



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea triennale in Scienze e tecnologie viticole ed
enologiche

L'agricoltura di precisione: nuove tecnologie per una
gestione più efficiente dell'azienda agricola

Relatore

Dott. Carmelo Maucieri

Co-relatore

Dott.ssa Vittoria Giannini

Laureanda Petra Piva
Matricola n. 1220861

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

INDICE

INTRODUZIONE	3
CAPITOLO I	
1.1 Agricolture 1.0, 2.0, 3.0	4
1.2 Agricoltura 4.0	6
<i>1.2.1 La Politica Agricola Comune e la nuova PAC</i>	8
<i>1.2.2 I vantaggi della PAC</i>	11
<i>1.2.3 Come stanno agendo le Nazioni</i>	12
CAPITOLO II	
2.1 Sistemi di Posizionamento Globale (GPS) e Sistemi Informativi Geografici (GIS)	14
<i>2.1.1 Gestione dei dati</i>	16
2.2 Sensori	17
<i>2.2.1 Sensori per il terreno</i>	18
<i>2.2.2 Sensori per le piante</i>	19
2.3 Droni	19
2.4 Creazione di mappe di prescrizione	20
<i>2.4.1 Guida delle macchine agricole</i>	21
CAPITOLO III	
3.1 Fertilizzazione	23
<i>3.1.1 Esempi in viticoltura</i>	24
3.2 Irrigazione	24

3.2.1	<i>Esempi in viticoltura</i>	25
3.3	Posizionamento delle barbatelle	26
CAPITOLO IV		
4.1	AP dal punto di vista economico e ambientale	28
CONCLUSIONE		
32		
Bibliografia		

INTRODUZIONE

Negli ultimi tempi si è assistito ad un cambiamento climatico sempre più veloce e questo ha sicuramente impattato sull'ambiente a causa dell'innalzamento delle temperature e della concentrazione di CO₂ in atmosfera; inoltre, la disponibilità d'acqua sta via via diminuendo, per questo si dovrebbe cercare di sprecarne di meno, in quanto l'agricoltura già ne consuma il 70% di quella complessivamente utilizzata, e ridurre al minimo l'impiego di prodotti chimici, per evitare di inquinare le falde acquifere e il terreno. È a queste necessità che vuole rispondere l'agricoltura di precisione.

L'agricoltura di precisione sfrutta le nuove tecnologie per creare delle mappe dei campi e in base a queste agire in maniera mirata sul terreno e sulla pianta, utilizzando sensori e droni, agendo solo quando le circostanze lo richiedono, sprecando meno risorse, facendo risparmiare input e soldi all'azienda, massimizzando comunque le rese.

Lo scopo di questa tesi è quello di dimostrare i benefici che questo nuovo modo di gestire l'azienda agricola porta sia all'ambiente che all'azienda stessa, prima descrivendo i mezzi e le macchine che caratterizzano l'agricoltura 4.0 e poi come si impiegano nelle varie pratiche agronomiche, come fertilizzazione e irrigazione, facendo anche esempi sulla viticoltura. Infine, si riporta una breve disamina su come effettivamente l'agricoltura di precisione impatti sull'ambiente e sull'economia dell'azienda, cosa spinge gli agricoltori a cambiare modo di gestione.

CAPITOLO I

1.1 AGRICOLTURE 1.0, 2.0, 3.0

La storia dell'agricoltura ha accompagnato quella dell'uomo. Fino ad oggi, l'agricoltura è considerata il «settore primario» dell'economia; ciò non solo e non tanto per essere stata la prima in ordine di tempo, ma soprattutto perché è sempre stata in assoluto la più importante per la vita dell'uomo (Forni e Marcone, 2002).



Figura 1. Principali fasi evolutive dell'agricoltura. Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=jZff5fLH8k>

L'evoluzione dell'agricoltura può essere riassunta in quattro fasi (Figura 1):

- **Agricoltura 1.0** - Rappresenta l'inizio dell'agricoltura, con l'avvento della sedentarietà dell'uomo nel 12.500 a.C. circa. Durante quegli anni, vennero documentate le prime rudimentali forme di allevamento e coltivazione di colture basilari, come orzo e grano, ma che comunque diedero inizio ad un'importante rivoluzione nella storia dell'uomo. Nacque quindi l'agricoltura, nel vero significato della parola di "attività volta ad individuare i prodotti migliori, aiutarli a crescere e moltiplicarsi"; l'uomo seppe usare il terreno cercando di renderlo più fertile, senza esaurire la fertilità per poi abbandonarlo a favore di un terreno più fertile, e rendere più abbondanti i raccolti, così da poter incrementare anche l'allevamento (Forni e Marcone, 2002).
- **Agricoltura 2.0** - Rappresentata, invece, dal sistema di Norfolk, il quale venne introdotto durante la rivoluzione industriale in Inghilterra, nel 1750 (Zhaoyu et al., 2020). Prima di questa rivoluzione, l'agricoltura era caratterizzata da una rotazione triennale; per non esaurire

la terra, gli agricoltori cambiavano spesso il tipo di coltura nei loro campi da un anno all'altro, a volte lasciando la terra incolta per un anno intero per incrementare la fertilità. Il sistema di Norfolk impiegava invece quattro colture (Figura 2) ed era caratterizzato principalmente da:

- maggiore cura nella selezione delle sementi;
- miglioramento delle attrezzature;
- sperimentazione di nuove colture;
- introduzione del metodo di rotazione quadriennale senza la presenza del maggese;
- l'esbosco di foreste, lavorazione del terreno e crescente utilizzo di concime organico.

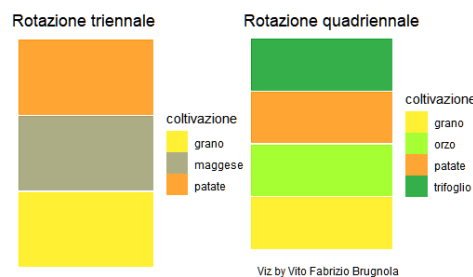


Figura 2. Il passaggio dalla rotazione triennale a quadriennale. Fonte: https://www.prometheus-studio.it/filosofia_e_storia/wp-content/uploads/2019/10/rotazione-triennale-vs-rotazione-quadriennale.png

- **Agricoltura 3.0** - Riguarda l'introduzione delle macchine agricole, in grado di sostituire completamente la trazione animale. Queste macchine iniziarono ad essere prodotte e messe in commercio agli inizi del XX secolo, prima negli USA, poi raggiunsero anche l'Europa. Gli animali così passavano dall'avere un duplice o triplice scopo (carne, prodotti secondari e lavoro) all'essere solo considerati come fonte di cibo. Con la produzione di queste macchine agricole, la cui prima fu la trattrice agricola a testa calda, si ebbe anche meno richiesta di manodopera.

Si ebbe un approccio diverso anche per quanto riguarda le colture in sé e la gestione del terreno: la scienza progredì e iniziarono ad esserci vari studi per quanto riguarda la genetica delle sementi, la produzione di nuovi fertilizzanti sintetici, ci fu un miglioramento anche per quanto riguarda l'ingegneria per la produzione di nuove macchine e attrezzi (Zhaoyu et al., 2020).

Durante questi anni, nello specifico negli anni '40, in Messico, ebbe inizio un rinnovamento delle pratiche agricole, che prese il nome di "*Green Revolution*", in italiano Rivoluzione Verde.

Come la parola "rivoluzione" lascia intendere, non fu un semplice cambiamento nel campo dell'agricoltura, ma si estese a tutte le discipline e le pratiche connesse a questo settore: dalle tecniche di irrigazione alla genetica. Il risultato di questa rivoluzione fu un sostanziale

aumento di resa delle colture, infatti negli anni '60 c'erano preoccupazioni su larga scala sulla capacità del mondo di nutrirsi: l'adozione diffusa della tecnologia della "rivoluzione verde" ha portato a importanti aumenti nella produzione di cereali alimentari (Khush, 1999).

Nel campo della genetica venne introdotta la tecnica dell'impollinazione incrociata, con lo scopo di ottenere delle piante che fossero resistenti ai patogeni e capaci di adattarsi ai vari climi; nel campo delle tecniche agricole vennero introdotti pesticidi e fertilizzanti chimici e venne ridotto il lavoro umano.

Da notare come queste ultime due rivoluzioni agricole, 2.0 e 3.0, coincidano con la prima e la seconda rivoluzione industriale.

- **L'Agricoltura 4.0**

Le fasi dell'agricoltura, però, sono state distribuite anche in un altro modo, tutte agglomerate nel XX secolo. Questo punto di vista vede l'agricoltura 1.0 all'inizio del 1900, caratterizzata dalla trazione animale utilizzata per le attività nei campi; l'agricoltura 2.0 è, invece, caratterizzata dalla sostituzione della trazione animale con il motore a scoppio e dalla Rivoluzione verde (1950); l'agricoltura 3.0 coincide con l'introduzione dei sistemi GPS (1990); l'agricoltura 4.0, infine, incorpora automazione con l'uso di macchine, droni, robot e sensori (2010). Questa modalità prevede anche l'arrivo imminente dell'agricoltura 5.0, caratterizzata da innovazioni per quanto concerne il mercato agricolo (dos Santos et al., 2019).

