

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea magistrale in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**CONCIMAZIONE PRIMAVERILE A RATEO VARIABILE
ON-THE-GO TRAMITE L'UTILIZZO DI SENSORE
SPETTRALE PROSSIMALE IN VIGNETO**

RELATORE:

Dott. Francesco Marinello

CORRELATORE:

Dott. Diego Tomasi

Dott. Marco Sozzi

LAUREANDO:

Enrico Bernardi

Matricola n. 1204812

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

RIASSUNTO

La viticoltura di precisione è un settore destinato a crescere sempre più nei prossimi anni. È necessario trovare soluzioni più sostenibili ed efficienti dal punto di vista ambientale, ma non si devono trascurare i destinatari delle nuove tecnologie: gli agricoltori. Per questo, una pratica come la concimazione a rateo variabile, utile soprattutto in ambienti caratterizzati da elevata variabilità spaziale, quali sono spesso i vigneti, può essere estremamente semplificata dal punto di vista operativo grazie ai sistemi on-the-go. Con un unico passaggio, che impiega lo stesso tempo di una concimazione tradizionale, si può essere in grado di rispondere alle esigenze delle singole piante, bilanciando progressivamente la vigoria dell'intero appezzamento.

In questa prova si è testato un sistema di concimazione a dose variabile on-the-go, composto da due sensori spettrali prossimali che fornivano al computer di bordo un dato di NDVI (media dei due dati rilevati sui due filari), al quale era associata una dose di concime fra le tre impostate. Lo spandiconcime vrt era in grado di modificare in tempo reale la quantità di concime distribuita durante l'avanzamento.

In 10 punti campione, scelti all'interno di tre zone a vigoria diversa, è stata verificata l'effettiva corrispondenza tra dose distribuita e dose attesa. In questi punti era infatti noto l'NDVI grazie ad un sensore portatile. Inoltre si sono rilevati LAI, SPAD e lunghezza dei germogli, per accertare se si stesse davvero rispondendo alle esigenze delle piante. Dopo due settimane, è stata ripetuta la misura di lunghezza dei germogli, per valutare i primi effetti sulla loro crescita. Inoltre, sono stati eseguiti dei rilievi sui tempi di risposta della macchina al passaggio in zone a diverso vigore.

Il sistema si è rivelato in grado di lavorare a dose variabile, mostrando una buona correlazione tra la dose di concime distribuita e quella attesa, oltre che con gli altri parametri che caratterizzano la vigoria delle piante. Gli effetti sullo sviluppo dei germogli, invece, non sono stati significativi, probabilmente a causa del poco tempo trascorso. Tuttavia, la tendenza è stata quella attesa, ovvero di avere una crescita maggiore nelle zone più concimate (bassa vigoria iniziale) rispetto a quelle meno concimate (alta vigoria iniziale). Altre analisi saranno condotte per verificare questa ipotesi.

ABSTRACT

Precision viticulture is a growing asset which will increase its importance during next years. The aim of this agronomic practice is to find new solutions, more sustainable and efficient for the environment, without forgetting about the recipients of these technologies: the farmers. Variable rate fertilization, which is useful in fields characterized by high spatial variability, as often the vineyards are, could be extremely simple from the operating point of view using on-the-go systems. Spending the same time of normal fertilizing practices, we can manage the needs of the single plants, balancing the vigour of the entire field through the years.

In this work, a variable rate on-the-go fertilizing system was tested. It was composed by two proximal spectral sensors which provided an NDVI value (mean of data from two rows) to the on-board computer. Each value was immediately related to a fertilizer dose, chosen from the three ones previously determined. The vrt fertilizing spreader was able to vary the product's dose real time.

Ten sampling points were disposed in three different vigour zones, also thanks to a portable NDVI sensor. There, the agreement between predicted and really distributed fertilizer dose was detected. Moreover, in the same points, LAI, SPAD and vine shoots length were measured. After two weeks vine shoot length measure was repeated, in order to evaluate first effects of the treatment on vines' growth. At last, tests on the machinery response time to the changing of vigour zone were conducted.

The implemented system was able to distribute fertilizer according to the prescribed dose. Also, the correlation with the other vigour's indicators was good. Effects on vine shoot growth instead were not significant, maybe due to the short time passed. Anyway, the trend showed a major growth in the highly fertilized zones (low starting vigour) than in the low fertilized ones (high starting vigour). The aim is to balance field vigour, reducing differences between non-homogeneous zones. This aspect will be better investigated in future studies.

SOMMARIO

RIASSUNTO	I
ABSTRACT	II
SOMMARIO	III
Capitolo 1 INTRODUZIONE	1
1.1 L'agricoltura di precisione nel mondo.....	1
1.2 Il presente lavoro	4
Capitolo 2 LA VITICOLTURA DI PRECISIONE	7
2.1 La gestione sito-specifica del vigneto	7
2.2 Sensoristica e monitoraggio	9
2.3 Gestione del vigneto	11
2.3.1 Concimazioni VRT	12
2.3.2 Trattamenti fitosanitari VRT.....	13
2.3.3 Vendemmia selettiva	14
Capitolo 3 CASO STUDIO	17
3.1 Area dello studio	17
3.2 Macchine e sensori utilizzati	18
3.2.1 Calibrazione dello spandiconcime.....	20
3.3 Individuazione delle soglie di NDVI e delle dosi di concime	21
3.4 Verifica della qualità di distribuzione e valutazione degli effetti sul vigore delle piante	23
3.5 Verifica dei tempi di risposta dello spandiconcime	24
Capitolo 4 RISULTATI.....	27
4.1 Qualità della distribuzione	27
4.2 Effetti sulla crescita	32
4.3 Tempi di risposta della macchina.....	33
Capitolo 5 CONCLUSIONI.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	39
Documenti scientifici.....	39
Altri articoli.....	42
Siti web	42
RINGRAZIAMENTI	45

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1.1 L'agricoltura di precisione nel mondo

L'agricoltura di precisione (AP) è oggi una realtà concreta per molte aziende agricole in tutto il mondo. A partire dai più semplici dispositivi di assistenza alla guida, per arrivare ai più complessi sistemi di gestione della variabilità spaziotemporale in campo, l'interesse per le “nuove tecnologie” è in continua crescita.

In Thompson et al., 2019, oltre il 90% degli agricoltori americani intervistati dichiara di usare almeno una tecnologia riconducibile all' AP e l'80% che questo li abbia portati ad una migliore e più facile gestione dell'azienda.

In Italia la situazione generale è ancora piuttosto arretrata, pur con alcune eccellenze in aziende medio grandi. Attualmente, solo l'1% della SAU è gestito con tecniche di AP (Bucci et al., 2019). Ciò è dovuto principalmente alla ridotta dimensione aziendale media (8,4 ettari nel 2013) e alla scarsa propensione ad investire degli operatori. Il quadro è eterogeneo anche tra diverse zone geografiche e diversi ordinamenti colturali. Il settore maggiormente in crescita, ormai da diversi anni, è quello vitivinicolo. Ne consegue come sia qui che si possa spingere più facilmente verso l'innovazione tecnologica. La viticoltura delle aree meccanizzabili, soprattutto nel nord est dell'Italia a causa del “fenomeno Prosecco”, ha subito cambiamenti radicali negli ultimi vent'anni.

Il primo passo verso l'agricoltura di precisione può essere considerato l'adozione di sistemi di assistenza alla guida e/o di guida autonoma. Sono disponibili sul mercato numerosi kit in grado di implementare queste funzioni su un qualsiasi trattore, ma molti nuovi modelli dispongono già di questa tecnologia (di serie o come optional). L'utilizzo di un segnale satellitare, ed eventualmente di una correzione proveniente da un'antenna a terra, permette di ottenere una

precisione in campo fino ad un paio di centimetri, senza l'intervento dell'operatore sul volante.

Lo step successivo è quello di conoscere e gestire, in modo più o meno automatizzato, la variabilità presente in campo. Si tratta di non considerare più il singolo appezzamento come unità, ma di individuare al suo interno alcune zone con caratteristiche simili fra loro (zone omogenee). In questo modo è possibile ottimizzare l'utilizzo dei fattori produttivi, garantendone una maggior efficienza, con conseguenti vantaggi ambientali, nonché economici per l'azienda.

Il potenziale dell'AP può essere visto come una riduzione dell'uso di acqua, fertilizzanti e fitofarmaci nel mondo dell'agricoltura. (Banu, S., 2015). La variabilità può essere studiata a livello di terreno, di coltura o dell'interazione tra i due. Analisi di questo tipo necessitano di numerosi dati, che possono essere raccolti con campionamenti manuali o, soprattutto, mediante sensori. L'evoluzione dell'agricoltura di precisione ha comportato la nascita e lo sviluppo della sensoristica in agricoltura. I dati possono derivare da sensori remoti, "remote sensing", tipicamente satelliti, aeromobili o droni; oppure da sensori prossimali, "proximal sensing", fissi o mobili, direttamente presenti in campo. Le informazioni raccolte hanno raramente solo uno scopo conoscitivo; infatti servono per poter supportare le decisioni di chi gestisce l'azienda agricola, in particolare per quanto riguarda l'uso dei fattori produttivi. Qui si colloca l'utilità di creare delle mappe, con l'utilizzo di appositi software, sulla base dei dati raccolti, che riassumano la variabilità spaziale studiata, suddivisa in classi: le zone omogenee. Da mappe di tipo descrittivo è poi possibile creare mappe di prescrizione, nelle quali a ciascuna classe è associata una dose del fattore produttivo da distribuire. La mappa va infine convertita in un formato leggibile dal computer della trattrice o della macchina distributrice, e caricata su questo. Così è oggi possibile effettuare semine, concimazioni, trattamenti fitosanitari, irrigazioni e altre operazioni colturali a dose variabile. Si parla di "variable rate technology" (VRT), ma si può tradurre ancora più semplicemente con "fornire ciò che serve, quando serve e dove serve alla coltura". Ovviamente, oltre allo sviluppo della sensoristica, c'è stato ed è in corso quello di tutte le macchine coinvolte nelle operazioni colturali, che devono essere in grado di lavorare in modo variabile.

Una frontiera ancora più recente che riguarda il proximal sensing è quella di permettere una comunicazione diretta tra sensori, computer di bordo e attuatori della macchina operatrice. Evitando l'elaborazione delle mappe al computer si rendono le operazioni molto più semplici e veloci, riducendo i passaggi in campo, la quantità di lavoro necessaria e, di conseguenza, i costi. I sensori, montati solitamente in posizione anteriore sul trattore, devono essere idonei a lavorare "on-the-go", cioè a raccogliere dati mentre si trovano in movimento e ad inviarli in tempo reale al computer di bordo. Questo tradurrà e/o correggerà il segnale ricevuto e lo invierà alla macchina, collegata posteriormente al trattore.

Lo schema seguente (Fig. 1.1) riassume i concetti appena elencati.

