

D.4.1.1

Linee guida sull'utilizzo delle TIC in agricoltura

SOMMARIO

Le relazioni tra agricoltura e ambiente.....	1
Le relazioni tra agricoltura e apicoltura.....	2
L'agricoltura di precisione	2
Il punto di partenza: la rilevazione dei dati	3
1. Sensori di campo e IoT (<i>Internet of Things</i>).....	3
2. Droni con sensori multispettrali e iperspettrali.....	3
3. Satelliti e dati di osservazione terrestre	4
4. Stazioni meteo avanzate.....	4
L'utilizzazione dei dati.....	4
Sistemi GPS e GIS per mappatura di precisione	4
Il ruolo del GPS nell'agricoltura di precisione.....	4
GIS: gestione avanzata delle informazioni geospaziali	5
Benefici dell'integrazione GPS-GIS	5
I sistemi di guida automatica.....	5
La distribuzione di risorse con rateo variabile.....	6
L'uso di DSS per migliorare le strategie di difesa delle colture.....	7
L'agricoltura di precisione può favorire l'apicoltura?.....	8
Il futuro dell'agricoltura di precisione: verso un paradigma <i>data-driven</i>	8
FOCUS: il sistema RTK della Regione del Veneto.....	10

Le relazioni tra agricoltura e ambiente

Le relazioni tra agricoltura e ambiente sono complesse e molte sono le variabili e i fattori che possono determinare punti di vista e opinioni diverse. Tuttavia, è sempre opportuno ricordare che l'agricoltura ha lo scopo di soddisfare il fabbisogno primario dei cittadini di avere a disposizione cibo sano e sicuro, in quantità tale da fare fronte alle esigenze nutrizionali della popolazione.

Tale fabbisogno deve essere soddisfatto in maniera il più possibile sostenibile in modo da preservare le risorse naturali e il potenziale produttivo delle terre coltivate e degli ecosistemi al fine di garantire questa possibilità anche per le generazioni successive. Da qui l'esigenza di continuare a sviluppare modelli produttivi e strategie di coltivazione il più possibile "sostenibili", ovvero che garantiscano sufficienti produzioni di cibo senza intaccare le risorse naturali nel lungo periodo.

Il rapporto tra agricoltura e ambiente è bidirezionale in quanto, da un lato, la stessa agricoltura dipende dalle risorse naturali come il suolo, l'acqua e il clima e, dall'altro, essa ha un impatto significativo sulle risorse naturali e sugli ecosistemi. La reciprocità della relazione è data dal fatto che l'agricoltura produce sia effetti positivi che negativi sull'ambiente e dalla relazione tra questi fattori dipende la "sostenibilità" complessiva dei sistemi colturali.

Tra gli impatti positivi generati dall'agricoltura sull'ambiente ci sono:

- la tutela del paesaggio: le coltivazioni tradizionali mantengono la biodiversità, proteggono i suoli dall'erosione e possono contribuire a creare ambienti caratteristici con ricadute positive per lo sviluppo rurale dei territori;
- il sequestro del carbonio: le pratiche agricole sostenibili, come l'agricoltura conservativa e rigenerativa, l'agro-forestazione e la rotazione delle colture, possono assorbire CO₂ dall'atmosfera.

Tra gli impatti negativi generati dall'agricoltura sull'ambiente ci sono:

- l'inquinamento delle acque: l'uso eccessivo di fertilizzanti e pesticidi contamina le falde acquifere e i corsi d'acqua;
- le emissioni di gas serra: la produzione agricola, in particolare l'allevamento intensivo, rilascia metano e ossido di azoto, gas ad alto potenziale di riscaldamento globale;
- il degrado del suolo: l'agricoltura intensiva impoverisce i terreni, riducendone la fertilità e aumentando l'erosione;
- la deforestazione e la perdita di biodiversità: l'espansione delle colture e degli allevamenti spesso porta alla distruzione di habitat naturali, in particolare in alcune specifiche aree del nostro pianeta.

Per mitigare gli impatti negativi e aumentare la "sostenibilità" dell'agricoltura, le moderne tecniche di coltivazione possono fare riferimento a diverse strategie, supportate da basi scientifiche e dal progresso tecnologico, che includono:

- l'agricoltura rigenerativa che mira a migliorare attivamente la salute del suolo, la biodiversità e il ciclo naturale delle risorse favorendo il sequestro del carbonio, l'aumento della biodiversità, la diversificazione delle colture (rotazioni), l'uso di siepi e alberature, l'uso di specie vegetali per sostenere insetti impollinatori, i microrganismi benefici e la fauna selvatica, ecc.
- l'agricoltura conservativa che mira a migliorare la sostenibilità dei sistemi colturali, riducendo l'erosione del suolo, migliorando la sua fertilità e aumentando l'efficienza nell'uso delle risorse attraverso l'adozione di tecniche di minima lavorazione (o nessuna lavorazione), la copertura permanente del suolo (anche mediante le cover crops), ecc.;
- l'agricoltura integrata e biologica che mirano a ridurre l'uso di sostanze chimiche sintetiche in particolare per la difesa delle colture da parassiti e patogeni, attraverso l'impiego di prodotti a

minore impatto sulla salute dell'uomo e sull'ambiente e l'uso di modelli e DSS per la razionalizzazione delle tecniche di difesa delle colture;

Ad esse si aggiunge l'agricoltura di precisione che costituisce un insieme di pratiche basate su tecnologie in continua evoluzione grazie alle quali è possibile ottimizzare l'uso delle risorse naturali e l'impiego dei diversi fattori della produzione, compresi sementi, fertilizzanti, antiparassitari, diserbanti, ecc. che costituisce l'oggetto del presente documento.

Le relazioni tra agricoltura e apicoltura

L'agricoltura e l'apicoltura sono due settori strettamente interconnessi, in quanto l'impollinazione entomofila, principalmente svolta dalle api, rappresenta un fattore determinante per la produttività e la qualità di molte colture agrarie. Uno degli aspetti più rilevanti di questa relazione è il miglioramento della produttività e della qualità delle colture. L'impollinazione efficace determina una maggiore fecondazione dei fiori, con effetti positivi sulla dimensione, la forma e la qualità dei frutti, oltre che sull'aumento della produzione per ettaro. Colture come meli, peri, ciliegi, agrumi, colture oleaginose (colza, girasole) e ortaggi come zucchine e fragole beneficiano significativamente della presenza di api all'interno degli agroecosistemi.

Tuttavia, l'intensificazione delle tecniche di coltivazione ha portato a diverse criticità per l'apicoltura. L'uso di fitofarmaci, in particolare insetticidi neonicotinoidi e fungicidi, ha mostrato effetti neurotossici sulle api, alterandone il comportamento, la capacità di orientamento e la sopravvivenza delle colonie. Anche la diffusione della monocoltura, riducendo la diversità floristica, contribuisce all'impoverimento delle risorse nettariifere e pollinifere, con ripercussioni sulla nutrizione delle api e sulla loro capacità di resistenza a patogeni e parassiti.

Per garantire una sinergia positiva tra agricoltura e apicoltura, è quindi essenziale adottare strategie agronomiche che tengano conto dei potenziali impatti sugli impollinatori, che possono comprendere, ad esempio:

- l'incremento delle fasce fiorite e delle siepi perimetrali, che forniscono risorse trofiche continue per le api;
- l'adozione di tecniche di agricoltura biologica o integrata, con una riduzione dell'impiego di fitofarmaci dannosi per gli impollinatori;
- la promozione di pratiche agricole a basso impatto ambientale, che includano la rotazione delle colture e di altre strategie che preservano la biodiversità del suolo e degli ecosistemi;
- la gestione razionale dell'applicazione dei prodotti fitosanitari, limitandone l'uso nelle ore di maggiore attività delle api (mattina e pomeriggio) e privilegiando formulazioni meno tossiche.

In conclusione, la salvaguardia delle api e degli altri impollinatori rappresenta una condizione imprescindibile per la sostenibilità dei sistemi agricoli. Un'agricoltura più attenta alla tutela della biodiversità non solo protegge l'apicoltura, ma contribuisce anche a migliorare la sicurezza alimentare e la resilienza degli agroecosistemi ai cambiamenti climatici.

