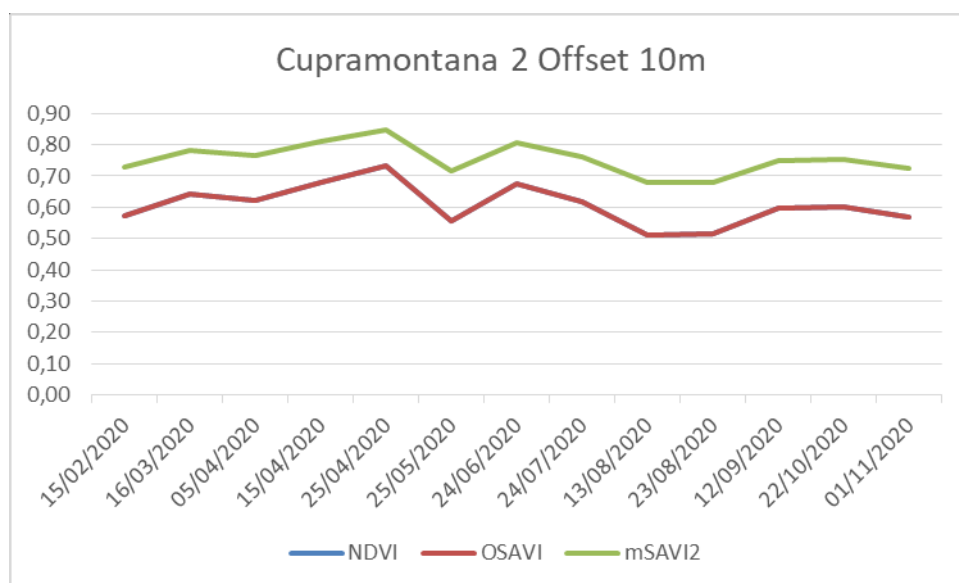


Grafico 3-21 - Indici vegetazionali del vigneto Cupramontana 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati gli andamenti dell'intero periodo di studio dell'indice NDVI (linea azzurra), dell'indice OSAVI (linea rossa) e dell'indice mSAVI2 (linea verde).

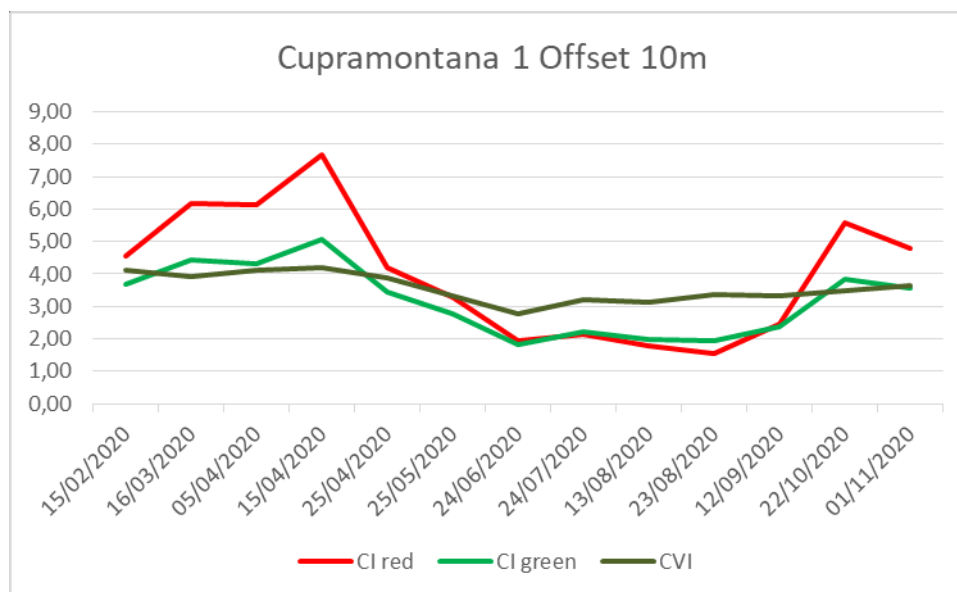


Grafico 3-22 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Cupramontana 1 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