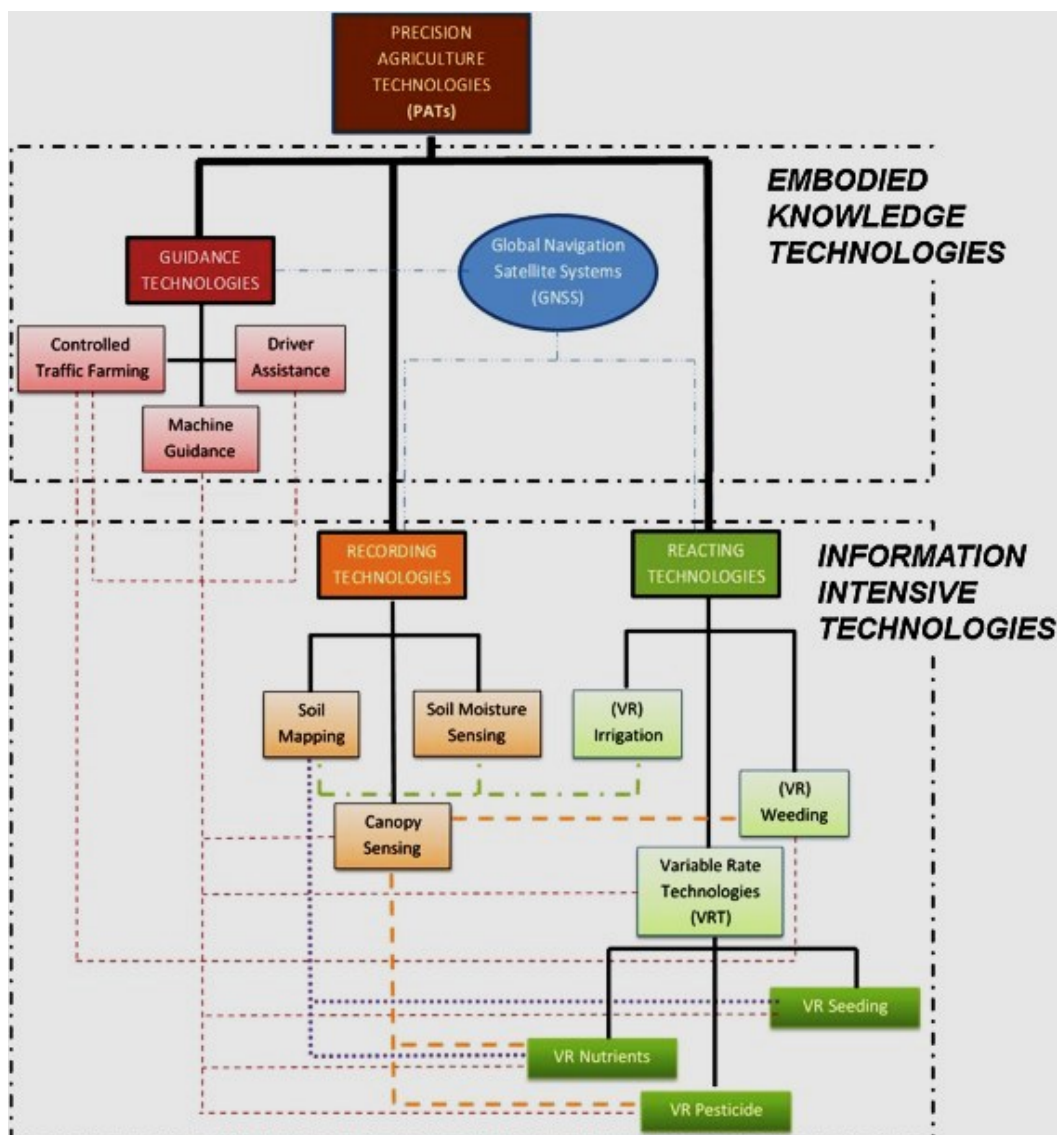


Fig. 1.1: Schema riassuntivo sull'agricoltura di precisione (Barnes et al., 2019)

La concimazione VRT del vigneto ha potenziali vantaggi economici e ambientali. L'utilizzo di sensori "real time" permette di misurare i parametri desiderati sulla vegetazione e utilizzarli immediatamente per controllare lo spandiconcime (Bora et al., 2015).

1.2 Il presente lavoro

In questo lavoro di tesi è stato testato un cantiere di lavoro per una concimazione VRT on-the-go in un vigneto dell'area del "Prosecco Superiore DOCG Conegliano Valdobbiadene". Le prove si sono svolte in un appezzamento in cui era stata rilevata una grande variabilità spaziale per quanto riguarda la vigoria delle piante, mediante campionamenti manuali e immagini satellitari. Sullo stesso campo, nell'inverno scorso è stata apportata una concimazione organica (letame) a dose variabile su mappa di prescrizione. L'obiettivo questa volta è quello di verificare l'idoneità del cantiere di lavoro alla distribuzione VRT on-the-go, e allo stesso tempo, di controllare gli effetti sul vigneto.

La macchina utilizzata è uno spandiconcime Kuhn MDS 12.1 Q (Kuhn SAS, Severe, France), equipaggiato con la propria unità di controllo (Quantron A, Kuhn). I sensori utilizzati sono due GreenSeeker (Trimble Inc., Sunnydale, USA), montati in posizione anteriore al trattore, in modo da inquadrare la parte alta del filare. I sensori sono collegati ad una centralina (RT200, Trimble), che comunica con un monitor in cabina (FM1000, Trimble). Quest'ultimo è collegato all'unità di controllo dello spandiconcime. Il tutto è montato su un trattore New Holland T4.100F (CNH Industrial N.V., Amsterdam, The Netherlands). I sensori forniscono una lettura in tempo reale dell'NDVI, che la macchina associa ad una dose di concime. Sono state impostate tre soglie di NDVI, associate ad altrettante classi di vigoria, e a ciascuna è stata assegnata una dose di concime da distribuire. Le classi sono state individuate con immagini satellitari e campionamenti manuali con GreenSeeker portatile handheld. Le dosi di fertilizzante messe a punto dall'agronomo.

Lo spandiconcime è stato preventivamente tarato per il prodotto utilizzato, un concime complesso 15-5-20. È stata verificata la corretta distribuzione del prodotto, posizionando delle cassette raccoglitrice in dieci punti-campione nelle

diverse zone. Inoltre, per ogni punto sono stati rilevati valori NDVI con il dispositivo portatile ed è stato rilevato il LAI utilizzando l'app VitiCanopy (University of Adelaide, University of Melbourne). Negli stessi punti sono stati effettuati rilievi sulla lunghezza dei germogli, prima della concimazione e circa due settimane dopo. I dati raccolti sono stati elaborati al fine di verificare la corrispondenza tra dose impostata e dose effettivamente distribuita in ogni punto, nonché di verificare se effettivamente l'NDVI rilevato in questo modo sia un buon indicatore della vigoria delle piante. Per ultimo, si è indagato l'effetto della concimazione nel periodo immediatamente successivo (rilievo di 15 giorni dopo).

Capitolo 2

LA VITICOLTURA DI PRECISIONE

2.1 La gestione sito-specifica del vigneto

Si può definire viticoltura di precisione (PV) l'insieme di tecniche e tecnologie che permettano di gestire il vigneto in maniera differenziale e sito-specifica. (Mazzetto et al., 2010). Il "remote sensing" è ancora la tecnologia più usata per la raccolta dei dati in PV. Si tratta di dati di riflettanza acquisiti da sensori ottici multispettrali nel campo del visibile e del vicino infrarosso da satellite, aeromobile o drone. Sulla base di questi è possibile elaborare immagini virtuali e calcolare indici di vegetazione, correlati con diversi parametri della pianta. Le prime esperienze in merito risalgono ormai a cinquant'anni fa (Rouse et al., 1973).

L'indice di vegetazione più conosciuto è l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ottenuto a partire da misure di riflettanza nel rosso (632-698 nm) e nell'infrarosso vicino (757-853 nm), $(\text{NIR-red})/(\text{NIR}+\text{red})$. Il valore è compreso tra -1 e 1. Le cellule vegetali assorbono le lunghezze d'onda del rosso e riflettono il NIR, pertanto una foglia in "buona salute" avrà valori di NDVI prossimi a 1, mentre una senescente o il terreno nudo avranno valori intorno allo 0. Si tratta in pratica di una stima del contenuto di clorofilla nei tessuti verdi della pianta. In molte colture l'indice è ben correlato allo status idrico e nutrizionale. Numerosi autori hanno dimostrato inoltre una buona correlazione tra NDVI e LAI. In Johnson, 2003, è stata proposta una formula che legava i due parametri con R^2 superiore a 0,9.

Il LAI, Leaf Area Index, non è altro che il rapporto tra area fogliare e superficie del suolo. I suoi valori possono variare da 0, nessuna copertura fogliare, a oltre 10 in boschi molto fitti. Un LAI elevato pertanto indica una pianta ben sviluppata e con buona capacità fotosintetica, oltre che di scambio gassoso. Il problema principale legato a questo parametro è che la sua determinazione sia di tipo distruttivo, ovvero preveda l'asportazione delle foglie dalla pianta. Per questo motivo e per il dispendio di tempo necessario, anche agendo solo su piante campione, una mappatura del LAI di un appezzamento è molto difficile. La valutazione del LAI in viticoltura risulta molto importante, sebbene le procedure adottate per la sua misurazione siano difficili e diano informazioni solo riguardo aree limitate. (Comba et al., 2019) Sono stati studiati metodi indiretti di calcolo di questo parametro, basati sul passaggio della PAR attraverso la vegetazione (SunSCAN, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK; AccuPAR, Decagon Devices, Pullman, WA, USA). Tuttavia, si tratta di dispositivi complessi e costosi. I sistemi più semplici, di nuova generazione, si basano invece sull'analisi di fotografie digitali. Appositi software sono in grado di associare il numero di pixel al materiale vegetale. Questi metodi possono rispondere alla necessità della viticoltura e dell'agricoltura in generale di monitorare le dinamiche spazio-temporali di crescita della vegetazione e dello sviluppo dell'area fogliare durante la stagione. (De Bei et al., 2016)

Un altro parametro molto interessante per la viticoltura di precisione è il volume della canopy, con la sua variazione durante la stagione. La sua stima da remote sensing è però molto difficile. La struttura dei filari e il terreno degli interfilari, eventualmente coperto da vegetazione, possono creare problemi e "falsare" i dati. Inoltre, il remote sensing non fornisce dati in tempo reale. Il satellite Sentinel-2, maggiormente usato per l'agricoltura, copre la stessa zona una volta ogni 5 giorni (Segarra et al., 2020). Questa frequenza può non essere sufficiente per alcune applicazioni di PV. Oltre a ciò, i dati di riflettanza da satellite possono non essere sempre disponibili a causa di condizioni atmosferiche avverse. Le tecnologie di proximal sensing sono in grado di superare tutti questi problemi: il loro utilizzo non è influenzato dalla copertura nuvolosa, la vicinanza ai filari esclude la riflettanza del suolo e non ci sono vincoli legati alla frequenza di rilevamento. (Mazzetto et al., 2010) Se i dati sono

corredati di coordinate GPS è possibile ottenere un'ottima risoluzione spaziale, che ben si adatta alla gestione sito-specifica della coltura.

2.2 Sensoristica e monitoraggio

Lo sviluppo dell'AP va di pari passo con quello della sensoristica. In realtà la maggior parte dei sensori utilizzati dal mondo agricolo sono stati sviluppati per altre esigenze, spesso dell'industria, e solo successivamente riadattati (Bora et al., 2015). Infatti, la vera sfida per il settore non sta tanto nella creazione di nuove apparecchiature, quanto nel riuscire ad individuarne di potenzialmente utili tra quelle esistenti in diversi altri settori. Gli esempi possibili sono moltissimi: sensori ad ultrasuoni, sensori ottici, acustici, celle di carico, accelerometri, i sistemi GNSS stessi; tutti derivano da altre applicazioni, ma vengono oggi usati anche in agricoltura.