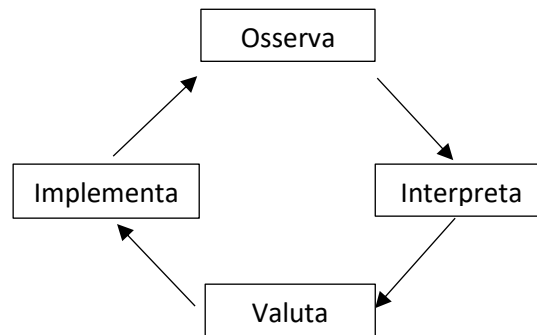
1.2 AGRICOLTURA 4.0

Negli ultimi anni, soprattutto con il cambiamento climatico, è stato sempre più richiesto un metodo di agricoltura che rispettasse il terreno, che portasse a meno scarti, meno sprechi e che sfruttasse le nuove tecnologie, quali computer, GPS e sensori, per passare ad un'agricoltura più all'avanguardia.

Il concetto di "*precision agriculture*" (PA), in italiano agricoltura di precisione, nasce a metà del XIX secolo, mentre si studiano gli effetti positivi dei nutrienti e dei prodotti in funzione della coltura in campo, con l'obiettivo di aumentare le rese. La moderna PA nasce invece nell'ultimo ventennio del 1900, quasi a ridosso del nuovo millennio, con le tecnologie degli Stati Uniti; il monitoraggio del campo viene introdotto negli anni '80 e il GPS negli anni '90 (Misturini, 2020b).

La PA è una strategia di gestione aziendale, viene descritta come un processo ciclico di osservazione e acquisizione di dati, seguita da un'interpretazione di questi dati e da una valutazione

delle informazioni acquisite e infine di implementazione delle decisioni prese grazie a queste prime osservazioni.



Nel caso del vigneto, questo richiede una gestione agronomica specifica per soddisfare le reali esigenze della coltura, in relazione alla variabilità spaziale e temporale nell'appezzamento. Si segue pertanto un ciclo simile a quello sopracitato, chiamato ciclo di Deming, che consiste in: pianificare – fare – verificare – agire (Zorer et al., 2022).

Lo scopo principale della PA è quello di esplorare, tra le possibili soluzioni, quella più indicata per qualsiasi tipo di produzione agricola promuovendo la capacità di introdurre le informazioni nel sistema per ottenere gli output desiderati, i quali sono controllati attraverso la capacità produttiva dell'intero sistema.

Un altro fra gli scopi, è quello di mettere in sintonia la gestione del terreno e delle colture con le specifiche esigenze di un campo eterogeneo al fine di migliorare la produzione, minimizzare i danni ambientali ed elevare gli standard qualitativi dei prodotti agricoli. Nasce dall'esigenza di rispondere a tre condizioni: fare la cosa giusta, al momento giusto e nel modo giusto.

La PA porta notevoli vantaggi sia in termini di incremento della produzione sia in termini di risparmio di tempo e input produttivi.

I benefici attesi dall'agricoltura di precisione sono molteplici (Misturini, 2020b):

- maggiore velocità di esecuzione delle operazioni;
- minore affaticamento dell'operatore;
- minori errori di applicazione prodotti e sementi;
- ottimizzazione della capacità produttiva di ogni terreno;
- ottimizzazione dell'uso della concimazione;
- aumento delle rese;
- riduzione degli input produttivi;
- maggiore sostenibilità ambientale.

Il settore agricolo, nel suo insieme, contribuisce all'emissione di gas serra in atmosfera: la maggior produzione di CO₂ deriva dalla deforestazione e dalla produzione di cereali e allevamento. Tuttavia, i gas serra più impattanti emessi dall'agricoltura, sono metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O).

La produzione di CH₄ deriva principalmente da fermentazione enterica degli animali in allevamento e dalle risaie in agricoltura, la produzione di N₂O proviene invece dall'utilizzo di fertilizzanti azotati chimici o organici e gestione delle deiezioni animali (Cóndor e Vitullo, 2010).

L'agricoltura e l'allevamento impiegano acqua e terreni in maniera esponenziale. Inoltre, il cibo che ne deriva viene spesso sprecato: circa il 40% di ciò che viene prodotto finisce nella spazzatura. Questi sprechi determinano un elevato impatto sull'ambiente.

Questo nuovo modo di fare agricoltura, è stato sempre più incentivato soprattutto dai dati forniti dalla FAO (Food and Agriculture Organization): entro il 2050, la richiesta mondiale di cibo potrebbe crescere a causa dell'aumentare della popolazione, che, nel 2050, potrebbe arrivare a 10 miliardi. Questo può portare alla denutrizione del 4% della popolazione dei Paesi più sviluppati a causa della bassa disponibilità di terreni volti a coltivazione, proprio per questo si cerca di puntare sulla resa, ossia la produzione di una coltura per unità di superficie. Tutto ciò sottintende che la produzione per persona, dovrebbe aumentare del 15%. Anche il consumo di carne potrebbe aumentare, portando per forza ad un aumento anche della produzione di mangimi e foraggio. Per questo, nel 2050, l'agricoltura mondiale dovrebbe aumentare del 60% rispetto al 2010.

Proprio dalla necessità di contenere tali criticità, nasce l'agricoltura di precisione, che sfrutta la tecnologia per limitare i consumi e aumentare la produttività.

1.2.1 La Politica Agricola Comune e la nuova PAC

Varata nel 1962, la Politica Agricola Comune (PAC) rappresenta una stretta intesa tra agricoltura e società, tra l'Europa e i suoi agricoltori. È una politica comune a tutti i paesi dell'Unione Europea (UE), gestita e finanziata a livello europeo con risorse del bilancio dell'UE.

I suoi obiettivi sono:

- sostenere gli agricoltori e migliorare la produttività agricola, garantendo un approvvigionamento stabile di alimenti a prezzi accessibili;
- tutelare gli agricoltori dell'UE affinché possano avere un tenore di vita ragionevole;

- aiutare ad affrontare i cambiamenti climatici e la gestione sostenibile delle risorse naturali;
- preservare le zone e i paesaggi rurali in tutta l'UE;
- mantenere in vita l'economia rurale promuovendo l'occupazione nel settore agricolo, nelle industrie agroalimentari e nei settori associati.

Gli agricoltori dovrebbero operare in modo sostenibile e rispettoso dell'ambiente, mantenendo e/o migliorando le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei terreni e la biodiversità. La PAC interviene in vari modi:

- fornendo sostegno al reddito attraverso pagamenti diretti, che garantiscono la stabilità dei redditi e ricompensano gli agricoltori per un'agricoltura rispettosa dell'ambiente e la fornitura di servizi eco-sistemici normalmente non pagati dai mercati, come la cura dello spazio rurale;
- adottando misure di mercato per far fronte a congiunture difficili, come un improvviso calo della domanda o una contrazione dei prezzi a seguito di una temporanea eccedenza di prodotti sul mercato;
- mettendo in atto misure di sviluppo rurale con programmi nazionali e regionali per rispondere alle esigenze e alle sfide specifiche delle zone rurali.

Il livello di sostegno fornito agli agricoltori all'interno del bilancio complessivo dell'UE riflette le numerose variabili necessarie per garantire un accesso continuo a prodotti alimentari di alta qualità. All'interno del concetto di qualità non rientrano solo gli aspetti del prodotto ma anche del processo produttivo, tra cui ad esempio l'impatto sui cambiamenti climatici.

La PAC è finanziata tramite due fondi nell'ambito del bilancio dell'UE: il Fondo Europeo Agricolo di Garanzia (FEAGA), che fornisce sostegno diretto e finanzia misure di sostegno del mercato, e il Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR), che finanzia lo sviluppo rurale (Figura 3).

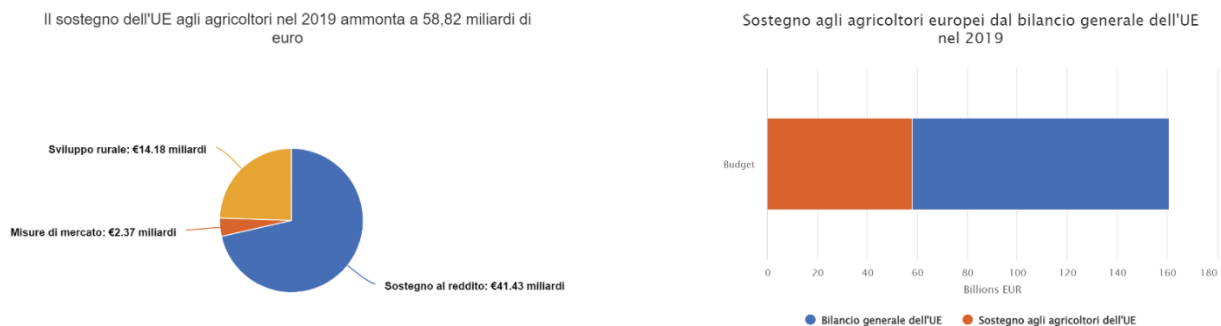


Figure 3. Sostegno dell'UE agli agricoltori. Fonte: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_it

Per affermare l'importanza dell'agricoltura in Europa, la PAC si è evoluta nel corso degli anni per adattarsi alle mutevoli circostanze economiche e alle esigenze e necessità dei cittadini. Nel giugno 2018 la Commissione europea ha presentato proposte legislative per la nuova PAC. Le proposte delineavano una politica più semplice ed efficiente che integrasse le ambizioni di sostenibilità del *Green Deal* europeo, un accordo fra Stati che prevede l'unione fra questi nell'ottenimento di un continente a impatto climatico zero, agendo su ricerca, industrie, agricoltura, ecc.

Alcuni degli obiettivi dell'*European Green Deal* previsti per il 2030 sono la riduzione del 50% di prodotti fitosanitari e almeno del 20% dei fertilizzanti e la conversione all'agricoltura biologica fino al 25% (Pisante, 2022). In linea con questi intenti, sono stati elencati i nove obiettivi della nuova PAC (Figura 4); dopo lunghi negoziati fra le varie istituzioni, è stato raggiunto un accordo e la nuova PAC è stata formalmente adottata il 2 dicembre 2021; l'avvio della sua attuazione invece è prevista per il 2023.



