

Progetto: Agricoltura di precisione: una risorsa ed una possibilità per le aziende della Puglia
Acronimo AgriPuglia

Modulo 0 Parte Generale Agricoltura di Precisione (Adp)

Incontro 'Individuazione e scelta delle tecnologie di ADP'



Relatore: Prof. Simone Pascuzzi



Progetto realizzato con finanziamento della
Regione Puglia – Legge regionale n. 55/2018
"Avviso pubblico per la presentazione di Progetti
pilota per la promozione e lo sviluppo
dell'Agricoltura di Precisione



CHÈUVA

DI COSA PARLEREMO?

1. AGRICOLTURA DI PRECISIONE

2. TELERILEVAMENTO

3. SISTEMI DI POSIZIONAMENTO GLOBALE

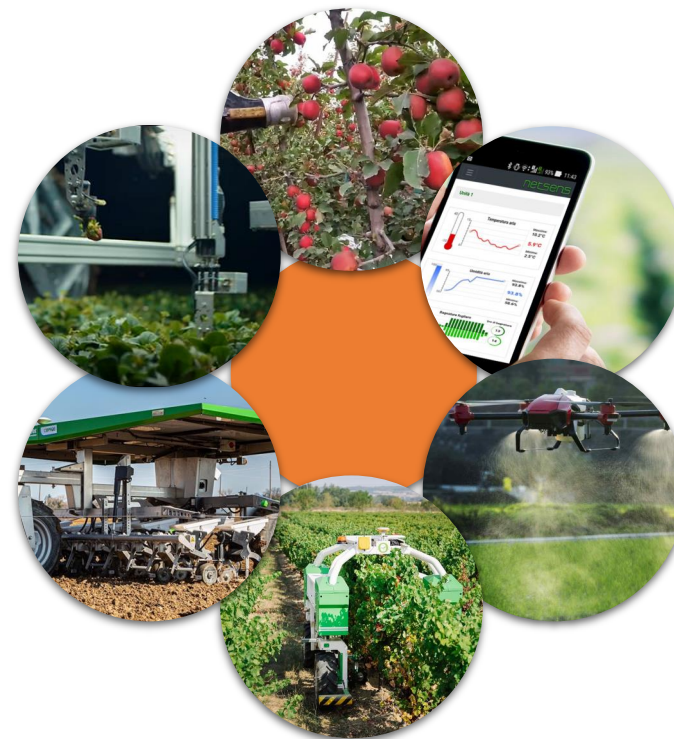
4. PIATTAFORME A CONTROLLO REMOTO E ROBOTICHE PER IL
MONITORAGGIO E LA GESTIONE DELLE COLTURE

5. TECNOLOGIA A RATEO VARIABILE

1. AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Esigenze per l'agricoltura nel terzo millennio

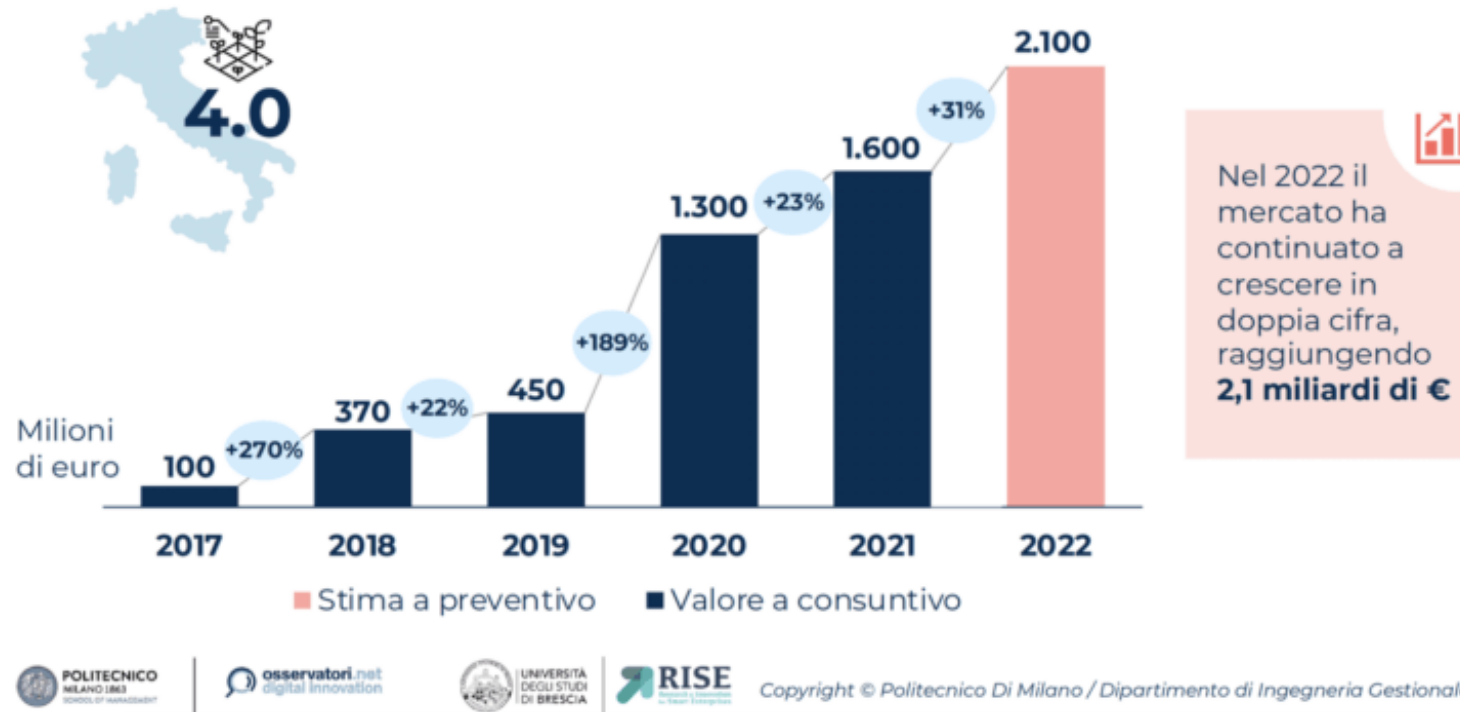
- Migliorare il **management aziendale**.
- Approcci produttivi **SOSTENIBILI PER L'AMBIENTE**.
- Incrementare **condizioni di sicurezza** negli ambienti di lavoro e gli operatori agricoli
- Estendere l'**AUTOMAZIONE** ai **PROCESSI DI CAMPO**
- Introdurre forme di **certificazione di prodotto e di processo** (**TRACCIABILITA'**)
- Nuove strategie per la **sicurezza e autonomia alimentare** (**SOVRANITA' ALIMENTARE**)



Agricoltura di Precisione

«**L'agricoltura di precisione è una strategia di gestione dell'attività agricola** con la quale i dati vengono raccolti, elaborati, analizzati e combinati con altre informazioni per orientare le decisioni in funzione della variabilità spaziale e temporale al fine di migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse, la produttività, la qualità, la redditività e la sostenibilità della produzione agricola.»





Il mercato dell'Agricoltura 4.0

- *Dati dell'Osservatorio Smart Agrifood della School of Management del Politecnico di Milano e del Laboratorio RISE (Research & Innovation for Smart Enterprises) dell'Università degli Studi di Brescia.*

L'agricoltura 4.0

Con Agricoltura 4.0 si intende:

Il complesso delle attività che si realizzano con la raccolta automatica, l'integrazione e l'analisi di dati, provenienti dal campo o da sensori o da altre fonti, che consente di supportare l'agricoltore nei processi decisionali relativi alla propria attività e nel rapporto con gli altri soggetti della filiera.

- **Finalità:** la crescita del profitto e della sostenibilità economica, ambientale e sociale dell'agricoltura



L'Agricoltura 4.0 è una evoluzione dell'agricoltura di precisione (Precision farming) o smart farming, termine ufficializzato nel 1992 in un workshop a Minneapolis (USA) per identificare le strategie implementate, a partire dagli anni 70, dalle aziende agricole che, nel processo di produzione avevano iniziato ad utilizzare tecnologie evolute.

Alcune definizioni

- **Agricoltura di precisione:** Approccio alla gestione del processo produttivo agricolo che consente di “fare la cosa giusta, al momento giusto, al punto giusto”.
- *Questa definizione riassume i principi e gli obiettivi dell'Agricoltura di Precisione: tener conto della variabilità nel tempo e nello spazio dei fattori che influiscono sul processo produttivo agricolo, per migliorare l'efficienza degli input nella gestione dinamica del processo.*

Migliorare l'efficienza significa utilizzare meno risorse per ottenere lo stesso risultato, od ottenere un risultato migliore a parità di utilizzo di input (es. acqua, fertilizzanti, prodotti fitosanitari, ecc..).



Stretto legame tra l'Agricoltura di Precisione e la sostenibilità, mirata a ridurre l'impatto ambientale dell'agricoltura



L'Agricoltura di Precisione si pone come obiettivo:

- ✓ La **comprensione** della variabilità spaziale e temporale
- ✓ La **modulazione** degli interventi, in funzione della variabilità, per ottimizzare i risultati del processo produttivo in termini economici e/o ambientali.

Per realizzare questo obiettivo, l'AdP utilizza le risorse tecnologiche disponibili per:

- ✓ Monitorare **la variabilità**
- ✓ Gestire questa variabilità, cosiddetta **gestione sito-specifica**.

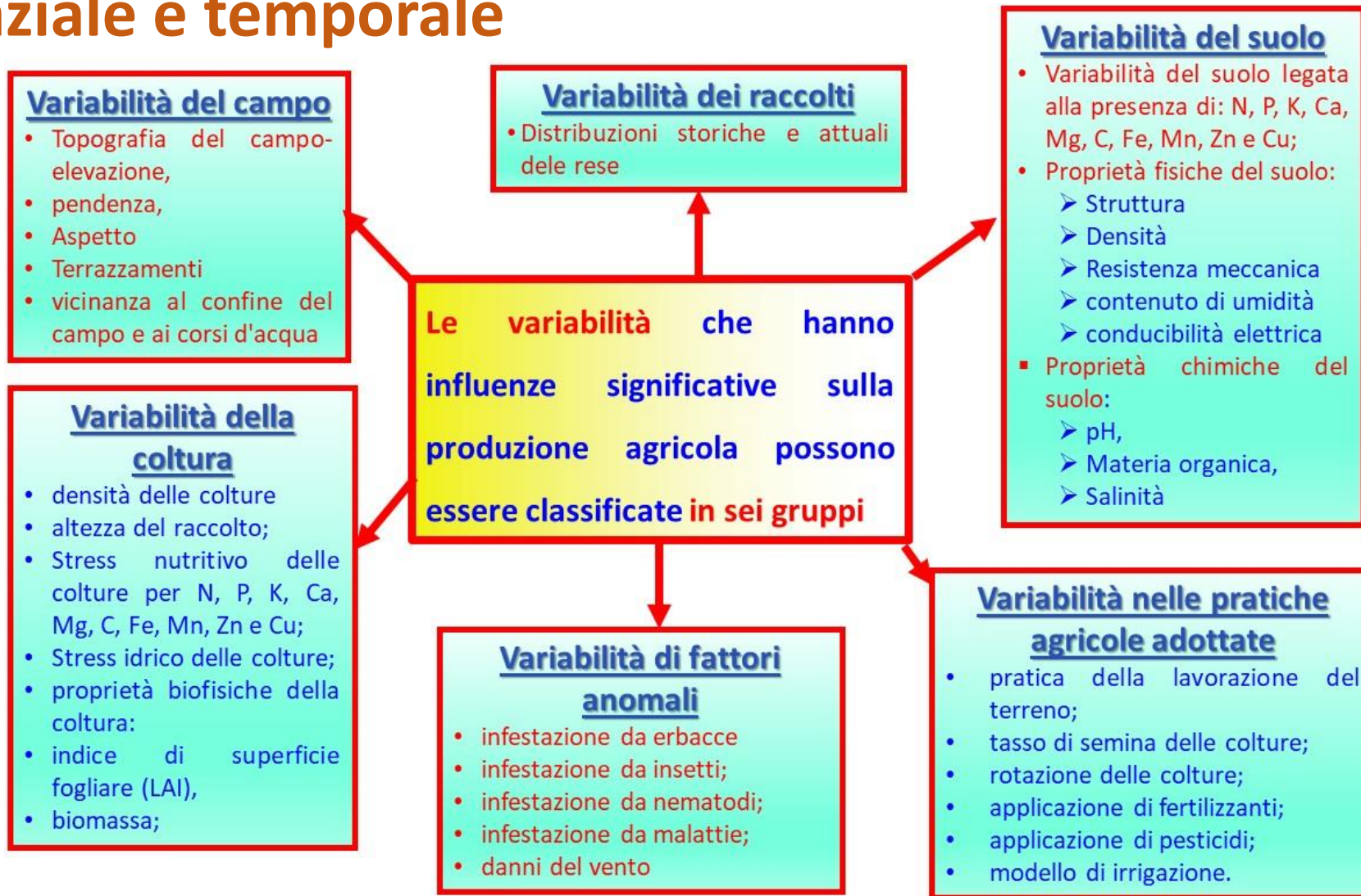
ATTENZIONE: l'uso della tecnologia, in particolare sensoristica, elettronica e mecatronica non è necessariamente sinonimo di Agricoltura di Precisione, anche se spesso l'Agricoltura di Precisione non può prescindere dall'uso di queste tecnologie.

Ad esempio, l'utilizzo di strumenti di gestione del bilancio idrico del suolo, software e sensori di umidità o di potenziale idrico, non sono tipicamente applicazioni di Agricoltura di Precisione, se la gestione non è realmente sito-specifica, ovvero non tiene conto della variabilità spaziale del suolo.

QUINDI..

- **L'Agricoltura di Precisione** è l'applicazione di tecnologie per gestire la variabilità spaziale e temporale associata a tutti gli aspetti della produzione agraria, con lo scopo di migliorarne l'efficienza e diminuirne l'impatto ambientale.

Variabilità spaziale e temporale



IL CONCETTO DI VARIABILITÀ

La **variabilità** è la risultante della reciproca interazione tra una componente spaziale, una componente temporale e il tipo di coltivazione, poiché le colture rispondono in maniera differente a livello produttivo, all'interno di uno stesso appezzamento.

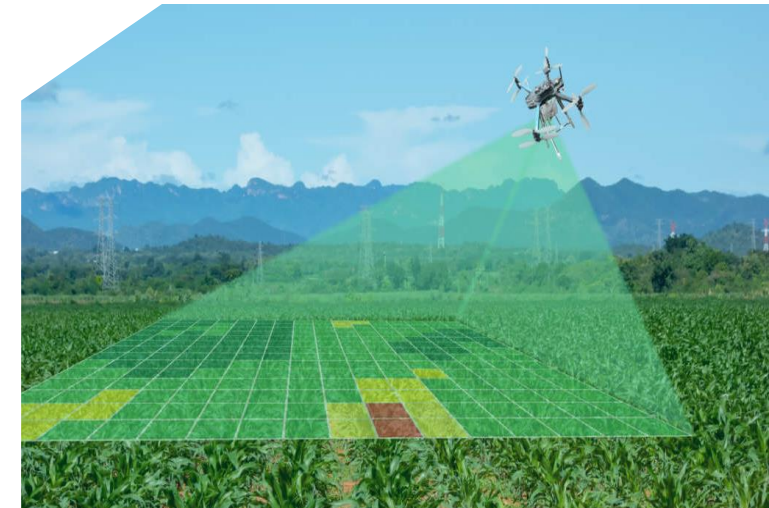


La **variabilità spaziale** è l'attitudine della produttività a manifestarsi con livelli differenti all'interno dell'appezzamento, discostandosi dai livelli produttivi medi. **Essa è l'insieme delle variabili intrinseche di ogni appezzamento** e quindi è importante considerarle: la tessitura, la profondità degli orizzonti o la **composizione chimica**.