L'argomento è davvero molto vasto, pertanto sarà trattato approfondendo solo alcuni aspetti necessari per comprendere i passaggi successivi.

Il monitoraggio delle colture è forse l'attività gestionale che impegna in misura maggiore l'agricoltore. Infatti, solo avendo un controllo costante sui propri appezzamenti è possibile intervenire in modo tempestivo ed efficace. Per il monitoraggio del vigneto, ed in particolare dello sviluppo della vegetazione, sono state utilizzate negli anni essenzialmente tre tipologie di sensore: ottico, ad ultrasuoni e laser.

Bora et al., 2015, fornisce un'analisi comparativa di tre sensori appartenenti alle tre diverse categorie. Senza entrare nel dettaglio della prova, il dispositivo ottico e quello ad ultrasuoni sono risultati idonei a misurare il volume della canopy, mentre il laser testato non si è dimostrato affidabile in condizioni di campo poiché tendeva a superare il filare, inquadrando anche quelli adiacenti.

Due sensori ottici molto diffusi al momento in agricoltura sono GreenSeeker (Trimble, Sunnyvale, CA, USA), nei diversi modelli disponibili e gli SPAD (Soil Plant Analysis Development) meters (Konica Minolta, Japan).

GreenSeeker fornisce una misura dell'NDVI, emettendo lunghezze d'onda nel rosso (660 nm) e nell'infrarosso (770 nm) e rilevandone la riflettanza da parte della pianta. Il sensore va posizionato ad una distanza di circa 50-100 cm dalla pianta. Esistono versioni diverse, utilizzabili in mano dall'operatore oppure da

montare su trattore. Per le diverse colture cambiano essenzialmente i supporti e il numero di sensori da impiegare, ma il dispositivo in sé rimane lo stesso.

Lo SPAD meter funziona in modo simile, ma è costituito da una sorta di molletta che va chiusa sulla singola foglia. La luce è emessa nel rosso (650 nm), frequenza correlata al picco di attività della clorofilla, e a 940 nm, frequenza legata allo spessore della foglia e al contenuto di umidità, ed è misurata l'assorbanza del tessuto vegetale. Il dato fornito dallo strumento è una stima del contenuto di clorofilla ed è compreso tra -9,9 e 199,99. (Freidenreich et al., 2019)

I sensori ad ultrasuoni sono più semplici e molto più economici dei precedenti. Viene emesso un segnale acustico ad elevata frequenza, che rimbalza sulla superficie vegetale e torna al ricevitore. Sulla base del tempo di ritorno si ha una stima della distanza tra il dispositivo e l'oggetto. Combinando più sensori (almeno tre) e rilevazioni continue nel tempo, è possibile ottenere in tempo reale una stima accurata del volume della vegetazione. Tuttavia, bisogna prestare attenzione alla distanza dei sensori dal filare. Infatti, più questa aumenta, maggiore è il campo visivo del sensore e minore sarà l'accuratezza della misura, che può essere compromessa anche da interferenze tra due dispositivi vicini. (Llorens et al., 2011)

Anche la tecnologia laser è stata usata in diverse occasioni per caratterizzare la chioma di colture arboree. In particolare, si usano dei dispositivi LIDAR (Light Detection and Ranging), in grado di misurare la distanza da un oggetto rilevando il tempo che un impulso laser impiega per raggiungerlo. A differenza dei precedenti, questo tipo di sensore è impiegabile sia nel proximal sensing che nel remote sensing da aereo o drone, in quanto può funzionare anche a distanze notevoli dall'obiettivo. Per ottenere dati ad elevata risoluzione sul volume della vegetazione, tuttavia, l'utilizzo migliore è quello in proximal sensing, che consente anche di ridurre notevolmente i costi. (Tagarakis et al., 2017)

Pallottino et al., 2019, sottolinea come nel proximal sensing sia fondamentale una corretta distanza tra il dispositivo utilizzato e la coltura per avere una buona risoluzione spaziale. In generale un rilievo tramite proximal sensing ha una risoluzione maggiore rispetto ad uno da remoto, dove difficilmente si scende sotto 1 metro.

L'obiettivo principale della viticoltura di precisione è quello di individuare le "zone omogenee", che possano permettere applicazioni a dose variabile (VRT) di fertilizzanti, acqua, prodotti fitosanitari ed eventualmente anche la vendemmia selettiva. Questo tipo di gestione richiede una caratterizzazione molto precisa della variabilità spazio – temporale del vigneto. (Anastasiou et al., 2019)

2.3 Gestione del vigneto

La gestione tecnico – agronomica di un vigneto moderno in una zona meccanizzabile è sintetizzabile in pochi passaggi. Va sottolineato che ogni areale ha le sue peculiarità ed esigenze, pertanto sicuramente si riscontreranno alcune differenze rispetto a quanto descritto in seguito.

Potature invernali e potatura verde: dipendono da varietà e sistema di allevamento e possono essere in tutto o in parte meccanizzate. Influiscono in modo notevole sulla produzione e sulla qualità dell'uva.

Trattamenti fitosanitari: il controllo di parassiti fungini e insetti richiede di norma dai 10 ai 15 trattamenti all'anno, a seconda delle condizioni ambientali. Ci sono buone possibilità di applicazione della viticoltura di precisione.

Concimazione: di norma effettuata al momento dell'impianto e poi 1 o 2 volte all'anno sulla base delle asportazioni o con dosi da letteratura. Per la concimazione di produzione si utilizzano di solito concimi complessi, in modo da apportare tutti gli elementi in un solo passaggio. La concimazione fogliare può rappresentare una valida integrazione soprattutto per microelementi o in fasi fenologiche particolari. Si sta diffondendo la pratica della fertirrigazione, che permette di rispondere meglio alle esigenze della pianta. Inoltre, si sta rivalutando, dove possibile, l'uso di matrici organiche anche in un'ottica di maggiore sostenibilità dei processi produttivi. In diverse zone d'Italia si è assistito negli ultimi anni ad una riduzione drastica e irrazionale delle concimazioni minerali, che porta ad un precoce invecchiamento degli impianti e ad una diminuzione della qualità dell'uva (carenze di azoto nei mosti). (Scienza, 2019) Inoltre si stanno diffondendo carenze di microelementi, che sono favorite da una nutrizione scarsa o scorretta. La PV può sicuramente contribuire ad una gestione più efficiente e bilanciata.

Irrigazione: sempre più si rivela necessaria a causa del cambiamento climatico. È un problema notevole in zone con scarsa disponibilità idrica o non dotate di infrastrutture adatte. Ci sono possibilità di gestione irrigua con tecniche di PV.

Vendemmia: ormai molto diffusa la possibilità di meccanizzazione anche per aree collinari. Spesso si incontrano ostacoli di carattere psicologico e culturale. Rientra tra le pratiche di PV.

Questo elenco vuole essere solo una breve panoramica sulla situazione attuale, senza entrare nel dettaglio delle singole pratiche. Si è dato maggior spazio alla concimazione perché sarà l'argomento dei capitoli successivi. Di seguito sono descritte alcune possibili applicazioni di viticoltura di precisione per tre diverse pratiche agronomiche: concimazione, trattamenti fitosanitari e vendemmia.

2.3.1 Concimazioni VRT

Un primo passo verso la gestione sito-specifica VRT del vigneto è quello di effettuare la concimazione a dose variabile. Il modo più semplice al momento è quello di individuare delle zone omogenee a partire da una mappa di vigoria (NDVI) ottenuta da satellite, ed associare a ciascuna zona una diversa dose di concime. Per la distribuzione in campo sarà sufficiente dotarsi di uno spandiconcime idoneo ("VRT150-Claudio Potremolesi", Spezia-TecnoVict, Piacenza, Italia; "SpreadSat", Casella Macchine Agricole s.r.l., Piacenza, Italia) e di un sistema di geolocalizzazione GPS. Per determinare la quantità di concime da apportare in ogni zona si possono fare dei rilievi manuali in punti-campione. In questa fase è fondamentale l'esperienza di un agronomo. L'obiettivo che ci si pone è quello di ridurre la variabilità tra zone omogenee, pertanto ad una bassa vigoria è associata una dose elevata di fertilizzante, mentre ad un'alta vigoria è associata una dose bassa o nulla. L'approccio è completamente opposto rispetto a quello che si adotta per le colture erbacee, dove si preferisce "spingere" le zone più produttive e risparmiare fattori produttivi nelle zone meno fertili. In Gatti et al., 2020, si è testata una concimazione VRT a tre diversi livelli di azoto in un vigneto di Barbera in provincia di Piacenza. Tuttavia, mancano ancora studi di medio e lungo periodo per verificare se l'obiettivo di riduzione della variabilità sia effettivamente raggiunto. Infatti, se il

vantaggio in termini di risparmio di concime è subito visibile, il miglioramento (potenziale) della vigoria del vigneto richiede alcuni anni. Davenport et al., 2014, fornisce un'indagine sulla fertilità del suolo dopo quattro anni di concimazioni VRT, senza però riportare informazioni sullo stato delle piante.

Una prospettiva più innovativa, come accennato in precedenza, riguarda l'adozione del proximal sensing. I sensori sono montati su trattori, quad o veicoli a guida autonoma in grado di muoversi tra i filari (es. VineRobot project). In questo modo è possibile raccogliere dati con un'ottima precisione spaziale e utilizzarli per la creazione di mappe da utilizzare poi come quelle create da remote sensing. (Tagarakis et al., 2017; Freidenreich et al., 2019).

Un ulteriore passo è possibile nell'ottica di semplificare il processo. Si tratta di fare una concimazione VRT "on-the-go". I sensori vanno montati sulla stessa trattrice su cui si trova anche la macchina spandiconcime e sono in grado di comunicare con questa, attraverso una centralina e un computer di bordo. Così non è più necessario elaborare mappe sulla base dei dati raccolti e poi procedere a concimare, ma tutto avviene contemporaneamente. Si devono stabilire delle dosi-soglia tra le quali la macchina potrà variare in modo continuo o discontinuo la quantità di concime da distribuire. Una volta fatta una prima taratura, il processo è completamente automatico: sulla base della vigoria identificata dal sensore, gli attuatori dello spandiconcime agiscono variando la dose in tempo reale. Un cantiere di lavoro di questo tipo è stato testato per colture erbacee (Maleki et al., 2008; Zilmann et al., 2006) mentre pochi sono i casi di applicazioni nel vigneto. In tale contesto si inserisce il presente lavoro, che sarà descritto nei capitoli successivi.

2.3.2 Trattamenti fitosanitari VRT

Nella comune pratica agronomica, i trattamenti fitosanitari sono eseguiti in modo uniforme su tutto l'appezzamento. È noto però che alcune delle principali malattie (si intende in modo generico sia fungine che da insetti o altro) abbiano origine da focolai sparsi in modo discreto nel campo. Qui si manifestano i sintomi in maniera precoce e da questi punti l'infestazione si propaga poi a tutta la zona. Questo è il presupposto fondamentale per lo sviluppo di sistemi altamente automatizzati o di robot in grado di riconoscere i primi sintomi di una malattia ed effettuare un trattamento fitosanitario solo in quel punto. Si tratta di una gestione

sito-specifica estremamente precisa, che comporterebbe una notevole riduzione dell'uso di prodotti per la difesa delle piante. (Oberti et al., 2016)

Se un tale livello di tecnologia è ancora allo studio, sono però già disponibili sul mercato macchine irroratrici VRT. L'atomizzatore "CIMA VRT" (Cima s.p.a., Montù Beccaria, Pavia, Italia) è in grado di variare il volume di soluzione erogato sulla base della velocità di avanzamento e della dimensione della chioma. Per fare ciò, la macchina è dotata di sensori ad ultrasuoni che forniscono una stima del volume della vegetazione. In questo modo è possibile ottenere un'ottima copertura della vegetazione, adottando volumi elevati solo dove necessario (pianta molto sviluppata) e riducendo la quantità di prodotto nelle zone poco vigorose. Il sistema è inoltre dotato di GPS integrato per redigere una mappa puntuale del lavoro effettuato.