Figura 4. I nove obiettivi della nuova PAC. Fonte:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.greentelling.com%2F2021%2F07%2F09%2Fnuova-pac-per-gli-agricoltori-italiani-ombre-e-luci%2F&psig=AOvVaw1OrI9DYwCEtqI1b_oVzFlk&ust=1645692544281000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCKiey9C4lfYCFQAAAAAdAAAAABAY

1. Sostenere un reddito agricolo sufficiente per rafforzare la sicurezza alimentare;
2. Migliorare l'orientamento al mercato e aumentare la competitività, anche attraverso una maggiore attenzione alla ricerca, alla tecnologia e alla digitalizzazione;

3. Migliorare la posizione degli agricoltori nella catena del valore;
4. Contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici e all'adattamento ad essi, come pure allo sviluppo dell'energia sostenibile;
5. Promuovere lo sviluppo sostenibile e un'efficiente gestione delle risorse naturali come l'acqua, il suolo e l'aria;
6. Contribuire alla tutela della biodiversità, migliorare i servizi ecosistemici e preservare gli habitat e i paesaggi;
7. Attivare i giovani agricoltori e facilitare lo sviluppo imprenditoriale nelle aree rurali;
8. Promuovere l'occupazione, la crescita, l'inclusione sociale e lo sviluppo locale nelle aree rurali, comprese la bioeconomia e la silvicoltura sostenibile;
9. Migliorare la risposta dell'agricoltura dell'UE alle esigenze della società in materia di alimentazione e salute, compresi alimenti sani, nutrienti e sostenibili, nonché il benessere degli animali. La promozione delle conoscenze, dell'innovazione e della digitalizzazione nel settore agricolo e nelle aree rurali costituisce un obiettivo trasversale.

L'agricoltura 4.0 include, all'interno dei suoi scopi, alcuni di quelli della nuova PAC, come la protezione della qualità dell'alimentazione e della salute, la tutela dell'ambiente, una riduzione nell'uso dei fitofarmaci, azioni di adattamento e/o contrasto al cambiamento climatico, evitando gli sprechi, aumentando la competitività fra aziende, incentivandole a modernizzarsi, migliorare la qualità dei propri prodotti e della visibilità della propria azienda.

1.2.2 I vantaggi della PAC

Secondo il sito della Commissione europea (ultimo accesso Febbraio 2022), la PAC definisce le condizioni che consentiranno agli agricoltori di svolgere le loro funzioni nella società secondo le seguenti modalità:

- Produzione alimentare: nell'UE esistono circa 10 milioni di aziende che forniscono una grande varietà e abbondanza di prodotti accessibili, sicuri e di buona qualità.
L'UE è uno dei principali produttori agroalimentari a livello mondiale, oltre a essere un esportatore netto di questi prodotti. Con le sue eccezionali risorse agricole, l'UE può e deve svolgere un ruolo fondamentale nel garantire la sicurezza alimentare.
- Sviluppo delle comunità rurali:
 - gli agricoltori hanno bisogno di macchine, edifici, carburante, concimi e cure sanitarie per i loro animali, questi sono i cosiddetti "settori a monte", legati all'agricoltura.

- altri sono impegnati nei cosiddetti "settori a valle", che riguarda l'industria agroalimentare, come la preparazione, la trasformazione, l'imballaggio, lo stoccaggio, il trasporto e la vendita al dettaglio dei prodotti alimentari.

Per lavorare in maniera efficiente, i due settori a monte e a valle devono collaborare e poter accedere facilmente alle innovazioni che riguardano gestione agricola, metodi di allevamento e sviluppi di mercato. Nel periodo 2014-2020 le risorse della PAC sono state utilizzate per fornire tecnologie ad alta velocità, servizi Internet più efficienti e infrastrutture migliori a 18 milioni di cittadini che vivono nelle aree rurali, pari al 6,4% della popolazione rurale dell'UE.

- Agricoltura sostenibile: gli agricoltori devono affrontare una duplice sfida: produrre alimenti e contemporaneamente proteggere la natura e salvaguardare la biodiversità. Utilizzare con prudenza le risorse naturali è essenziale per la nostra produzione di alimenti e per la nostra qualità di vita - oggi, domani e per le generazioni future.

Qui entra in gioco l'aiuto dell'agricoltura 4.0, che si impegna ad utilizzare le nuove tecnologie per non sprecare le risorse naturali, come l'acqua, o anche fertilizzanti o prodotti fitosanitari, i quali, se utilizzati senza criterio, potrebbero portare ad un ulteriore inquinamento delle falde o del terreno.

1.2.3 Come stanno agendo le Nazioni

Ad oggi, non è ancora chiaro come le Nazioni vogliano affrontare l'argomento della PAC. Tuttavia, ci sono stati dei riscontri riguardo l'Italia riguardo gli eco-schemi, elencati in seguito.

La principale novità della PAC 2023-2027 è il *new delivery model*, ossia nuova modalità di attuazione: gli Stati membri godono di una maggiore flessibilità, per quanto riguarda le modalità di utilizzo delle dotazioni finanziarie della PAC, e potranno progettare programmi su misura che rispondono più efficacemente alle preoccupazioni degli agricoltori e delle comunità rurali. Gli Stati membri possiedono maggiore potere decisionale, ciò si esprime tramite il cosiddetto Piano strategico nazionale, o più precisamente Piano strategico per la Pac 2023-2027 (Psp) (Frascarelli, 2022).

Il 31 dicembre 2021, l'Italia ha inviato il Psp alla Commissione europea, un documento che, quindi, definisce le scelte nazionali della politica agricola dei prossimi 5 anni, per 33,5 miliardi di euro, ossia 7 miliardi di euro/anno.

Nelle scelte nazionali, in merito alla stesura del Psp, la scelta più dibattuta ha riguardato gli eco-schemi. Inizialmente il Mipaaf (Ministro italiano delle politiche agricole alimentari e forestali) aveva proposto 7 eco-schemi, successivamente riassunti in 5 categorie (Frascarelli, 2022):

- ECO 1: pagamento per il benessere degli animali e la riduzione dell'utilizzo di antibiotici. Concerne il rispetto di soglie di impiego del farmaco veterinario diverse per categorie zootecniche.
- ECO 2: inerbimento delle colture arboree, quindi la gestione della copertura vegetale tramite trinciatura e sfibratura della vegetazione erbacea senza asportazione della stessa.
- ECO 3: salvaguardia degli olivi di particolare valore paesaggistico.
- ECO 4: sistemi foraggeri estensivi, nei quali sono ammissibili tutte le superfici coltivate a leguminose e foraggere.
- ECO 5: misure specifiche per gli impollinatori. La semina, con metodi che non implicano lavorazioni del suolo, di una copertura dedicata a piante di interesse apistico spontanee o seminate; sono da evitare lavorazioni che potrebbero danneggiare la vegetazione per tutto il periodo che va dalla germinazione al completamento della fioritura.

CAPITOLO II

2.1 SISTEMI DI POSIZIONAMENTO GLOBALE (GPS) E SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI (GIS)

La PA va immaginata come una serie di operazioni che vanno ciclicamente svolte durante il periodo di coltivazione, per rendere omogeneo il raccolto e ottenere prodotti di qualità. Per fare ciò, preso atto che il terreno ha caratteristiche non omogenee nello spazio, l'agricoltura di precisione regola i livelli degli input in relazione alle caratteristiche del terreno, quali pH, sostanza organica, risorse d'acqua, tessitura.

Cruciale, nella fase di pianificazione, è la conoscenza del campo e della sua variabilità. La scelta dello strumento più idoneo a descrivere questa variabilità dipende dalle dimensioni e dalla distribuzione geografica degli appezzamenti. Conoscere la variabilità del terreno, inoltre, permette di calcolare per ogni appezzamento gli input produttivi e la sua resa potenziale.

Uno dei fattori comuni è l'utilizzo di Sistemi di Posizionamento Globale (GPS) per la localizzazione dei rilievi e di Sistemi Informativi Geografici (GIS) per l'elaborazione e visualizzazione dei dati raccolti (Zorer et al., 2022). Utilizzando questi sistemi è possibile digitalizzare il campo tramite coordinate geografiche di latitudine, longitudine e altitudine e trasferirlo su appositi software utilizzabili dalle macchine. Così facendo, si permette di visualizzare velocemente l'ubicazione dell'appezzamento e registrare tutte le attività che si eseguono.

Il NAVSTAR GPS è un sistema di satelliti che trasmettono onde radio e sono capaci di fornire una mappatura molto precisa in tutte e tre le dimensioni e in tempo reale della superficie terrestre. GPS è il sistema satellitare più utilizzato, fu creato dal Dipartimento della Difesa americano (DoD) a scopi militari (Yousefi e Razdari, 2015). Con l'apertura del governo americano all'utilizzo di questo sistema di posizione per uso civile, è stato possibile sviluppare svariati sistemi in grado di determinare e indicare all'operatore il percorso che la macchina deve fare lungo il campo (Misturini, 2020b). Vennero quindi date soluzioni per la guida parallela e display in grado di creare il confine degli appezzamenti, comunicare la posizione di alberi e vari ostacoli.

I pacchetti GIS generici, come IDRISI e SURFER, forniscono molte funzioni, alcune delle quali offrono poco valore alle applicazioni della PA. Molti di questi pacchetti sono costosi e richiedono piattaforme informatiche che di solito non sono posseduti dagli agricoltori (Yousefi e Razdari, 2015).