L'agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione rappresenta un'evoluzione nell'approccio agronomico, basata sull'integrazione di tecnologie avanzate per ottimizzare la gestione delle coltivazioni e degli allevamenti. Tradizionalmente, la distribuzione di input agricoli come acqua, fertilizzanti e fitofarmaci avveniva in maniera uniforme, senza considerare la variabilità intra-campo delle condizioni

pedoclimatiche e delle esigenze delle colture. L'adozione di sensori, sistemi GPS, droni e tecniche di analisi dati consente oggi di operare in modo mirato, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza produttiva.

Attraverso sistemi di telerilevamento e monitoraggio in tempo reale, è possibile raccogliere dati dettagliati su parametri come l'umidità del suolo, la composizione chimica del terreno, lo stato nutrizionale delle piante e la presenza di fitopatie. Queste informazioni, elaborate mediante software di intelligenza artificiale e *big data analytics*, consentono di definire mappe di prescrizione per l'applicazione differenziata di input, ottimizzando l'uso delle risorse e riducendo l'impatto ambientale.

Nel settore della meccanizzazione agricola, l'impiego di macchinari a guida autonoma dotati di sistemi di agricoltura di precisione basati su GPS RTK garantisce un'elevata accuratezza nelle operazioni di semina, irrigazione e concimazione, minimizzando le sovrapposizioni e le perdite di prodotto. Parallelamente, la collocazione di tecnologie IoT (*Internet of Things*) negli appezzamenti coltivati permette di raccogliere dati su parametri cruciali come umidità del suolo, temperatura, livelli di nutrienti, pH, intensità luminosa e condizioni meteorologiche, nonché di identificare precocemente segni di stress nelle piante, presenza di parassiti o malattie, monitorare stadi fenologici e vegetativi, ecc.

L'adozione di queste tecnologie non solo consente di incrementare la resa produttiva per ettaro, ma contribuisce anche alla sostenibilità ambientale, riducendo l'uso di agrofarmaci, la contaminazione delle acque e le emissioni di gas serra. In un contesto di crescente pressione demografica e cambiamenti climatici, l'agricoltura di precisione si configura come una soluzione strategica per garantire la sicurezza alimentare e la sostenibilità dei sistemi agricoli globali.

Il punto di partenza: la rilevazione dei dati

Nell'ambito dell'agricoltura di precisione, i sistemi di telerilevamento e monitoraggio in tempo reale sono fondamentali per raccogliere dati sulle condizioni del suolo, delle colture e del clima, consentendo un'ottimizzazione degli interventi agronomici. Di seguito si fornisce una panoramica delle tecnologie impiegabili per la rilevazione dei dati.

1. Sensori di campo e IoT (*Internet of Things*)

Questi dispositivi, installati direttamente nel terreno o sulle piante, monitorano in tempo reale vari parametri agronomici e ambientali:

- sensori di umidità del suolo (come TDR e FDR) per ottimizzare l'irrigazione;
- sensori di temperatura e umidità dell'aria per prevenire stress idrici o attacchi parassitari;
- sensori elettrochimici per rilevare la concentrazione di nutrienti e sali nel suolo;
- sensori ottici e spettrometrici per analizzare lo stato nutrizionale e fitosanitario delle colture.

Questi dispositivi comunicano attraverso reti IoT (es. LPWAN, LoRa, NB-IoT) e inviano dati a piattaforme cloud per l'analisi in tempo reale.

2. Droni con sensori multispettrali e iperspettrali

I droni sono ampiamente impiegati per acquisire immagini ad alta risoluzione su vaste aree, utilizzando diversi tipi di sensori:

- RGB (visibile) per l'analisi visiva delle colture;
- multispettrali (NDVI, NDRE) per valutare la fotosintesi e lo stato di salute delle piante;
- iperspettrali per un'analisi più dettagliata di carenze nutrizionali e fitopatie;
- termici per rilevare stress idrici e variazioni di temperatura nel suolo e nelle colture.

I dati raccolti vengono elaborati con software di elaborazione delle immagini e intelligenza artificiale per creare mappe di prescrizione e ottimizzare gli input agricoli.

3. Satelliti e dati di osservazione terrestre

L'agricoltura di precisione sfrutta immagini satellitari provenienti da missioni come:

- Copernicus Sentinel-2 (ESA) per il monitoraggio multispettrale delle coltivazioni;
- Landsat (NASA-USGS) per l'analisi della vegetazione e dell'uso del suolo;
- PlanetScope per immagini ad altissima risoluzione e aggiornamenti frequenti.

Questi satelliti forniscono dati essenziali per monitorare la crescita delle colture, individuare anomalie e pianificare interventi mirati.

4. Stazioni meteo avanzate

Le stazioni meteorologiche forniscono dati essenziali su:

- temperatura e umidità atmosferica;
- velocità e direzione del vento;
- precipitazioni e radiazione solare.

Queste informazioni aiutano a prevedere condizioni climatiche avverse e ad adattare le pratiche agricole per ridurre i rischi.

L'utilizzazione dei dati

Sistemi GPS e GIS per mappatura di precisione

L'integrazione dei sistemi GPS (Global Positioning System) e GIS (Geographic Information System) nell'agricoltura di precisione ha rivoluzionato la gestione delle colture, permettendo di ottenere dati geospaziali estremamente accurati per ottimizzare le operazioni agronomiche. Grazie a questi strumenti, è possibile mappare con precisione le caratteristiche del suolo, monitorare lo stato di salute delle colture e applicare input agricoli in modo mirato, riducendo sprechi e migliorando l'efficienza produttiva.

Il ruolo del GPS nell'agricoltura di precisione

Il sistema GPS fornisce dati georeferenziati con estrema precisione, consentendo agli agricoltori di localizzare e monitorare ogni area del campo con margini di errore ridottissimi, soprattutto quando viene utilizzato in combinazione con il sistema RTK (Real-Time Kinematic). Questa tecnologia è essenziale per diverse applicazioni:

- guida automatica dei macchinari agricoli, riducendo sovrapposizioni e migliorando l'efficienza di semina, fertilizzazione e trattamenti fitosanitari;
- mappatura della variabilità del suolo, permettendo di identificare aree con caratteristiche chimico-fisiche diverse per una gestione agronomica più specifica;
- ottimizzazione dell'irrigazione, regolando la distribuzione dell'acqua in base alle reali necessità delle piante;
- monitoraggio della produttività, associando i dati GPS ai sensori di resa delle mietitrebbie per analizzare l'andamento delle colture nel tempo.

GIS: gestione avanzata delle informazioni geospaziali

A differenza del GPS, che fornisce dati di posizione, il GIS permette di raccogliere, elaborare e visualizzare informazioni geospaziali sotto forma di mappe tematiche. Queste mappe forniscono un quadro dettagliato della variabilità intra-parcellare, consentendo di prendere decisioni agronomiche basate su dati oggettivi. Le principali applicazioni includono:

- analisi della fertilità del suolo, integrando dati su pH, sostanza organica e disponibilità di nutrienti per ottimizzare le strategie di concimazione.
- identificazione delle zone a rischio di erosione e compattazione, per pianificare interventi di gestione conservativa.
- mappatura della resa per individuare le aree più produttive e quelle che necessitano di interventi migliorativi.
- applicazione della tecnologia a rateo variabile (VRT - Variable Rate Technology), che consente di modulare in tempo reale la distribuzione di fertilizzanti, pesticidi e acqua in base alle necessità specifiche delle colture.

Benefici dell'integrazione GPS-GIS

L'utilizzo combinato di GPS e GIS offre numerosi vantaggi per l'agricoltura di precisione:

- efficienza operativa: le operazioni colturali vengono eseguite con maggiore precisione, riducendo errori e sprechi di input agricoli;
- sostenibilità ambientale: l'impiego mirato di fertilizzanti e fitofarmaci riduce l'inquinamento del suolo e delle falde acquifere;
- aumento della produttività e della resa economica: la gestione ottimizzata delle risorse porta a un incremento delle rese e a un impiego di materie prime più calibrato rispetto alle potenzialità di ogni appezzamento, riducendo gli sprechi;
- miglior tracciabilità: la registrazione e l'analisi dei dati agronomici permettono un monitoraggio continuo dell'andamento colturale, utile anche per l'implementazione di certificazioni di qualità.