DICKEY-john propone ormai da una decina d'anni un kit (CCS-100, Dickey-john corporation, Auburn, USA) applicabile agli atomizzatori più diffusi sul mercato il grado di adattare la pressione di esercizio all'effettiva velocità di avanzamento (misurata da sensore a terra). In questo modo si evita all'operatore il compito di dover mantenere sempre costante la velocità.

2.3.3 Vendemmia selettiva

Come già detto più volte, in ogni vigneto è presente una certa variabilità interna, più o meno marcata, che è possibile gestire con la viticoltura di precisione. Oltre ad una diversa vigoria e sviluppo della vegetazione, è possibile osservare differenze anche a livello di resa, qualità dell'uva e qualità del vino. In fase di raccolta è possibile operare la "vendemmia selettiva", ovvero separando l'uva proveniente da zone con caratteristiche diverse. Questa divisione può essere spaziale e/o temporale, vendemmiando in momenti diversi. L'individuazione delle zone può avvenire con tutti i metodi visti in precedenza. Bramley et al., 2011, utilizza immagini satellitari elaborate al momento dell'invaiaitura, ma suggerisce l'integrazione dei dati con rilievi in punti campione ed eventualmente con un sensore di produzione sulla vendemmiatrice (FARMSCAN™, Computronics, Perth, Western Australia), (ATV™, Advanced Technology Viticulture, Adelaide, South Australia). L'accumulo di dati in più stagioni permette risultati migliori. Lo stesso studio verifica anche una buona convenienza economica della vendemmia selettiva nel nord est Victoria,

Australia. Questa pratica permette infatti di destinare una parte dell'uva alla produzione di vini di elevata qualità, mentre la restante a vini ordinari, di qualità medio bassa. La vendemmia convenzionale permetterebbe solo una qualità media. Negli ultimi anni sono disponibili dei dispositivi di proximal sensing in grado di fornire, mediante una misura di fluorescenza, un indice legato alla quantità di antociani. Questa informazione può essere molto utile anche per una vendemmia non selettiva. Infatti, il cambiamento climatico sta facendo anticipare sempre più la maturità tecnologica dell'uva, a scapito di quella fenolica, portando a nuovi problemi soprattutto per vini di pregio. Agati et al., 2018, propone l'utilizzo di due indici legati al contenuto di antociani ($ANTH_{RG}$ e $ANTH_R$) rilevati con un sensore prossimale detto Multiplex (FORCE-A, Orsay, France).

Capitolo 3

CASO STUDIO

3.1 Area dello studio

Come descritto precedentemente, obiettivo del lavoro di tesi è stato testare un sistema innovativo per la concimazione a rateo variabile on-the-go del vigneto, valutandone l'idoneità tecnica. Inoltre, si sono indagati i primi effetti agronomici dell'intervento.

Le prove si sono svolte nel mese di maggio 2020 in un vigneto di 9 ettari nel comune di San Pietro di Feletto (TV), in una zona collinare all'interno dell'area del Prosecco Superiore Conegliano Valdobbiadene D.O.C.G. La varietà dell'uva è Glera, coltivata seguendo il disciplinare del Consorzio di Tutela. Il sistema di allevamento adottato è il Sylvoz, con interfila di 3 m e distanza di 1,1 m sulla fila, per un totale di 3030 piante/ha. I filari sono disposti in modo perpendicolare rispetto alla linea di massima pendenza della collina, come si può vedere dalla fig. 3.1, a pagina seguente. L'ampia capezzagna centrale, oltre a quelle laterali, agevola il passaggio dei mezzi. La gestione dell'appezzamento è, infatti, quasi completamente meccanizzata. Il terreno tra i filari è inerbito, mentre il sottofila è gestito con lavorazioni superficiali. È presente un impianto di irrigazione localizzata, a goccia, con ala gocciolante lungo i filari e tubazioni principali interrate. L'impianto del vigneto risale al 2014 ed è stato effettuato in seguito a lavori di sbancamento. Questo tipo di sistemazione comporta spesso uno sconvolgimento delle caratteristiche del terreno. L'appezzamento, infatti, è caratterizzato da elevata variabilità spaziale per quanto riguarda vigoria e resa delle piante (Fig 3.2).



Fig. 3.1: Il vigneto dove si è svolta la prova (foto del 13.05.2020)

Fino alla stagione 2018-2019 il campo è stato gestito in maniera uniforme. Nel mese di gennaio 2020 è stata apportata una concimazione organica (letame) solo nelle zone a bassa vigoria, individuate da un rilievo con sensore spettrale nella stagione produttiva precedente.



Fig. 3.2: Mappa di NDVI da rilievo satellitare (Sentinel 2, indice PCD)
(maggio 2020)

3.2 Macchine e sensori utilizzati

Per la concimazione VRT è stato utilizzato un trattore New Holland T4.110F (CNH Industrial N.V., Amsterdam, The Netherlands) abbinato ad uno spandiconcime Kuhn MDS 12.1 Q (Kuhn SAS, Sevre, France). Lo spandiconcime era equipaggiato con doppio disco di distribuzione e deflettori

per convogliare il concime alla base delle piante. La centralina di comando (Quantron A, Kuhn) permette alla macchina di variare la dose di concime distribuita agendo sull'apertura delle saracinesche e quindi sul flusso di prodotto in uscita. Il movimento è operato da due martinetti elettrici, pertanto non sono necessarie prese idrauliche sul trattore. La centralina Quantron A garantisce un flusso di concime proporzionale alla velocità di avanzamento ed è compatibile con altri dispositivi, quali computer di bordo e terminali GPS.

Sul sollevatore anteriore del trattore è stato montato un supporto metallico regolabile sul quale erano alloggiati due sensori spettrali GreenSeeker (Trimble Inc., Sunnydale, USA). I sensori sono stati montati in modo che il loro campo visivo ("FOV-Field Of View") coincidesse con la parte alta del filare, poiché è la lunghezza degli apici ad essere fortemente correlata con lo stato di vigore della pianta. In particolare, i dispositivi erano posti a circa 150 cm da terra e 75 cm dal filo di ferro del filare. Sul supporto metallico era fissata anche una centralina (RT200, Trimble), a sua volta collegata ad un monitor in cabina (FM1000, Trimble). I due sensori di fatto agivano come un unico dispositivo, poiché i dati raccolti erano mediati dalla centralina e letti come un unico valore di NDVI sul monitor. Questo associava ogni singola lettura dell'NDVI (una al secondo, frequenza di 1 Hz) ad una dose di concime, sulla base di soglie impostate manualmente. Infine, il monitor FM1000 era collegato alla centralina Quantron A dello spandiconcime, che attuava il cambio di dose.

Il monitor FM1000 era collegato anche ad un'antenna GPS, posta sul cofano del trattore, utile soprattutto per fornire un dato esatto sulla velocità di avanzamento. Inoltre, la distribuzione è stata completamente tracciata dal monitor, permettendo la costruzione di una mappa georeferenziata.

La velocità di avanzamento era di circa 6 Km/h. Dopo l'impostazione delle soglie, non c'è stata alcuna interruzione, se non per il carico del concime. L'operatore ha completato in autonomia il lavoro di distribuzione sull'intero appezzamento.



Fig. 3.3: La macchina in configurazione operativa (A), con dettaglio dello spandiconcime (B), dei sensori, cerchiati in rosso e della centralina, in verde (C)

3.2.1 Calibrazione dello spandiconcime

Prima di procedere con la concimazione, è stato necessario tarare lo spandiconcime. Infatti, come è noto, ogni prodotto ha caratteristiche diverse e va individuato il flusso ottimale per la dose da distribuire. In questo caso si è utilizzato un concime complesso: “Nitrophoska perfect” (EuroChem Agro S.p.a., Cesano Maderno, MB, Italia), 15-5-20 + 2% MgO+20% SO₃, con Boro e Zinco. Normalmente la taratura di uno spandiconcime si esegue con trattore fermo e macchina a regime di lavoro. Si determina la quantità di prodotto distribuita nell’unità di tempo (Kg/min), e sulla base di questo dato, della velocità di

avanzamento prevista (Km/h) e della dose (Kg/ha), si aggiusta l'apertura della saracinesca, e quindi il flusso in uscita. La centralina Quantron A permette di semplificare le operazioni di taratura. Infatti, una volta smontati i dischi di distribuzione, è sufficiente seguire le istruzioni che appaiono sul monitor. Viene richiesto di raccogliere e pesare il prodotto fuoriuscito in un minuto (il tempo è misurato dalla centralina). A questo punto la centralina fornisce un valore che dovrebbe corrispondere alla nostra pesata: se così non fosse, si dovrebbe inserire il peso rilevato e ripetere l'operazione, dopo che la macchina in automatico avrà modificato l'apertura. Dopo aver ripetuto il processo per quattro volte è stata completata la taratura. In figura 3.4 il dettaglio dell'operazione.



Fig.3.4: Dettaglio della calibrazione dello spandiconcime

3.3 Individuazione delle soglie di NDVI e delle dosi di concime

Prima di iniziare la concimazione, è stato necessario impostare dei valori soglia di NDVI corrispondenti alle tre zone di bassa, media e alta vigoria. Per fare questo è stato utilizzato un sensore GreenSeeker handheld (Trimble Inc., Sunnydale, USA). Si tratta di un dispositivo simile a quelli montati sul trattore, ma pensato per essere utilizzato in mano dall'operatore (Fig.3.5). Con questo è stato possibile rilevare l'NDVI nei dieci punti campione, sui quali sono state poi svolte le altre analisi. Per ciascun punto si è considerata l'area di quattro piante. I valori rilevati sono stati utilizzati per definire tre intervalli all'interno dei quali collocare le tre dosi di concime (Fig.3.5). Alla zona a maggior vigoria

($NDVI > 0,86$) è stata associata la dose di concime più bassa: 50 Kg/ha. Alla zona a minor vigoria ($NDVI < 0,81$) è stata associata la dose di concime più alta: 150 Kg/ha. Nelle zone intermedie ($0,81 < NDVI < 0,86$) la dose di concime è stata di 100 Kg/ha. L'obiettivo è infatti quello di ridurre progressivamente la variabilità presente in campo, favorendo le zone poco sviluppate e limitando quelle troppo vigorose. In questo modo si punta ad ottenere una resa omogenea e soprattutto una qualità dell'uva più stabile tra le diverse zone dell'apezzamento. La fase fenologica in cui ci si trovava (pre-fioritura, BBCH55) è il momento ottimale per questo tipo di rilievo in cui emergono chiaramente le differenze di sviluppo tra le piante, visibili anche ad un occhio inesperto. Nel primo periodo dopo la ripresa vegetativa, infatti, l'assorbimento di nutrienti dal terreno è molto limitato e la pianta utilizza le riserve che ha stoccato nella stagione precedente.