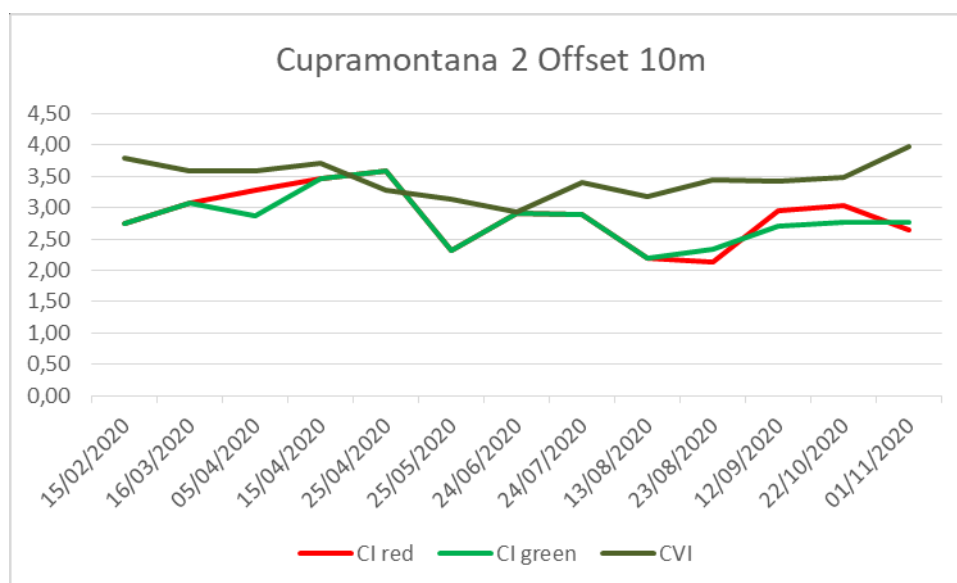


Grafico 3-23 - Indici per la stima della clorofilla del vigneto Cupramontana 2 a seguito dell'applicazione dell'Offset, nello specifico sono riportati i risultati per l'intero periodo di studio dell'indice CI red (linea rossa), dell'indice CI green (linea verde chiaro) e dell'indice CVI (linea verde scuro).

Ciò che emerge dall'analisi dei grafici è che sono praticamente identici a quelli generati senza l'applicazione dell'Offset, ad eccezione del Grafico 3-22 che corrisponde alle variazioni che sono state già notate in precedenza nella Tabella 3-12. Ad un primo confronto con il Grafico 3-12 (che corrisponde al medesimo grafico ma senza l'applicazione dell'Offset) non si vedono stravolgimenti, ma ad un'analisi più approfondita si evidenzia che il massimo della scala è passato da 7 (nel Grafico 3-12) a 9. Fatta eccezione di questo particolare, i massimi e i minimi sono corrispondenti alla lavorazione precedente. Detto ciò, anche in questo caso, come per tutti gli appezzamenti, non vi sono stati cambiamenti alle informazioni riportate dagli indici con l'applicazione dell'Offset.

3.4 Utilizzo convenzionale dell'indice NDVI per creazione di mappe in falso colore

Per trovare ulteriori conferme a quanto detto fino ad ora si è deciso di procedere con la realizzazione di mappe tramite l'utilizzo del falso colore per i risultati dei calcoli con l'indice NDVI. Per la realizzazione di questa prova è stato scelto il vigneto Arcevia 2, in quanto sono note delle problematiche che permettono di verificare l'effettivo funzionamento dell'indice ed inoltre presenta una pendenza del terreno notevole. Dall'elaborazione dei dati sono risultate 13 mappe, una per ogni rilevamento satellitare, che sono riportate nella Figura 3-2. Come riportato sopra, i possibili valori prodotti dall'indice NDVI possono variare dal -1 all'1, in questo caso la scala ricopre solamente l'intervallo dallo 0 all'1. Questo perché non essendo presenti specchi d'acqua, i valori con cui lavoriamo sono solamente positivi e quindi ha portato ad una semplificazione della scala che assegna il colore rosso ai valori più vicino allo zero che poi diventa, tramite varie sfumature intermedie, verde per i valori più vicino all'1.