Grazie alla combinazione di queste tecnologie, gli agricoltori possono adottare un approccio più scientifico e *data-driven*, riducendo l'incertezza nella gestione delle coltivazioni e garantendo un'agricoltura più efficiente, sostenibile e resiliente.

I sistemi di guida automatica

L'evoluzione dell'agricoltura di precisione ha portato allo sviluppo di sistemi avanzati di guida automatica delle trattrici, basati sulla tecnologia RTK, che consentono di ottenere una precisione centimetrica nella conduzione dei mezzi agricoli. Questo sistema rappresenta un'evoluzione rispetto al

tradizionale GPS, riducendo al minimo errori di posizionamento e ottimizzando le operazioni agronomiche.

Il sistema RTK è un'evoluzione del "GPS differenziale (DGPS)" e si basa sulla trasmissione di correzioni in tempo reale per migliorare la precisione del segnale GPS. Il sistema funziona attraverso una stazione base fissa, che riceve i segnali dai satelliti e calcola le correzioni di errore, una trattoria dotata di ricevitore RTK, che riceve i segnali corretti dalla stazione base tramite rete radio o connessione mobile (RTK-NTRIP), un software di bordo, che elabora i dati geospaziali e regola la guida del mezzo con una precisione fino a ± 2 cm.

Grazie alla sua elevata accuratezza, la tecnologia RTK viene impiegata in diverse operazioni colturali:

- semina di precisione: consente di posizionare con esattezza i semi, migliorando la densità di impianto e riducendo sovrapposizioni o mancate germinazioni in aree poco fertili (riduzione dello spreco di seme);
- fertilizzazione a rateo variabile: permette di distribuire i fertilizzanti in maniera ottimale, riducendo gli sprechi e l'impatto ambientale;
- trattamenti fitosanitari mirati: migliora l'efficienza dell'applicazione dei prodotti, evitando sovradosaggi o zone prive di copertura;
- raccolta con sistemi di mappatura della resa: la guida RTK garantisce una traiettoria precisa delle mietitrebbie, ottimizzando il passaggio e riducendo perdite di prodotto;
- lavorazioni del terreno: minimizza la compattazione, mantenendo traiettorie costanti, facilitando l'adozione di strategie di traffico controllato e ottimizzando l'impiego di carburante.

L'impiego della guida automatica delle trattorie con RTK è un passo fondamentale verso un'agricoltura sempre più precisa, sostenibile e tecnologicamente avanzata. Questa tecnologia non solo migliora la produttività e l'efficienza aziendale, ma consente anche una gestione più intelligente delle risorse, contribuendo alla riduzione dell'impatto ambientale e all'ottimizzazione dei costi di produzione.

La distribuzione di risorse con rateo variabile

Le tecniche di rateo variabile (VRT - *Variable Rate Technology*) rappresentano una delle innovazioni più avanzate dell'agricoltura di precisione, consentendo una gestione ottimizzata degli input agricoli (sementi, fertilizzanti, fitofarmaci o acqua) in base alla variabilità intra-parcellare del terreno e delle colture. Questo approccio permette di applicare dosi differenziate di input nei diversi punti del campo, migliorando l'efficienza produttiva, riducendo i costi e limitando l'impatto ambientale.

Le tecnologie VRT possono essere classificate in due principali categorie, in base al metodo di applicazione della variabilità.

La tecnologia a Rateo Variabile basata su mappe predefinite (Map-Based VRT) si basa sull'elaborazione di mappe tematiche georeferenziate, ottenute attraverso dati raccolti con sensori remoti, droni, immagini satellitari o analisi del suolo e delle colture. Le informazioni vengono elaborate da software GIS per creare mappe di prescrizione, che guidano i macchinari agricoli nella distribuzione differenziata degli input. Le applicazioni principali di questa categoria di applicazioni comprendono:

- la concimazione a rateo variabile. Le mappe di fertilità del suolo indicano le aree con diverse necessità nutrizionali, ottimizzando l'apporto di elementi nutritivi;
- la semina a densità variabile. Regola la quantità di sementi in base alle caratteristiche del suolo, aumentando la densità nelle zone più fertili e riducendola in quelle meno produttive;
- l'irrigazione a rateo variabile (VRI - *Variable Rate Irrigation*). Adatta l'apporto idrico in funzione dell'umidità del suolo e delle necessità fisiologiche della coltura;

- l'applicazione di fitofarmaci. Distribuzione differenziata di erbicidi e fungicidi in base alla presenza di infestanti o malattie.

La tecnologia a rateo variabile in tempo reale (Sensor-Based VRT) utilizza sensori montati direttamente sui macchinari agricoli, che analizzano il suolo e le colture in tempo reale e regolano automaticamente l'erogazione degli input. Non è necessaria la creazione di mappe predefinite, poiché l'applicazione varia dinamicamente in base ai dati raccolti sul campo. I principali sensori impiegati per implementare questa tecnologia sono i sensori ottici e multispettrali, che misurano l'indice di vegetazione (NDVI) e altri indici fisiologici delle piante per valutare lo stato vegetazionale delle colture e modulare la concimazione o l'irrigazione o l'intervento di difesa, i sensori di conducibilità elettrica che analizzano la tessitura e il contenuto idrico del suolo per adattare la distribuzione dei fertilizzanti e l'irrigazione, i sensori di riflettanza e fluorescenza che identificano carenze nutrizionali o stress idrici, regolando l'applicazione degli input in base alla risposta delle piante.

L'adozione delle tecniche a rateo variabile rappresenta un passo fondamentale verso un'agricoltura più intelligente, sostenibile e produttiva. L'integrazione di sensori avanzati, droni, immagini satellitari e software di analisi consente agli agricoltori di prendere decisioni basate su dati oggettivi, migliorando l'efficienza economica e riducendo l'impatto ambientale della produzione agricola.

L'uso di DSS per migliorare le strategie di difesa delle colture

I Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) stanno ridefinendo le metodologie di difesa delle colture agrarie, implementando un approccio basato sull'analisi dei dati per ottimizzare le strategie fitosanitarie. Attraverso l'integrazione di dati provenienti da sensoristica remota e *in situ*, i DSS consentono un monitoraggio continuo e dettagliato delle condizioni agro-meteorologiche, fornendo informazioni cruciali per il rilevamento precoce di stress biotici e abiotici. L'analisi di parametri come temperatura, umidità, radiazione solare e dati pedologici permette di identificare precocemente segni di stress nelle colture, la presenza di parassiti o condizioni favorevoli allo sviluppo di malattie.

L'impiego di modelli previsionali, basati su algoritmi di intelligenza artificiale, consente di anticipare la diffusione di malattie e parassiti, ottimizzando i tempi e le modalità di applicazione dei trattamenti. La valutazione del rischio, attraverso la generazione di mappe di rischio georeferenziate, permette di concentrare le risorse nelle aree a maggiore vulnerabilità, riducendo l'impatto ambientale dei trattamenti fitosanitari. I DSS forniscono raccomandazioni personalizzate, basate sull'analisi dei dati e sui modelli previsionali, promuovendo una gestione integrata delle colture e ottimizzando l'uso di prodotti fitosanitari.

L'applicazione variabile dei trattamenti, basata sulle mappe di rischio, consente di trattare solo le aree infestate, minimizzando l'uso di prodotti chimici e riducendo i costi di produzione. L'ottimizzazione delle risorse e la prevenzione dei danni contribuiscono a una produzione agricola più sostenibile e redditizia, garantendo rese più elevate e una migliore qualità dei prodotti. I DSS rappresentano quindi uno strumento fondamentale per l'agricoltura di precisione, promuovendo una produzione agricola più efficiente, sostenibile e redditizia.

L'agricoltura di precisione può favorire l'apicoltura?

L'agricoltura di precisione può avere un impatto significativo e positivo sull'apicoltura, attraverso un'ampia gamma di meccanismi.

Miglioramento dell'habitat delle api

- Gestione mirata dei pesticidi: l'agricoltura di precisione consente di applicare pesticidi solo dove e quando necessario, riducendo l'esposizione delle api a sostanze chimiche nocive.
- Promozione della biodiversità: l'agricoltura di precisione può favorire la creazione di habitat diversificati, con la presenza di diverse specie di piante nettarifere e pollinifere. Tali habitat forniscono alle api una fonte di cibo costante e variegata, migliorando la loro salute e produttività.
- Mappatura delle risorse floreali: l'utilizzo di droni e sensori può aiutare a mappare la distribuzione delle piante nettarifere e pollinifere, consentendo agli apicoltori di posizionare le arnie in modo ottimale.