Fig 3.5: In alto, rilievo con GreenSeeker handheld; in basso, inserimento delle soglie nel monitor FM1000

Il grafico seguente (Fig. 3.6) mostra i valori misurati con il GreenSeeker handheld, raggruppati nelle tre zone di vigoria, e la dose di concime associata.

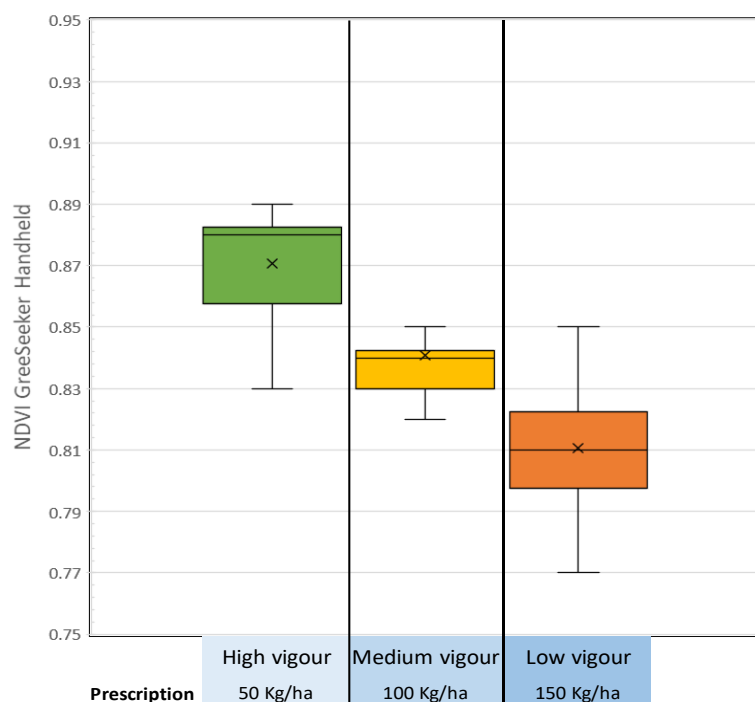


Fig. 3.6: NDVI rilevato da GreenSeeker handheld nelle tre zone di vigoria e dose di concime prescritta

3.4 Verifica della qualità di distribuzione e valutazione degli effetti sul vigore delle piante

I rilievi effettuati avevano il duplice scopo di valutare la qualità della distribuzione, ovvero la corrispondenza tra dose teorica (data dal valore di NDVI) e dose effettivamente distribuita, e di indagare gli effetti sullo sviluppo delle piante. Tutte le misurazioni sono state fatte nei 10 punti preliminarmente campionati per la taratura.

Durante la concimazione, in ciascun punto erano presenti delle vaschette di plastica collocate alla base delle piante. All'interno erano contenuti dei setti in legno con la funzione di bloccare eventuali rimbalzi dei granuli. Queste hanno raccolto il concime caduto in quella zona. Una volta pesato, conoscendo la superficie della vaschetta, è stato possibile ottenere il quantitativo di prodotto in Kg/ha realmente distribuito. (fig. 3.7)



Fig. 3.7: Raccolta e pesatura del concime caduto nelle vaschette

Di seguito si sono effettuate altre letture di NDVI, sempre utilizzando il GreenSeeker portatile. Inoltre, sulle stesse piante, è stato misurato il LAI, utilizzando l'app per smartphone VitiCanopy (De Bei, et al., 2016). Tramite un normale smartphone, fissato ad un selfiestick (come raccomandato nelle istruzioni dell'app), è sufficiente fotografare la chioma della pianta dal basso verso l'alto, con la fotocamera frontale. L'applicazione elabora l'immagine fornendo il LAI e altri parametri. Inoltre, grazie al sistema GPS del telefono, è stato possibile georeferenziare tutti i dati raccolti.

Prima della concimazione era stata misurata la lunghezza di tre germogli per ciascun punto di campionamento. Inoltre, erano state effettuate 20 misurazioni per ogni punto campione con uno SPAD meter. Questo rilievo è stato ripetuto dopo due settimane, in modo da individuare i primi effetti sullo sviluppo delle piante.

3.5 Verifica dei tempi di risposta dello spandiconcime

Oltre ai rilievi in campo descritti finora, si è voluto testare il tempo di risposta del cantiere sensori-spandiconcime al variare del valore di NDVI. Era infatti prevedibile un certo ritardo tra il momento in cui il sensore leggesse un diverso valore di NDVI e l'effettiva variazione della dose di concime da parte dello spandiconcime. Questa prova si è svolta in un capannone chiuso. È stata ricreata una parete vegetale utilizzando delle foglie verdi. Per ottenere tre diversi valori di NDVI, si sono utilizzati dei pannelli di cartone con foro di diametro diverso (fig.3.8).



Fig. 3.8: Simulazione dei tre livelli di NDVI

Dopo aver accertato il valore per ciascun foro, con alcune letture ripetute, sono state determinate tre soglie alle quali si sono associate altrettante dosi di concime, proprio come si era fatto in vigneto. Preliminarmente era stato utilizzato il GreenSeeker handheld per verificare i valori di NDVI durante la costruzione dei pannelli forati, al fine di essere certi che ci fosse una differenza sufficiente tra uno e l'altro. A questo punto si è impostato il monitor FM1000 in modo che simulasse una velocità di avanzamento (6 Km/h, come in campo, 3 Km/h e 12 Km/h, ipotizzando un lavoro più lento e poi più veloce). Per ricreare la variazione di NDVI è stato sufficiente spostare i pannelli di cartone. In questo modo si è testato più volte il passaggio da zone ad "alta vigoria", ad altre a "media" o "bassa" e viceversa. Si è rilevato il tempo che passava da "completo cambiamento di vegetazione", ovvero quando il pannello era stato completamente appoggiato o completamente rimosso, a "fine variazione dose", ovvero quando il martinetto elettrico smetteva di muoversi (è ben visibile il movimento dell'indicatore sulla barra dosatrice, posto sul fianco dello spandiconcime). In particolare, una persona si occupava dello spostamento dei pannelli e un'altra di misurare il tempo con un normale cronometro manuale. Durante la simulazione non è stato inserito concime nella macchina, né è stata attivata la pdp del trattore. Questo perché la regolazione della dose è completamente elettrica e indipendente dalla pdp.

Capitolo 4

RISULTATI

4.1 Qualità della distribuzione

Di seguito si riportano i principali risultati ottenuti per quanto riguarda la qualità della distribuzione, in termini di accuratezza e precisione rispetto alle dosi attese. I dati sono stati elaborati con Excel. Per prima cosa è stata fatta un'analisi della varianza (ANOVA) per verificarne la significatività. Poi si sono calcolate delle regressioni lineari semplici tra questi. Ogni grafico riporta il coefficiente di determinazione (R^2), che non è altro che il quadrato del coefficiente di correlazione di Bravais-Pearson (r). R^2 esprime la variabilità della variabile dipendente che può essere spiegata dalla variazione di quella indipendente. La tabella seguente (tab.4.1) riporta in forma analitica tutti i principali risultati delle prove svolte in campo.

Tab. 4.1: Principali risultati e loro significatività (ANOVA)

vigoria	dose teorica (Kg/ha)		dose effettiva (Kg/ha)		NDVI		LAI		LAle	
ALTA	50		54,86	a	0,87	a	2,41	a	1,94	a
MEDIA	100		100,00	b	0,84	b	1,92	b	1,44	b
BASSA	150		150,52	b	0,81	c	0,97	b	0,76	b
sign.			*		**		**		*	
vigoria	SPAD		lunghezza germogli pre		lunghezza germogli post		crescita %			
ALTA	38,55	a	94,89	a	116,89	a	24,40			
MEDIA	35,20	b	64,89	b	81,78	b	26,38			
BASSA	30,39	c	55,08	b	77,17	b	45,38			
sign.	**		*		*		n.s.			

Si nota come ci sia stata significatività per tutti i parametri misurati, tranne la “crescita %”, che mostra comunque una certa tendenza. Probabilmente, il rilievo dopo due settimane dalla concimazione è stato troppo precoce per individuare chiaramente gli effetti dell’intervento. Per gli altri parametri, è sempre evidente la differenza tra zone ad alta vigoria e il resto del campo, mentre tra media e bassa vigoria non c’è sempre una distinzione netta.

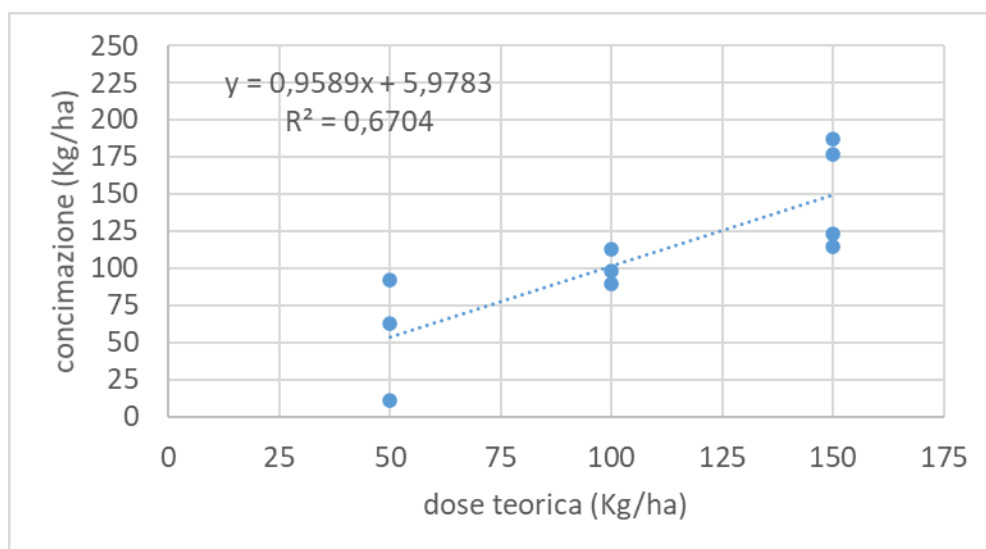


Fig. 4.1: Regressione lineare semplice tra dose teorica (Kg/ha) e concime effettivamente distribuito (Kg/ha)

Il primo grafico (fig.4.1) mostra come la concimazione abbia in media rispettato le dosi che erano state previste sulla base dell’NDVI. La correlazione è buona ($R^2=0,67$). I dati sono ben allineati sulle tre dosi, denotando una buona accuratezza del sistema testato. Tuttavia, c’è un’ampia variabilità interna a ciascun gruppo, in particolare nelle zone ad alta vigoria (dose teorica 50 Kg/ha) e bassa vigoria (dose teorica 150 Kg/ha), che dimostra una scarsa precisione media del sistema di rilevamento. Di seguito (fig.4.2) si riporta invece il grafico della correlazione tra NDVI e concimazione applicata nei punti campione. L’ R^2 di 0,69 indica una buona riuscita della prova. Di fatto, ciò che è rappresentato in questo grafico è quello che si richiedeva di fare alla macchina, ovvero leggere un valore di NDVI sulla vegetazione e associarvi una dose di concime. Anche qui si può riscontrare una maggiore precisione per quanto riguarda la “media vigoria”, con dati più concentrati, mentre per “alta” e “bassa” vigoria i valori sono più dispersi.