Oltre alla *variabilità spaziale delle condizioni di campo*, può essere considerata anche la *variabilità spaziale delle principali caratteristiche di una coltura*, come produzione, qualità del prodotto, sviluppo e accrescimento della pianta.

Solitamente, la variabilità spaziale di un appezzamento presenta una relazione diretta con la variabilità spaziale della coltura in esso presente.

Quindi lo **studio della variabilità** è importante per considerare e identificare fattori che possono determinare una diversa produttività, andando a pianificare interventi che modifichino o riducano gli effetti di quest'ultimi.

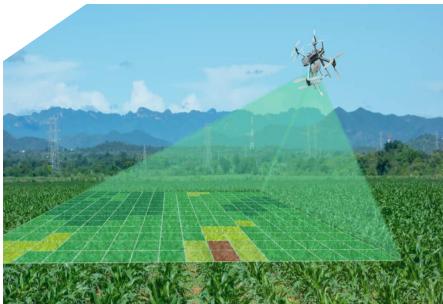


La **variabilità temporale** è l'attitudine della produttività ad **assumere diversi livelli produttivi nel corso del tempo**, in corrispondenza del medesimo punto all'interno dell'appezzamento, pur manifestando per tale zona una produttività maggiore o minore rispetto a quelle adiacenti.

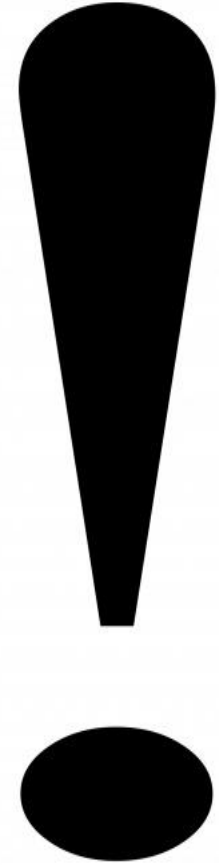
- Vi sono caratteristiche che possono presentare forti variazioni sia su **scala annuale** (contenuto di N), sia **stagionale** o sia addirittura **giornaliera** (contenuto idrico disponibile del suolo).
- La determinazione della **variabilità temporale** consiste nel calcolo, per ciascun punto, della differenza tra la resa della singola annata e la produzione media negli anni.
- Ripetendo ogni anno questa operazione, si ottiene un'indicazione sulla tendenza, con la quale, la resa di ciascun punto varia **nel corso degli anni**.

La variabilità temporale si può riscontrare in due modalità:

- ✓ **esaminando la variabilità di un determinato punto nel corso della stessa annata;**
- ✓ **osservando la variabilità in annate differenti: varianza temporale.**



La componente spaziale, la componente temporale e la componente colturale hanno la stessa importanza ai fini della gestione di tecniche Rateo-Variabili.



ZONE OMOGENEE

Le **zone omogenee** sono sub-regioni dell'appezzamento caratterizzate da una combinazione omogenea di fattori che possono essere controllati con un unico insieme di input agronomici.

L'individuazione di queste **zone omogenee** permette all'operatore di riconoscere le aree in cui focalizzare l'attenzione, andando così, a costruire delle mappe di prescrizione, le quali, consentono l'applicazione spazialmente variabile (VRA) di input agronomici.



Gestione della variabilità

È una delle fasi principali per poter applicare le tecniche di agricoltura di precisione.

La raccolta dei dati è la fase fondamentale per poter esaminare in modo accurato la variabilità, essa permette di definire i fattori sui quali ragionare per stabilire le scelte e le strategie da adottare.

Le varie modalità di acquisizione dei dati si possono assumere in:

- **Riferimenti spaziali (GPS);**
- **Sistemi Informativi Geografici (GIS);**
- **Campionamento;**
- **Sensori e Mappature di produzione;**
- **Telerilevamento.**

2. IL TELERILEVAMENTO

II TELERILEVAMENTO

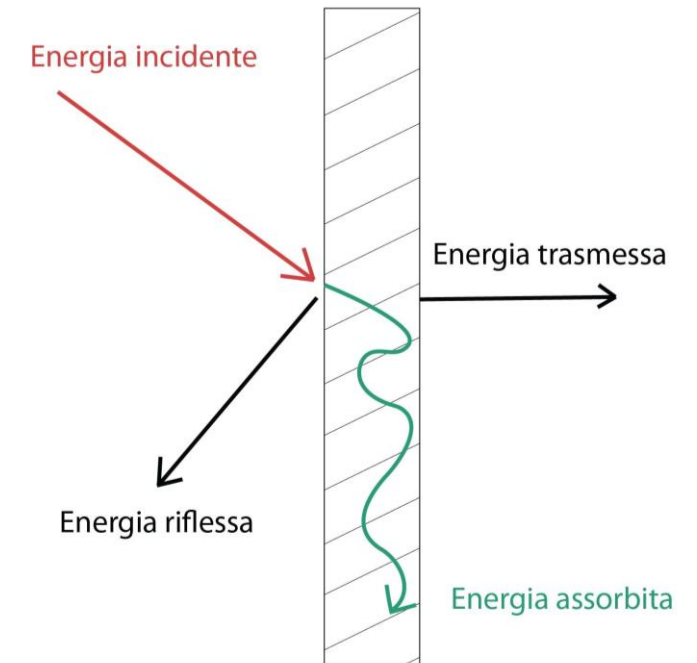


- Il telerilevamento è una tecnica di misura che consente di **quantificare la variabilità e valutare lo stato di una coltura.**
- **Il telerilevamento è l'insieme delle metodologie finalizzate alla determinazione del valore di una variabile senza necessariamente entrare in contatto fisico con essa.**
- Questo avviene grazie a sensori che registrano le informazioni trasportate dall'energia elettromagnetica (emessa, riflessa o diffusa) dei corpi osservati, riuscendo a rendere “visibili” radiazioni che l'occhio umano non sarebbe altrimenti in grado di percepire.

TELERILEVAMENTO: definizione e principi

Il telerilevamento consente di acquisire informazioni qualitative o quantitative sulle caratteristiche di qualunque corpo che emetta, assorba o rifletta onde elettromagnetiche in intervalli specifici dello spettro.

Qualsiasi oggetto che abbia una temperatura superiore allo 0 assoluto (0°K , -273.15°C) ha una sua emissione elettromagnetica caratteristica, che varia di intensità in funzione dell'energia posseduta dal corpo.



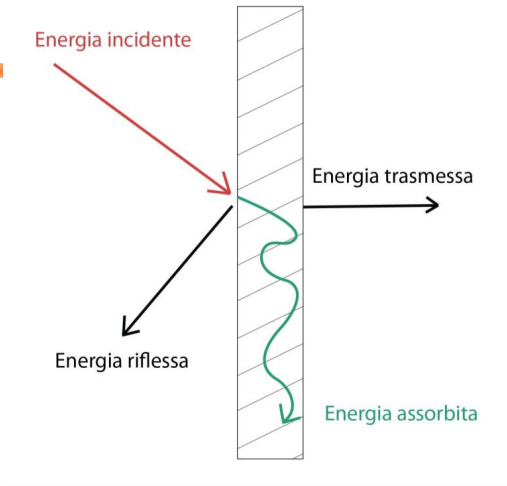
TELERILEVAMENTO: definizione e principi

Quando un corpo è investito da una fonte di energia esterna (nel caso specifico di energia radiante) tutta la radiazione incidente subirà delle modificazioni, che dipendono dalla composizione e dallo stato fisico del corpo e del mezzo nella quale esso è immerso.

Un'aliquota dell'energia incidente viene assorbita, e di questa

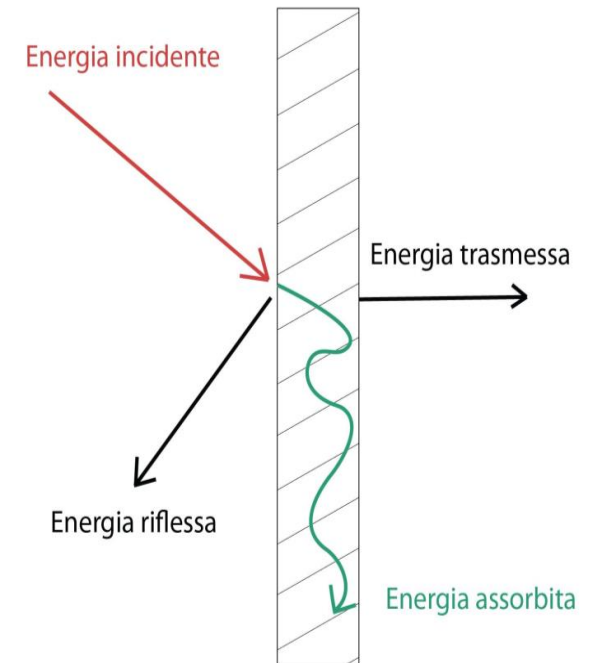
- una parte viene trattenuta dal corpo, interagisce con la sua struttura e viene riemessa a una diversa lunghezza d'onda, generalmente maggiore
- una parte, in funzione delle caratteristiche di opacità del corpo può essere rifratta;

un'aliquota, infine, colpita la superficie del corpo non interagisce con esso, e viene riflessa.

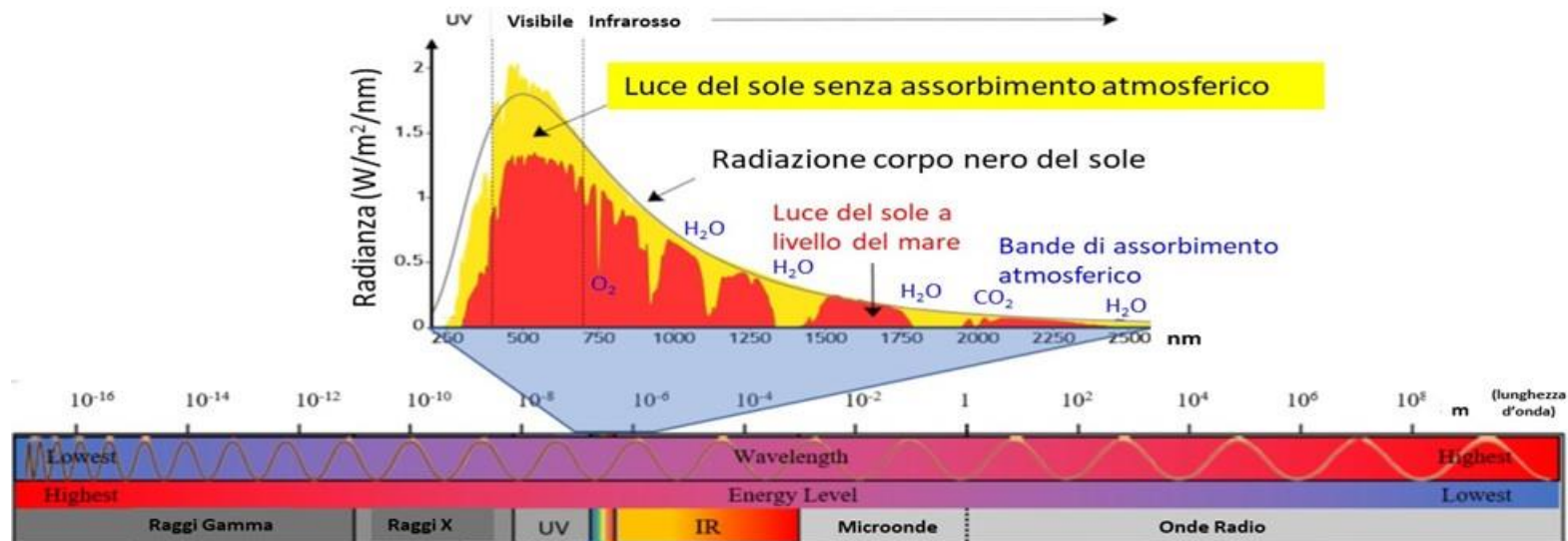


TELERILEVAMENTO: definizione e principi

- La composizione della radiazione riflessa è la caratteristica che ci permette di cogliere i colori visibili.
- È noto che la vista dell'occhio umano è legata alla capacità di ricevere ed interpretare la radiazione luminosa visibile riflessa dagli oggetti.
- Il telerilevamento sostituisce all'occhio umano appositi sensori che consentano di cogliere non soltanto le bande visibili, ma di cogliere informazioni utili anche da porzioni dello spettro verso le quali il corpo umano non è sensibile.

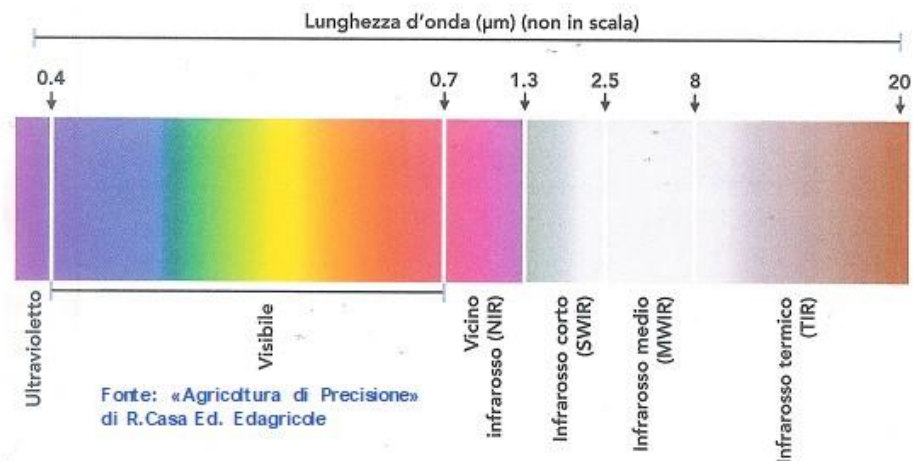


SPETTRO ELETTROMAGNETICO



- Non ci sono confini netti che dividono le regioni elettromagnetiche; i confini variano in funzione dell'applicazione.
- Il grafico dell'irradianza che copre 250-2500 nm dello spettro, la regione più comunemente usata per il telerilevamento agricolo, rappresenta la radiazione del corpo nero del sole, le radiazioni disponibili in spazio esterno e le radiazioni a livello del mare.

SPETTRO ELETTROMAGNETICO



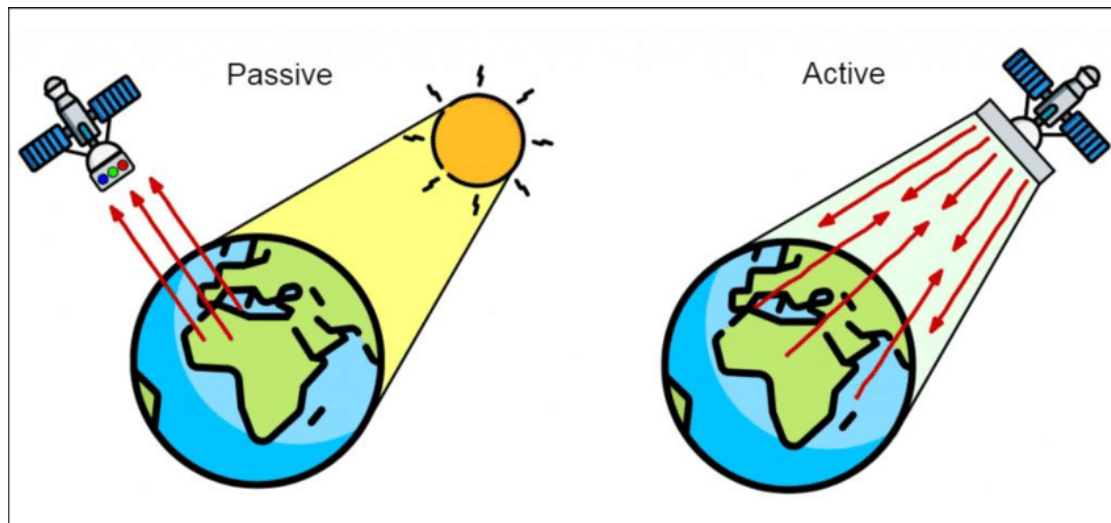
La **banda dell'infrarosso (IR)** è oltre 0,7 µm, ed è suddiviso in:

- **vicino infrarosso o NIR (Near Infra Red, 0,7-1,3 µm),**
- **infrarosso corto o SWIR (Short Wave Infra Red, 1,3-2,5 µm),**
- **infrarosso medio o MWIR (Middle Wave Infra Red, 3-8 µm)**
- **infrarosso termico o TIR (Thermal Infra Red, 7-20 µm).**

Le diverse bande nel dominio ottico ed infrarosso della radiazione elettromagnetica

- Il **dominio ottico** comprende quella parte dello spettro che include la luce percepita dai nostri occhi ed utilizzata dalle piante per la fotosintesi.
- Tale porzione dello spettro, con lunghezze d'onda comprese tra 0,4 e 0,7 mm, viene detta visibile (**VIS**) od anche radiazione foto sinteticamente attiva (**Photosynthetically Active Radiation PAR**).