Monitoraggio e gestione delle api

- Sensori nelle arnie: l'installazione di sensori nelle arnie consente di monitorare parametri come temperatura, umidità, peso e attività delle api, fornendo informazioni preziose sulla salute delle api e sulla produzione di miele.
- Previsione della produzione di miele: l'analisi dei dati ambientali e delle informazioni raccolte dalle arnie può aiutare a prevedere la produzione di miele, consentendo agli apicoltori di pianificare la raccolta e la commercializzazione.
- Rilevamento precoce di malattie: il monitoraggio costante delle api può aiutare a rilevare precocemente segni di malattie o infestazioni, consentendo interventi tempestivi per proteggere le colonie.

Collaborazione tra agricoltori e apicoltori

- Comunicazione e condivisione di informazioni: l'agricoltura di precisione può facilitare la comunicazione e la condivisione di informazioni tra agricoltori e apicoltori. Questo può portare a una migliore coordinazione delle attività agricole e apistiche, a vantaggio di entrambi i settori.
- Creazione di corridoi ecologici: la collaborazione tra agricoltori e apicoltori può portare alla creazione di corridoi ecologici, aree verdi ricche di piante nettarifere e pollinifere che collegano diverse zone agricole. Questo favorisce la mobilità delle api e la biodiversità.

Il futuro dell'agricoltura di precisione: verso un paradigma *data-driven*

L'agricoltura di precisione si prospetta come un settore in rapida evoluzione, caratterizzato dall'integrazione di tecnologie avanzate per l'ottimizzazione dei processi produttivi. L'impiego di sistemi di intelligenza artificiale (IA) e machine learning (ML) consente l'analisi di dataset complessi, derivati da sensoristica remota e in situ, per la generazione di modelli predittivi.

L'acquisizione di immagini multispettrali e iperspettrali, ottenute tramite l'utilizzo di droni e satelliti, fornirà base di dati a risoluzione sempre più alta, sia per quanto riguarda lo spazio che relativamente

alla frequenza di rilevazione. Questi dati, essenziali per la valutazione dello stato di salute delle colture, l'individuazione di stress idrico e la mappatura della variabilità spaziale dei parametri agronomici, consentiranno un'analisi sempre più dettagliata e precisa del territorio agricolo.

L'analisi di tali dati, effettuata attraverso l'applicazione di algoritmi avanzati di *image processing* e *pattern recognition*, permetterà la generazione di mappe di prescrizione sempre più precise e dettagliate. Queste mappe miglioreranno le possibilità di adeguare gli input agronomici alle reali esigenze delle colture con risoluzione sempre più elevata, ottimizzando l'uso di risorse come acqua, fertilizzanti, antiparassitari.

Le reti di sensori distribuiti, che utilizzano protocolli di comunicazione wireless, effettuano il monitoraggio in tempo reale di parametri microclimatici, quali temperatura, umidità e radiazione solare, e pedologici, come l'umidità del suolo, il pH e la conducibilità elettrica miglioreranno sia per quanto riguarda l'accuratezza e la risoluzione dei dati sia per quanto riguarda la gamma dei dati raccolti, includendo elementi ricavabili da interpretazione di immagini piuttosto che da analisi in tempo reale di parametri fisiologici delle piante. L'integrazione di questi dati in piattaforme cloud consentirà l'elaborazione e la visualizzazione di informazioni georeferenziate supportando decisioni agronomiche basate su dati sempre più affidabili, concreti e aggiornati in tempo reale.

Per quanto riguarda le attività in campo, l'impiego di robot autonomi, che operano in attività di semina, diserbo e raccolta, basata su sistemi di navigazione GPS-RTK e computer vision garantirà maggiore precisione nelle operazioni e, di conseguenza, riduzione dell'impatto ambientale delle attività agricole, garantendo al tempo stesso migliori condizioni di lavoro e maggiore sicurezza per gli operatori. L'automazione dei processi agricoli, resa possibile dall'utilizzo di robot, comporterà anche una sensibile diminuzione dell'impiego di manodopera, ottimizzando le risorse umane nel settore.

Le piattaforme software integrate, che combinano dati provenienti da diverse fonti, forniranno strumenti sempre più accurati di analisi e visualizzazione. Questi strumenti sono essenziali per la gestione ottimizzata delle risorse e la pianificazione delle attività agricole, consentendo agli agricoltori di prendere decisioni sempre informate, accurate e tempestive. Tali piattaforme agevoleranno la creazione di una gamma di strumenti di supporto alle decisioni (DSS) sempre più ampia offrendo un valido supporto al miglioramento delle tecniche di gestione dei processi agricoli al fine di renderli più efficienti e meno impattanti.

L'integrazione nelle piattaforme di dati meteorologici previsionali e modelli climatici sempre più precisi e localizzati rafforzerà la resilienza del settore agricolo agevolando il percorso di adeguamento ai cambiamenti climatici.

A fronte di queste notevoli potenzialità, deve comunque essere considerato che l'adozione diffusa dell'agricoltura di precisione richiederà la risoluzione di problematiche legate ai costi di implementazione, alla necessità di formazione specializzata e alla disponibilità di infrastrutture di connettività affidabili, elementi cruciali per la democratizzazione delle tecnologie.

Lo sviluppo di algoritmi di IA sempre più sofisticati e l'integrazione di tecnologie emergenti, come la blockchain per la tracciabilità, rappresentano le principali direttrici di ricerca per il futuro del settore, con l'obiettivo di migliorare ulteriormente l'efficienza e la trasparenza delle pratiche agricole.

FOCUS: il sistema RTK della Regione del Veneto

Il sistema RTK (Real-Time Kinematic) della Regione del Veneto è un'infrastruttura tecnologica avanzata che fornisce servizi di posizionamento satellitare ad alta precisione. Questo sistema è fondamentale per una vasta gamma di applicazioni che richiedono misurazioni accurate, come l'agricoltura di precisione, per la guida di macchine agricole, la mappatura dei terreni e l'applicazione mirata di input agricoli, e il monitoraggio ambientale, per il controllo dei movimenti del suolo, la gestione delle risorse idriche e il rilevamento di cambiamenti ambientali.

Le caratteristiche principali del sistema RTK della Regione del Veneto sono le seguenti.

- Rete di stazioni permanenti: il sistema si basa su una rete di stazioni GPS/GNSS permanenti distribuite sul territorio regionale. Queste stazioni forniscono correzioni in tempo reale ai ricevitori GPS/GNSS degli utenti, consentendo di ottenere misurazioni con precisione centimetrica.
- Servizi di correzione RTK: la Regione del Veneto offre servizi di correzione RTK attraverso diverse modalità di trasmissione, tra cui internet (NTRIP).
- Tecnologia GNSS: il sistema supporta diverse costellazioni satellitari GNSS (*Global Navigation Satellite System*), come GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou, per garantire una maggiore affidabilità e precisione del posizionamento.

La Regione del Veneto ha un'apposita pagina web riguardante le reti di stazioni GPS, dove vengono forniti dati e documenti di progetto relativi alla rete. Il sistema RTK della Regione del Veneto rappresenta un'infrastruttura tecnologica di fondamentale importanza per numerose attività che richiedono posizionamento ad alta precisione, contribuendo così allo sviluppo e alla gestione del territorio regionale.

D.4.1.1

Smernice za uporabo IKT v kmetijstvu

POVZETEK

Odnosi med kmetijstvom in okoljem	1
Odnosi med kmetijstvom in čebelarstvom	2
Precizno kmetijstvo	2
Izhodišče: zbiranje podatkov	3
1. Senzorji polja in IoT (<i>Internet of Things</i>).....	3
2. Brezpilotni zrakoplovi z multispektralnimi in hiperspektralnimi senzorji.....	3
3. Sateliti in podatki opazovanja Zemlje	4
4. Napredne vremenske postaje	4
Uporaba podatkov	4
Sistemi GPS in GIS za natančno kartiranje	4
Vloga GPS v preciznem kmetijstvu	4
GIS - napredno upravljanje geoprostorskih informacij	5
Prednosti povezave GPS-GIS.....	5
Sistemi samodejne vožnje	5
Porazdelitev virov s spremenljivimi odmerki	6
Uporaba SZPO za izboljšanje strategij zaščite rastlin.....	7
Ali lahko precizno kmetijstvo koristi čebelarstvu?	7
Prihodnost preciznega kmetijstva: usmerjenost k na podatkih temelječem sistemu	8
FOKUS: sistem RTK Dežele Veneto.....	10

Odnosi med kmetijstvom in okoljem

Odnosi med kmetijstvom in okoljem so zapleteni, saj obstaja veliko spremenljivk in dejavnikov, ki lahko privedejo do različnih mnenj in gledišč. Vendar pa se je treba vedno zavedati, da je cilj kmetijstva zadovoljiti primarno potrebo državljanov po varni in zdravi hrani v zadostnih količinah za zadostitev prehranskih potreb prebivalstva.