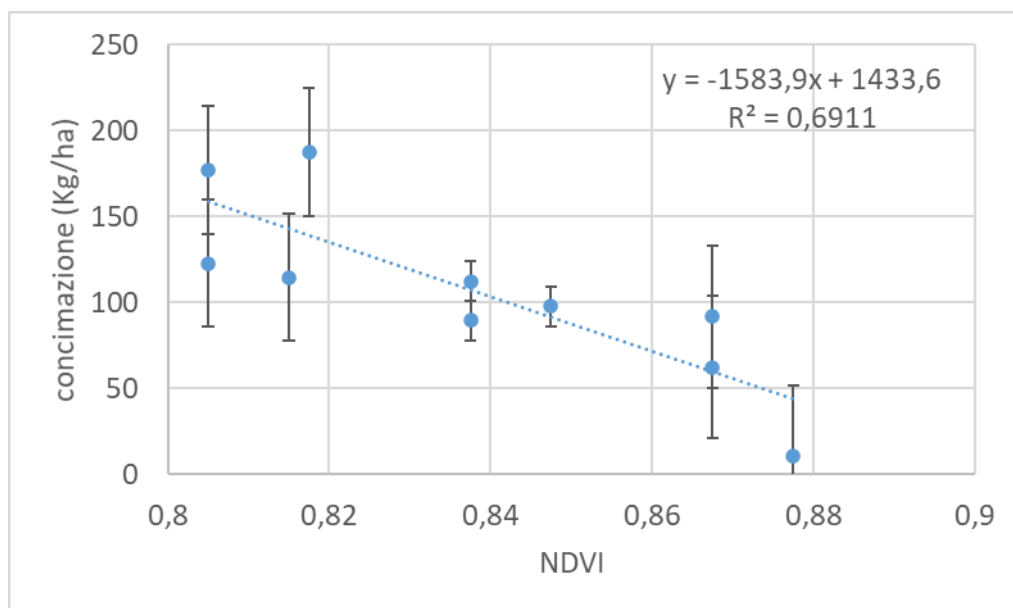


Fig. 4.2: Regressione lineare semplice tra NDVI (rilevato da GreenSeeker handheld) e dose di concime applicata nei punti campione

Va sottolineato come i valori di NDVI siano quelli rilevati dal dispositivo GreenSeeker portatile, e possano pertanto essere leggermente diversi da quelli realmente acquisiti dalla macchina durante la lavorazione on-the-go.

Ad ulteriore prova dell'efficienza del cantiere di lavoro testato, è stata verificata la correlazione tra la concimazione distribuita e la lunghezza dei germogli misurata manualmente. Nel grafico risultante (fig. 4.3), a pagina seguente, è riportato il valore di $R^2=0,75$ che indica un'elevata correlazione tra le due variabili. Va ricordato che l'obiettivo della prova è concimare a dose variabile sulla base della vigoria delle piante, della quale l'NDVI è un ottimo indicatore. Tuttavia, niente può esprimere al meglio la vigoria che la lunghezza dei germogli. A livello operativo si tratta di un parametro poco utile, poiché misurabile solo manualmente, ma il fatto che sia ben correlato alla concimazione, è la prova di come questa abbia risposto all'obiettivo. A questo punto è stata verificata anche la correlazione tra l'NDVI e la lunghezza dei germogli, che si è però rivelata più debole. Ciò è probabilmente da attribuire ancora una volta al rilevamento effettuato con GreenSeeker handheld che fornisce risultati meno precisi e soprattutto meno costanti rispetto ai GreenSeeker montati sul trattore. Infatti, anche durante i rilievi si era vista una certa differenza nei valori acquisiti sulle stesse piante da operatori diversi,

dovuta alla posizione in cui era tenuto il sensore. Il grafico in fig. 4.4 rappresenta questa correlazione, comunque abbastanza significativa ($r=0,73$; $R^2=0,53$).

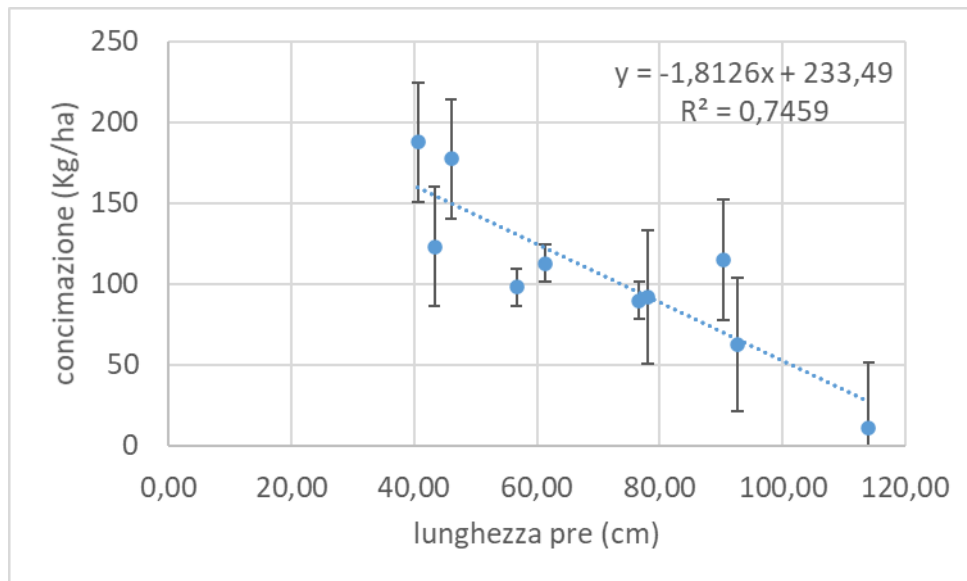


Fig. 4.3: Regressione lineare semplice tra lunghezza dei germogli (cm) e concime apportato (Kg/ha)

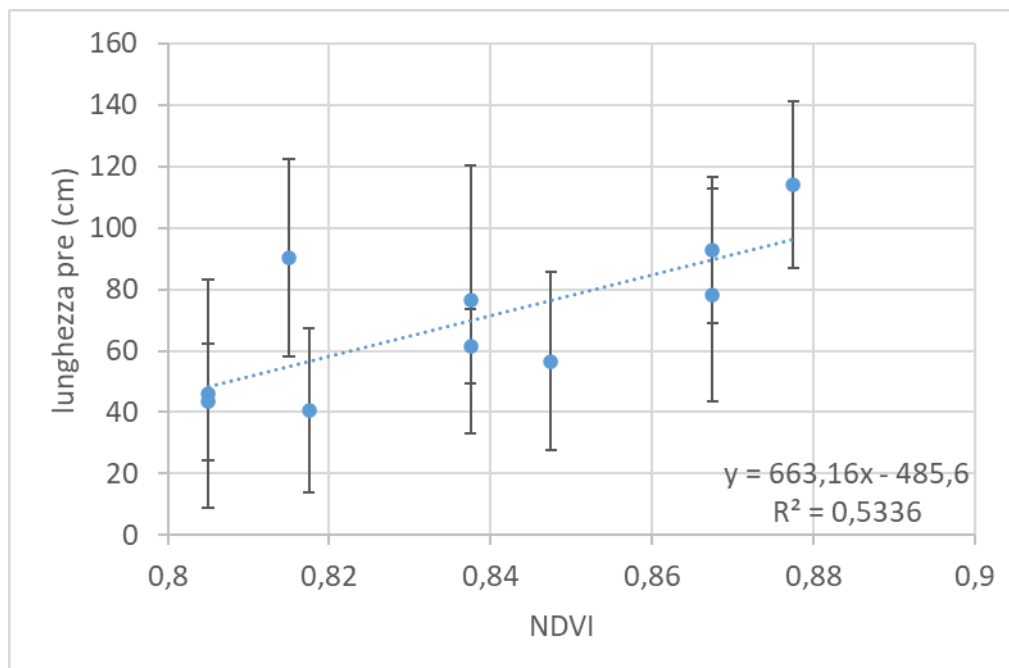


Fig.4.4: Regressione lineare semplice tra NDVI e lunghezza dei germogli (cm)

Buona si è rivelata anche la correlazione tra la dose di concime distribuita e il LAI misurato dall'app VitiCanopy. Il grafico in figura 4.5 riporta un R^2 di quasi

0,7. Questa prova è stata svolta per avere un ulteriore parametro rappresentativo della vigoria delle piante, oltre che per testare l'applicazione in vista di possibili utilizzi futuri. Come descritto nel capitolo 2 infatti, il LAI, è uno dei parametri maggiormente correlati al vigore della pianta. La sua difficoltà di misurazione con metodi "tradizionali" è però spesso un ostacolo, che in questo modo sembra poter essere superato facilmente.

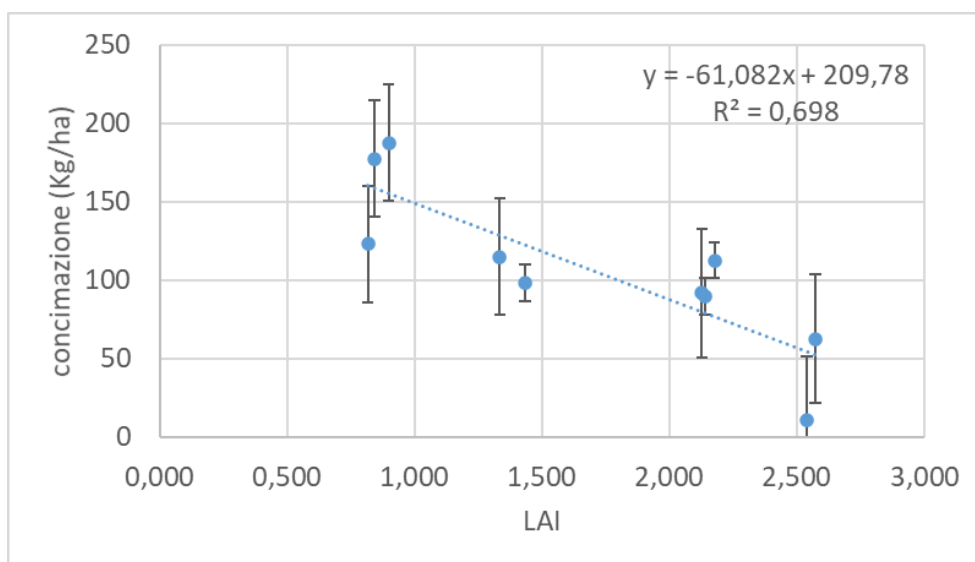


Fig. 4.5: Regressione lineare semplice tra LAI e concime distribuito (Kg/ha)

Infine, più debole è stata la correlazione con lo SPAD, nonostante i numerosi punti campionati. Ciò suggerisce che il contenuto di clorofilla possa non essere un buon indicatore della vigoria delle piante di vite, almeno in questa fase fenologica. Il grafico in fig.4.6, a pagina seguente, mostra dei dati più dispersi rispetto ai precedenti, con un R^2 di 0,53. Questo, unito alla lentezza del rilevamento con lo SPAD meter (il suo funzionamento è descritto nel capitolo 2), invita a privilegiare gli altri metodi testati.