Utilizzare la tecnologia GIS, ci permette di analizzare una quantità elevata di dati e di farlo velocemente. Interpreta le immagini e i dati sul terreno adattandoli a varie applicazioni, come la determinazione dell'area occupata da una coltura. Le immagini satellitari possono essere raggruppate tutte nel database GIS e possono essere utilizzate per risparmiare tempo e denaro (Tayari et al., 2015).

Con questi strumenti a loro disposizione, gli agricoltori ora hanno la capacità per visualizzare la loro azienda, i raccolti e le pratiche di gestione in un modo che prima non era possibile, potendo effettuare una gestione precisa delle loro imprese.

Per poter decifrare le informazioni che i satelliti inviano alla Terra è necessario un sistema GNSS (Sistema Globale di Navigazione Satellitare), il quale può essere schematizzato in tre segmenti (Misturini, 2020b):

- segmento spaziale, rappresentato da satelliti orbitanti che inviano alla Terra segnali radio;
- segmento di controllo, formato da un sistema di antenne riceventi e trasmettenti che captano i segnali radio, rendendoli comprensibili per i sistemi installati sulle macchine agricole;
- segmento utente, il quale calcola la posizione dal punto a terra grazie al ricevitore satellitare per consentire all'utente di guidare in maniera parallela sul campo.

I dati della posizione che giungono direttamente dal sistema satellitare, hanno una precisione di alcuni metri, accettabile se si deve raggiungere un indirizzo ma non accettabile per essere utilizzabile in agricoltura, dove si deve essere più precisi. Per questo motivo, sono state fatte delle correzioni dei dati per renderli più utilizzabili in ambito agricolo. In base al tipo di correzione, si possono scegliere due opzioni: DGPS e RTK.

Il sistema DGPS (Differential GPS) è costituito da stazioni base e satelliti geostazionari che trasmettono il segnale al ricevitore sul mezzo agricolo. Questo sistema permette di avere una precisione fino a 10 cm, ciò consente di effettuare operazioni come concimazione e diserbo, dove questo margine d'errore è sufficiente.

Il sistema RTK è il più preciso, raggiunge +/- 2 cm. Si basa sull'utilizzo di un segnale radio inviato da un secondo ricevitore posizionato a bordo campo oppure da una rete di antenne collegate via internet.

I dati possono essere forniti:

- via radio grazie alla connessione fra due ricevitori, il cui secondo deve trovarsi a massimo 15 km da dove si sta operando;

- via modern GPRS utilizzando la rete telefonica. Ciò consente di ricevere i dati ovunque ci si trovi, pagando un abbonamento.

Questa modalità di lavoro permette di eseguire operazioni che richiedono la massima precisione, ad esempio la piantumazione delle barbatelle di vite.

2.1.1 Gestione dei dati

I dati gestiti con la PA possono essere raggruppati in tre categorie:

- dati operativi, relativi alla macchina utilizzata per lo svolgimento delle operazioni colturali. Esempi di questi dati possono essere valori legati al consumo di carburante, lubrificanti, tempo di utilizzo. Questi dati sono importanti per capire se le macchine sono utilizzate in modo appropriato o se è possibile migliorarne il loro utilizzo, consumando meno senza incidere sulla produttività.
- dati produttivi, relativi alla produzione e alle caratteristiche del prodotto, si ottengono tramite macchine destinate alla raccolta attrezzate con appositi sensori in grado di misurare in tempo reale, per esempio, durante il ciclo produttivo i costituenti del prodotto (zuccheri, fibre), che servono all'agricoltore per monitorare la produzione e massimizzarne la resa, ottimizzando gli input produttivi e alla raccolta la resa.
- dati sullo stato vegetativo della coltura, relativi allo sviluppo della pianta che consentono di capire se si trova in stress o meno, vengono misurate anch'essi tramite sensori ottici che forniscono all'operatore indici vegetativi specifici.

Dopo aver raccolto i dati, questi vanno trasferiti al sistema gestionale aziendale, caratterizzato da opportuni portali per poter facilmente utilizzare i dati raccolti. I trasferimenti possono avvenire in due modi:

- tramite memorie USB, il cui svantaggio è quello per l'operatore di dover andare fisicamente su ogni macchina e recuperare i dati, facendo un download. Ciò comporta un notevole dispendio di tempo.
- tramite uso di centraline specifiche collegate al display in cabina; attraverso le reti dati, queste centraline trasferiscono i dati registrati in maniera automatica a un server. Il processo è rapido, sicuro ed evita possibili perdite di dati, i quali sono accessibili da subito finito il lavoro.

Dopo aver trasferito i dati, questi vanno gestiti in appositi portali web, progettati appositamente per ricevere e gestire grandi quantità di dati. Esistono molteplici portali di facile

accesso, comunque molto simili fra loro per determinate sezioni, quali lo storico delle posizioni della macchina, le mappe di resa e dei costituenti delle colture (per identificare aree meno produttive), le mappe di prescrizione in funzione della resa di annate precedenti e i report ad applicazione o funzionamento delle macchine (per capire la variabilità della resa lungo gli appezzamenti) (Misturini, 2020a).

2.2 SENSORI

Al giorno d'oggi è disponibile una vasta gamma di sensori, di supporto all'agricoltore o al viticoltore nel monitoraggio dell'ambiente e della crescita delle piante. L'agricoltura di precisione può far affidamento su dati e GIS, che permettono di estrapolare per ciascuna area di interesse quota, pendenza, esposizione; per quanto concerne l'utilizzo di sensori, questi vengono invece utilizzati per ricavare dati riguardo profondità del terreno, disponibilità d'acqua e nutrienti.

L'utilizzo di un sistema di sensori offre l'opportunità di automatizzare la raccolta di informazioni riguardanti il terreno e le colture ad un maggiore livello d'intensità. Ci sono vari tipi di sensori e si suddividono in due grandi gruppi in base al parametro che si vuole investigare:

- con contatto con il terreno (Figura 5), dove l'elemento di contatto deve essere inserito nel terreno per eseguire la misura;
- senza il contatto con il terreno (Figura 6), dove basta porre lo strumento ad un'altezza di 30-40 cm dal terreno per rilevare i valori.

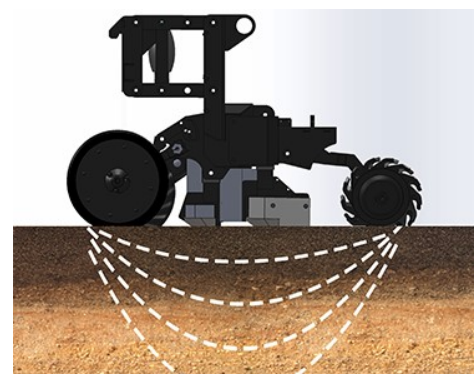


Figure 5. Sensori con contatto con il terreno. Fonti: <https://www.ilnuovoagricoltore.it/agricoltura-di-precisione-una-nuova-frontiera-le-mappe-di-resistivita-dei-suoli/> , <https://www.arvatec.it/veris-iscan-rende-la-scansione-del-terreno-rapida-e-redditizia/>

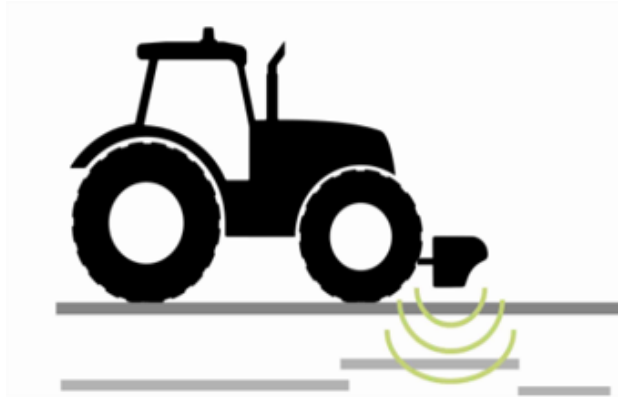


Figura 6. Sensori senza contatto con il terreno. Fonti: <https://www.georgofili.it/Media?c=ab279872-7414-4713-b6ee-291d423735af> , <https://www.agrinnovazione.it/settori/mappatura-del-terreno.html>

Possiamo inoltre classificare i vari sensori in base alla loro destinazione d'uso: sensori per il terreno e per la pianta.

2.2.1 Sensori per il terreno

Fra i sensori del terreno possiamo trovare i sensori ottici (Figura 7), utilizzati per misurare il suo contenuto idrico, ideali sia per conoscere le risorse idriche di cui la pianta può usufruire, sia per controllare eventuali erosioni del terreno e frane. L'agricoltura di precisione provvede il livello necessario di controllo di gestione del suolo in campo, l'analisi su mappa non ha dimostrato gli effetti dell'erosione sulla produttività ma quantifica l'importanza del controllo dell'erosione nell'azienda agricola (Pierce e Gilliland, 1997). L'attività di misurazione permette di calibrare modelli che utilizzano l'informazione elettromagnetica raccolta nelle bande termiche e di riflettanza.



Figure 7. Sensori ottici. Fonti: <https://www.findis.it/prodotti/sensori-ottici> , <https://www.alamy.it/i-sensori-ottici-i-dispositivi-greenseeker-di-trimble-navigation-ltd-per-regolare-istantaneamente-la-fertilizzazione-dell-azoto-sono-installati-su-un-trattore-in-un-campo-di-grano-nella-citta-bavarese-di-irlbach-vicino-a-deggendorf-germania-il-21-aprile-2016-reuters-michaela-rehle-image373487289.html>

Esistono, inoltre, dei sensori ottici che misurano il valore di sostanza organica del terreno, fondamentale per valutarne la fertilità. Questa lettura viene determinata da un lettore Vis-Nir che sfrutta le diverse lunghezze d'onda della luce nello spettro visibile (Vis) e nell'infrarosso (Nir). Il sensore è installato su un assorbitore e collegato ad un software, il quale è in grado di determinare, attraverso una curva di taratura, il valore di carbonio organico per ogni punto dell'appezzamento (Misturini, 2020b).