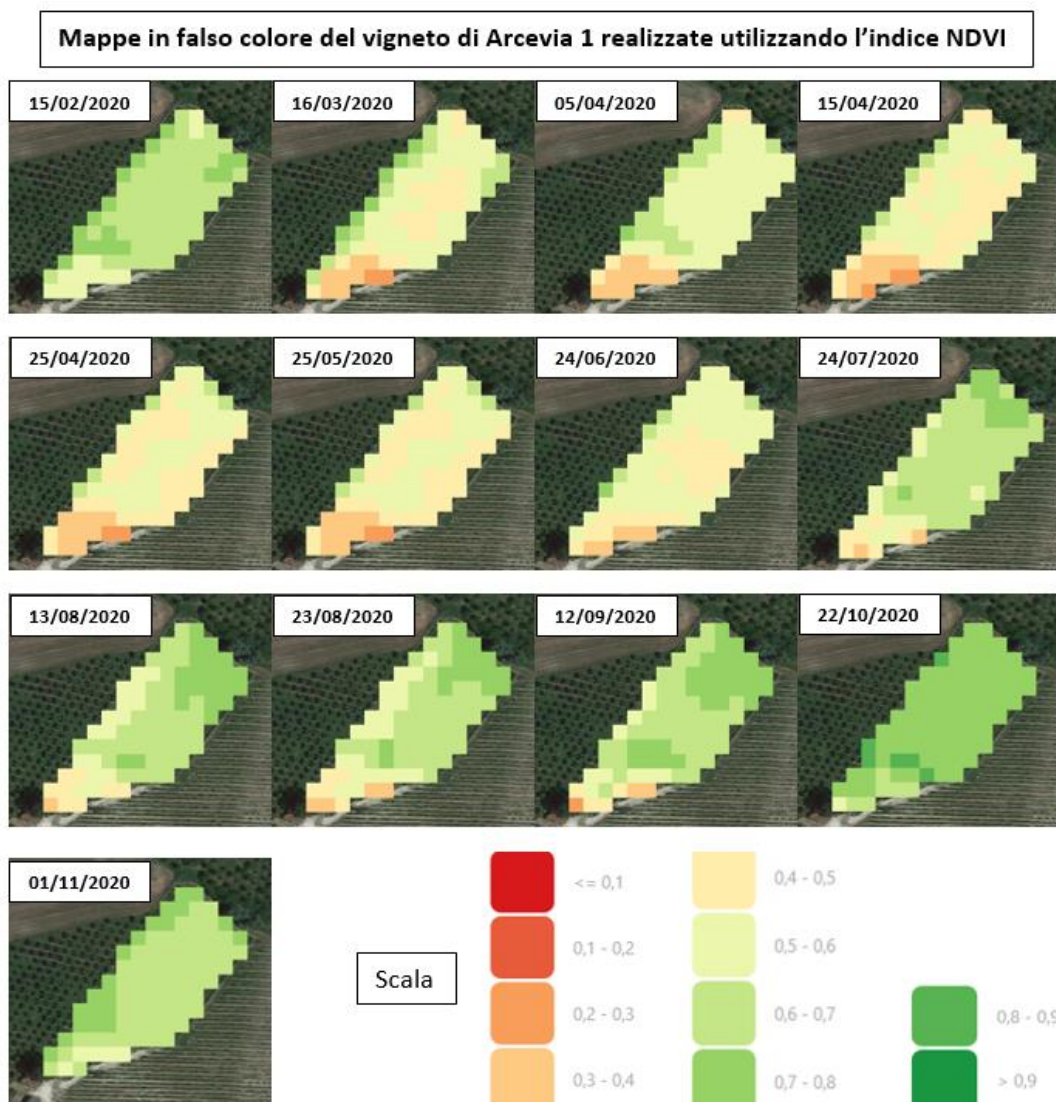


Figura 3-2 - Rappresentazione grafica delle lavorazioni delle immagini satellitari per il calcolo dell'indice NDVI per ognuno dei rilevamenti satellitari, a queste è stato applicato un falso colore per evidenziare le zone a maggiore e a minore vigoria.

Per prima cosa si nota come sia presente l'effetto bordo, soprattutto nel lato verso l'alto a destra che, corrisponde al lato a contatto con una coltura differente. La fila di pixel esterna presenta un colorazione tendente al verde/verde scuro (quindi i pixel hanno un valore maggiore rispetto agli altri) nelle date in cui il resto dell'appezzamento ha una colorazione tendente al verde chiaro/beige oppure, in altre date presenta una colorazione beige/arancione (corrispondente a valori inferiori) rispetto al verde dei pixel presenti all'interno dell'appezzamento. Invece, nel lato opposto ciò non accade perché vi è situato un altro vigneto