TELERILEVAMENTO: definizione e principi



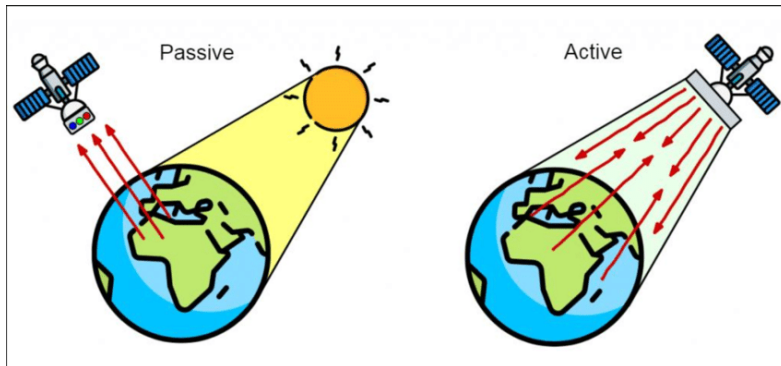
Si definiscono due tipologie di telerilevamento:

- A. **Remote Sensing**, nel quale l'acquisizione del dato spettrale è effettuata a grande distanza dalla superficie della coltura;
- B. **Proximal Sensing**, nel quale, nonostante il sensore non entri in contatto fisico con la pianta, è necessario entrare in campo per effettuare la misura.

Esistono:

- sistemi di misura dello spettro di tipo passivo, in cui la misura avviene per differenza tra le lunghezze d'onda incidenti provenienti dal Sole e lo spettro riflesso o emesso dalla coltura,
- sistemi di tipo attivo che emettono una propria sorgente di radiazione e misurano la frazione che non viene assorbita.

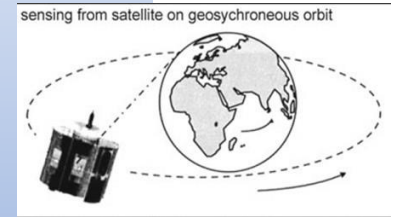
TELERILEVAMENTO: definizione e principi



- Il rilevamento elettromagnetico delle proprietà del suolo o delle colture può essere ottenuto con **sensori passivi o attivi**.
- I sensori passivi si basano su onde elettromagnetiche naturali fornite dall'energia solare o dalla radiazione emessa dalla terra.
- **Il rilevamento passivo della luce visibile è limitato alle ore diurne.**
- I sensori attivi hanno sorgenti di radiazioni artificiali proprie.
- I sensori attivi possono quindi funzionare anche nelle ore notturne, anche se è necessaria una sorgente di radiazione visibile per il processo di rilevamento.

Rilevamento da satelliti con orbita geosincronica

- I satelliti operano a differenti distanze dalla superficie terrestre, a seconda che si muovano su un'orbita geosincronica o su un'orbita polare.
- In un percorso geosincronico, i satelliti sono sempre nella stessa posizione rispetto alla terra in rotazione.
- Poiché questi satelliti orbitano alla stessa velocità angolare e nella stessa direzione della Terra, appaiono stazionari rispetto al globo.
- Quindi, spesso, la denotazione è “satellite geostazionario”.
- Orbitano su un piano equatoriale a un'altitudine di circa 36.000 km e forniscono quindi una visione ampia e costante dell'intero emisfero in un'unica immagine.
- Questi tipi di satellite vengono utilizzati per le previsioni meteorologiche e le teletrasmissioni.



Rilevamento da satelliti con orbita polare

- Di particolare utilità per l'agricoltura di precisione sono i satelliti che si muovono su un'**orbita polare** o quelli per il sistema di posizionamento globale (GPS).
- I satelliti su un'orbita polare circondano la terra da un polo all'altro.
- **Non ruotano con la terra, come fanno i satelliti su orbite geosincrone.**
- Invece **molti di questi satelliti operano su un percorso sincrono del sole**, il che significa che passano sopra il globo essenzialmente alla stessa ora solare durante tutto l'anno mentre la terra ruota al di sotto di essi.
- Quindi, in teoria, è possibile ottenere istantanee per luoghi specifici del pianeta nello stesso momento solare, il che facilita i confronti multitemporali.
- **L'elevazione è compresa tra 200 e 900 km, quindi molto inferiore rispetto ai satelliti orbitanti geosincroni.**

sensing from satellite on polar orbit
(sunsynchronous orbit)



Remote sensing: TELERILEVAMENTO CON DRONE

Il Telerilevamento può essere eseguito con:

- Satelliti, attraverso l'impiego di satelliti in orbita equipaggiati con specifici sensori;
- Aerei, attraverso voli aerei;
- **Droni o UAS.**

Il principale punto di forza dei **droni** sono i **ridotti tempi di acquisizione e fruibilità delle immagini**. Questa possibilità di economia temporale consente di ottimizzare tempi di reazione ad eventuali imprevisti di natura tecnica o relativa a condizioni metereologiche avverse.

Inoltre, a differenza del monitoraggio da aereo o satellite, lo strumento consente di valutare direttamente in campo la qualità delle immagini appena acquisite e ripetere le acquisizioni intervenendo sulle variabili connesse alla programmazione del volo.

TELERILEVAMENTO CON DRONE: CASO STUDIO

OBIETTIVO: Gestire le disomogeneità nutrizionali che si presentano durante il ciclo produttivo della coltura.

Durante il volo il drone ha raccolto i dati necessari per l'elaborazione delle mappe e l'analisi degli indici di vegetazione. Una volta terminato il volo, con le immagini ottenute da ogni rilievo è stato possibile elaborare una mappa e georeferenziarla al fine di calcolare l'indice di vigore di ogni singola porzione di appezzamento e di ottenere una mappatura dettagliata.

GNDVI

NDRE

NDVI

MONITORAGGIO: Rilevazione periodica e sistematica di parametri chimici, fisici e biologici, mediante appositi strumenti, allo scopo di controllare la situazione o l'andamento di sistemi anche complessi.



Proximal sensing

Con il termine sensori prossimali, si intende un insieme di tecnologie di misura, in cui il sensore è a stretto contatto con l'oggetto da misurare o ad una distanza minore di 2 m.

Il vantaggio di questi sensori è dato dalla possibilità di ottenere, in tempi rapidi e a costi bassi, grandi quantità di dati.

La maggior parte di questi sensori può essere applicata a trattori velocizzando ulteriormente l'acquisizione dei dati.

I sensori prossimali, attualmente utilizzati, sono suddivisibili in due tipologie:

- Sensori prossimali *geofisici*
- Sensori prossimali *basati sulla spettroradiometria*

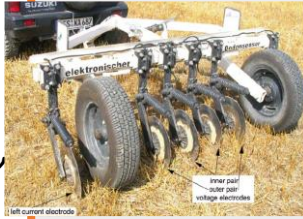
Proximal sensing - Sensori prossimali geofisici

Questi sensori si basano sull'immissione di corrente nel suolo e sulla misura della sua caduta di potenziale in relazione alla conducibilità elettrica del suolo stesso.

Ogni tipo di materiale ha una propria conducibilità elettrica (EC), perciò, dalla misura di questo parametro, possiamo risalire alle caratteristiche del suolo.

Ad esempio, il substrato roccioso ha valori di conduttività generalmente inferiori a 2-3 mS/m, la sabbia ha valori tra 1 e 10 mS/m, l'argilla tra 25 e 100 mS/m, mentre l'acqua può variare la conducibilità a seconda dei sali disciolti da pochi mS/m fino a circa 1000 mS/m.

In questo gruppo di sensori rientrano i **sensori ad induzione elettromagnetica (EMI)** e il **ground penetrating radar (GPR)**, sensori prossimali non invasivi che permettono di ottenere informazioni indirette su diverse proprietà fisiche del suolo, quali: tessitura, contenuto idrico, salinità, profondità del suolo, pietrosità e porosità.



Proximal sensing - Sensori prossimali basati sulla spettroradiometria

Sensori prossimali **basati sulla spettroradiometria**. Questi sensori si dividono ulteriormente in:

- Gli **spettrometri a raggi-gamma** misurano la distribuzione dell'intensità della radiazione γ rispetto all'energia di ciascun fotone.
- Gli spettrometri di **riflettanza Vis-NIR**, sono molto diffusi per misurare le proprietà del suolo, grazie alla rapidità di misura e alla relativa economicità.

Non sono distruttivi, non richiedono sostanze chimiche pericolose e le diverse proprietà del suolo possono essere misurate da una singola scansione.

La spettrometria Vis.NIR, si basa sulla misura della riflettanza spettrale, cioè sul rapporto tra la radiazione elettromagnetica riflessa dalla superficie del suolo e quella incidente su di essa, nel dominio spettrale.

Ogni tipo di suolo, infatti, presenta una specifica firma spettrale che dipende dal comportamento di minerali, sostanza organica, acqua e anche dalla distribuzione delle particelle e dalla loro organizzazione.

Pertanto, ai fini dell'agricoltura, questi spettrometri di riflettanza vengono utilizzati principalmente per la quantificazione delle proprietà del suolo quali: il contenuto di sostanza organica, il contenuto idrico, la composizione tessiturale e le caratteristiche mineralogiche.



Sensoristica in movimento

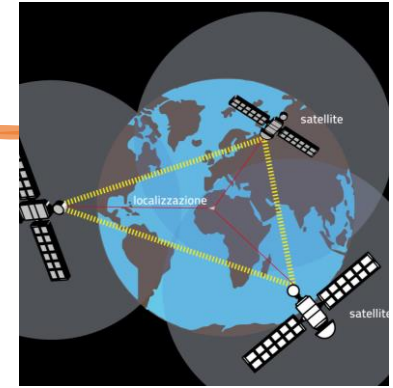


Il vantaggio delle tecnologie in movimento è la capacità di rilevare in continuo la variabile interessata, che consente una valutazione complessiva di tutta la variabilità spaziale e la possibilità di eseguire *interventi a rateo variabile* senza dover necessariamente svolgere analisi preventive né particolari elaborazioni.

Un esempio tipico è rappresentato dalle *irroratrici da diserbo*: la trattrice viene equipaggiata con sensori ottici in grado di distinguere la risposta spettrale dell'infestante da quella della coltura; il software, sulla base dell'informazione acquisita dosa la quantità di prodotto da distribuire, stabilisce quale è l'area interessata, e invia alla barra il comando di aprire o chiudere i relativi ugelli. Allo stato attuale, il limite di questa tecnologia è la difficoltà nel trovare soluzioni di misura sufficientemente accurate da garantire un risultato ottimale.

3. SISTEMI DI POSIZIONAMENTO GLOBALE

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento



- La precisione nella mappatura e nella guida delle macchine agricole necessita di **georeferenziazione** nei campi.
- I sistemi di navigazione satellitare globali GNSS Global Navigation Satellite System forniscono i mezzi per questo.
- Il metodo più utilizzato e universalmente noto è il sistema di posizionamento globale americano (GPS).
- Il suo principio di funzionamento si basa su un metodo di posizionamento sferico, che consiste nel misurare il tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la **distanza satellite-ricevitore**.
- La posizione nello spazio del ricevitore si può determinare conoscendo il tempo impiegato dal segnale per raggiungere l'esatta posizione di tre o quattro satelliti per avere una buona posizione bidimensionale o tridimensionale.
- Il ricevitore è ad esempio su un veicolo o su una macchina agricola che si muove nel campo
- I satelliti trasportano orologi atomici estremamente precisi ed i ricevitori a terra si sincronizzano con questi orologi.

Il sistema GPS offre la possibilità di poter **individuare la posizione di un punto qualsiasi nell'appezzamento come coppia di coordinate geografiche e di associare informazioni e dati relativi ad esso.**

Georeferenziazione mediante sistemi di posizionamento

Per il corretto funzionamento della rilevazione della posizione, abbiamo bisogno di un terzo strumento: le **stazioni di controllo**. Le stazioni di controllo, permettono di conoscere l'esatta posizione dei satelliti, i quali, operano in stretto contatto con esse. Queste stazioni, quindi, sono in grado di inserire nel segnale dei satelliti, le informazioni relative alla loro posizione.

Utilizzando le correzioni differenziali provenienti dalle stazioni di controllo, i ricevitori GPS possono migliorare significativamente la precisione della determinazione della posizione.

Questo è particolarmente utile in applicazioni che richiedono una precisione elevata.

Sistemi di guida delle macchine agricole



- Il sistema di posizionamento geografico trova applicazione al **controllo della navigazione di macchine agricole**.
- Nell'AdP, alcune operazioni necessitano di una precisione di guida molto accurata, come nel caso di applicazioni di fitofarmaci dove le dosi di prodotto distribuito sono al limite della tossicità.
- La guida di trattori gestita solo dall'operatore può determinare delle conseguenze negative, come un aumento della sovrapposizione (dal 10 fino al 20-25%) tra una passata e l'altra, soprattutto se si impiegano operatrici di elevata larghezza di lavoro.
- Inoltre, il controllo dell'operazione da parte dell'operatore comporta un suo maggiore affaticamento poiché, nello stesso momento, deve controllare la direzione di avanzamento del mezzo e le funzioni di lavoro della macchina operatrice.
- Infine, la guida manuale è influenzata dalle condizioni meteorologiche (nebbia o lavorazioni notturne) e, pertanto, la precisione con cui vengono seguite le traiettorie diminuisce.

Sistemi di guida delle macchine agricole

Tutto questo si traduce in un aumento dei tempi di lavoro, un incremento nei consumi di combustibile e uno spreco di prodotto distribuito con ricadute sugli aspetti agronomici, ambientali e, soprattutto, economici.