2.2.2 Sensori per le piante

Nel caso delle piante, possiamo trovare dei sensori che utilizzano differenti lunghezze d'onda (bande del visibile o infrarossi) per misurare la vigoria della coltura o mappare la presenza delle infestanti. Per queste ultime, ci si basa sull'analisi di immagini multispettrali (verde, rosso, infrarosso) acquisite con una determinata telecamera colore-IR, collegata ad un trattore che avanza lentamente lungo il campo. Dalle immagini si cerca di distinguere piante collegate e infestanti basandosi sulla geometria del campo: ciò che si trova lungo la fila è considerata coltura, lungo l'interfila invece infestante (Fiala e Pagliari, 2005).

2.3 DRONI

Con l'introduzione in agricoltura degli UAV (Unmanned Aerial Vehicle, ossia un aeromobile a pilotaggio remoto), comunemente chiamati droni, si è affermata la loro potenzialità: associandoli a sensori che analizzano e ricevono informazioni, per esempio, sul contenuto idrico, sulla fertilità del terreno e sulla presenza di piante infestanti, sono in grado di ampliare la disponibilità di dati di campo, grazie alla flessibilità nella pianificazione dei piani di volo e fornendo immagini con una maggiore risoluzione spaziale rispetto a quelle satellitari (Comba et al., 2018).

Con particolare riferimento al vigneto, per ottenere mappe più affidabili è importante l'identificazione dei filari di vite all'interno delle immagini aeree e individuare i vari pixel della mappa che rappresentano la chioma della vite, si deve cercare di mascherare tutte le regioni dell'immagine con altre caratteristiche, come strade, alberi, cespugli, consentendo di affinare il calcolo degli indici vegetativi, determinando un miglioramento della qualità delle mappe dei vigneti (Comba et al., 2018).

I droni di nuova generazione riescono a coprire più terreno in minor tempo, registrando i dati utilizzando anche lunghezze d'onda non facenti parte della banda del visibile (come l'infrarosso), eliminando, dunque, la probabilità d'errore umano (Veroustraete, 2015).

Utilizzando anche l'indice vegetativo NDVI (Normalized Difference Vegetative Index), che considera le risposte della vegetazione nel visibile (rosso) e nell'infrarosso vicino (NIR) (Gatti e Poni, 2016), si può facilmente creare una mappa dove è possibile visualizzare, per esempio, la crescita delle cover crop o delle piante infestanti, ma anche la vigoria della pianta stessa. Un drone di una start-up americana, inoltre, ha utilizzato le mappe NDVI per agire in maniera precisa nei punti in cui il terreno era carente di nutrienti, aumentando quindi l'apporto di fertilizzanti dove ce n'era bisogno, diminuendolo dove il terreno non era carente, riducendo le spese e aumentando la resa (Veroustraete, 2015).

2.4 CREAZIONE DELLE MAPPE DI PRESCRIZIONE

Utilizzando i dati raccolti dagli strumenti citati in precedenza, si passa alla costruzione delle mappe di prescrizione (Figura 8), che serviranno alla macchina per agire sull'appezzamento. Ci sono vari tipi di mappe (Misturini, 2020b):

- Le mappe di conducibilità o di resistività elettrica sono la base per poter decidere dove eseguire campioni selettivi del terreno e creare delle aree omogenee. Rappresentano le variazioni legate a diversa composizione del terreno o diversa dotazione di sostanze nutritive.
- Le mappe di sostanza organica derivano dall'utilizzo dei sensori Vis-Nir, consentono all'agricoltore di capire come varia il valore della sostanza organica all'interno dell'appezzamento, per poter correggere queste differenze.

Le mappe delle zone omogenee del terreno sono il frutto del lavoro di elaborazione dei dati, scavo di profili e prelievo dei campioni, descrivono a fondo le caratteristiche chimico-fisiche di ogni singola zona del terreno per offrire un quadro preciso di quali siano le potenzialità delle varie zone.

Le mappe di prescrizione associano a ciascuna coordinata del campo una specifica quantità di input, ottenuta da alcuni calcoli e integrata dalle osservazioni del tecnico aziendale. La loro creazione si articola in due fasi: la prima è la selezione dei parametri sui quali basare la mappa, possono utilizzare l'NDVI (il più utilizzato) per calcolare l'applicazione del concime azotato, si possono scegliere però anche altri indici, come quello della clorofilla o di stress idrico. La scelta dell'indice di riferimento è un passaggio che deve essere eseguito con competenza dal tecnico che crea la mappa

di prescrizione (Antognelli, 2021). Il campo viene diviso in zone sulla base dell'indice selezionato, questo prevede la suddivisione del campo in zone omogenee al suo interno a cui somministrare la stessa di dose di concime o di acqua, ecc. La seconda fase consiste nella modalità di calcolo. Questa può essere diretta o inversa: la prima prevede l'azione nelle zone più deboli, per esempio aggiungere più concime nelle zone con meno vigoria, la seconda invece prevede l'azione nelle zone più forti, per esempio concimare nelle zone a più alta vigoria (Antognelli, 2021).

Per valutare l'azione migliore, l'agricoltore deve definire se la carenza di nutrienti è il fattore che limita la vigoria o se ci sono anche altri fattori, come deficit o eccessi idrici o competizione con altre piante.



Figura 8. Esempio di mappa di prescrizione. Fonte: <https://www.satimagingcorp.com/applications/natural-resources/agriculture/>

2.4.1 Guida delle macchine agricole

I trattori devono essere in grado di muoversi autonomamente grazie ai dati forniti dagli strumenti e dalle mappe. Lo scopo è quello di creare degli algoritmi che rendano autonomo il trattore e supporti l'agricoltore nel suo lavoro giornaliero. Il sistema deve seguire delle linee rette e curvare alla fine del filare. Per questo motivo c'è il bisogno di compiere le misurazioni necessarie, calcolare la traiettoria in rettilineo ma anche di sterzo per il cambio di senso di marcia, tenere conto di molti probabili ostacoli e irregolarità durante il tragitto.

I sistemi di guida semi-automatica sono basati su sensori di contatto montati su organi definiti "segui-scia". L'adozione della guida parallela consente di semplificare l'operazione non dovendo fornire delle tracce. Dispositivi di guida automatica possono essere basati su sistemi di visione

artificiali alternativi o complementari al GPS; nel primo caso sono stati proposti per operare in serra, nel secondo per operare in pieno campo in presenza di colture allevate in file spaziate (Benvenuti e Sartori, 2008).

Oltre a questa possibilità, si può sfruttare la tecnologia del CTF (Controlled Traffic Farming, ossia traffico agricolo controllato), con un impatto positivo sul risparmio di carburante e anche sulla possibilità di guida assistita delle macchine. I vantaggi principali riguardano il suolo, in quanto si può non passare sopra delle zone nel rispetto della micro e macrofauna del terreno, migliorando la presenza di sostanza organica e l'attività microbiologica (Jensen et al., 2012).

CAPITOLO III

3.1 FERTILIZZAZIONE

Una delle tecniche agronomiche gestita secondo i principi della PA è la fertilizzazione. Ciò al fine di mantenere o aumentare la resa diminuendo l'impatto negativo sull'ambiente attraverso un uso più efficiente dei fertilizzanti (Radočaj et al., 2022).

La fertilizzazione di precisione assicura una distribuzione ottimale del fertilizzante secondo il fabbisogno della pianta. Con le tecnologie attuali questo è possibile attraverso sensori utili a valutare le caratteristiche fisiche e chimiche del terreno *in situ* oppure, attraverso un campionamento geolocalizzato (sistema GNSS) del terreno con successive analisi di laboratorio (es. pH, sostanza organica, ecc.) (Radočaj et al., 2022). Una volta ottenuti i dati, questi vengono impiegati nel calcolo di specifici indici di vegetazione, tra i quali il più comunemente usato è l'NDVI. L'associazione di una dose di fertilizzante commisurata alle reali esigenze della pianta, per ciascun livello di vigoria, consente di generare una mappa di prescrizione (Pierce e Novak, 1999), che suddivide l'appezzamento in un determinato numero di classi con caratteristiche vegeto-produttive analoghe, quindi accomunate da simili fabbisogni nutrizionali (Gatti et al., 2016).

Queste analisi che si fanno al terreno, possono essere ugualmente utilizzate anche per la misurazione della vigoria delle piante, in quanto strettamente correlate. Nel caso delle risaie, c'è stato uno studio australiano, Ricecheck (Singh et al, 2005), che attua in maniera simile quanto detto in precedenza. Vengono prima fatti dei rilevamenti da satellite del vigore della coltura, poi i dati vengono raccolti in classi individuando le aree a diversa classe di vigore. Per ogni area si eseguono dei campionamenti e si determina il contenuto in percentuale di azoto utilizzando le strumentazioni NIR; combinando poi il peso della biomassa e il contenuto percentuale di azoto, si ottiene una stima della quantità totale di azoto assorbito dalla coltura e presente nei tessuti vegetali. A questo punto si ottengono dei valori ottimali di azoto da somministrare alla pianta (Sarasso et al., 2012).

Oltre ai concimi fogliari, possiamo trovare anche quelli granulari. Sono disponibili sul mercato spandiconcimi che consentono una distribuzione localizzata, anche con interrimento, oppure i più avanzati con un sistema di pesatura automatico che garantisce la corretta operatività della macchina anche in condizioni di forte inclinazione (Gatti et al., 2016). Questi concimi granulari, tuttavia, non garantiscono la nutrizione della pianta auspicata, in quanto molto condizionati dagli andamenti meteorologici sempre più imprevedibili a causa del cambiamento climatico (Palese, 2015).