(Arcevia 1) ed infatti non si nota una differenza come nel caso precedente ed i pixel hanno una colorazione omogenea con la parte centrale della mappa. Come seconda osservazione in tutte e 13 le mappe si ha un chiaro andamento della vigoria che, è sempre minore nella parte in basso a sinistra infatti, solamente in questa zona si trovano pixel con la colorazione corrispondente all'intervallo 0.2-0.3 (corrispondenti a vegetazione scarsa o molto scarsa). Ciò è dovuto dalla pendenza dell'appezzamento infatti, com'è stato specificato, l'esposizione è a Nord/Est. Ne deriva che essendo le immagini orientate con il Nord verso l'alto, lo spigolo in basso a sinistra è quello con l'elevazione maggiore e quello in alto a destra e quello con l'elevazione minore. La presenza di una pendenza predominante determina il deflusso delle acque piovane in un'unica direzione, e ciò causa una lisciviazione dei nutrienti che assieme all'acqua si vanno ad accumulare nella parte bassa del vigneto e ciò determina la differenza di vigoria registrata.

CONCLUSIONI

I rilevamenti presi in analisi in questo elaborato portano a formulare le seguenti conclusioni.

Iniziando dagli indici vegetazionali, la maggior complessità delle formule dell'indice OSAVI ed mSAVI2 non porta le migliori attese rispetto al più utilizzato NDVI. Infatti nel primo caso non si sono rilevate variazioni ed i risultati dell'indice OSAVI sono identici ai risultati dell'indice NDVI, nel secondo caso l'indice mSAVI2 ha riportato valori sempre maggiori all'indice NDVI, ma senza incrementare o migliorare in nessun caso le informazioni che venivano già riportate. Quindi tra gli indici vegetazionali l'indice NDVI è risultato il miglior compromesso grazie alle informazioni riportate e alla semplicità di calcolo dello stesso durante l'elaborazione delle immagini satellitari.

Per quanto riguarda gli indici per la stima della clorofilla, il discorso è differente. Infatti il CVI, che dalla bibliografia avrebbe dovuto riportare le maggiori e migliori informazioni grazie al fatto che contiene all'interno della formula il rapporto tra la banda verde e la banda rossa per la stima del LAI, non ha fornito alcuna informazione utile nel nostro caso. Gli indici CI red e CI green si sono invece dimostrati in grado di fornire le medesime informazioni dell'indice NDVI, amplificandone in alcuni casi gli effetti. La differenza notata tra questi due indici è dettata dal fatto che nel primo si rileva la luce assorbita, mentre il secondo la luce riflessa dalla clorofilla. Da ciò deriva la necessità di valutare prima della scelta di uno dei due, quale possa fornire l'informazione migliore in base ad ogni caso di studio o applicazione. In questo specifico caso si può affermare che il CI red abbia dimostrato una maggiore sensibilità riportando in alcune occasioni delle informazioni aggiuntive rispetto al CI green.

Per quanto riguarda la parte dell'elaborazione dei dati e la loro interpretazione è stato trovato il limite dettato dalla necessità di possedere la padronanza dell'utilizzo di programmi come Qgis ed inoltre è necessaria una discreta conoscenza della coltura di cui si effettua il monitoraggio. Ciò non rende di facile fruizione le informazioni anche se gratuite da parte del normale agricoltore, che dovrà in ogni caso rivolgersi ad un tecnico.

Infine le informazioni ricavate sono di larga massima a causa della bassa risoluzione delle immagini di Sentinel 2 e quindi potrebbero essere utilizzate ma per scopi limitati.

L'elaborazione delle immagini ci ha permesso di rilevare le lavorazioni eseguite e quindi un loro utilizzo potrebbe essere quello di controllo da parte del legislatore per verificare la veridicità di quanto riportato nei quaderni di campagna delle aziende. Infine grazie all'utilizzo del falso colore è possibile effettuare uno screening generale dello stato dei vigneti soprattutto su appezzamenti di elevate estensioni. Ciò permette di individuare zone con criticità su cui effettuare poi accertamenti in campo e questo potrebbe essere utilizzato da enti come il servizio fitosanitario regionale ad esempio per il controllo di zone interessate da patogeni da quarantena dei quali è necessario individuare e contenere eventuali focolai il più rapidamente possibile.