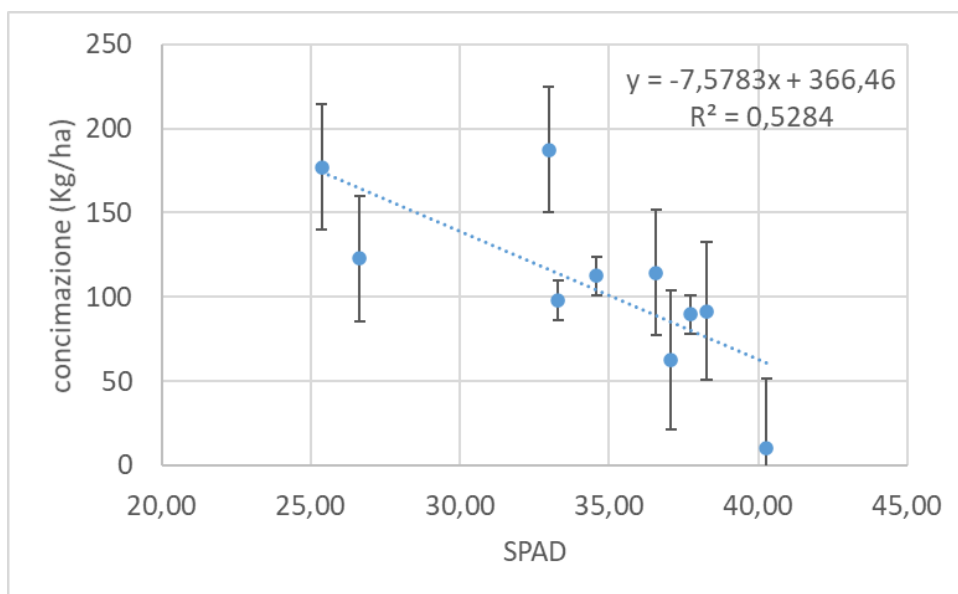


Fig. 4.6: Regressione lineare semplice tra SPAD e dose di concime applicata nei punti campione

4.2 Effetti sulla crescita

Sempre partendo dai dati riassunti in tabella 4.1, si è indagato l'effetto della concimazione sulla crescita delle piante. Effettuando una seconda misura di lunghezza sui germogli dopo due settimane dalla prova, si è determinata la crescita percentuale in ciascun punto. Tuttavia, questi dati sono risultati essere non significativi nell' ANOVA. Nonostante questo, sembra esserci un maggior sviluppo dove la dose di concime è stata più alta, rispetto ai punti in cui si è concimato meno (vedi grafico in fig. 4.7). Ulteriori analisi saranno necessarie per confermare questa prima ipotesi, che si troverebbe in linea con l'obiettivo di bilanciare il vigore all'interno dell'appezzamento. Il momento della vendemmia sarà molto importante per verificare le eventuali differenze produttive tra le diverse zone campione. Minori saranno queste differenze, migliore sarà stato l'effetto della concimazione vrt. Tuttavia, è improbabile che in un solo anno di gestione a dose variabile si possa già completamente bilanciare la vigoria dell'appezzamento, viste le notevoli differenze iniziali.

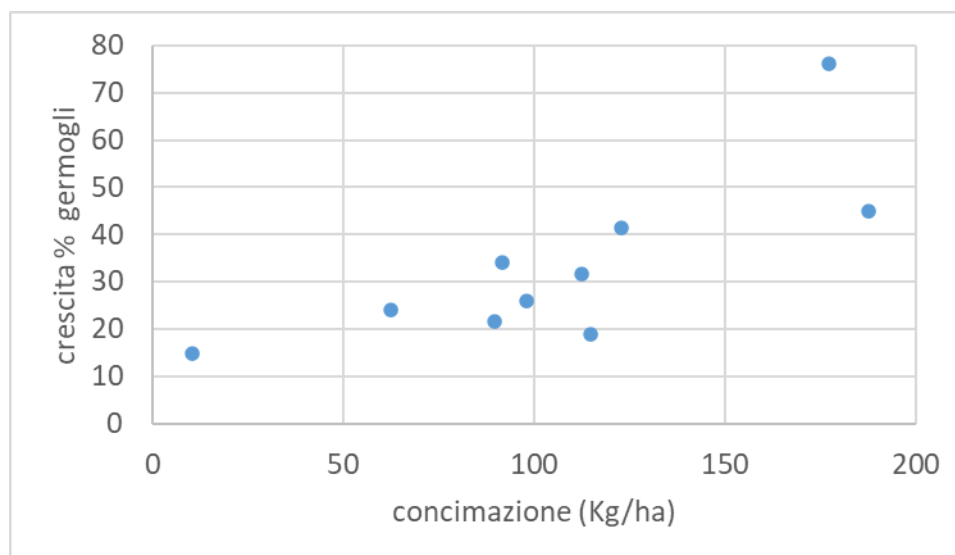


Fig. 4.7: Crescita % dei germogli a diverse dosi di fertilizzante

4.3 Tempi di risposta della macchina

Nel paragrafo 3.5 è descritta la procedura adottata per il rilevamento dei tempi di risposta del cantiere di lavoro alla variazione di vigoria della vegetazione. Sono state riscontrate differenze significative (test ANOVA ad una via) tra le tre velocità di avanzamento simulate. Tuttavia, la differenza di soli 0,48 secondi tra i due estremi ha fatto ritenere questa informazione poco importante dal punto di vista pratico. È però molto importante la relazione tra tempo di risposta e velocità di avanzamento. Con un semplice calcolo è infatti possibile determinare la distanza percorsa dal trattore nel tempo necessario per la variazione della dose di fertilizzante. Considerando poi la distanza tra i sensori e il punto di caduta del concime (data dalla somma di lunghezza del trattore e dello spandiconcime), si può stabilire se la variazione della dose avvenga nel punto esatto o meno. Come si può vedere nella tabella 4.2, la velocità più corretta tra le tre simulate è stata quella di 6 Km/h. Infatti, lo spazio percorso è quello più vicino alla lunghezza totale della macchina, il che significa che la variazione di dose avviene nel punto esatto, o quasi.

6 Km/h è stata la velocità tenuta durante la concimazione in campo, mentre quella ideale dovrebbe essere leggermente superiore, come emerge sempre dalla tabella 4.2. La pendenza e le condizioni del terreno, tuttavia, avrebbero reso pericoloso avanzare più velocemente. Ciò sarebbe stato possibile, invece, in un appezzamento di pianura.

Velocità trattore (Km/h)	Tempo di risposta (s)	Spazio percorso (m)
3	2,44	2,04
6	2,93	4,88
12	2,81	9,38
Lunghezza New Holland T4 110.F (m)		3,96
Lunghezza Kuhn MDS 12.1 Q (m)		1,40
Lunghezza totale (m)		5,36

Tab. 4.2: Simulazione di diverse velocità di lavoro in relazione ai tempi di risposta

Lavorando a velocità molto diverse da questa, si dovrebbe tener conto del ritardo (o dell'anticipo) nella risposta della macchina. Va ricordato comunque che nel passare da una dose all'altra, non si interrompe il flusso di fertilizzante, ma ci si trova semplicemente a distribuire una dose intermedia.

Infine, si è verificato come la variazione di dose richieda un tempo diverso a seconda dell'intervallo in cui avviene. (Fig. 4.8)

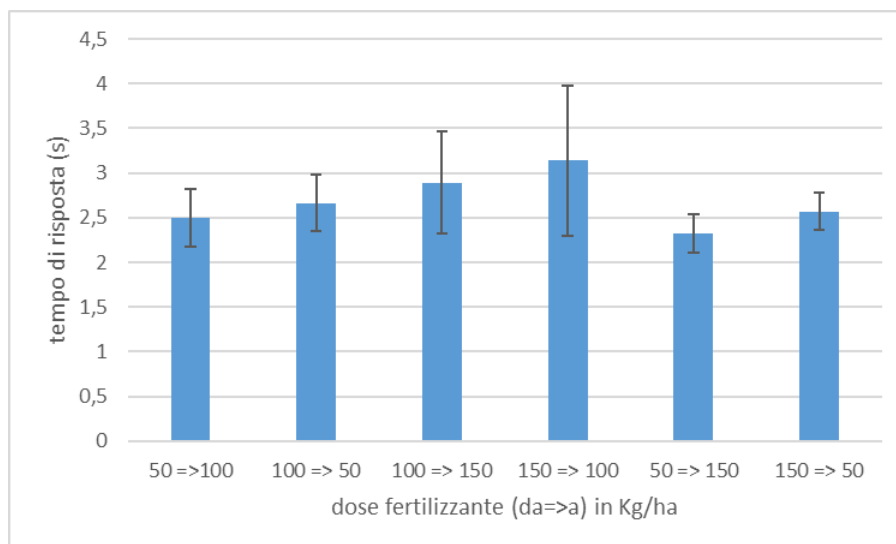


Fig. 4.8: Tempi di risposta associati alle variazioni tra diverse dosi di fertilizzante

Capitolo 5

CONCLUSIONI

Il concetto di agricoltura di precisione è ormai noto a tutti gli operatori del settore, tuttavia spesso c'è ancora poca consapevolezza di come ciò si possa concretizzare. Per questo motivo è importante offrire agli agricoltori soluzioni semplici ed efficaci, che non richiedano la presenza costante di un tecnico o particolari competenze digitali. La figura dell'agronomo e del consulente manterrà la sua importanza, ma è necessario che gli operatori siano in grado di continuare a lavorare il più possibile in autonomia. In questo contesto si inserisce l'automazione dei processi. Ad esempio, per quanto riguarda la concimazione, non è più necessario passare attraverso lunghi rilievi e complesse elaborazioni per ottenere una distribuzione a dose variabile. L'utilizzo di sensori e idonei computer di bordo può permettere di farlo con un unico passaggio in campo. Anche se l'integrazione di più dati rimane fondamentale.

Lo scopo di questo studio era valutare l'utilizzo di un sensore spettrale disponibile sul mercato, il GreenSeeker di Trimble Inc., in una concimazione a rateo variabile on-the-go nel vigneto. Gli aspetti principali considerati sono stati due: verificare l'idoneità dei sensori e del sistema sensori-spandiconcime all'utilizzo on-the-go, e testare l'effetto agronomico di questa pratica. Infatti, oltre ad una migliore efficienza d'uso del fertilizzante, concimando a dose variabile si vorrebbe bilanciare la vigoria del vigneto, riducendo le differenze tra zone non omogenee. In questo modo si può, a lungo termine, ottenere un'uva di qualità più uniforme e migliore in vinificazione.

Per la prova è stato allestito un New Holland T4.110F con due sensori GreenSeeker (uno per filare) montati sul sollevatore anteriore e uno spandiconcime Kuhn MDS 12.1 Q al posteriore. Il sensore forniva un dato NDVI

(media tra i due filari) e lo spandiconcime doveva variare la dose di prodotto sulla base di questa informazione. Erano state individuate tre classi di vigoria, ciascuna associata ad una dose di fertilizzante. Le prove svolte miravano a verificare la qualità della distribuzione in termini di accuratezza rispetto alla dose individuata in punti campione, nei quali era noto l'NDVI grazie al GreenSeeker handheld. La correlazione tra dose attesa e dose distribuita è stata buona ($R^2=0,67$), anche se con una certa variabilità all'interno di ogni zona. Siccome l'NDVI è solo uno dei possibili indicatori di vigoria delle piante, si è poi valutata la correlazione della dose distribuita con il LAI (misurato dall'app VitiCanopy) e con la lunghezza dei germogli misurata manualmente. Entrambe sono state positive ($R^2=0,75$ con la lunghezza dei germogli). Pertanto, si può dire che il sistema si sia dimostrato idoneo a lavorare a dose variabile on-the-go. Lo SPAD invece, rilevato 20 volte per ogni punto campione, è risultato meno correlato, sembrando non essere un ottimo indicatore di vigoria della vite, almeno nella prima fase della stagione vegetativa. Si sono poi voluti indagare i primi effetti della concimazione sulla crescita delle piante, misurando nuovamente la lunghezza dei germogli dopo due settimane dall'intervento. In questo caso i dati raccolti non hanno mostrato differenze significative tra le tre zone, probabilmente a causa del poco tempo trascorso, non sufficiente ad un completo assorbimento del concime. Tuttavia, appare abbastanza chiara la tendenza ad avere una crescita maggiore nelle zone che hanno ricevuto il trattamento a dose più alta. Ulteriori analisi sono in corso per verificare questa prima ipotesi. Infatti, va considerata anche la concimazione organica che era stata apportata in precedenza nelle zone a bassa vigoria e che probabilmente sta contribuendo al loro maggior sviluppo.