3.1.1 Esempi in viticoltura

La concimazione di precisione del vigneto mira alla stabilità produttiva dell'appezzamento e all'equilibrio vegeto-produttivo delle viti perseguendo l'obiettivo di una maturazione ottimale e contemporanea delle uve dell'intero vigneto (Gatti et al., 2016). Tuttavia, spesso in mancanza di un'informazione puntuale, si impiegano i concimi fogliari senza uno specifico obiettivo se non quello di indurre nella pianta un migliore stato di salute fisiologica, evidenziato dalla ricchezza del fogliame. L'impiego dei concimi fogliari, però, deve essere mirato il più possibile ad assicurare a ogni vite il giusto equilibrio fra i vari elementi (Castagnoli e Dosso, 2001). L'equilibrio si ottiene sfruttando la distribuzione sito-specifica del concime nel rispetto della mappa di prescrizione, possibile grazie a macchine in grado di adeguare automaticamente la dose necessaria in funzione della posizione nel vigneto, poiché dotate di ricevitore GNSS (Gatti et al., 2016).

3.2 IRRIGAZIONE

A causa della carenza idrica, a livello mondiale, l'utilizzo di acqua per finalità agricole entra in competizione con gli altri utilizzi, industriale e civile. Per questa ragione è molto importante usare l'acqua in maniera sostenibile valutandone il suo impatto in termini produttivi ed economici (Cancela et al., 2016). In un sistema d'irrigazione convenzionale, si rifornirebbe d'acqua tutto il campo in maniera uguale, senza considerare la variabilità del terreno o il fabbisogno della pianta. Questo metodo può portare a spreco d'acqua e zone del campo più irrigate rispetto ad altre, con conseguente stress da parte della pianta (Abioye et al., 2020).

L'irrigazione di precisione richiede una stima accurata dei reali fabbisogni idrici della coltura e l'applicazione precisa di questo volume d'acqua al momento opportuno. Le esigenze della coltura vanno soddisfatte tempestivamente e nel modo più efficiente e uniforme possibile, cercando di progettare un adeguato sistema irriguo (Castrignanò, 2015). In una prova condotta da Smith (2011), applicando il giusto quantitativo di acqua, è stato riscontrato durante l'anno un risparmio d'acqua che va da 0 al 50%.

L'impiego di sensori remoti o prossimali, operanti nel visibile e NIR, può consentire di rilevare rapidamente informazioni fondamentali per la misura indiretta del contenuto idrico della vegetazione (Castrignanò, 2015), si possono utilizzare droni e satelliti per acquisire i dati e trasmetterli in un cloud, i quali offrono servizi di analisi dei dati dei parametri monitorati da altri sensori per il processo decisionale (Abioye et al., 2020).

Ci sono tre tipi di monitoraggio (Abioye et al., 2020):

- monitoraggio del terreno: sfrutta l'uso dei sensori per misurare l'utilizzo d'acqua da parte della pianta e poter decidere il tipo di irrigazione (impianto a pioggia o microirrigazione, quindi in base alla quantità d'acqua da adoperare);
- monitoraggio meteorologico: su cui ci si basa per la misurazione dell'evapotraspirazione, la quale dipende dalle variabili meteorologiche;
- monitoraggio della pianta: serve per valutare lo stress della pianta utilizzando sensori ottici vicini alla pianta o montati su droni, macchine per l'irrigazione e satelliti.

L'applicazione di volumi irrigui differenti dipende dal tipo di sistema irriguo e può essere realizzata agendo sull'intensità del flusso o sul tempo di applicazione (Castrignanò, 2015); possiamo utilizzare sistemi a pioggia, fra cui il pivot, e microirrigazione.

Il pivot consiste in un braccio rotante con perno al centro e si basa anch'esso su una mappa di prescrizione con delineate le varie zone evidenziate in maniera diversa in base al terreno; un controller aggiusta l'irrigazione in base al punto dell'appezzamento in cui si trova e varia il flusso.

I sistemi a pioggia non sono molto considerati nell'irrigazione di precisione (Smith, 2011), perché sono molto costosi e caratterizzati da una bassa efficienza in ambienti ventosi (Abioye et al., 2020).

Il sistema migliore è quello a microirrigazione: consente di misurare sì il flusso ma anche gli intervalli di applicazione. Questo sistema è progettato specificatamente per umettare la zona occupata dalle radici della coltura mantenendola ad un livello di umidità ottimale; inoltre, ha il più alto potenziale ad essere usato con successo nell'agricoltura di precisione in quanto facilmente automatizzabile in base alle condizioni meteorologiche, all'umidità o la temperatura del terreno (Castrignanò, 2015). I vantaggi della microirrigazione sono: solo una piccola area di terreno viene bagnata con conseguente minima evaporazione dalla superficie del terreno, una bassa crescita di erbe infestanti, infine il controllo della quantità d'acqua da erogare e l'intervallo in cui viene espulsa (Smith, 2011).

3.2.1 Esempi in viticoltura

Ai fini della maturazione dell'uva, l'acqua ha un ruolo fondamentale in quanto, nel corso del ciclo vegetativo, garantisce il benessere della massa preposta alla sintesi degli zuccheri (foglie) che si concentrano nei frutti (Castagnoli e Dosso, 2001).

L'aumento delle temperature medie a seguito del cambiamento climatico ha comportato un incremento significativo dell'evapotraspirazione, generando condizioni di deficit idrico crescente (Ojeda, 2007). Sono state comunque attuate delle strategie per sfruttare questo stress idrico per gestire lo sviluppo vegetativo e riproduttivo della vite valorizzando la composizione dei frutti (Cancela et al., 2016). Nello specifico (Ojeda, 2007):

- Periodo di germogliamento – fioritura: è conveniente che la pianta non subisca carenza idrica o che sia lieve per non danneggiare la normale crescita del germoglio.
- Periodo fioritura – allegagione: una carenza idrica troppo severa durante i primi giorni dopo la fioritura può ridurre il tasso di allegagione e il numero di acini per grappolo.
- Periodo allegagione – invaiatura: lo stato idrico ha una forte influenza in questo periodo, la carenza idrica non influisce sulla divisione cellulare ma diminuisce irreversibilmente il volume cellulare. La dimensione dell'acino può essere un obiettivo di qualità, in quanto una carenza idrica moderata può aumentare la concentrazione finale di polifenoli e aromi. Se invece la carenza idrica è eccessiva il peso dell'acino diminuisce drasticamente modificando la biosintesi dei tannini e la raccolta in vigneto si può ridurre del 30-50%. Questo tipo di carenza si può presentare in zone di scarsa precipitazione, zone in cui l'irrigazione è necessaria per la coltivazione della vite.
- Periodo invaiatura – maturazione: l'assenza di carenza idrica provoca una vigoria eccessiva e favorisce rese elevate, ma le componenti qualitative dell'uva diminuiscono a causa dell'aumento delle dimensioni dell'acino. Da questa situazione si producono vini erbacei e acidi; di fronte ad una carenza molto severa, invece, si produrranno vini più tannici, duri, astringenti e alcolici; negli stadi idrici intermedi, si otterranno vini equilibrati e con una maggiore espressione del frutto.

L'irrigazione di precisione è molto utile nei climi mediterranei e semi-aridi, nelle zone invece atlantiche e più umide si è più propensi ad utilizzare solo l'acqua di pioggia sia per lo sviluppo vegetativo che per gli stadi fenologici più avanzati (Cancela, 2016).

3.3 MESSA A DIMORA DELLE BARBATELLE

Le nuove tecnologie, quali GPS e GIS, gli studi del terreno e le mappe di prescrizione, sono tutte di supporto all'agronomo per una corretta gestione della fertilizzazione, per la scelta del materiale vegetativo (cloni, varietà e portinnesti) e per le scelte sulla forma d'allevamento. Questi aspetti vengono influenzati principalmente dal terreno e dall'esposizione del vigneto alle radiazioni

solari, per questo servono le mappe di prescrizione e le analisi al terreno, in quanto, in base al tipo di tessitura, presenza di calcare, ecc., si sceglie il tipo di vite (clone, portinnesto) e in base all'esposizione la forma di allevamento.

La messa a dimora delle giovani viti ormai viene fatta tramite trapiantatrici, non più manualmente. Le tecniche più evolute si basano su applicazioni di software, i quali vengono integrati con sistemi GPS, che consentono alle trapiantatrici di non usare più le applicazioni laser per l'allineamento e riescono a posizionare le barbatelle secondo un allineamento e distanze prefissate, svincolandosi anche dal sistema di posizionamento delle barbatelle legato al rotolamento di un filo, sul quale sono presenti dei segni che indicano il punto di posizionamento della vite, basandosi solamente su indicazioni legate a posizioni date dal GPS (Gasparinetti et al., 2005). Le trapiantatrici possono essere tutte dotate di GPS e software di guida assistita controllate da un ulteriore software che imposta direttamente i punti di trapianto con l'acquisizione diretta dei limiti della superficie da impiantare, l'impostazione delle misure di interfila e di interpianta, l'orientamento dei filari. Sulla base dei dati inseriti, il software visualizza la mappa dell'impianto indicando l'area dell'appezzamento, il numero di barbatelle e di pali necessari e mostrerà all'operatore i riferimenti guida per la navigazione, indicando il punto di partenza e la posizione della trattrice all'interno dell'appezzamento (Pagni, 2008).