BIBLIOGRAFIA

- Agricole, M., s.d. [Online]
Available at: <http://www.macchineagricolenews.it/2016/09/12/gli-atomizzatori-pneumatici-rateo-variabile/>
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A., 1995. Remote sensing reviews. *Taylor & Francis*.
- Blackmer, T. M., Shepers, J. & Varvel, G., 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agronomy Journal*, Volume 86, pp. 934-938.
- Bramley, R., 2005. Understanding variability in winegrape production systems. 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Volume 11, pp. 33-42.
- Bramley, R. & Williams, S., 2001. A protocol for winegrape yield maps. *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture; Montpellier, France*, pp. 773-778.
- Briot, N., Bessiere, C., Tisseyre, B. & Vismara, P., 2015. Integration of operational constraints to optimize differential harvest in viticulture. In: *J. Stafford (Ed.), Precision Agriculture, Wageningen Academic Publishers (Wageningen)*, pp. 487-494.
- Carter, G., 1998. Reflectance wavebands and indices for remote estimation of photosynthesis and stomatal conductance in pine canopies. *Remote Sensing of Environment*, Volume 63, pp. 61-72.
- Casa, R., 2016. *Agricoltura di precisione - Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*. Milano: edagricole .
- Copernicus, s.d. [Online]
Available at: <https://www.copernicus.eu/it/informazioni-su-copernicus>
- Cortell, J. et al., 2005. Influence of vine vigour on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Volume 53, pp. 5798-5808.

- Donna , P., Tonni, M., Divittini, A. & Valenti, L., 2013. Concimare il vigneto guidati dal satellite. *L'informatore agrario* 22/2011, 42-46.
- Erikson, B. & Widmar, D., 2015. Precision agricultural services dealership survey results. *Dept. of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, Indiana (USA), Boca Raton FL (USA)*, pp. 1-19.
- Escola, A., Camp, F. & Solanelles, F., 2007. Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics. *In: J. Stafford (Ed.), Precision Agriculture '07, Wageningen Academic Publishers*, pp. 563-571.
- Fukshansky, L. et al., 1993. Absorption spectra of leaves corrected for scattering and distributional error: a radiative transfer and absorption statistics treatment. *Photochem Photobiol*, Volume 57, pp. 538-555.
- Gamon, J. & Surfus, J., 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *The New Phytologist*, Volume 143, pp. 105-117.
- Gates, D., Keegan, H., Schleter, J. & Weidner, V., 1965. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, Volume 4, pp. 11-20.
- Gausman , H. & Allen, W., 1973. Optical parameters of leaves of 30 plant species. *Plant Physiol*, Volume 52, pp. 57-62.
- Gausman, H., Allen, W. & Cardenas, R., 1969. Reflectance of cotton leaves and their structure.. *Remote Sens Environ*, pp. 19-22.
- Ghinassi, G., Pagni, P. & Vieri, M., 2010. Optimizing vineyard irrigation through the automatic resistivity profiling (ARP) technology. The proposal of a mheodological approach.. *10th International Coference on Precision Agricolture, Denver (Colorado)*, p. 447.
- Gitelson,, A., Kaufman, J. & Merzlyac, M., 1996. Use of a Green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing Environment*, Volume 53, pp. 289-298.
- Gitelson, A., Gritz, Y. & Merzlyak, M., 2002. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves..

- Gitelson, A. & Merzlyak, M., 1996. Signature analysis of leaf reflectance spectra: Algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*, Volume 148, pp. 494-500.
- Gitelson, A. & Merzlyak, M., 1994. Quantitative estimation of chlorophyll a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves.. *J Photochem Photobiol*, Volume 22.
- Goetz, S. et al., 1999. Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modeling approach. *Ecological Modeling*, Volume 122, pp. 239-255.
- Guerif, M. & King, D., 2007. Agriculture de precision. *Editions Quae INRA, Francia*, p. 277.
- Heath, O., 1969. The physiological aspects of photosynthesis. *Stanford, CA: Stanford Univ. Press*.
- Horler, D., Dockray, M. & Barber, J., 1983. The red-edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 4, pp. 273-288.
- Huete, A., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, Volume 25, pp. 295-309.
- Inoue, Y., Peñuelas, J., Miyata, A. & Mano, M., 2008. Normalized difference spectral indices for estimating photosynthetic efficiency and capacity at a canopy scale derived from hyperspectral and CO₂ flux measurements in rice.. *Remote Sensing of Environment*, Volume 112, pp. 156-172.
- Jiang, Z., Huete, A., Li, J. & Qi, J., 2007. Interpretation of the modified soiladjusted vegetation index isolines in red-NIR reflectance space. *Remote Sensing*.
- Kulczycki, G. & Grocholski, P., 2013. The effect of long-term phosphorus and potassium precision". In: *J.Stafford (Ed.), Precision Agriculture '13, Wageningen Academic Publishers*.
- Lichtenthaler, H., 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic bio membranes. *Meth Enzymol*.
- Linsley, C. & Bauer, F., 1929. Test your soils for acidity.. *University of Illinois Circular 346, Urbana IL*.
- Mercer, W. & Hall, A., 1911. The experimental error of field trials. *Journal of Agricultural Science*, Volume 4, pp. 107-132.