To potrebo je treba zadovoljiti na čim bolj trajnosten način, da se ohranijo naravni viri in proizvodni potencial obdelovalnih površin in ekosistemov, zato da se to možnost zagotovi tudi prihodnjim rodovom. V ta namen si je treba prizadevati za razvoj proizvodnih modelov in strategij pridelave, ki so čim bolj trajnostni oziroma taki, da zagotavljajo zadostno pridelavo hrane brez dolgoročnega vpliva na naravne vire.

Odnos med kmetijstvom in okoljem je dvosmeren, saj je kmetijstvo na eni strani odvisno od naravnih virov, kot so tla, voda in podnebje, na drugi strani pa pomembno vpliva na naravne vire in ekosisteme. Vzajemnost njunega odnosa je v tem, da ima kmetijstvo tako pozitivne kot negativne učinke na okolje, splošna trajnost kmetijskih sistemov pa je odvisna od razmerja med temi dejavniki.

Med pozitivne vplive kmetijstva na okolje prištevamo:

- varstvo krajine: tradicionalni pridelki ohranjajo biotsko raznovrstnost, varujejo tla pred erozijo in lahko prispevajo k oblikovanju značilnega okolja, kar ima pozitivne učinke na razvoj podeželja;
- sekvestracija ogljika: trajnostne kmetijske prakse, kot so ohranitveno in regenerativno kmetijstvo, kmetijsko gozdarstvo in kolobarjenje, lahko zajemajo CO₂ iz ozračja.

Med negativne vplive kmetijstva na okolje prištevamo:

- onesnaževanje voda: prekomerna uporaba gnojil in pesticidov onesnažuje podtalnico in vodotoke;
- emisije toplogrednih plinov: pri kmetijstvu, zlasti intenzivni živinoreji, se sproščata metan in dušikov oksid, plina z velikim potencialom globalnega segrevanja;
- degradacija tal: intenzivno kmetijstvo siromaši tla, zmanjšuje njihovo rodovitnost in povečuje erozijo;
- krčenje gozdov in izguba biotske raznovrstnosti: širjenje poljedelstva in živinoreje pogosto vodi v uničevanje naravnih habitatov, zlasti na določenih območjih našega planeta.

Da bi ublažile negativne vplive in povečale »trajnost« kmetijstva, lahko sodobne kmetijske tehnike uporabljajo različne strategije, ki jih podpirata znanost in tehnološki napredek ter vključujejo:

- regenerativno kmetijstvo, katerega cilj je aktivno izboljšati zdravje tal, biotsko raznovrstnost in kroženje naravnih virov s spodbujanjem sekvestracije ogljika, večje biotske raznovrstnosti, diverzifikacije pridelkov (kolobarjenje), uporabe živih mej in dreves, uporabe rastlinskih vrst v podporo opraševalcem, koristnim mikroorganizmom in divjim živalim itd.
- ohranitveno kmetijstvo, katerega cilj je izboljšati trajnost pridelovalnih sistemov z zmanjšanjem erozije tal, izboljšanjem rodovitnosti tal in povečanjem učinkovitosti rabe virov s tehnikami minimalne obdelave tal (ali brez obdelave tal), trajne pokritosti tal (tudi s pokrovnimi rastlinami) itd.;
- integrirano pridelavo in ekološko kmetijstvo, katerih cilj je zmanjšati uporabo umetnih kemikalij, zlasti za zaščito pridelkov pred škodljivci in patogeni, z uporabo proizvodov z manjšim vplivom na zdravje ljudi in okolje ter modelov in sistemov za podporo odločanju za racionalizacijo tehnik zaščite pridelkov.

Tem je dodano še precizno kmetijstvo kot skupek praks, ki temeljijo na razvijajočih se tehnologijah, s katerimi je mogoče optimizirati uporabo naravnih virov in različnih proizvodnih dejavnikov, vključno s semeni, gnojili, pesticidi, herbicidi itd., kar je tudi predmet tega dokumenta.

Odnosi med kmetijstvom in čebelarstvom

Kmetijstvo in čebelarstvo sta tesno povezana sektorja, saj je entomofilno oprasovanje, ki ga večinoma opravljajo čebele, odločilen dejavnik produktivnosti in kakovosti številnih kmetijskih pridelkov. Eden najpomembnejših vidikov tega odnosa je izboljšanje produktivnosti in kakovosti pridelkov. Učinkovito oprasovanje zagotavlja boljšo oploditev cvetov, kar pozitivno vpliva na velikost, obliko in kakovost plodov ter poveča pridelavo na hektar. Kulture, kot so jablane, hruške, češnje, citrusi, oljnice (ogrščica, sončnice) in vrtnine, kot so bučke in jagode, imajo od prisotnosti čebel v agroekosistemi številne koristi.

Vendar je intenziviranje kmetijske pridelave povzročilo številne težave na področju čebelarstva. Uporaba fitofarmaceutskih sredstev, zlasti neonikotinoidnih insekticidov in fungicidov, ima nevrotoksične učinke na čebele, saj spreminja njihovo vedenje, sposobnost orientacije in preživetje družine. Tudi širjenje monokultur, ki zmanjšuje rastlinsko pestrost, prispeva k osiromašenju virov nektarja in cvetnega prahu, kar vpliva na prehrano čebel in njihovo odpornosti na patogene in parazite.

Če se želi vzpostaviti pozitivno sinergično povezavo med kmetijstvom in čebelarstvom, je zato treba nujno sprejeti agronomske strategije, ki bodo upoštevale morebitne vplive na oprasovalce, kar lahko vključuje na primer:

- povečanje cvetličnih pasov in živih meja, ki čebelarjem zagotavljajo stalne vire hrane;
- uvedba tehnik integrirane in ekološke pridelave z manjšo uporabo pesticidov, škodljivih za oprasovalce;
- spodbujanje kmetijskih praks z majhnim vplivom na okolje, vključno s kolobarjenjem in drugimi strategijami, ki ohranjajo biotsko raznovrstnost tal in ekosistemov;
- racionalna uporaba fitofarmaceutskih sredstev, omejevanje njihove uporabe v času največje aktivnosti čebel (zjutraj in popoldne) in dajanje prednosti manj strupenim pripravkom.

Če povzamemo, je zaščita čebel in drugih oprasovalcev nujen pogoj za razvoj trajnostnega kmetijstva. Kmetijstvo, ki daje večji poudarek na varstvo biotske raznovrstnosti, ne varuje le čebelarstva, temveč prispeva tudi k izboljšanju prehranske varnosti in odpornosti agroekosistemov na podnebne spremembe.

Precizno kmetijstvo

Precizno kmetijstvo predstavlja razvoj kmetijske prakse, ki temelji na vključevanju naprednih tehnologij za optimizacijo upravljanja pridelave in reje živali. Tradicionalno so bili vložki v kmetijstvu, kot so voda, gnojila in pesticidi, enakomerno porazdeljeni, brez upoštevanja spremenljivosti pedo-klimatskih razmer in potreb različnih kultur na posameznih poljih. Uporaba senzorjev, sistemov GPS, brezpilotnih zrakoplovov in tehnik za analizo podatkov danes omogoča ciljno usmerjeno delovanje, zmanjšanje odpadkov in izboljšanje proizvodne učinkovitosti.