A differenza della trapiantatrice laser, con questo metodo la tracciatura e il picchettamento delle linee dei filari non viene fatta, basta soltanto impostare nel computer il sesto d'impianto desiderato e la linea della direzione delle file definendo solo due punti di uno stesso filare (Gasparinetti et al., 2005). Di conseguenza, si riducono i costi di impianto e le tempistiche di lavoro, con la possibilità di impiantare a "radice lunga", quindi si ha un'elevata percentuale di attecchimento delle barbatelle (Pagni, 2008). Questo metodo di impianto è più costoso per quanto riguarda l'acquisto dei macchinari ma si ammortizzano subito per la maggiore capacità di lavoro e il minor impiego di manodopera, permette di piantare in entrambi i sensi e consente di tralasciare alcune zone (troppo bagnate o con condizioni limitanti) per riprenderle successivamente mantenendo tutti gli allineamenti (Gasparinetti et al., 2005).

CAPITOLO IV

4.1 ASPETTI ECONOMICI E AMBIENTALI DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Anche se i benefici non si possono misurare quantitativamente, alcune ricerche hanno dimostrato come l'agricoltura di precisione abbia un impatto positivo sull'ambiente (Zhang et al., 2002) e viene spesso citato come una delle ragioni principali per cui passare alla PA. I principali benefici potenziali della PA sono stati riassunti da Pierce e Nowak (1999):

- Riduzione dei nutrienti dove i livelli sono sufficienti per gli standard nutrizionali della coltura;
- Riduzione di pesticidi;
- Riduzione dell'uso d'acqua in irrigazione in aree soggette a lisciviazione;
- Minimizzazione o abolizione di nutrienti o pesticidi in zone in cui ci potrebbero essere perdite importanti, dipendendo dal tipo di pesticida o dalle condizioni del suolo;
- Aumento del controllo delle erosioni o riduzione del deflusso attraverso gestione dei residui e lavorazioni del terreno sito-specifiche.

Ci sono però anche delle critiche all'agricoltura di precisione, fra cui l'insufficiente riconoscimento della variazione temporale, il fatto che non si consideri mai l'azienda totale ma solamente campi singoli o aziende sperimentali e la tracciabilità dei prodotti. Per quanto riguarda il primo punto, effettivamente il tempo viene sempre nominato insieme allo spazio fra i fattori che si possono migliorare nel passaggio da agricoltura tradizionale a PA, ma si parla spesso solo di quest'ultimo. Si dovrebbe cercare di considerare non solo la gestione del campo e della sua variabilità nelle sue dimensioni, ma anche durante il passare del tempo. Alcuni campi possono variare dopo anni o addirittura di anno in anno, per questo c'è bisogno di una maggiore gestione dei rischi climatici e atmosferici (McBratney et al., 2006).

La decisione di prendere in considerazione un nuovo modo di gestire l'azienda viene fatta tramite un'analisi dove l'ostacolo maggiore è l'incertezza di quello che avverrà, le persone adotteranno la "novità" solo se porterà ad un miglioramento. Quello a cui le persone penseranno sarà "È difficile da usare?", "Ci saranno effettivamente dei benefici?", "Funzionerà?" (Orr, 2003), siccome si tende ad essere avversi al rischio, l'incertezza verrà posposta fino a che non ci saranno delle prove; grazie però alle differenze che ci contraddistinguono, ogni individuo ha una sua propensione al rischio, dettata da caratteristiche personali, quali esperienza, cultura, formazione, che rendono la diffusione delle innovazioni possibile.

Rogers, nel suo *Diffusion of Innovations* (1995), identificò quattro componenti del processo di adozione delle innovazioni: la prima è l'innovazione *in se*, la seconda si riferisce ai canali di comunicazione, attraverso i quali l'innovazione passa da un individuo ad un altro, la terza riguarda il contesto sociale, culturale e l'ambiente in cui l'innovazione deve operare e quali individui sono coinvolti, l'ultima componente è il tempo. L'adozione della decisione è spesso preceduta da un periodo in cui l'individuo impara e acquisisce le informazioni necessarie per gestire la novità, durante il quale viene a conoscenza di nuove pratiche e idee, sviluppa interessi e cerca ulteriori informazioni riguardo l'innovazione, l'applica al suo contesto e infine sceglie se adottarla o meno in futuro (Vecchio et al., 2020).

Alcuni vedono le tecnologie della PA come un modo per arricchire le multinazionali e per questo non sono propensi a questo sviluppo e vedono la PA come un pericolo, altri invece la vedono come un potenziale beneficio pubblico, un modo per tenere traccia del prodotto e la sua qualità (McBratney et al., 2006). C'è da dire che molte agenzie di consulenza non possiedono le conoscenze adatte per informare appropriatamente gli agricoltori riguardo le nuove tecnologie, perciò spesso è proprio la consulenza a frenarne la diffusione. Gli agricoltori hanno bisogno di buoni consigli da parte degli agronomi sull'interpretazione della mappa per convertirla in un piano gestionale e integrarla ad un piano decisionale (Zhang et al., 2002). Se le politiche agricole si impegnassero a promuovere nuove misure per supportare i sistemi d'informazione o i progetti sia in piccole che grandi aziende, dando incentivi economici, ci sarebbe sicuramente un alto tasso di adozione di PA (Vecchio et al., 2020).

L'impatto della PA lo si aspetta a livello di profitto per il produttore e a livello ecologico e ambientale per quanto riguarda il beneficio pubblico. Gli agricoltori possono calcolare il loro guadagno, la spesa per ogni ettaro e la resa conoscendo il costo delle risorse utilizzate e il tempo per cui le hanno impiegate (Zhang et al., 2002). Le analisi economiche dell'agricoltura di precisione, però, fra teoria e pratica, non sempre risultano uguali: un'effettiva applicazione in azienda può ottenere risultati diversi a causa delle variazioni nelle capacità gestionali dell'operatore relative alla risposta fulminea ad episodi come eventi meteorologici, un cambio nel mercato, animali o insetti dannosi per la coltura. Il profitto dipenderà dall'input non propriamente usato o calibrato male o un errore nella decisione. Perciò l'agricoltura di precisione non dipende solo dalle macchine, ma anche dalle decisioni di chi gestisce le operazioni colturali (Pierce e Nowak, 1999).

Per capire se l'azienda potrebbe diventare 4.0, bisogna guardare se l'**azienda** stessa risulta molto grande, intorno ai 150 ha (Vecchio et al., 2020), in quanto i costi per queste tecnologie sono molto alti e un'azienda medio-grande si può permettere di investire non solo nelle macchine, ma

anche in corsi di formazione e tempo, ammortizzando i costi e i rischi. L'agricoltura di precisione utilizza molte tecnologie automatizzate e robotiche, perciò diminuisce di molto il **lavoro manuale** abbassando anche la sua intensità. Le aziende agricole che hanno scelto la PA, rispetto a quelle che non l'hanno scelta, sostengono proprio questo: l'importanza del ruolo della tecnologia per diminuire il lavoro manuale. L'agricoltura di precisione va in loro supporto riducendolo, diventando quasi complementare, facendo in modo che l'agricoltore si possa occupare di altre faccende o ricoprendo ulteriori ruoli (Vecchio et al., 2020).

È stato provato tramite uno studio in Europa che l'**età** degli agricoltori ha un impatto negativo sulla scelta della PA: più l'età avanza, meno sono propensi alle novità. Quelli che hanno scelto la PA, hanno un'età intorno ai 43 anni, mentre quelli che non l'hanno scelta una media di 48. Non si guarda però solo agli anni di una persona, ma anche alla sua **istruzione**: il 62% delle persone che hanno scelto la PA hanno conseguito un master e il 24% una laurea (Vecchio et al., 2020). Istruzione ed età sono correlate: i più giovani hanno o hanno avuto la possibilità di ottenere un'educazione scolastica migliore e più lunga delle generazioni precedenti, più a contatto con la tecnologia e sono già abituati a gestire un computer o a decodificare nuove informazioni, sono più aperti alla novità (Daberkow e McBride, 2003); cosa che invece non fanno gli agricoltori più vecchi i quali, meno educati ma con più esperienza, non sentono il bisogno di investire o informarsi sulle tecnologie emergenti.

Gli agricoltori che producono in un **mercato eterogeneo**, quando vendono a mercati che consentono un certo grado di differenziazione dei prezzi, sono più propensi ad adottare la novità prima di altri. Per esempio, aziende che vendono fiori o verdure sono più eterogenee di quelle che producono latticini o carne, in quanto ci possono essere vari tipi di verdura, diversi colori, diverse forme e così via (Diederer et al., 2003).

Dal punto di vista economico, ricerche fatte su 234 studi dal 1988 al 2005, hanno dimostrato come la PA abbia aumentato il profitto dell'azienda nel 68% dei casi (Beluhova-Uzunova e Dunchev, 2019). Il risultato del profitto dipende dall'adozione dei metodi di applicazione, i quali a loro volta dipendono dalla coltura, dalla misura del campo e da tipo di agricoltura. In Danimarca nel 2010, è stato fatto uno studio socioeconomico che ha evidenziato che anche con un aumento della resa relativamente basso nel primo anno, l'utilizzo e l'acquisto delle tecnologie non costerebbe più di tanto all'agricoltore; ci potrebbe essere una piccola perdita quando l'impatto è basso e l'aumento della resa è limitato allo 0,5% (Jensen et al., 2012).

I benefici economici dei sistemi di guida automatizzata nel Regno Unito sono stati riscontrati in aziende con circa 500 ha, ma ovviamente i benefici aumentano con l'adozione di sistemi più complessi. In Germania, i benefici delle macchine CTF sono associati alla riduzione dei costi degli

input ma anche dei rendimenti maggiori e una struttura del terreno migliore grazie ad una minor area di compattamento. Altri benefici importanti sono la velocità del lavoro, lavoro meno pesante per gli operatori e quindi la capacità di estendere le ore di lavoro in campo (Beluhova-Uzunova e Dunchev, 2019).