- Merzlyak, M. & Gitelson, A., 1995. Why and what for the leaves are yellow in autumn? On the interpretation of optical spectra of senescing leaves (*Acer platanoides* L.). *J Plant Physiol.*
- Moss, R. & Loomis, W., 1952. Absorption spectra of leaves. I. The visible spectrum. *Plant Physiol.*
- Mulla, D., 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, Volume 114, pp. 358-371.
- Myneni, R. & Asrar, G., 1994. Atmospheric effects and spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, Volume 47, pp. 390-402.
- Ortega-Farias, S., Rigetti, T., Sasso, F. & Acevedo, C., 2003. Site-specific management of irrigation water in grapevines. *Proc. IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología, Santiago, Chile*, pp. 55-71.
- Pierce, F. J. & Nowak, P., 1999. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*, Volume 67, pp. 1-85.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. & Kerr, Y., 1994. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Remote Sensing Environ.*, Volume 48, pp. 119-126.
- Qi, J., Kerr, Y. & Chehbouni, A., 1994. External factor consideration in vegetation index development, *Proceedings of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS*, pp. 723-730.
- Ray, T., 2011. A FAQ on vegetation in remote sensing..
- Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F., 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices.. *Remote Sens. Environ.*, Volume 55, pp. 95-107.
- Rouse, J., Haas, R., Schellj, J. & Deering, D., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Goddard space flight Center, NASA*. pp. 309-317.
- Ruiz-Garcia, L., Luadei, L., Barreiro, P. & Robla, J., 2009. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors*, Volume 9, pp. 4728-4750.
- Sartori, L., 2016. L'Applicazione di Macchine Agricole Idonee per la Gestione Sito Specifica. "*Agricoltura di precisione: strumento innovativo per la gestione sostenibile dell'agricoltura del nuovo millennio*" - EXPO, Milano.

- Schepers, J., Blackmer, T. & Wilhelm, W., 1996. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply.. *Journal of Plant Physiology*, Volume 148, pp. 523-529.
- Tisseyre, B., Mazzoni, C., Ardoin, N. & Clipet, C., 2001. Yield and harvest quality measurement in precision viticulture – application for selective vintage. *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture; Montpellier, France*, pp. 133-138.
- Tucker, C., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, Volume 8, pp. 127-150.
- Ustin, S. et al., 2009. Retrieval of foliar information about plant pigment systems from high resolution spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, Volume 113, pp. 67-77.
- Vai, M. & Cavallaro, L., s.d. *Prpfessione Vite*. [Online] Available at: <https://professionevite.informatoreagrario.it/video/vendemmia-selettiva-automatizzata-sito-specifica/>
- Veroustraete, F., Patyn, J. & Myneni, R., 1996. Estimating net ecosystem exchange of carbon using the normalized difference vegetation index and an ecosystem model. *Remote Sensing of Environment*, Volume 58, pp. 115-130.
- Vieri, M., 2006. Ingegneria delle produzioni viticole ecocompatibili. Linee guida per la gestione sostenibile dei vigneti collinari.. *Autorità di bacino del Fiume Arno, Mediateca Regionale Toscana, Nuova Grafica Fiorentina*, pp. 61-109.
- Vincini, M., Frazzi, E. & D'Alessio, P., 2007. Comparison of narrow-band and broad-band vegetation indexes for canopy chlorophyll density estimation in sugar beet.. *Precision agriculture '07: Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture. Wageningen, The Netherlands:Wageningen Academic Publishers*, pp. 189-196.