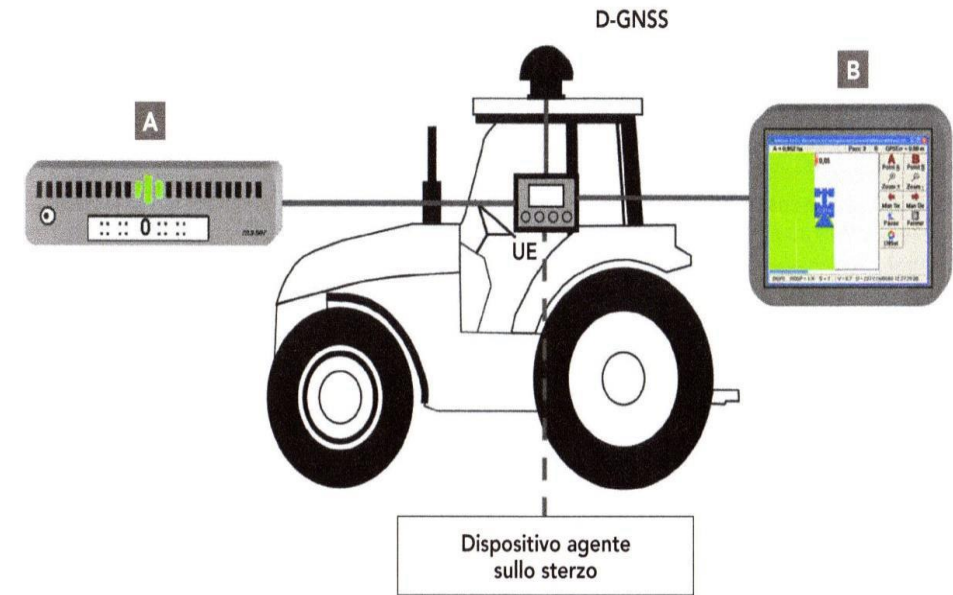
Per ridurre tali aspetti negativi è importante l'applicazione di sistemi di guida che consentono di ottenere:

- Maggiore precisione di lavoro;
- Risparmio di tempo e, almeno potenzialmente, di fattori della produzione (gasolio, agro-farmaci, fertilizzanti, etc)
- Minor impiego di gasolio, agro farmaci, fertilizzanti ecc.;
- Minor affaticamento dell'operatore con minor rischio di incidenti;
- Possibilità di impiego di operatori tecnicamente preparati ma con una limitata esperienza, anche in operazioni complesse.



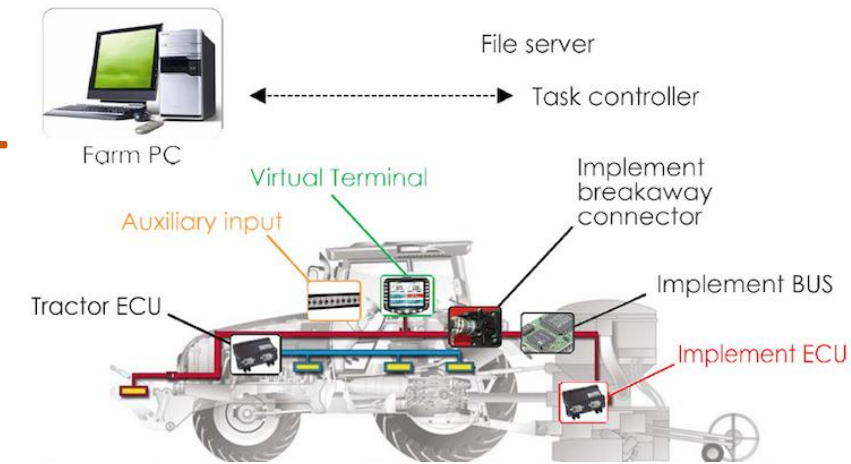
Sistemi di guida delle macchine agricole

- Un sistema di guida comprende un computer di bordo collegato con un ricevitore GNSS e un'interfaccia grafica e/o optoelettronica (es barra a led) che indica all'operatore la corretta traiettoria da seguire sul campo.
- Con tale assetto, i sistemi di guida permettono di mantenere il parallelismo tra passate consentendo di percorrere vari tipi di traiettorie in funzione delle operazioni da svolgere, della forma degli appezzamenti, di eventuali ostacoli e della consuetudine dell'operatore



Sistemi di guida delle macchine agricole - ISOBUS

Sono disponibili 3 tipologie di guida: **assistita, semi-automatica e automatica**. Questi sistemi interagiscono in varia misura con il sistema **ISOBUS** del trattore.



Il **sistema ISOBUS** permette l'interconnessione e la trasmissione dei dati tra trattore e macchina operatrice. Lo standard ISOBUS è il termine che riassume la norma internazionale ISO 11783 dal titolo "trattori e macchine per l'agricoltura e la deforestazione: rete seriale per il controllo e la comunicazione".

Lo standard ISOBUS, è stato creato per avere un unico sistema di cablaggio per tutti i diversi comandi/controlli e ciò è reso possibile grazie all'utilizzo di un unico terminale grafico, posto nella cabina del trattore. La struttura di un sistema ISOBUS, installato a bordo di un complesso trattore-operatrice, è composto da 3 parti fondamentali:

- **Implement ECU (dell'attrezzo):** modulo di controllo dedicato alla macchina operatrice che sostiene lo scambio dati tra i sensori o i dispositivi deputati al monitoraggio dei parametri funzionali della macchina operatrice (es. controllo volume distribuito, superficie lavorata, ecc.).
- **Tractor-ECU (TECU):** unità elettronica di controllo posta a bordo della macchina che è in grado di fornire dati riguardanti le prestazioni della trattore stessa (es. velocità, regime della presa di potenza, consumi, ecc).
- **Universal o Virtual Terminal (UT):** presente in cabina, attraverso il quale è possibile visualizzare e gestire i dati operativi derivanti dalle due precedenti unità.

Le centraline elettroniche, o electronic control unit (ECU), sono i componenti chiave della tecnologia ISOBUS. A ogni ECU spetta la gestione di uno specifico sottosistema della macchina (ad esempio nel trattore il sistema di sterzata, o la trasmissione ecc.) e possono essere in numero variabile in funzione della complessità della macchina agricola. Possono essere presenti dispositivi di comando "ausiliari", come ad esempio un joystick, in grado di agevolare l'operatore nell'utilizzo delle funzioni operative della macchina operatrice.

Per la trasmissione dei segnali elettrici è richiesto un cablaggio a quattro fili (BUS), mentre la connessione tra il bus del trattore e quello degli attrezzi avviene tramite dei connettori standard; ciò permette di collegare ogni trattore ad ogni tipologia di attrezzatura, grazie ad un unico connettore universale, per garantire il trasferimento dati dalla macchina operatrice alla trattore e viceversa (comunicazione trattore-operatrice).

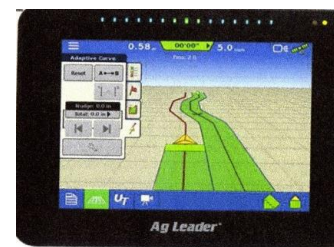
Guida assistita

La guida assistita consente all'operatore di correggere la traiettoria del mezzo agricolo agendo manualmente sul volante e si realizza per mezzo di due sistemi di visualizzazione: la **barra a led** o il **display grafico**.



BARRA LED: Le correzioni da apportare per seguire la giusta traiettoria sono indicate dall'accensione sequenziale di LED.

Il LED centrale (è acceso se la traiettoria è corretta);
I LED rossi (destra e sinistra) si illuminano se il veicolo devia dalla traiettoria;



DISPLAY GRAFICO: assicura informazioni più complete. Per la gestione delle svolte in capezzagna l'operatore osserva in tempo reale il percorso, semplificando notevolmente il riallineamento del trattore con la traiettoria appena conclusa. Gli schermi touchscreen consentono un'interazione semplice ed immediata con il sistema

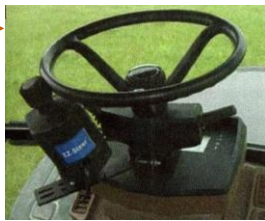
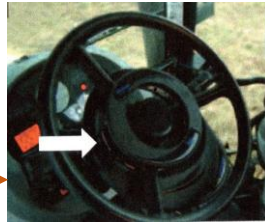
Guida semi automatica

Con la guida semi automatica sensori ed attuatori consentono la correzione automatica della traiettoria, limitando l'intervento dell'operatore alle manovre di fine campo. Il dispositivo opera mediante *volantino elettrico* o *sterzo idraulico*.

L'utilizzo del **volantino elettrico** permette di evitare errori causati da ritardi nella risposta da parte dell'operatore; solitamente è composto da un motorino elettrico che agisce mediante due meccanismi:

- Con pignone che agisce direttamente sul volante
- Fissato direttamente al piantone dello sterzo

Entrambi i meccanismi determinano una rotazione del volante permettendo così la correzione della traiettoria. Questo dispositivo, tuttavia, non consente di effettuare le svolte a fine campo, che saranno eseguite dall'operatore riprendendo il comando della trattrice.



- Lo **sterzo idraulico** è un sistema di guida semi-automatico più affidabile e completo, anche se più complesso e costoso del precedente. Questo dispositivo utilizza un'elettrovalvola inserita sul circuito idraulico dello sterzo ed è comandata dal computer di bordo; quest'ultimo, ricevendo i dati di posizione dal ricevitore satellitare (GNSS), calcola lo scostamento rispetto alla traiettoria ideale e, di conseguenza, regola l'afflusso di olio al pistone, che agisce sulle ruote.

Il risultato è l'ottenimento di una correzione immediata ed efficace





Guida automatica

La guida automatica **richiede l'uso di GNSS** ad elevata accuratezza in quanto la conduzione del mezzo avviene senza l'intervento dell'operatore a bordo (può anche non essere presente).

Un esempio commerciale di questa guida è denominata **V2V (vehicle to vehicle)** che permette di guidare, anche in fase di svolta, un mezzo agricolo da parte di un secondo mezzo agricolo con conducente a bordo, grazie ad una connessione wireless WI-FI o bluetooth.

Un operatore a bordo di una falciatrice durante la raccolta, per esempio, può guidare lungo un percorso ottimale il trattore con il carro per caricare il trinciato, mantenendo il giusto allineamento tra i due mezzi agricoli.

- La trincia funziona da master e sincronizza il movimento del trattore col rimorchio, che opera come slave.

Questo sistema consente di ridurre il rischio di collisione tra i veicoli, gli errori e lo stress dell'operatore. Inoltre, entrambi i veicoli devono essere dotati di sistema di posizionamento con correzione RTK.

4. PIATTAFORME A CONTROLLO REMOTO E ROBOTICHE PER IL MONITORAGGIO E LA GESTIONE DELLE COLTURE

PIATTAFORME A CONTROLLO REMOTO E ROBOTICHE PER IL MONITORAGGIO E LA GESTIONE DELLE COLTURE

Le piattaforme a controllo remoto e robotiche per la gestione delle colture e il monitoraggio sono tecnologie avanzate che stanno rivoluzionando il settore agricolo, consentendo un'agricoltura più efficiente, sostenibile e precisa. Queste piattaforme integrano diverse tecnologie, tra cui sensori avanzati, intelligenza artificiale e robotica, per ottimizzare la produzione agricola.

Le principali piattaforme a cui si fa riferimento sono:

- **Droni o UAS (Unmanned Aerial System)**
- **Attrezzature robotizzate**



Come vengono utilizzati i droni in agricoltura?

Panoramica generale

Ad oggi l'impiego di droni in agricoltura ha principalmente lo scopo di catturare dati dal terreno utilizzando camere **multispettrali** o **termiche**. Ciononostante, tra gli altri compiti che i droni possono svolgere in campo agricolo troviamo quello fondamentale del **monitoraggio** delle aree con l'utilizzo di una semplice camera RGB (ad es. per individuare eventuali perdite lungo l'impianto irriguo); sul mercato si trovano droni utilizzati per **l'applicazione spray** (in altri Stati vengono utilizzate anche sostanze chimiche) e droni per **l'impollinazione artificiale** (tutt'oggi oggetto di attività di studio).

L'UTILIZZO DEI DRONI IN AGRICOLTURA

- Per ottenere informazioni rilevanti (ad esempio, il livello di **maturazione dei frutti o l'insorgere di una malattia su una pianta**), è necessario osservare le piante frequentemente e con un alto livello di dettaglio. Immagini ravvicinate e ottenute da prospettive multiple possono essere utilizzate per la generazione di rappresentazioni tridimensionali della pianta, e possono anche essere analizzate da algoritmi IA di visione artificiale opportunamente addestrati, fornendo risultati sorprendentemente precisi.
- I droni dotati di sensori, sistemi GPS e apparecchiature di telerilevamento sono in grado di valutare lo stato di salute della pianta in modo da consentire all'agricoltore di programmare gli interventi di precisione consentendo un risparmio di tempo e di lavoro ma soprattutto un minore impatto ambientale.



Drone pollination



Drone irrigation



Con Multispettrale



Applicazione Spay



L'UTILIZZO DEI DRONI IN AGRICOLTURA



La specificità dei SAPR per le applicazioni di telerilevamento è:

- l'alta risoluzione spaziale a terra: centimetrica;
- la possibilità di un controllo altamente flessibile e tempestivo, a motivo dei tempi di pianificazione ridotti.

Queste caratteristiche lo rendono ideale:

- nei sistemi agricoli di dimensioni medio - piccole, da 1 a 10 ettari;
- in comprensori aziendali caratterizzati da elevata frammentazione della superficie coltivata
- in condizioni di elevata eterogeneità all'interno degli stessi appezzamenti.

Principali applicazioni dei droni da monitoraggio in agricoltura



Fenomeno monitorato	Metodi tradizionali	Metodi utilizzando UAV
Biomassa Emergenza	Valutazione visiva; Campionamento distruttivo; Conteggio piante	Immagini VIS (visibile) – NIR (vicino infrarosso) per misurare la copertura fogliare ed il vigore delle piante
Senescenza	Valutazione visiva	Immagini VIS– NIR per misurare il vigore delle piante
Fioritura	Osservazione visiva	Immagini VIS per stimare il numero dei fiori
Stress idrico; Conduttanza Stomatica; Stress termico	Valutazione visiva, misure di umidità del suolo, porometro	Immagini VIS - NIR e termiche per misurare la temperatura fogliare
Nutrizione	Analisi dei nutrienti fogliari	Immagini VIS – NIR per la stima dell'azoto fogliare e potenzialmente altri nutrienti
LAI (indice di area fogliare)	Campionamenti distruttivi; Misura della cortina fogliare	Immagini VIS – NIR per la stima della copertura fogliare
Malattia	Valutazione visiva delle malattie	Immagini VIS –NIR per la stima e la valutazione del danno da malattie

Pianificazione del volo



Per la pianificazione di un volo con un drone ci sono alcuni step da tenere in mente affinché la raccolta dati prevista vada per il meglio.

Una volta identificata l'area su cui intervenire, si può pensare di pianificare il volo o da remoto (in ufficio, qualora la rete in campo non è disponibile o non è buona) o direttamente in campo prima di volare.

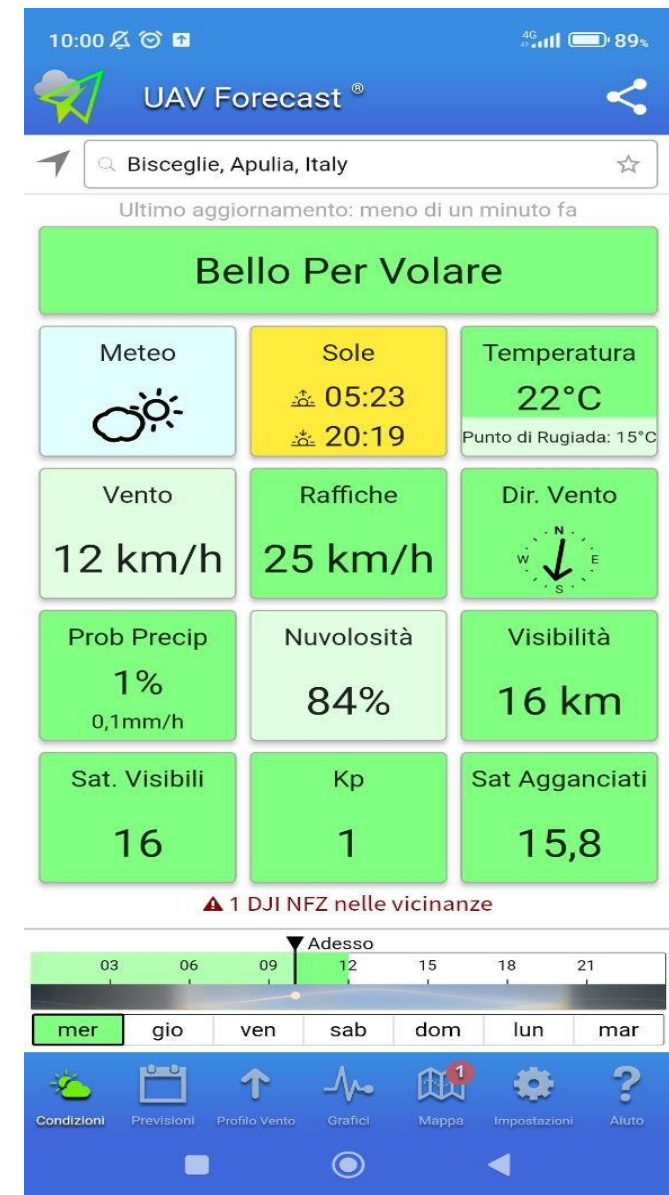
Le app in circolazione per poter pianificare un volo sono tante e molto spesso vengono associate ad una tipologia di droni (es. la DJI ha una sua app per i suoi droni).