Dal punto di vista ambientale, invece, gli studi hanno dimostrato come l'agricoltura di precisione effettivamente riduca l'uso di fertilizzanti dal 2 al 6% anche se l'agricoltura di precisione è poco presente in relazione all'intera superficie mondiale coltivata (15,5%), contribuisce significativamente alla riduzione di input nel settore agricolo intero. Questo ovviamente è una situazione *win-win* dove sia l'ambiente che gli agricoltori ne beneficiano: gli agricoltori risparmiano in input e hanno una buona resa vendibile, l'ambiente è meno inquinato (Jensen et al., 2012).

CONCLUSIONE

Dalla ricerca condotta è emerso che dagli albori dell'agricoltura di precisione sono stati fatti moltissimi passi avanti in ambito tecnologico e che si può ancora migliorare per poter migliorare a sua volta l'agricoltura. Questa viene spesso vista come un qualcosa di vecchio, perché esiste da moltissimo tempo, che quindi sia un mondo completamente a parte da quello della tecnologia e della modernità. Questo studio ha dimostrato il contrario, in quanto, associando tecnologia e agricoltura, si può migliorare di molto la qualità della vita e dell'ambiente sprecando meno risorse e ottenendo comunque un buon prodotto e un buon profitto.

Dall'ultimo capitolo poi è emerso come non tutti siano propensi a cambiare gestione e questo è dato da diversi fattori quali età, sesso, esperienza lavorativa, educazione scolastica e molto altro. Un agricoltore di 60 anni che ha sempre lavorato allo stesso modo sarà meno portato a introdurre tecnologia nel suo campo rispetto ad un ragazzo giovane che con la tecnologia ci è cresciuto e vede il potenziale che può avere in agricoltura. C'è da dire, inoltre, che il passaggio da agricoltura tradizionale a quella di precisione sarebbe molto più semplice se ci fossero degli incentivi economici più accessibili da parte dello Stato, che portino alla promozione di nuovi sistemi e progetti sia in piccole che grandi aziende, in quanto, spesso, a questi incentivi non tutti possono aderire per restrizioni troppo severe.

Si spera, quindi, in futuro, che i vari Stati supportino programmi e progetti che concernono agricoltura e ambiente per affrontare incremento demografico e cambiamento climatico, che le tecnologie attuali si modernizzino o che ne nascano di nuove per far fronte anche ai più piccoli errori e che le aziende puntino sui giovani, in quanto sono i più inclini a portare la tecnologia in agricoltura e rendere più moderno il settore.

BIBLIOGRAFIA

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Abd Rahman, M. K. I., ... & Ramli, M. S. A. (2020). *A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*.
- Antognelli, S. (2021). *Gli strumenti dell'agricoltura di precisione: le mappe di prescrizione per la concimazione*. *GEOmedia*, 25(4).
- Beluhova-Uzunova, R. P., & Dunchev, D. M. (2019). *Precision farming—concepts and perspectives*. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej/Problems of Agricultural Economics*, (3).
- Benvenuti, L., & Sartori, L. (2008). *Agricoltura di precisione: applicazioni in orticoltura*.
- Calamita, G., Carlà, R., Iodice, A., Lapenna, V., Natale, A., Mondini, A., ... & Guzzetti, F. (2009, December). *Stima dell'umidità del suolo da dati EO a supporto del monitoraggio del rischio da frana*. In *Atti della 13^a Conferenza ASITA* (pp. 565-570).
- Cancela, J. J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E. M., Rey, B. J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M., & Mirás-Avalos, J. M. (2016). *Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of Vitis vinifera (L.) of NW Spain*. *Agricultural Water Management*, 170, 99-109.
- Castagnoli, A., & Dosso, P., (2001). *Viticultura assistita da satellite*. *Informatore Agrario*, 57(18), 77-82.
- Castrignanò, A. (2015). *11 Irrigazione di precisione: principi e applicazione*.
- Comba, L., Biglia, A., Riccauda Aimonino, D., & Gay, P. (2018). *Droni: Efficace Contributo alla Moderna Agricoltura di Precisione*. In *LA MECCANICA AGRARIA OGGI* (pp. 231-238). Cleup.
- Cóndor, R. D., & Vitullo, M. (2010). *Emissioni di gas serra dall'agricoltura, selvicoltura ed altri usi del suolo in Italia*. *Agri Regioni Europa*, 21, 37-41.
- Daberkow, S. G., & McBride, W. D. (2003). *Farm and operator characteristics affecting the awareness and adoption of precision agriculture technologies in the US*. *Precision agriculture*, 4(2), 163-177.
- Diederer, P., Van Meijl, H., Wolters, A., & Bijak, K. (2003). *Innovation adoption in agriculture: innovators, early adopters and laggards*. *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, 67, 29-50.

dos Santos, T. C., Esperidião, T. L., & dos Santos Amarante, M. (2019). *AGRICOLTURA 4.0*. Revista Pesquisa e Ação, 5(4), 122-131.

Fiala, M., & Pagliari, F. (2005). *Individuazione, tramite sensori ottici, di infestanti in colture sarchiate*. In L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea. AIIA.

Forni, G., & Marcone, A. (2002). *Storia dell'agricoltura italiana: 1.1: L'età antica: Preistoria. Storia dell'agricoltura italiana*, 0-0.

Frascarelli A. (2022). *Presentato a Bruxelles il Piano Strategico Pac* in “terra è vita”, 63(2), 04-08.

Gasparinetti, P., Biasi, W., Peratoner, C., Maschio, T., & Teot, G. (2005). *Impianto del vigneto: le novità nel trapianto a macchina*. Informatore agrario, 61(47), 33.

Gatti, M., & Poni, S. (2016). *Potenzialità della concimazione di precisione del vigneto*. VVQ, vigne vini & qualità, 43(5), 32-35.

https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_it (Ultimo accesso Febbraio 2022).

Jensen, H. G., Jacobsen, L. B., Pedersen, S. M., & Tavella, E. (2012). *Socioeconomic impact of widespread adoption of precision farming and controlled traffic systems in Denmark*. Precision Agriculture, 13(6), 661-677.

Khush, G. S. (1999). *Green revolution: preparing for the 21st century*. Genome, 42(4), 646-655.

McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., & Bouma, J. (2005). *Future directions of precision agriculture*. Precision agriculture, 6(1), 7-23.

Misturini D. (2020a). *Raccolta, trasferimento, analisi: come gestire bene i dati* in “MAD”, 17(7-8), 34-35

Misturini D. (2020b). *Precision Farming, strumenti e tecnologie per un'agricoltura evoluta, edagricole*, Milano, 01-02.

Ojeda, H. (2007). *L'IRRIGAZIONE QUALITATIVA DI PRECISIONE NELLA VITE*.

Orr, G. (2003). *Diffusion of innovations, by Everett Rogers (1995)*. Retrieved January, 21, 2005.

Pagni, P. P., Spezia, G., & Vieri, M. (2008, December). *Esperienze e prospettive della viticoltura di precisione nel terroir del Chianti*. In Atti del III Simposio internazionale del Sangiovese, Firenze (pp. 3-5).

Palese, C. (2015). *Nutrizione*.

- Pierce, F. J., & Gilliland, D. C. (1997). *Soil quality control*. In *Developments in Soil Science* (Vol. 25, pp. 203-219). Elsevier.
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). *Aspects of precision agriculture*. *Advances in agronomy*, 67, 1-85.
- Pisante M., (2022). *Più precisa e digitale per essere disponibile* in “terra è vita”, 63(2), 32.
- Radočaj, D., Jurišić, M., & Gašparović, M. (2022). *The Role of Remote Sensing Data and Methods in a Modern Approach to Fertilization in Precision Agriculture*. *Remote Sensing*, 14(3), 778.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovations*; The Free Press: New York, NY, USA.
- Sarasso, G., Finassi, A., Masoero, G., Vidotto, F., Ferrero, A., (2012). *La concimazione di precisione ottimizza l'azoto in risaia* in “L'Informatore Agrario”, 67(23), 02-05.
- Singh, R. P., Brennan, J. P., Lacy, J., & Steel, F. (2005). *An assessment of the economic, environmental and social impacts of the Ricecheck program* (No. 116–2016-93056).
- Smith, R. (2011). *Review of precision irrigation technologies and their applications*. University of Southern Queensland.
- Tayari, E., Jamshid, A. R., & Goodarzi, H. R. (2015). *Role of GPS and GIS in precision agriculture*. *Journal of Scientific Research and Development*, 2(3), 157-162.
- Vecchio, Y., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., & Capitanio, F. (2020). *Adoption of precision farming tools: the case of Italian farmers*. *International journal of environmental research and public health*, 17(3), 869.
- Veroustraete, F. (2015). *The rise of the drones in agriculture*. *EC agriculture*, 2(2), 325-327.
- Yousefi, M. R., & Razdari, A. M. (2015). *Application of GIS and GPS in precision agriculture (a review)*. *Int. J. Adv. Biol. Biom. Res*, 3(1), 7-9.
- Yu, L., Gao, W., Shamshiri, R. R., Tao, S., Ren, Y., Zhang, Y., & Su, G. (2021). *Review of research progress on soil moisture sensor technology*. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(4), 32-42.
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). *Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). *Precision agriculture—a worldwide overview*. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.

Zorer R., Delucchi L., Paoli A. (2022). *Sensoristica e mappe per il vigneto 4.0* in “Vite & Vino”, volume? Fascicolo? 21-22.