S sistemi za daljinsko zaznavanje in spremljanje v realnem času je mogoče zbirati podrobne podatke o parametrih, kot so vlažnost tal, kemijska sestava tal, prehranjenost rastlin in prisotnost rastlinskih bolezni. Te informacije, obdelane s programsko opremo na podlagi umetne inteligence in analize masovnih podatkov (*big data analytics*), omogočajo izdelavo kart z načrtom obdelave (*prescription maps*) za diferencirano uporabo vložkov, optimizacijo uporabe virov in zmanjšanje vplivov na okolje.

Na področju kmetijske mehanizacije uporaba samohodnih strojev, opremljenih s sistemi za precizno kmetijstvo na podlagi RTK GPS navigacijskega sistema, zagotavlja visoko natančnost pri setvi, namakanju in gnojenju ter zmanjšuje prekrivanja in izgube pridelkov. Hkrati namestitve tehnologij interneta stvari (*Internet of Things*) na obdelovalnih površinah omogoča zbiranje podatkov o ključnih parametrih, kot so vlažnost tal, temperatura, vsebnost hranil, pH, intenzivnost svetlobe in vremenske razmere, ter prepoznavanje zgodnjih znakov stresa pri rastlinah, prisotnosti škodljivcev ali bolezni, spremljanje fenoloških in vegetativnih faz itd.

Uporaba teh tehnologij ne povečuje le hektarskega donosa, temveč prispeva tudi k okoljski trajnosti, saj zmanjšuje uporabo pesticidov, onesnaževanje vode in emisije toplogrednih plinov. Zaradi vse večjega demografskega pritiska in podnebnih sprememb se precizno kmetijstvo kaže kot strateška rešitev za zagotavljanje prehranske varnosti in trajnosti svetovnih kmetijskih sistemov.

Izhodišče: zbiranje podatkov

Na področju preciznega kmetijstva so sistemi za daljinsko zaznavanje in spremljanje v realnem času ključni za zbiranje podatkov o stanju tal, pridelkov in podnebja, kar omogoča optimizacijo posegov na kmetijskih zemljiščih. V nadaljevanju je podan pregled tehnologij, ki jih je mogoče uporabiti za pridobivanje teh podatkov.

1. Senzorji polja in IoT (*Internet of Things*)

Te naprave, nameščene neposredno v tleh ali na rastlinah, v realnem času spremljajo različne agronomske in okoljske parametre:

- senzorji vlažnosti tal (kot sta TDR in FDR) za optimizacijo namakanja;
- senzorji temperature in vlažnosti zraka za preprečevanje vodnega stresa ali napada škodljivcev;
- elektrokemični senzorji za zaznavanje koncentracije hranil in soli v tleh;
- optični in spektrometrični senzorji za analizo prehranjenosti in fitosanitarnega stanja kultur.

Te naprave komunicirajo prek omrežij IoT (npr. LPWAN, LoRa, NB-IoT) in pošiljajo podatke na platforme v oblaku za analizo v realnem času.

2. Brezpilotni zrakoplovi z multispektralnimi in hiperspektralnimi senzorji

Brezpilotni zrakoplovi se pogosto uporabljajo za zajemanje slik visoke ločljivosti na velikih območjih z različnimi vrstami senzorjev:

- RGB (vidno) za vizualno analizo kultur;
- multispektralni (NDVI, NDRE) za oceno fotosinteze in zdravja rastlin;
- hiperspektralni za podrobnejšo analizo z namenom ugotovitve pomanjkanja hranil in bolezni pri rastlinah;
- toplotni za zaznavanje vodnega stresa in temperaturnih sprememb v tleh in kulturah.

Zbrani podatki se obdelujejo s programsko opremo za obdelavo slik in z umetno inteligenco, da se izdelajo karte z načrtom obdelave in optimizira kmetijske vložke.

3. Sateliti in podatki opazovanja Zemlje

Precizno kmetijstvo izkorišča satelitske posnetke iz misij, kot so:

- Copernicus Sentinel-2 (ESA) za multispektralno spremljanje pridelkov;
- Landsat (NASA-USGS) za analizo vegetacije in rabe tal;
- PlanetScope za slike super visoke ločljivosti in pogoste posodobitve.

Ti sateliti zagotavljajo bistvene podatke za spremljanje rasti pridelkov, odkrivanje nepravilnosti in načrtovanje ciljno usmerjenih posegov.

4. Napredne vremenske postaje

Vremenske postaje zagotavljajo bistvene podatke o:

- temperaturi in vlažnosti zraka;
- hitrosti in smeri vetra;
- padavinah in sončnem obsevanju.

Ti podatki so v pomoč pri napovedovanju neugodnih vremenskih razmer in prilagajanju kmetijskih praks za zmanjšanje tveganj.

Uporaba podatkov

Sistemi GPS in GIS za natančno kartiranje

Uvajanje sistemov GPS (Global Positioning System) in GIS (Geografski informacijski sistem) v precizno kmetijstvo je korenito spremenilo upravljanje pridelkov, saj omogoča pridobivanje izjemno natančnih geoprostorskih podatkov za optimizacijo postopkov v kmetijstvu. S temi orodji je mogoče natančno kartirati značilnosti tal, spremljati zdravje pridelkov in ciljno uporabljati kmetijske vložke ter posledično zmanjšati količino odpadkov in izboljšati proizvodno učinkovitost.

Vloga GPS v preciznem kmetijstvu

Sistem GPS zagotavlja izjemno natančne georeferencirane podatke, kar kmetom omogoča lociranje in spremljanje vsakega predela polja z zelo majhnimi pogreški, zlasti če se uporablja v kombinaciji s sistemom RTK (Real-Time Kinematic). Ta tehnologija je ključnega pomena na različnih področjih uporabe:

- samodejna vožnja kmetijskih strojev z zmanjšanjem prekrivanja in izboljšanjem učinkovitosti setve, gnojenja in fitosanitarnih tretiranj;
- kartiranje variabilnosti tal, na podlagi katerega je mogoče opredeliti območja z različnimi kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi za bolj specifično upravljanje v kmetijstvu;
- optimizacija namakanja s prilagajanjem porazdelitve vode glede na dejanske potrebe rastlin;
- spremljanje produktivnosti s povezavo podatkov GPS s senzorji donosa na kombajnih za analizo časovnih trendov na področju pridelkov.

GIS - napredno upravljanje geoprostorskih informacij

Za razliko od sistema GPS, ki zagotavlja podatke o položaju, GIS omogoča zbiranje, obdelavo in vizualizacijo geoprostorskih informacij v obliki tematskih kart. Te karte zagotavljajo natančen prikaz variabilnosti znotraj posamezne parcele, s tem pa omogočajo sprejemanje odločitev v kmetijstvu na podlagi objektivnih podatkov. Najpomembnejša področja uporabe vključujejo:

- analizo rodovitnosti tal, ki vključuje podatke o pH, organski snovi in razpoložljivosti hranil za optimizacijo strategij gnojenja;
- opredelitev območij, ki jim grozita erozija in zbijanje, za načrtovanje posegov na področju ohranitvenega kmetovanja;
- kartiranje donosov za opredelitev najbolj produktivnih območij in tistih, ki potrebujejo izboljšave;
- uporaba tehnologije variabilnih odmerkov (VRT - Variable Rate Technology), ki omogoča prilagajanje razporeditve gnojil, pesticidov in vode v realnem času glede na posebne potrebe pridelkov.

Prednosti povezave GPS-GIS

Kombinirana uporaba GPS in GIS zagotavlja številne prednosti na področju preciznega kmetijstva:

- delovna učinkovitost: postopki pridelave so natančnejši, kar zmanjšuje število napak in izgubo kmetijskih vložkov;
- okoljska trajnost: ciljna uporaba gnojil in pesticidov zmanjšuje onesnaževanje tal in podtalnice;
- večja produktivnost in donos: optimizirano upravljanje virov vodi do večjega donosa in bolj uravnotežene uporabe surovin glede na potencial posameznega zemljišča, kar zmanjšuje količino odpadkov;
- boljša sledljivost: beleženje in analiza agronomskih podatkov omogočata stalno spremljanje trendov pridelka, kar je koristno tudi za pridobitev certifikatov kakovosti.

S kombiniranjem teh tehnologij lahko kmetje uberejo bolj znanstveni in na podatkih temelječi (*data-driven*) pristop, kar zmanjša negotovost pri upravljanju pridelkov ter zagotavlja učinkovitejše, trajnostno in odpornejše kmetovanje.