Step 1: posso volare?

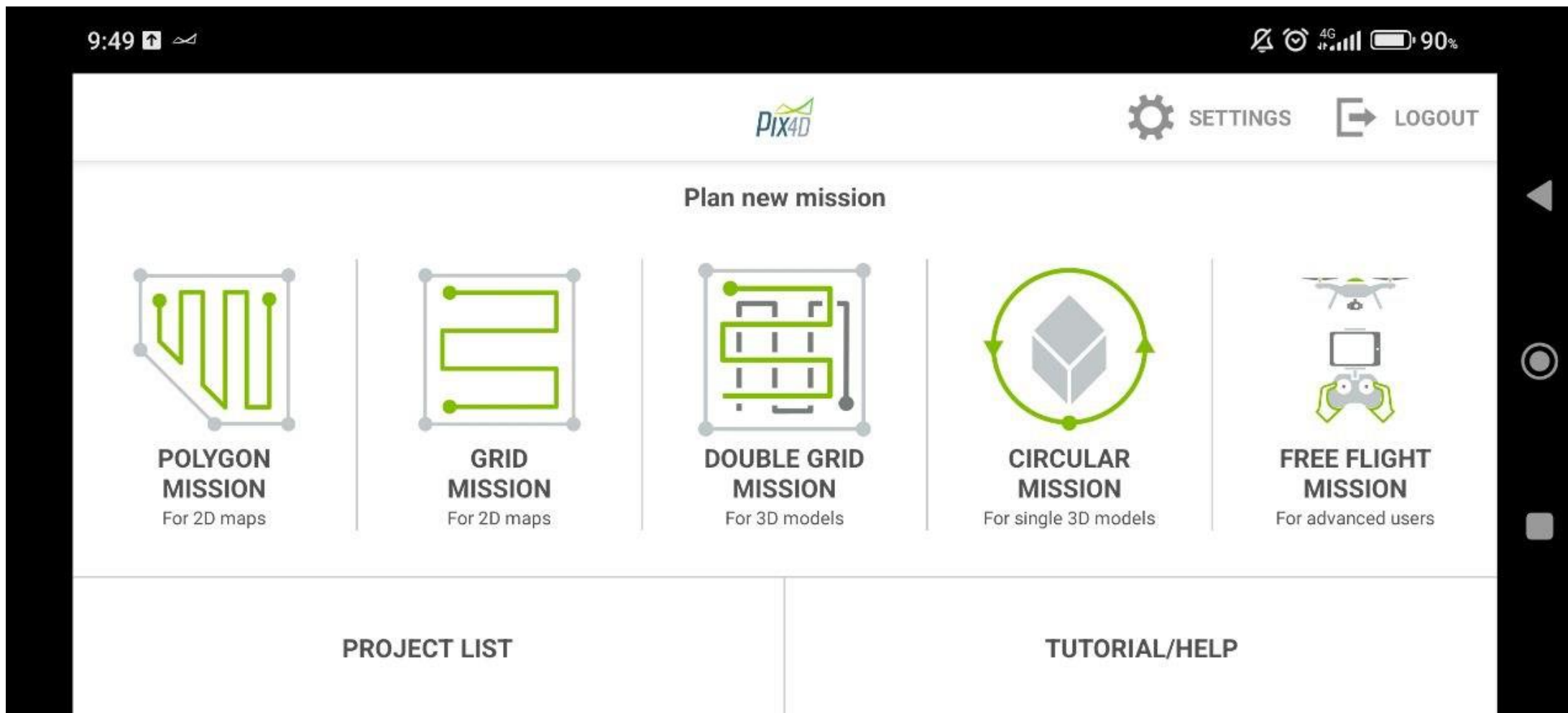
Un app molto utilizzata e utile per capire se nella nostra area di intervento si può volare oppure no è UAV Forecast.

In base alla scheda tecnica del drone, grazie a questa app si può capire se in quella determinata zona è possibile effettuare il volo. Questo perché ogni drone ha una sua capacità di resistere al vento e alle raffiche in alta quota e di garantire stabilità in volo.

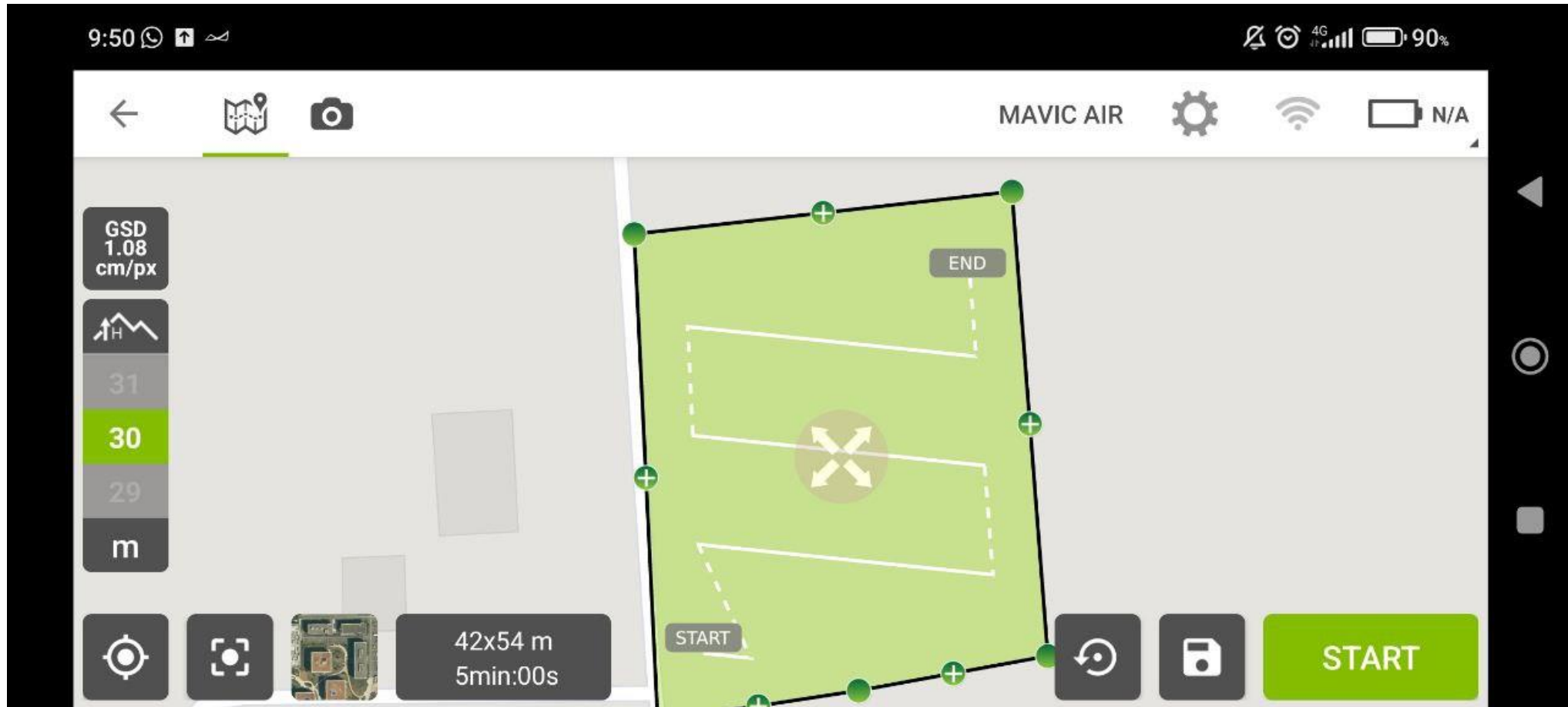
Cosa molto importante, in alcune aree ci sono delle limitazione di volo (es. vicino gli aeroporti), pertanto verificare sull'app quali sono queste limitazione e dove si trovano è fondamentale per non andare incontro a pericoli.



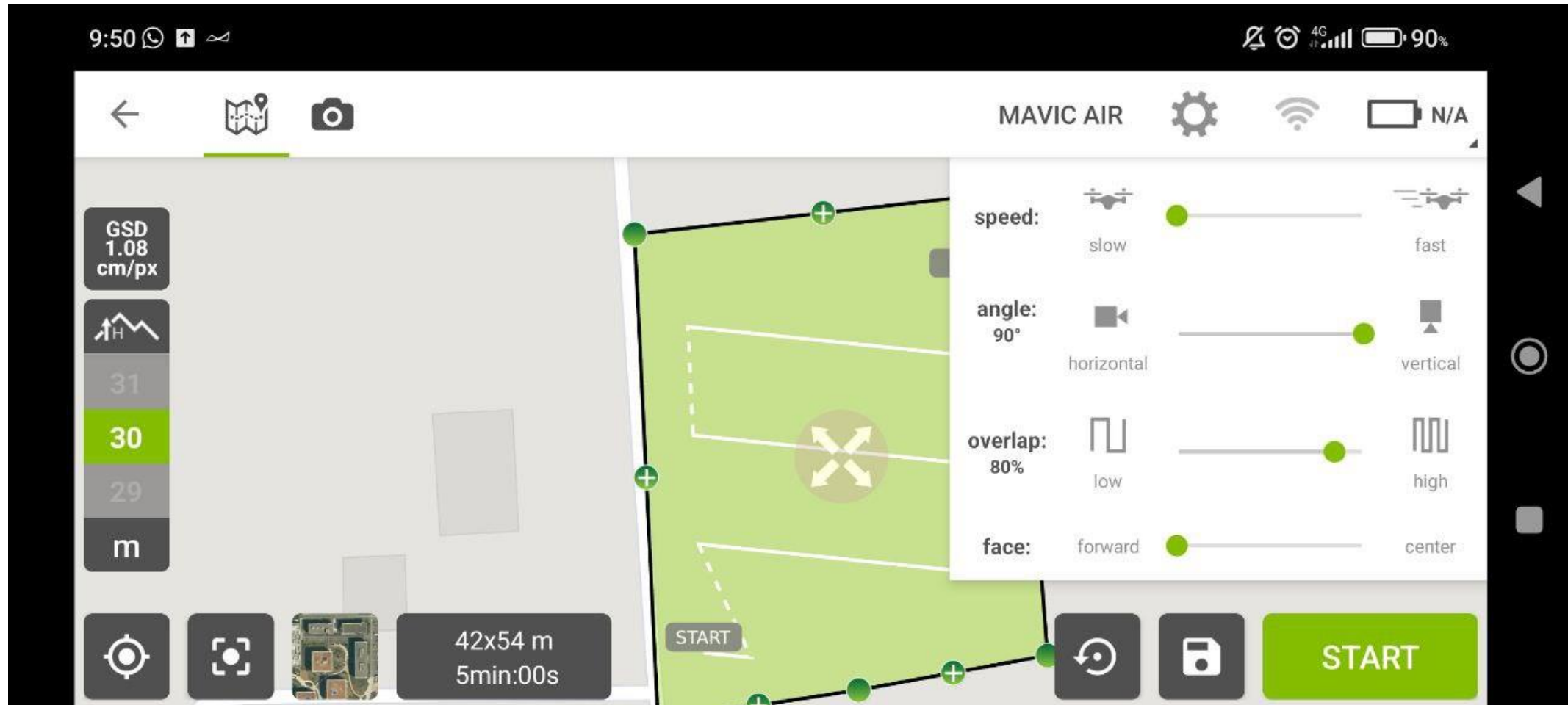
Step 2: settaggio dei parametri



Step 2: settaggio dei parametri – Altezza di volo



Step 2: settaggio dei parametri – Velocità di avanzamento



Step 3: raccolta dati



Step 3: raccolta dati

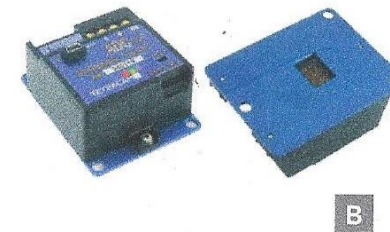
La raccolta dati è la fase più cruciale. Infatti, per ottenere mappe di prescrizione che siano precise e attendibili bisogna partire da un dataset di **qualità**. Ciò significa che le immagini devono essere state catturate tenendo conto della copertura delle nuvole, della posizione del sole, dell'overlap durante la fase di settaggio dei parametri, così come dell'altezza di volo (più si vola alti, più la precisione del dato diminuisce).



Principali tipologie di sensori impiegati per attività di monitoraggio

Esiste in commercio una vasta serie di sensori dedicati all'impiego da piattaforma SAPR per attività di monitoraggio remoto, ottimizzato in termini di dimensioni, peso e consumi energetici.

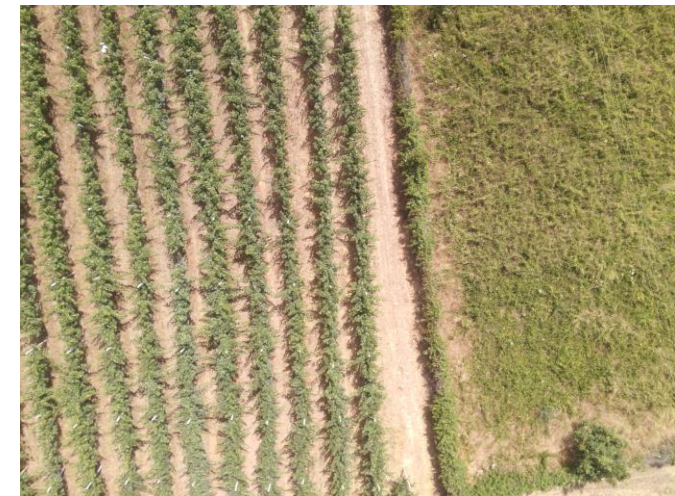
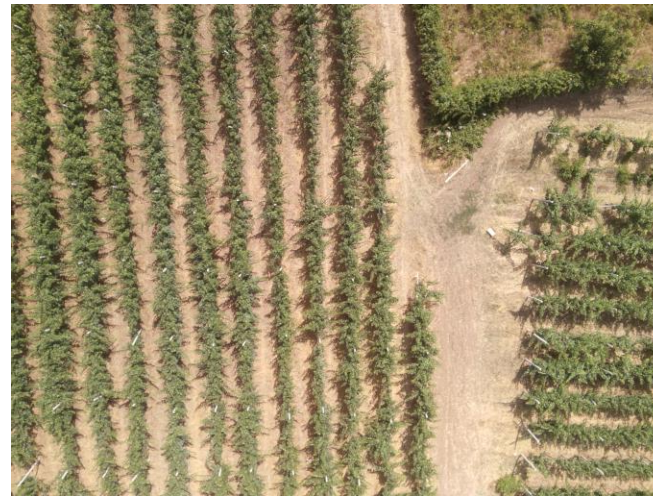
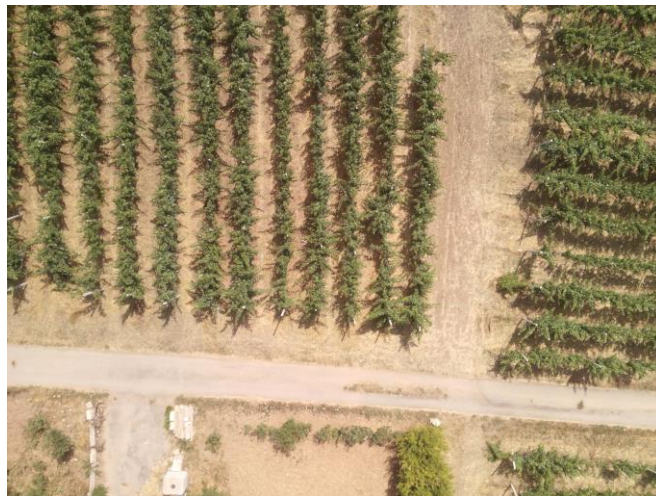
- A. Camera visibile RGB;
- B. Camera multispettrale;
- C. Camera iperspettrale;
- D. Spettroradiometro a fibra ottica;
- E. Camera termica ;
- F. LIDAR