Un aspetto da migliorare è la fase di taratura del sistema, ovvero l'individuazione dei valori di NDVI da associare a ciascuna classe di vigoria. L'uso del GreenSeeker handheld ha mostrato qualche limite, fornendo spesso dati diversi a seconda dell'operatore che lo stesse impugnando (elevata suscettibilità alla posizione del dispositivo), nonché leggermente diversi da quelli dei sensori montati sul trattore. Per ovviare a questo problema si potrebbe eseguire la taratura direttamente con il trattore, eseguendo un breve passaggio a vuoto in zone ben definite individuate in precedenza dall'agronomo. In questa fase rimane importante la presenza di un tecnico, magari supportato da una

mappa satellitare. Una volta che il sistema sarà ben a punto invece, potrebbe essere sufficiente l'esperienza dell'agricoltore che individui due o più zone nelle quali tarare la macchina. Potenziali utilizzatori di un sistema di questo tipo saranno grandi viticoltori, o contoterzisti. Questi ultimi si troveranno in grado di fornire un servizio innovativo anche ad aziende medio-piccole. L'elevata variabilità spaziale che si riscontra in molti ambienti, soprattutto collinari (a causa degli sbancamenti), potrà essere gestita in modo preciso ed efficiente. I costi sono ancora elevati, ma già ammortizzabili su larga scala e destinati quasi certamente a diminuire.

BIBLIOGRAFIA

Documenti scientifici

- Agati, G., Soudani, K., Tuccio, L., Fierini, E., Ben Ghazlen, N., Fadaili, E., . . . Cerovic, Z., 2018, Management Zone Delineation for Winegrape Selective Harvesting Based on Fluorescence-Sensor Mapping of Grape Skin Anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66, 5778-5789.
- Anastasiou, E., Castrignanò, A., Arvanitis, K., Fountas, S., 2019, A multi-source data fusion approach to assess spatial-temporal variability and delineate homogeneous zones: A use case in a table grape vineyard in Greece, *Science of the Total Environment* 684, 155-163.
- Balafoutis, A., Koundouras, S., Anastasiou, E., Fountas, S., & Arvanitis, K., 2017, Life cycle assessment of two vineyards after the application of precision viticulture techniques: A case study. *Sustainability (Switzerland)* 9, 1997.
- Banu, S., 2015, Precision Agriculture: Tomorrow's Technology for Today's Farmer, *J. Food Process. Technology* 6, 8.
- Barnes, A.P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., van der Wall, T., Gomez-Barbero, M., 2019, Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers, *Land Use Policy* 80, 163-174.
- Bhakta, I., Phadikar, S., & Majumder, K., 2019, State-of-the-art technologies in precision agriculture: a systematic review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99, 4878-4888.
- Bora, G., Mistry, P., Lin, D., 2015, Evaluation of sensors for sensing characteristics and field of view for variable rate technology in grape vineyards in North Dakota, *Journal of Applied Horticulture* 17, 96-100.
- Bramley, R., Ouzman, J., Thornton, C., 2011, Selective harvesting is a feasible and profitable strategy even when grape and wine production is geared

- towards large fermentation volumes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17, 298-305.
- Bucci, G., Bentivoglio, D., Finco, A., & Belletti, M. , 2019, Exploring the impact of innovation adoption in agriculture: How and where Precision Agriculture Technologies can be suitable for the Italian farm system?, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 275, 012004.
- Carlson, Toby N., Ripley, David, A., 1997, On the relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover and Leaf Area Index, *Remote Sens. Environ.* 62, 241-252
- Carnevali, P., Brancadoro, L., Di Blasi, S., 2010, Valutazione dell'equilibrio vegeto-produttivo con metodiche di Proximal Sensing, *Consorzio Tuscania View project*, ResearchGate.net
- Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Tortia, C., Mania, E., Guidoni, S., Gay, P., 2020, Leaf Area Index evaluation in vineyards using 3D point clouds from UAV imagery, *Precision Agriculture* 21, 881-896.
- Davenport, J.R., Marden, J.M., Mills, L., 2014, Variable Rate Fertilizers for Grape Nutrient Management, *ResearchGate.net*.
- De Bei, R., Fuentes, S., Gilliam, M., Tyerman, S., Edwards, E., Bianchini, N., . . . Collins, C., 2016, Viticanopy: A free computer app to estimate canopy vigor and porosity for grapevine. *Sensors (Switzerland)*, 16(4).
- Diago, M., Aquino, A., Millan, B., Palacios, F., Tardaguila, J. , 2019, On-the-go assessment of vineyard canopy porosity, bunch and leaf exposure by image analysis, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 25, 363-374.
- Diago, M., Rovira-Más, F., Blasco, J., Saiz-Rubio, V., Faenzi, E., Évain, S., . . . Tardaguila, J., 2015, Vinerobot: on-the-go vineyard monitoring with non-invasive Sensors, *GIESCO 2015*
- Freidenreich, A., Barraza, G., Jayachandran, K., Khoddamzadeh, A., 2019, Precision agriculture application for sustainable nitrogen management of *justicia brandegeana* using optical sensor technology, *Agriculture (Switzerland)* 9, 98.
- Gatti, M., Garavani, A., Terron, A., Parisi, M.G., Bernizzoni, F., Poni, S., 2016, Preliminary application of variable rate N-fertilization in the “Colli Piacentini” area, *Internet Journal of Enology and Viticulture* n. 5/2, 2016.

- Gatti, M., Schippa, M., Garavani, A., Squeri, C., Frioni, C., Dosso, P., Poni, S., 2020, High potential of variable rate fertilization combined with a controlled released nitrogen form at affecting cv. Barbera vines behavior, *European Journal of Agronomy* 112, 125949.
- Henry, D., Aubert, H., Veronese, T., 2019, Proximal Radar Sensors for Precision Viticulture, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57, 4624-4635.
- Johnson, L. F., 2003, Temporal Stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard, *Australian Journal of Grape and Wine Research* 9, 96-101
- Lambert, J.-J., Anderson, M., Wolpert, J., 2008, Vineyard nutrient needs vary with rootstocks and soils, *California Agriculture* 62, 4.
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escolà, A., 2011, Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. *Sensors* 11, 2177-2194.
- Maleki, M.R., Mouazen, A.M., De Ketelaere, B., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., 2008, On-the-go variable-rate phosphorus fertilization based on a visible and near-infrared soil sensor, *Biosystems Engineering* 99, 35-46.
- Mazzetto, F., Calcante, A., Mena, A., Vercesi, A., 2010, Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture, *Precision Agriculture* 11, 636-649.
- McConnell, M., 2019, Bridging the gap between conservation delivery and economics with precision agriculture. *Wildlife Society Bulletin*, 43, 391-397.
- Oberti, M., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona, E., Hocevar, M., Baur, J., Pfaff, J., Schutz, C., Ulbrich, H., 2016, Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot, *Biosystem Engineering* 146, 203-215.
- Pallottino, F., Antonucci, F., Costa, C., Bisaglia, C., Figorilli, S., Menesatti, P., 2019, Optoelectronic proximal sensing vehicle-mounted technologies in precision agriculture: A review, *Computers and Electronics in Agriculture* 162, 859-873.
- Segarra, J., Buchailot, M., Araus, J., Kefauver, S., 2020, Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy* 10, 641.

- Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S., Zaidi, S., Iqbal, N., 2019, Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. *Sensors (Switzerland)* 19, 3796.
- Tagarakis, A., Koundouras, S., Fountas, S., Gemtos, T., 2017, Evaluation of the use of LIDAR laser scanner to map pruning wood in vineyards and its potential for management zones delineation. *Precision Agriculture*, 19, 334-347.
- Thompson, N., Bir, C., Widmar, D., Mintert, J., 2019, Farmer perceptions of precision agriculture technology benefits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 51, 142-163.
- Yuan, Z., Cao, Q., Zhang, K., Ata-Ul-Karim, S., Tan, Y., Zhu, Y., Cao, W., Liu, X., 2016 Optimal leaf positions for SPAD meter measurement in rice. *Frontiers in Plant Science* 7, 719.
- Zhang, J., Huang, Y., Ruiliang, P., Gonzales-Moreno, P., Yuan, L., Wu, K., Huang, W., 2019, Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review, *Computers and Electronics in Agriculture* 165, 104943.
- Zillmann, E., Graeff, S., Link, J., Batchelor, W., Claupein, W. (2006, 5). Assessment of cereal nitrogen requirements derived by optical on-the-go sensors on heterogeneous soils. *Agronomy Journal*, 98(3), 682-690.

Altri articoli

- Bertanza, P., Armentano, G., 2016, Nutrizione in vigneto e frutteto sempre più “precisa”, *L'Informatore Agrario* 11/2016.
- Donna, M., Tonni, M., Divittini, A., Valenti, A., 2011, Concimare il vigneto guidati dal satellite, *L'Informatore Agrario* 22/2011.
- Scienza, A., 2018, Cambiamento climatico e concimazione minerale: nuovi approcci in vigneto, *L'Informatore Agrario* 34/2018

Siti web

- <https://www.cima.it/s110057ca>
- <http://www.agriprecisione.it/trasformate-il-vostro-atomizzatore-con-dickey-john-ccs-100/>

<https://air.unimi.it/retrieve/handle/2434/269349/377815/libretto%20vite%20versione%20definitiva.pdf>

<http://www.tecnovict.com/spandiconcime-a-rateo-variabile/>

<http://www.casella.it/it/irrigazione/prodotti/tecnologia-satellitare-vrt/spandiconcime-a-dosi-variabili>

[https://www.kuhn.it/internet/prospectus.nsf/0/ABA36533AEAB4E01C12577D7004D600D/\\$File/920699_IT.pdf](https://www.kuhn.it/internet/prospectus.nsf/0/ABA36533AEAB4E01C12577D7004D600D/$File/920699_IT.pdf)

<https://www.istat.it/it/archivio/167401#:~:text=Anche%20la%20superficie%20complessiva%20delle,9%20a%208%2C4%20ettari.>

https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

<https://agriculture.newholland.com/eu/it-it/prodotti/gamme/trattori/t4fnt/modelli>

<https://agriculture.trimble.com/product/sistema-di-rilevamento-del-raccolto-greenseeker/?lang=it>

<https://it.eurochemagro.com/prodotti/granulari-speciali/linea-nitrophoska/nitrophoska-perfect-15-5-20-2-20/>

<http://www.ks-italia.com/shared/data/kali-fertiliser-broschures-pdf/broschures-it/it-wine-A4-1008.pdf>

Tutti i siti sono stati consultati tra dicembre 2019 e agosto 2020.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Dott. Franco Gasparini, il Dott. Davide Boscaro, Jonny Meneguz e tutti coloro che in qualche modo hanno collaborato a questo progetto.