Sistemi samodejne vožnje

Razvoj preciznega kmetijstva je privedel do razvoja naprednih sistemov za samodejno vožnjo traktorjev, ki temeljijo na tehnologiji RTK in omogočajo centimetrsko natančnost pri upravljanju kmetijske mehanizacije. Ta sistem predstavlja nadgradnjo tradicionalnega sistema GPS, saj zmanjšuje napake pri določanju položaja in optimizira postopke na področju kmetijstva.

Sistem RTK je nadgradnja diferencialnega GPS (DGPS) in temelji na prenosu popravkov v realnem času za izboljšanje natančnosti signala GPS. Sistem deluje na podlagi fiksne bazne postaje, ki sprejema signale iz satelitov in izračunava popravke napak, traktorja, opremljenega s sprejemnikom RTK, ki sprejema popravljene signale iz bazne postaje prek radijskega omrežja ali mobilne povezave (RTK-NTRIP), in programske opreme v vozilu, ki obdeluje geoprostorske podatke in prilagaja vožnjo vozila z natančnostjo do ± 2 cm.

Tehnologija RTK se zaradi visoke natančnosti uporablja pri različnih postopkih pridelave:

- precizna setev: omogoča natančno postavitev semen, kar izboljša gostoto setve in zmanjša prekrivanje ali neuspešno kaljenje na slabo rodovitnih območjih (zmanjšanje izgube semen);
- gnojenje z variabilnimi odmerki: omogoča optimalno porazdelitev gnojil, kar zmanjšuje izgube in vpliv na okolje;

- ciljno usmerjena fitosanitarna tretiranja: izboljša učinkovitost nanosa pripravkov in preprečuje prevelike odmerke ali prekrivanje območij;
- žetev s sistemi za kartiranje pridelka: vožnja RTK zagotavlja natančno traso kombajnov, kar optimizira prehode in zmanjšuje izgube pridelka;
- obdelava tal: zmanjšuje zbijanje, ohranja stalne trase, omogoča lažji sprejem različnih strategij nadzorovanega prometa in optimizira porabo goriva.

Samodejna vožnja traktorjev z RTK je temeljni korak k vse bolj natančnemu, trajnostnemu in tehnološko naprednemu kmetijstvu. Ta tehnologija ne le izboljšuje produktivnost in poslovno učinkovitost, temveč omogoča tudi pametnejše upravljanje virov, kar pripomore k zmanjšanju vpliva na okolje in optimizaciji proizvodnih stroškov.

Porazdelitev virov s spremenljivimi odmerki

Tehnologija variabilnih odmerkov (VRT - *Variable Rate Technology*) je ena najnaprednejših inovacij na področju preciznega kmetijstva, ki omogoča optimalno upravljanje kmetijskih vložkov (semena, gnojila, pesticidi ali voda) na podlagi spremenljivosti tal in pridelkov na posamezni parceli. Ta pristop omogoča uporabo različnih odmerkov vložkov na različnih točkah polja, kar izboljša proizvodno učinkovitost, zmanjša stroške in omeji vplive na okolje.

Tehnologije VRT je mogoče razvrstiti v dve glavni kategoriji, odvisno od načina uporabe variabilnosti.

Tehnologija variabilnih odmerkov, temelječa na vnaprej določenih kartah (Map-Based VRT), temelji na obdelavi georeferenciranih tematskih kart, pridobljenih s podatki, zbranimi z oddaljenimi senzorji, brezpilotnimi zrakoplovi, satelitskimi posnetki ali analizo tal in pridelkov. Podatke obdeluje programska oprema GIS in na podlagi rezultatov izdela karte z načrtom obdelave, ki vodijo kmetijsko mehanizacijo pri diferencirani porazdelitvi vložkov. Najpomembnejša področja uporabe tovrstne tehnologije vključujejo:

- gnojenje z variabilnimi odmerki; na kartah rodovitnosti tal so označena območja z različnimi prehranskimi potrebami, kar omogoča optimalno oskrbo s hranili;
- setev z variabilno gostoto. Količino semen prilagodi značilnostim tal, tako da poveča gostoto na najbolj rodovitnih območjih in jo zmanjša na manj rodovitnih;
- namakanje s spremenljivimi odmerki (VRI - *Variable Rate Irrigation*); oskrbo z vodo prilagaja glede na vlažnost tal in na fiziološke potrebe kulture;
- nanašanje fitofarmacevtskih sredstev; porazdelitev herbicidov in fungicidov glede na prisotnost škodljivcev ali bolezni.

Pri tehnologiji s spremenljivimi odmerki v realnem času (Sensor-Based VRT) se uporabljajo senzorji, nameščeni neposredno na kmetijski mehanizaciji, ki v realnem času analizirajo tla in pridelke ter samodejno prilagajajo količino vložkov. Izdelava vnaprej pripravljenih kart ni potrebna, saj se uporaba dinamično spreminja glede na podatke, zbrane na terenu. V kombinaciji s to tehnologijo se najpogosteje uporabljajo optični in večspektralni senzorji, ki merijo vegetacijski indeks (NDVI) in druge fiziološke parametre rastlin za oceno vegetacijskega stanja kultur in prilagoditev gnojenja, namakanja ali zaščitnih posegov, senzorji električne prevodnosti, ki analizirajo strukturo tal in vsebnost vode za prilagoditev razporeditve gnojil in namakanja, ter senzorji odboja in fluorescence, ki ugotavljajo pomanjkanje hranil ali vodni stres in na podlagi odziva rastlin prilagodijo količino vložkov.

Uvedba tehnik variabilnih odmerkov je ključni korak k pametnejšemu, bolj trajnostnemu in produktivnemu kmetovanju. Uporaba naprednih senzorjev, brezpilotnih zrakoplovov, satelitskih

posnetkov in programske opreme za analizo kmetom omogoča sprejemanje odločitev na podlagi objektivnih podatkov, kar povečuje ekonomsko učinkovitost in zmanjšuje vpliv kmetijske proizvodnje na okolje.

Uporaba SZPO za izboljšanje strategij zaščite rastlin

Sistemi za podporo pri odločanju (SZPO) na novo opredeljujejo metodologije zaščite kmetijskih pridelkov, saj za optimizacijo strategij zaščite rastlin uporabljajo pristop, ki temelji na podatkih. S povezovanjem podatkov iz daljinskih senzorjev in senzorjev na kraju samem SZPO omogočajo neprekinjeno in podrobno spremljanje agrometeoroloških razmer, kar zagotavlja ključne informacije za zgodnje odkrivanje biotskih in abiotičnih stresov. Analiza parametrov, kot so temperatura, vlažnost, sončno obsevanje in podatki o tleh, omogoča prepoznavanje zgodnjih znakov stresa pridelka, prisotnosti škodljivcev ali ugodnih pogojev za razvoj bolezni.

Uporaba napovednih modelov, ki temeljijo na algoritmični umetni inteligenci, omogoča predvidevanje širjenja bolezni in škodljivcev ter optimizacijo časa in uporabe pripravkov za tretiranje. Ocena tveganja z izdelavo georeferenciranih kart tveganja omogoča osredotočenje virov na najbolj ranljiva območja, s čimer se zmanjša vpliv fitosanitarnih tretiranj na okolje. SZPO zagotavljajo prilagojena priporočila na podlagi analize podatkov in napovednih modelov, spodbujajo integrirano upravljanje kultur in optimizirajo uporabo fitofarmaceutskih sredstev.

Variabilno tretiranje na podlagi kart tveganja omogoča tretiranje samo okuženih območij, kar zmanjšuje uporabo kemikalij in znižuje proizvodne stroške. Optimizacija virov in preprečevanje škode prispevata k bolj trajnostni in dobičkonosni kmetijski proizvodnji, ki zagotavlja večji pridelek in boljšo kakovost proizvodov. SZPO so zato ključno orodje za precizno kmetijstvo, ki spodbuja učinkovitejšo, trajnostno in donosno kmetijsko proizvodnjo.

Ali lahko precizno kmetijstvo koristi čebelarstvu?

Precizno kmetijstvo lahko s številnimi mehanizmi pomembno in pozitivno vpliva na čebelarstvo.