Step 3: raccolta dati – Immagini RGB

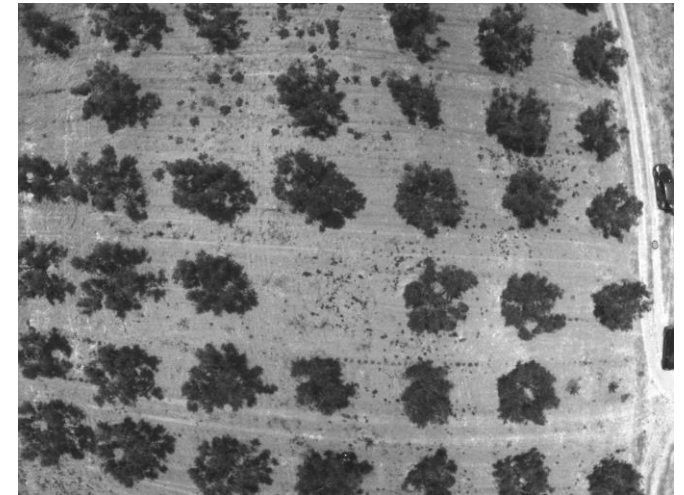
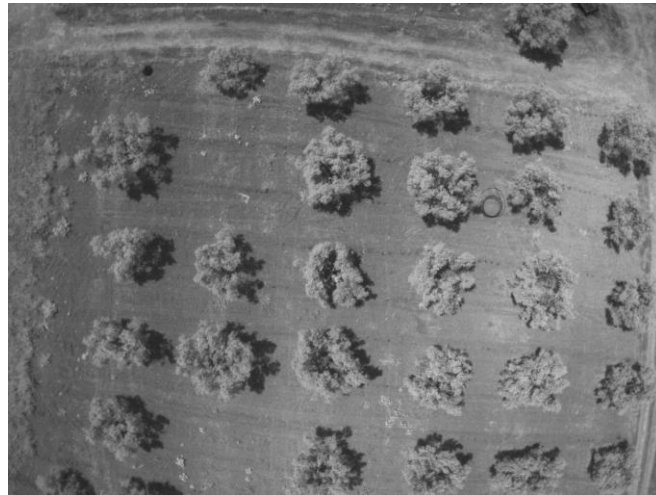
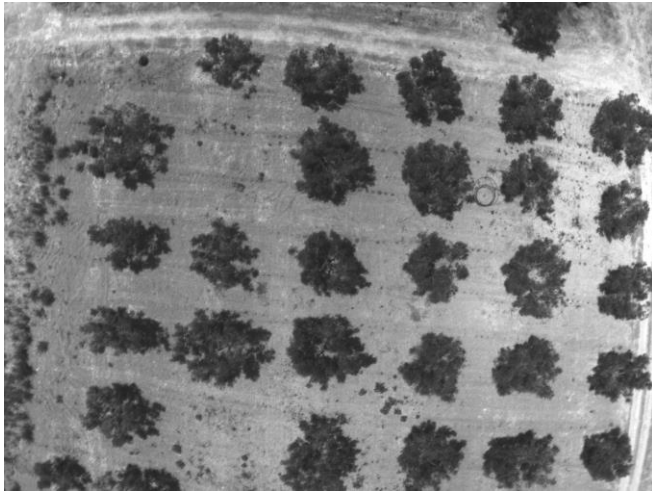
Dalle immagini RGB si può notare lo stato dell'arte dell'appezzamento. Le immagini dall'altro sono molto utili per capire sia in tempo reale, sia in post processing, se ci sono gravi problemi all'interno del campo. Essendo poi queste immagini georeferenziate è facile capire dove intervenire e in che modo.

Le immagini RGB vengono anche elaborate all'interno del software per avere DSM, DTM e per ottenere un modello 3D del campo.



Step 3: raccolta dati – Immagini Multispettrale

Le immagini multispettrali vengono catturate dal drone e rappresentate come scala di grigi. Possono essere di natura diversa, a seconda della camera multispettrale portata dal drone. Generalmente le bande analizzate sono la «red», «green» e «blu», oltre al vicino infrarossi (NIR). Sempre più spesso però, vengono utilizzate camere multispettrali con il «red_edge» per ottenere indici vegetazionali diversi.



Step 3: raccolta dati – Immagini termiche

A prima vista le immagini termiche potrebbero essere confuse con semplici immagini RGB.

Queste immagini infatti, non vengono visualizzate in scala di grigi, ne restituiscono il valore della temperatura delle piante e del terreno quando vengono catturare.

Solo dopo la loro elaborazione si ottengono le mappe di prescrizione con le informazione che stavamo ricercando.



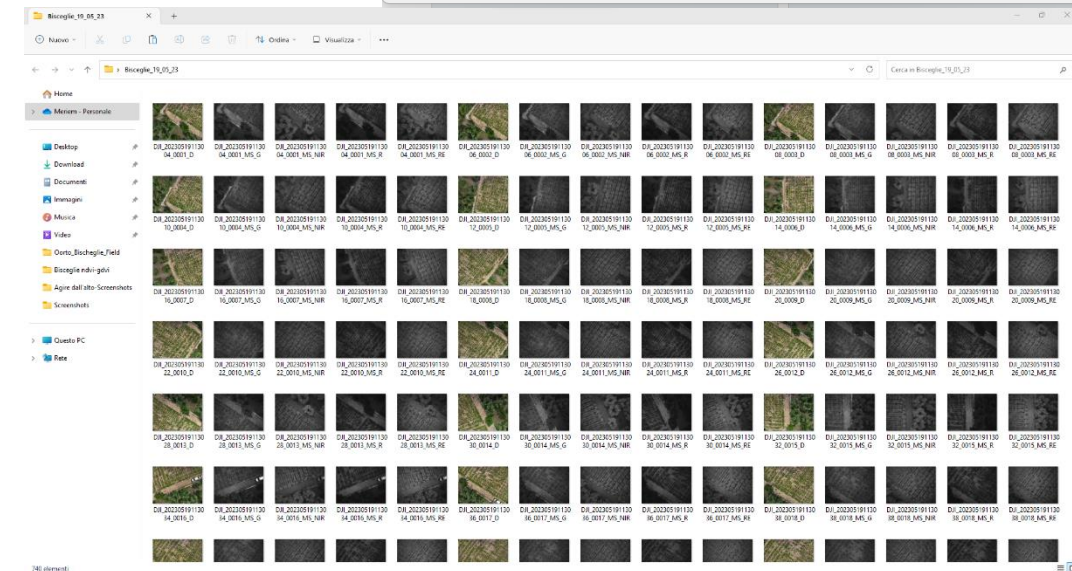
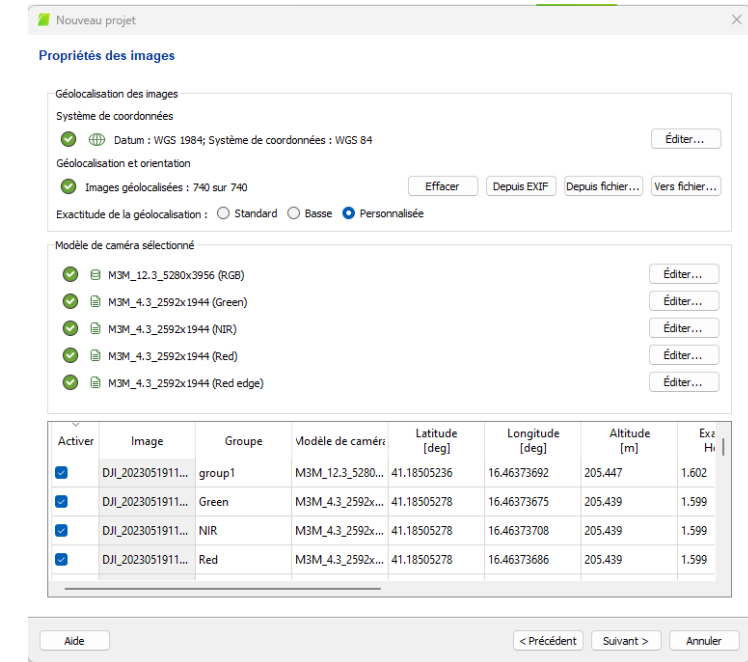
Step 3: raccolta dati – Creazione del dataset

Al termine del piano di volo tutte le immagini vengono salvate nella scheda SD del drone.

Nell'immagine in basso a destra ci sono tutte le immagini classificate in base alle loro caratteristiche (RGB, Multispettrali, Termiche) che verranno caricate ed elaborare dal software.

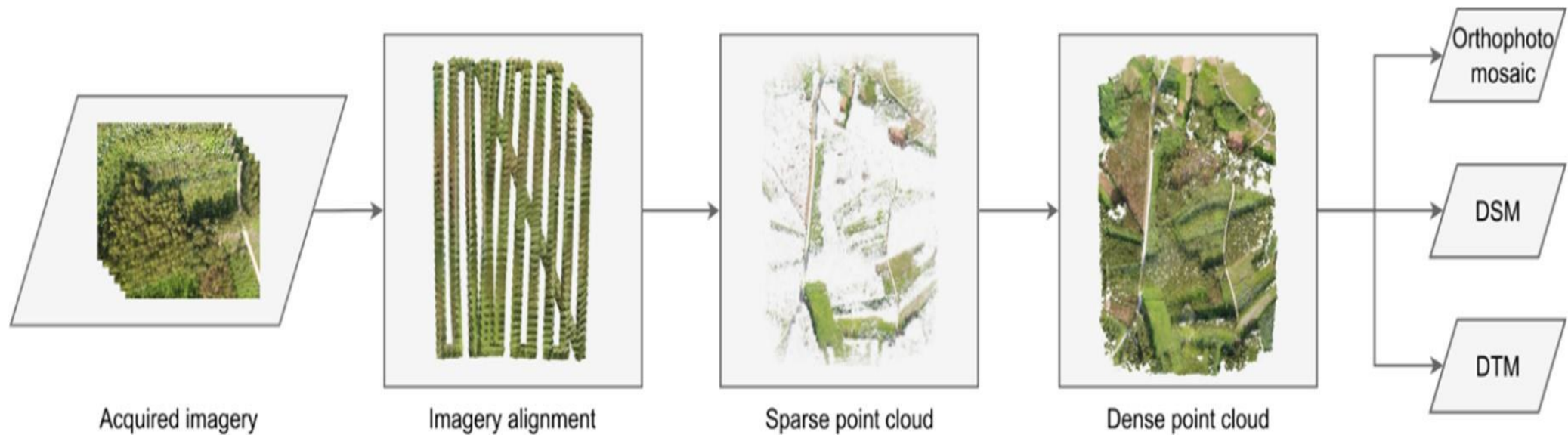
Nell'immagine in alto a destra è rappresentata la prima schermata del software utilizzato.

All'interno non si possono elaborare immagini di diversa natura tutte insieme, per questo motivo andiamo a caricare dataset ben distinti tra loro.

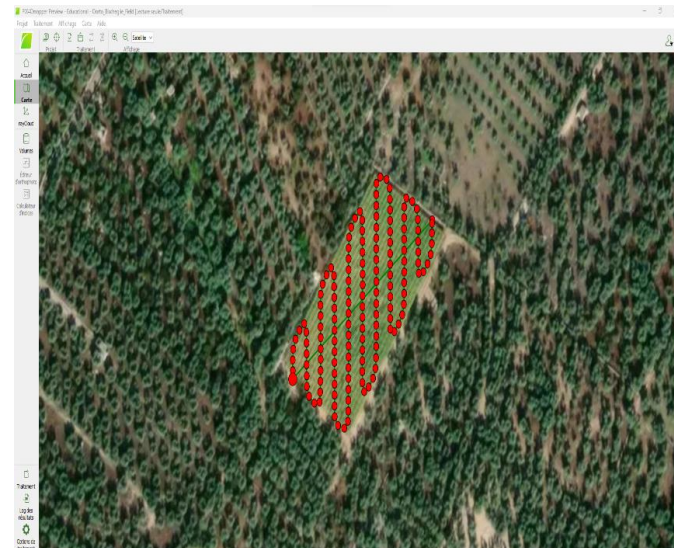
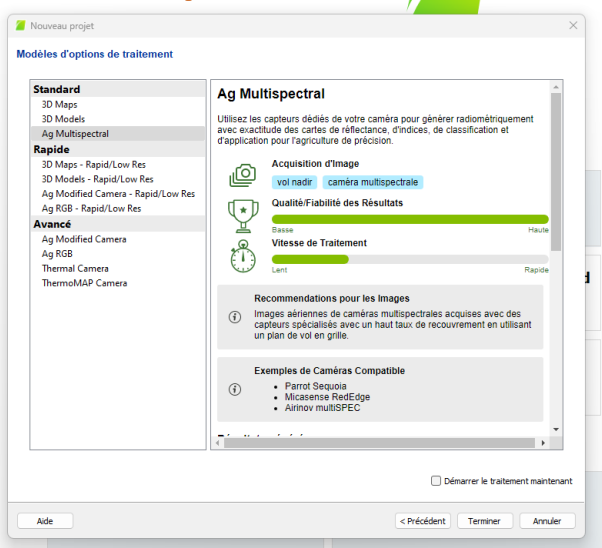


Step 4: elaborazione dei dati

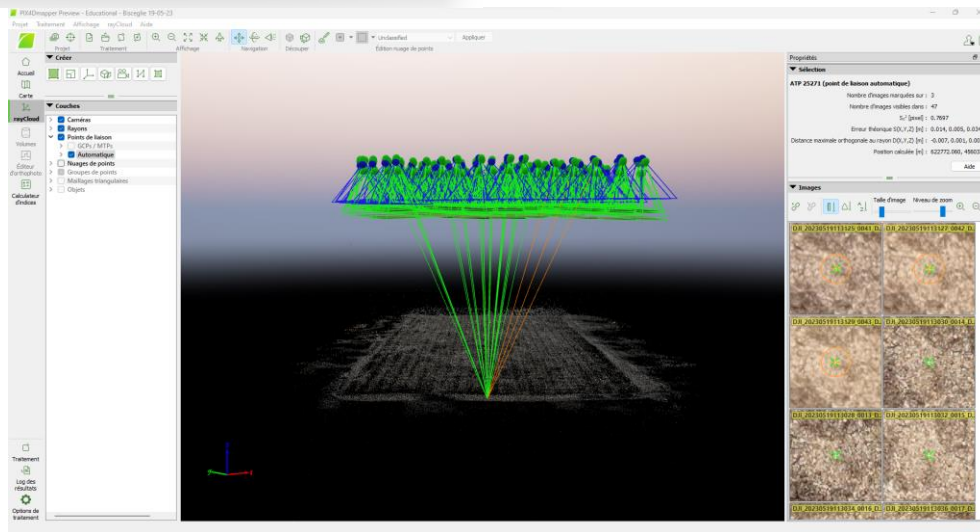
L'immagine acquisita passa attraverso un'elaborazione di allineamento delle immagini, risultando in una nuvola di punti sparsa, che a sua volta viene densificata in una nuvola di punti densa. Interpolandola si possono ottenere diversi risultati raster: modello digitale della superficie (DSM), modello digitale del terreno (DTM), ortofoto mosaico, tra gli altri (a seconda del tipo di sensore).



Step 4: elaborazione dei dati – Utilizzo del software

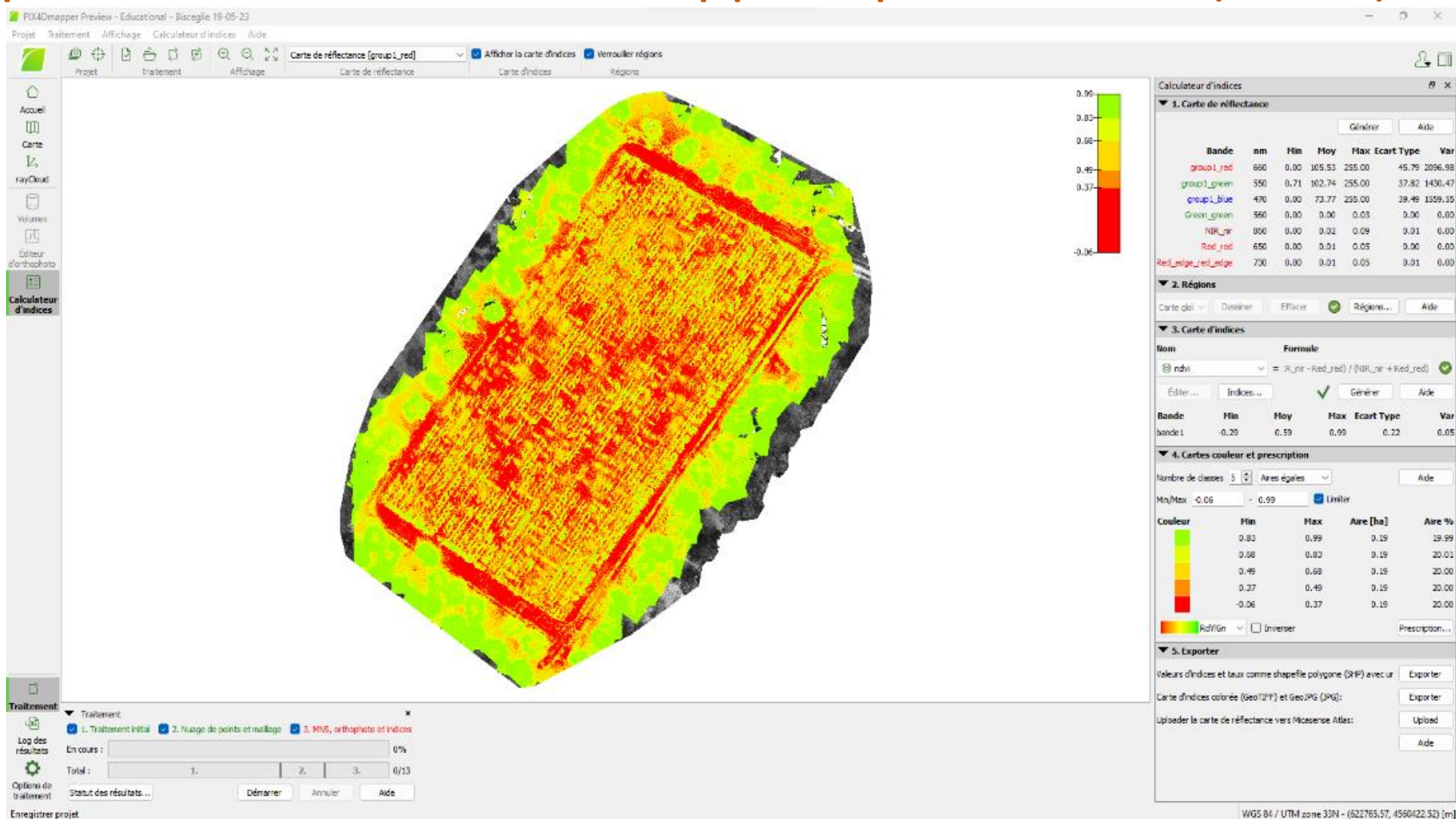


- All'interno del programma viene indicato, in base alle immagini catturate, il tipo di output che desideriamo ottenere.



- Al termine di questo processo il software ci restituisce il **quality report** e la **mappa di prescrizione**.

Step 5: Risultati ottenuti – mappa di prescrizione (NDRE)



Step 5: Risultati ottenuti – mappa di prescrizione (NDVI)

Pix4Dmapper - Educational - Vigneto

Progetto Elaborazione Mostra Calcolatore di Indici Aiuto

Progetto Elaborazione Mostra

Mappa di riflettanza [green] Mostra Mappa di Indice Blocca Regioni

Mappa di riflettanza Mappa di Indice Regioni

Calcolatore di Indici

▼ 1. Mappa di riflettanza

Banda	nm	Min	Med	Max	Stdev	var
green	550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nir	790	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
red	660	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
red_edge	735	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

▼ 2. Regioni

Mappe Disegna Pulisci Regioni... Aiuto

▼ 3. Mappa di Indice

Nome Formula

ndvi = (nir - red) / (nir + red)

Modifica... Indici... Genera Aiuto

Banda	Min	Med	Max	Stdev	var
Banda1	-0.43	0.45	0.94	0.24	0.06

▼ 4. Mappa dei colori e Formulazione

Numero di Classi 5 Area Uguale Aiuto

Min/Max -0.26 - 0.94 Bloccato

Colore	Min	Max	Area [ha]	Area [%]
Green	0.72	0.94	0.22	19.98
Yellow	0.53	0.72	0.22	20.00
Orange	0.33	0.53	0.22	20.00
Red	0.21	0.33	0.22	20.00
Dark Red	-0.26	0.21	0.22	20.01

RdYlGn Inverti Prescrizione...

▼ 5. Esporta

I valori di indice e tassi come poligoni Shapefile: Esporta

Mappa di indice colorata (GeoTIFF) e GeoJPG (J) Esporta

Carica Mappa di Riflettanza su MicaSense Atlas: Carica

Aiuto

Elaborazione

1. Elaborazione Iniziale 2. Nuvola di Punti e Mesh 3. DSM, Ortofoto e Indice

In Corso: Completato. 100%

Totale: 1. 2. 3. 14/14

Opzioni di Elaborazione Stato di Output... Avvia Annulla Aiuto

Valore indice: 0.78 WGS 84 / UTM zone 34N - (256015.04, 4430571.25) [m]

11:14 14/07/2021

Step 5: Risultati ottenuti – mappa di prescrizione Termica

Pix4Dmapper - Educational - Vigneto_Pino_termica

Progetto Elaborazione Mostra Calcolatore di Indici Aiuto

Mappa di riflettanza [thermal_ir] Mostra Mappa di Indice Blocca Regioni

Progetto Elaborazione Mostra

Mappa di riflettanza Mappa di Indice Regioni

61.90
53.51
47.98
43.17
38.85
32.49

Calcolatore di Indici

1. Mappa di riflettanza

genera Aiuto

Banda	nm	Min	Med	Max	Stdev	var
thermal_ir	-	32.49	45.22	62.06	5.56	30.93
red	660	non valido	nan	non valido	nan	nan
green	550	non valido	nan	non valido	nan	nan
blue	470	non valido	nan	non valido	nan	nan

2. Regioni

Mappz Disegna Pulisci Regioni... Aiuto

3. Mappa di Indice

Nome Formula

thermal_ir = thermal_ir

Modifica... Indici... Genera Aiuto

Banda	Min	Med	Max	Stdev	var
Banda1	32.49	45.22	62.06	5.56	30.93

4. Mappa dei colori e Formulazione

Numero di Classi 5 Jenks Aiuto

Min/Max 32.49 - 61.90 Bloccato

Colore	Min	Max	Area [ha]	Area [%]
Yellow	53.51	61.90	0.14	11.82
Orange	47.98	53.51	0.19	16.22
Purple	43.17	47.98	0.30	26.39
Dark Purple	38.85	43.17	0.44	38.58
Black	32.49	38.85	0.08	6.99

Termico Inverti Prescrizione...

5. Esporta

I valori di indice e tassi come poligoni Shapefile: Esporta

Mappa di indice colorata (GeoTIFF) e GeoJPG (J) Esporta

Carica Mappa di Riflettanza su MicaSense Atlas: Carica

Aiuto

Elaborazione

1. Elaborazione Iniziale 2. Nuvola di Punti e Mesh 3. DSM, Ortofoto e Indice

In Corso: 0%

Totale: 1. 2. 3. 0/14

Opzioni di Elaborazione Stato di Output... Avvia Annulla Aiuto

Valore indice: 41.55 WGS 84 / UTM zone 34N - (255990.29, 4430574.89) [m]

Scrive qui per eseguire la ricerca

28°C Per lo più sole 15:02 16/07/2021

Step 5: Risultati ottenuti – Ortomosaico



Impollinazione artificiale con drone



Per ottimizzare l'impollinazione artificiale con il drone matrice 100 in dotazione del Dipartimento è stato modificato l'assetto del drone andando ad aggiungere una sistema di ruote dentate che fanno girare una coclea dove passa il polline che viene lasciato cadere. Sono stati effettuati dei test precedenti alle prove in campo per capire la quantità di polline ideale da utilizzare durante le lavorazioni e altri test simili verranno effettuati per poter traslare questa tecnologia in contesti diversi.

Dopo aver pianificato il volo sull'app dedicata «Bly3D» il drone è in grado di eseguire il percorso nel tempo prestabilito lasciando cadere il polline secondo la velocità prestabilita.



L'UTILIZZO DEI ROBOT IN AGRICOLTURA

L'UTILIZZO DEI ROBOT IN AGRICOLTURA

- **Automazione delle operazioni:** I robot possono eseguire in modo autonomo diverse attività agricole, come semina, irrigazione, raccolta e monitoraggio delle colture. Ciò consente una maggiore automazione delle operazioni, riducendo la dipendenza dai lavoratori umani e migliorando l'efficienza complessiva.
- **Monitoraggio delle colture:** I robot possono essere dotati di sensori avanzati e tecnologie di imaging per monitorare le colture in tempo reale. Questo monitoraggio costante consente di rilevare rapidamente malattie, infestazioni o problemi di crescita, consentendo interventi tempestivi e limitando i danni.
- **Riduzione dei costi:** L'automazione delle operazioni agricole può portare a una riduzione dei costi a lungo termine. I robot possono lavorare senza pause, richieste di riposo o benefit, riducendo i costi operativi complessivi per gli agricoltori.
- **Miglioramento della sicurezza del lavoro:** L'uso di robot in agricoltura riduce la necessità di lavoratori umani in ambienti potenzialmente pericolosi, come quelli con macchinari pesanti o sostanze chimiche. Ciò contribuisce a migliorare la sicurezza sul luogo di lavoro.
- **Aumento della produzione:** Grazie alla maggiore precisione nelle operazioni, alla riduzione delle perdite e al monitoraggio costante delle condizioni delle colture, l'uso di robot può contribuire ad aumentare la produzione agricola complessiva.
- **Sostenibilità ambientale:** L'automazione può essere progettata per ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre gli sprechi e minimizzare l'impatto ambientale complessivo delle operazioni agricole. Ciò può includere la gestione più efficiente degli input.

Cosa un robot in agricoltura deve sapere?

- Dove si trova
- Come e dove muoversi
- Condurre le operazioni colturali
- Comunicare

Difficoltà

- Ambienti non strutturati
- Target irregolari e delicati
- Presenza di oggetti con caratteristiche simili
- Condizioni ostili per le macchine

Intelligenza artificiale - Visual Navigation - Sviluppo di nuovi sensori - Capacità di tradurre i big data acquisiti

Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

Il **processo operativo** dei robot applicati all'agricoltura consta di quattro fasi:

- In primo luogo, il robot rileva e acquisisce dati grezzi relativi all'ambiente, all'attività da svolgere e al suo stato grazie all'utilizzo dei vari sensori di cui è accessoriatato.
- Le informazioni rilevate vengono elaborate e analizzate per comprendere l'ambiente in cui sarà svolto il lavoro richiesto.
- Viene elaborato un piano operativo basato sulla percezione dell'ambiente, sullo stato del robot e sugli obiettivi del compito richiesto.
- Infine, il robot esegue le azioni richieste incluse nel piano operativo.

Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

È NECESSARIA UN'ACCURATA PROGETTAZIONE NELLA FASE DI SVILUPPO DEL SISTEMA.

In linea di massima, i compiti principali e le performance richieste sono sempre le stesse, a variare sono i sistemi di sensori che sono specifici per ogni attività agricola.

I robot agricoli sono generalmente progettati per eseguire un compito principale che è rappresentato da un'attività agricola specifica quale per esempio la semina, il diserbo, la potatura e la raccolta.

Per svolgere il compito principale, il robot deve possedere la capacità di eseguire diversi compiti di supporto quali la localizzazione e la navigazione, il rilevamento dell'oggetto da trattare o l'azione da svolgere.

I comandi sono quindi suddivisi fra “**compiti di supporto**” e “**compiti principali**”. Ogni attività di supporto controlla uno o più sottosistemi e dispositivi.

Ad esempio, in un sistema automatico di rilevamento e monitoraggio delle malattie delle piante, il compito principale è il monitoraggio della malattia, ma per poter svolgere questo compito è necessario che il robot abbia la capacità di svolgere compiti di supporto di autolocalizzazione, pianificazione della traiettoria, guida e navigazione nel campo in diverse fasi fenologiche con diverso LAI o modifica della traiettoria per la presenza di oggetti inaspettati nel percorso.

I DIVERSI SOTTOSISTEMI DEVONO ESSERE SINCRONIZZATI CORRETTAMENTE PER ESEGUIRE LE ATTIVITÀ NEL MODO OTTIMALE E PER TRASFERIRE CON SUCCESSO LE INFORMAZIONI RICHIESTE



Negli ultimi anni, i progressi nella tecnologia robotica e nell'intelligenza artificiale hanno reso l'uso dei robot agricoli un'opzione sempre più praticabile...



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture



Il Giappone è attualmente al primo posto nel mondo nella ricerca e nello sviluppo di robot agricoli, un suo rappresentante è il **robot YV01 di Yanmar**, un irroratore autonomo che opera a cavallo dei vigneti con meccanismo di spruzzatura elettrostatica: Il processo produce un sottile flusso di goccioline caricate elettricamente che vengono attratte dalle foglie delle piante in modo che tutte le superfici, anche quelle nascoste, siano trattate e l'eccesso di spray sia ridotto al minimo. Si tratta di un meccanismo che assicura minori costi e maggiore produttività, nel rispetto dell'ambiente.

Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

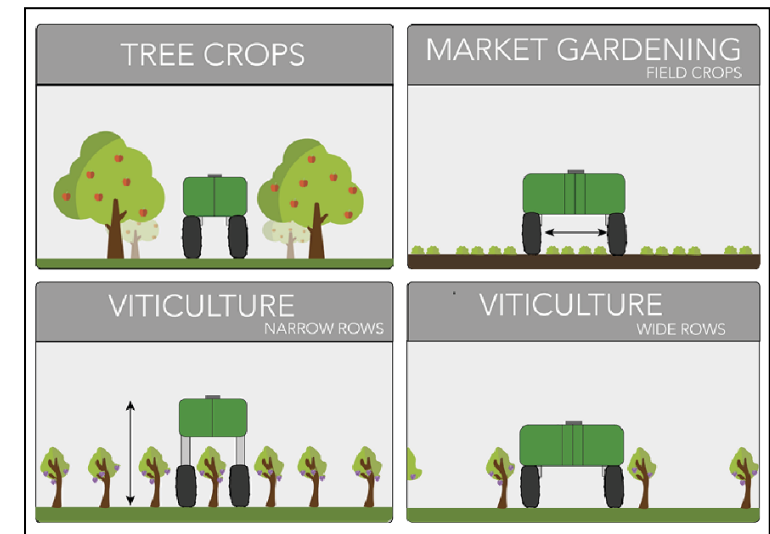
In Europa, la Francia è un Paese all'avanguardia nello sviluppo di sistemi automatizzati e propone diverse soluzioni automatizzate già presenti sul mercato, come per esempio il robot agricolo **Trektor** sviluppato da Sitia, una società di ingegneria francese. È un trattore versatile ed autonomo dotato di un attacco a tre punti che permette di attaccare gli attrezzi già in proprio possesso attivarli/disattivarli automaticamente programmando il veicolo.