Izboljšanje čebeljega habitata

- Ciljna uporaba pesticidov: precizno kmetijstvo omogoča uporabo pesticidov le tam, kjer je to potrebno, in takrat, ko je to potrebno, kar zmanjšuje izpostavljenost čebel škodljivim kemikalijam.
- Spodbujanje biotske raznovrstnosti: precizno kmetijstvo lahko spodbuja ustvarjanje raznolikih habitatov s prisotnostjo različnih vrst rastlin, ki izločajo nektar in dajejo cvetni prah. Takšni habitati zagotavljajo čebelarjem stalen in raznolik vir hrane, kar izboljša njihovo zdravje in produktivnost.
- Kartiranje cvetličnih virov: uporaba brezpilotnih zrakoplovov in senzorjev lahko pomaga pri kartiranju porazdelitve rastlin, ki izločajo nektar in dajejo cvetni prah, kar čebelarjem omogoča optimalno postavitev panjev.

Spremljanje in nadzor čebel

- Senzorji v panjih: namestitev senzorjev v panje omogoča spremljanje parametrov, kot so temperatura, vlažnost, teža in aktivnost čebel, kar zagotavlja dragocene informacije o zdravju čebel in proizvodnji medu.

- Napoved proizvodnje medu: analiza okoljskih podatkov in informacij, zbranih v panjih, lahko pomaga pri napovedovanju proizvodnje medu, kar čebelarjem omogoča načrtovanje nabiranja in prodaje.
- Zgodnje odkrivanje bolezni: s stalnim spremljanjem čebel lahko zgodaj odkrijemo znake bolezni ali okužbe, kar omogoča hitro ukrepanje za zaščito čebeljih družin.

Sodelovanje med kmeti in čebelarji

- Komunikacija in izmenjava informacij: precizno kmetijstvo lahko olajša komunikacijo in izmenjavo informacij med kmeti in čebelarji. To lahko izboljša usklajevanje kmetijskih in čebelarskih dejavnosti, od česar imata koristi oba sektorja.
- Ustvarjanje ekoloških koridorjev: sodelovanje med kmeti in čebelarji lahko vodi k ustvarjanju ekoloških koridorjev, zelenih površin, bogatih z rastlinami, ki izločajo nektar in dajejo cvetni prah, takšne površine pa povezujejo različna kmetijska območja. To spodbuja premike čebel in biotsko raznovrstnost.

Prihodnost preciznega kmetijstva: usmerjenost k na podatkih temelječem sistemu

Precizno kmetijstvo postaja hitro razvijajoči se sektor, za katerega je značilno vključevanje naprednih tehnologij za optimizacijo proizvodnih procesov. Uporaba sistemov umetne inteligence (AI) in strojnega učenja (ML) omogoča analizo zapletenih podatkovnih nizov, pridobljenih s senzorji na daljavo in na kraju samem, za izdelavo napovednih modelov.

Pridobivanje večspektralnih in hiperspektralnih posnetkov s pomočjo brezpilotnih zrakoplovov in satelitov bo zagotavljalo podatkovne baze z vedno večjo ločljivostjo, tako glede prostora kot glede frekvence zaznavanja. Ti podatki, ki so bistveni za oceno zdravja kultur, ugotavljanje vodnega stresa in kartiranje prostorske variabilnosti agronomskih parametrov, bodo omogočili vse bolj podrobno in natančno analizo kmetijskih površin.

Analiza teh podatkov z uporabo naprednih algoritmov za obdelavo slik in prepoznavanje vzorcev bo omogočila izdelavo vse natančnejših in podrobnejših kart z načrtom obdelave. Te karte bodo izboljšale možnosti prilagajanja kmetijskih vložkov dejanskim potrebam kultur z vedno večjo ločljivostjo, kar bo optimiziralo uporabo virov, kot so voda, gnojila in pesticidi.

Razpršena senzorska omrežja, ki z uporabo brezžičnih komunikacijskih protokolov v realnem času spremljajo mikroklimatske parametre, kot so temperatura, vlažnost in sončno obsevanje, ter parametre tal, kot so vlažnost tal, pH in električna prevodnost, bodo izboljšala natančnost in ločljivost podatkov ter obseg zbranih podatkov, vključno z elementi, pridobljenimi z interpretacijo slik, namesto z analizo fizioloških parametrov rastlin v realnem času. Vključitev teh podatkov v platforme v oblaku bo omogočila obdelavo in vizualizacijo georeferenciranih informacij ter podpirala agronomske odločitve na podlagi vse bolj zanesljivih, konkretnih in v realnem času posodobljenih podatkov.

Kar zadeva dejavnosti na poljih, bo uporaba avtonomnih robotov za setev, pletje in spravilo, ki temeljijo na navigacijskih sistemih GPS-RTK in računalniškem vidu, zagotovila večjo natančnost pri delu in posledično manjši vpliv kmetijskih dejavnosti na okolje, hkrati pa tudi boljše delovne pogoje in večjo varnost za upravljavce. Avtomatizacija kmetijskih postopkov s pomočjo robotov bo tudi znatno zmanjšala potrebo po delovni sili, kar bo optimiziralo človeške vire v tem sektorju.

Integrirane programske platforme, ki združujejo podatke iz različnih virov, bodo zagotavljale vse natančnejša orodja za analizo in vizualizacijo. Ta orodja so bistvena za optimalno upravljanje virov in načrtovanje kmetijskih dejavnosti, saj kmetom omogočajo sprejemanje informiranih, natančnih in pravočasnih odločitev. Te platforme bodo omogočile lažjo izdelavo vedno večjega števila orodij za podporo odločanju (SZPO), ki nudijo dragoceno podporo pri izboljšanju tehnik upravljanja kmetijskih procesov, da bi bili ti učinkovitejši in manj obremenjujoči.

Vključevanje vse natančnejših in vse bolj lokaliziranih podatkov o napovedi vremena in podnebnih modelov v platforme bo okrepilo odpornost kmetijskega sektorja, saj bo omogočilo lažje prilagajanje podnebnim spremembam.

Vendar je treba spričo tega velikega potenciala upoštevati tudi, da bo za široko uporabo preciznega kmetijstva treba rešiti vprašanja, povezana s stroški izvedbe, potrebo po specializiranem usposabljanju in razpoložljivostjo zanesljive povezljivosti infrastrukture, ki so ključni elementi za demokratizacijo tehnologij.

Razvoj vse bolj izpopolnjenih algoritmov umetne inteligence in vključevanje novih tehnologij, kot je veriženje blokov za zagotavljanje sledljivosti, sta glavni raziskovalni usmeritvi za prihodnost sektorja, z namenom dodatnega izboljšanja učinkovitosti in preglednosti kmetijskih praks.

FOKUS: sistem RTK Dežele Veneto

Sistem RTK (Real-Time Kinematic) Dežele Veneto je napredna tehnološka infrastruktura, ki zagotavlja visoko natančno satelitsko določanje položaja. Ta sistem je ključnega pomena za številna področja uporabe, ki zahtevajo natančne meritve, kot je precizno kmetijstvo, za vožnjo kmetijske mehanizacije, kartiranje zemljišč in ciljno uporabo kmetijskih vložkov ter spremljanje okolja za nadzor gibanja tal, upravljanje vodnih virov in zaznavanje okoljskih sprememb.

Glavne značilnosti sistema RTK Dežele Veneto so naslednje.

- Mreža stalnih postaj: sistem temelji na mreži stalnih postaj GPS/GNSS, ki so razporejene po vsej deželi. Te postaje zagotavljajo popravke uporabnikovih sprejemnikov GPS/GNSS v realnem času in omogočajo meritve s centimetrovsko natančnostjo.
- Popravki RTK: Dežela Veneto ponuja popravke RTK z različnimi načini prenosa, vključno z internetom (NTRIP).
- Tehnologija GNSS: sistem podpira več konstelacij satelitov GNSS (*Global Navigation Satellite System*), kot so GPS, GLONASS, Galileo in BeiDou, kar zagotavlja večjo zanesljivost in natančnost določanja položaja.

Dežela Veneto ima posebno spletno stran o omrežjih postaj GPS, na kateri so na voljo podatki in projektna dokumentacija v zvezi z omrežjem. Sistem RTK Dežele Veneto je tehnološka infrastruktura, ki je ključnega pomena za številne dejavnosti, ki zahtevajo zelo natančno določanje položaja, kar prispeva k razvoju in upravljanju deželne ozemlja.