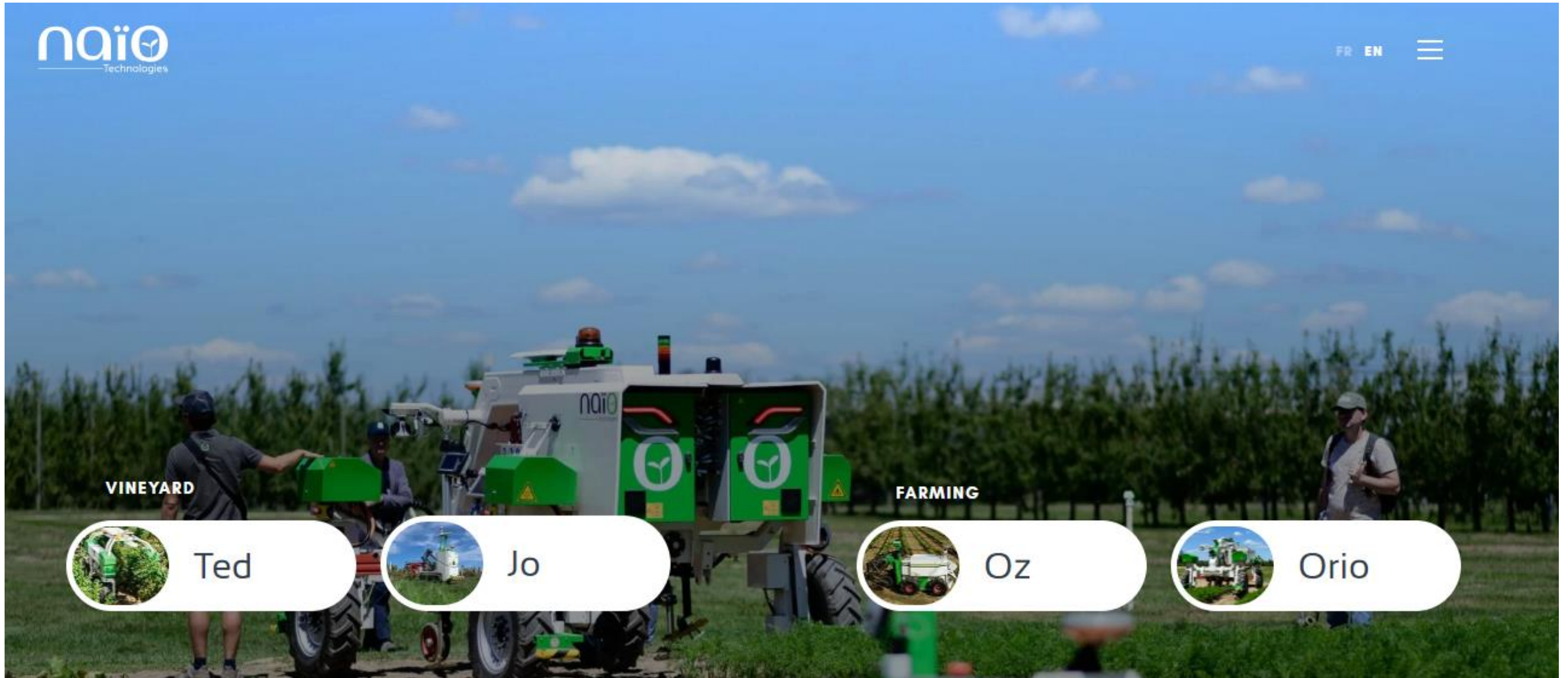
Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture



Il robot agricolo Trektor è in grado di lavorare autonomamente su vigneti a filari stretti e larghi, in orticoltura e in arboricoltura grazie alla possibilità di variare sia la carreggiata delle ruote (motorizzata con regolazione a un passo di 530 mm), sia la larghezza e l'altezza del veicolo (motorizzata con regolazione a un passo di 400 mm).



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture



Oz è il primo robot prodotto dall'Azienda. Largo 47 cm, alto 83 cm e lungo 130 cm con una luce dal suolo di 7 cm, lavora in modo ottimale in contesti orticoli e vivaistici o comunque con superfici ridotte.

Il piccolo robot funziona in modo autonomo grazie al sistema di guida Gps e in aggiunta alle operazioni di erpicatura, zappatura, ricalzatura e diserbo meccanico in generale, su Oz è possibile integrare anche delle seminatrici di precisione affinché possa gestire tutte le fasi dalla semina alla raccolta.

Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

Ted: pensato per il diserbo meccanico dei vigneti. Si tratta di una macchina scavallante specifica per le operazioni su vite con forma di allevamento a spalliera. Oltre alle operazioni di diserbo meccanico sulle file della coltura, può svolgere altre operazioni come sfogliatura ed antispollonatura. Può essere impiegato con pendenze fino al 30% su diverse tipologie di terreno. Una volta eseguita la mappatura del vigneto, il robot stabilisce il percorso da compiere in funzione delle coordinate GPS in modalità RTK, avvalendosi per la navigazione di laser tipo Lidar, di sensori a ultrasuoni per il rilevamento di eventuali ostacoli tra i filari, di videocamere per la ricostruzione tridimensionale della chioma delle piante nonché di sistemi di geofencing che, tramite dati sempre aggiornati, verificano costantemente il posizionamento dei mezzi nell'area di lavoro preimpostata. La presenza di camere destinate al riconoscimento dell'interfila del vigneto e delle infestanti, permette un diserbo meccanico efficiente, preciso e privo di danni per la coltura.



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

Dino grazie alle sue dimensioni maggiori, è stato progettato per lavorare con diverse colture orticole su appezzamenti fino a 25 ha e raggiunge velocità di 3-4 km/h. Il robot rileva i filari delle colture per diserbare il più vicino possibile alle piante grazie a un sistema di guida autonoma che combina le informazioni del Gps e di altri sensori.



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

Jo, è un cingolato di dimensioni compatte utile per le lavorazioni in vigneti ad alta densità, abbinato con attrezzi specifici, effettua con efficacia il diserbo meccanico tra i filari e sul filare.

Orio si presenta come una soluzione innovativa e versatile da utilizzare per le lavorazioni di pieno campo in colture a file e orticole, seminativi e per la produzione di semi. Uno dei maggiori punti di forza del nuovo robot Orio è la dotazione di due porta attrezzi che permettono di trasportare più attrezzature in posizione diverse: un porta attrezzi con portata di 600 kg è situato in posizione centrale ed è adatto a ricevere un modulo di semina oppure strumenti di zappatura specifici, l'altro con attacco a tre punti dalla portata di 200 kg è collocato nella parte posteriore e permette di montare attrezzi già in possesso dall'azienda.



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture



“**FarmDroid F20**” è un robot progettato da FarmDroid ApS, un’azienda danese che attualmente è in partnership con ARVAtec Srl che ha acquisito la rivendita dei robot FarmDroid per rendere possibile lo sviluppo commerciale in Italia.

FarmDroid F20 svolge in autonomia la semina e il diserbo meccanico delle colture. È dotato di 4 pannelli solari per garantire un’alimentazione totalmente indipendente ed è utilizzabile su molteplici colture. Dopo aver impostato le configurazioni operative, aggiustato la profondità di lavoro e la distanza fra i semi, il robot inizia a seminare autonomamente grazie alla tecnologia GPS - RTK. Per le semine ad alta precisione, può montare da 4 a 12 contenitori sulle file e differenti dischi di semina a seconda della coltura utilizzata (prezzemolo, cipolla, barbabietola rossa, barbabietola da zucchero, coriandolo, insalate, colza, verdure). Integra anche un sensore per il rilevamento degli errori durante il lavoro.

Grazie alla tecnologia GPS, è possibile conoscere la posizione di ogni singolo seme messo a dimora e questo permette al robot di eseguire un diserbo di precisione prima che la coltura emerga in superficie, riducendo così la concorrenza delle infestanti.

Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

Una soluzione per giustificare i maggiori costi delle attrezzature robotizzate per le lavorazioni in pieno campo, è estendere le funzionalità e renderle compatibili con varie operazioni e varie colture.

EarthAutomations, ha quindi progettato **Dood**, un trattore autonomo multi-attrezzo dotato di attacco a tre punti per permettere l'utilizzo delle attrezzature già presenti nel parco macchine aziendali.



Attrezzature robotizzate per la gestione delle colture

Icaro X4, un robot italiano progettato dalla Start up Free Green Nature di Colle Umberto (TV), è il primo robot a guida autonoma con tecnologia ibrida per il trattamento dei vigneti con le radiazioni UV-C. La sua funzione è quella di proteggere la vite dai danni provocati da peronospora e oidio, utilizzando due **pannelli laterali ripiegabili e adattabili, composti da emettitori a raggi UV-C**. Tali radiazioni hanno effetti germicidi e sono in grado di devitalizzare i microrganismi presenti sulla superficie delle foglie o dei grappoli, inoltre stimolano le naturali difese della pianta, inducendo la vite a produrre sostanze fungicide e fungistatiche che possono bloccare lo sviluppo dei funghi patogeni Icaro X4 è dotato di due pannelli laterali ripiegabili e adattabili, composti da emettitori a raggi UV-C

Contro l'Oidio i raggi ultravioletti sono efficaci al 100% in quanto questo fungo si sviluppa sulla superficie della foglia. Mentre per quanto riguarda la Peronospora, che penetra attraverso gli stomi e si insedia in profondità nei tessuti, l'efficacia è più limitata ma l'utilizzo dei raggi UV si presenta comunque risolutiva perché consente una riduzione sensibile dei trattamenti permettendo di contare sull'induzione delle autodifese della pianta stimolate dagli UV.





Attrezzature robotizzate per il monitoraggio

- Grazie all'utilizzo di telecamere, sensori e algoritmi di riconoscimento delle immagini, le attrezzature possono raccogliere informazioni dettagliate sullo stato delle colture.
- In foto *TerraSienta*, un robot progettato per raccogliere dati in tempo reale sullo stato delle colture agricole.

Una nuova frontiera della meccanizzazione in agricoltura

«L'agricoltore di domani sarà una sorta di addetto alla sicurezza che, in una stanza piena di monitor, controllerà l'attività all'interno dei suoi campi riprogrammando software e monitorando parametri raccolti dai macchinari che in autonomia aggireranno tra i filari. Niente più lavori faticosi, niente più schiene piegate.»

<https://ilmanifesto.it/quando-i-robot-sostituiranno-i-contadini/>

Grazie agli agribot l'agricoltore non avrà solo ettari di colture ma anche enormi quantità di dati e potrà decidere in modo più accurato e senza dover faticare in campo → questo non è un allontanamento dell'uomo dai campi ma **una vera e propria immersione** in essi e nei **big data** che generano.

5. TECNOLOGIA A RATEO VARIABILE

TECNOLOGIE PER L'APPLICAZIONE A DOSAGGIO VARIABILE



Dopo aver raccolto informazioni dettagliate sulla coltura e dopo aver individuato e scelto le strategie con cui agire su di un appezzamento, l'operatore agricolo deve avvalersi di attrezzature che permettano di distribuire gli input produttivi quali semi, concimi, pesticidi, ecc., in maniera differenziata e razionalizzata.

Si tratta di *tecnologie a rateo variabile*.

TECNOLOGIE PER L'APPLICAZIONE A DOSAGGIO VARIABILE



La tecnologia di applicazione variabile può essere basata su mappe o su sensori.

- **La tecnologia di applicazione variabile basata su mappe** consiste nell'utilizzo di macchine che possono modificare l'entità di un trattamento specifico, tramite le informazioni contenute nelle mappe di prescrizione. Questo è possibile grazie al GPS che consente di regolare il funzionamento del macchinario a seconda del punto dell'appezzamento in cui si trova, il quale ha caratteristiche ed esigenze ben precise e precedentemente analizzate.
- **La metodologia basata invece sui sensori**, utilizza sensori chiamati “**on the go**”, i quali rilevano in tempo reale, i parametri connessi con la resa della coltura, condizionata dalle caratteristiche del suolo, stato della coltura, ecc. Queste informazioni vengono poi utilizzati come indicatori per la distribuzione e regolazione dei vari input produttivi.

L'APPLICAZIONE A DOSAGGIO VARIABILE

- L'applicazione delle tecnologie a dosaggio variabile in agricoltura necessita di un adeguamento delle macchine da utilizzare.
- Infatti, bisogna prestare molta attenzione alla regolazione e taratura delle attrezzature prima dell'entrata in campo poiché una mancata o erronea taratura può causare aumenti di costi e/o vanificare i fini dell'intervento.
- Questa applicazione trova riscontri nella gestione di:
 - Fertilizzazione;
 - Applicazione di fitofarmaci;
 - Semina;
 - Raccolta.



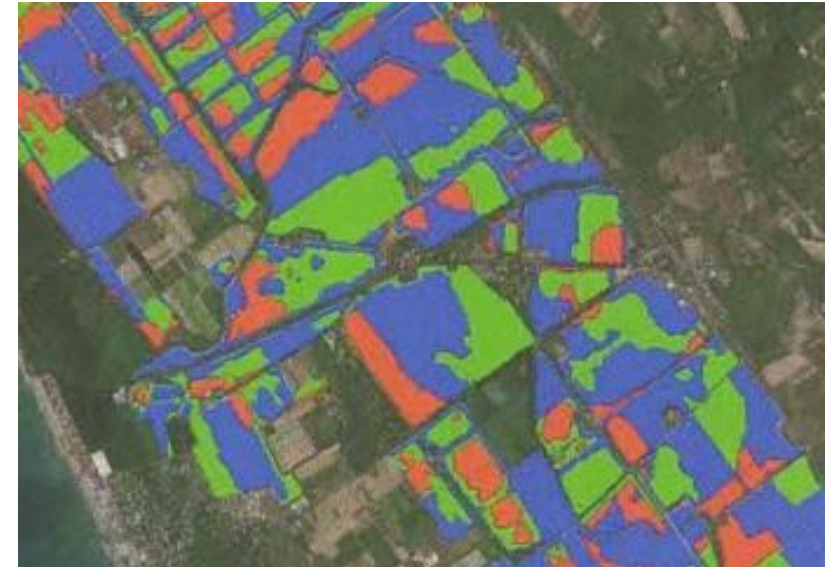
FERTILIZZAZIONE DI PRECISIONE

- 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.
- 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'NDVI è l'indice di vegetazione utilizzato per differenziare il suolo dalla vegetazione e quindi per l'irrorazione spot. Rispetto all'irrorazione di interi campi, quella spot consente un notevole risparmio di erbicidi e quindi riduce il loro impatto ambientale.



FERTILIZZAZIONE DI PRECISIONE

- L'associazione di una dose di fertilizzante valutata in base alle reali esigenze della pianta, per ciascun livello di vigoria, consente di generare una **mappa di prescrizione**.
- La mappa di prescrizione suddivide l'appezzamento in un determinato numero di classi, con caratteristiche vegeto-produttive analoghe (ad esempio zone omogenee ad alta, media e bassa produttività) e accomunate da simili fabbisogni nutrizionali.
- In foto esempio di mappa di zone a diversa potenzialità produttiva all'interno di ciascun appezzamento, individuata da serie storiche di immagini satellitari Landsat.
- In ogni appezzamento sono stati individuati in rosso zone ad alta produttività in verde zone con produttività nella media in blu zone produttività sotto la media



FERTILIZZAZIONE DI PRECISIONE

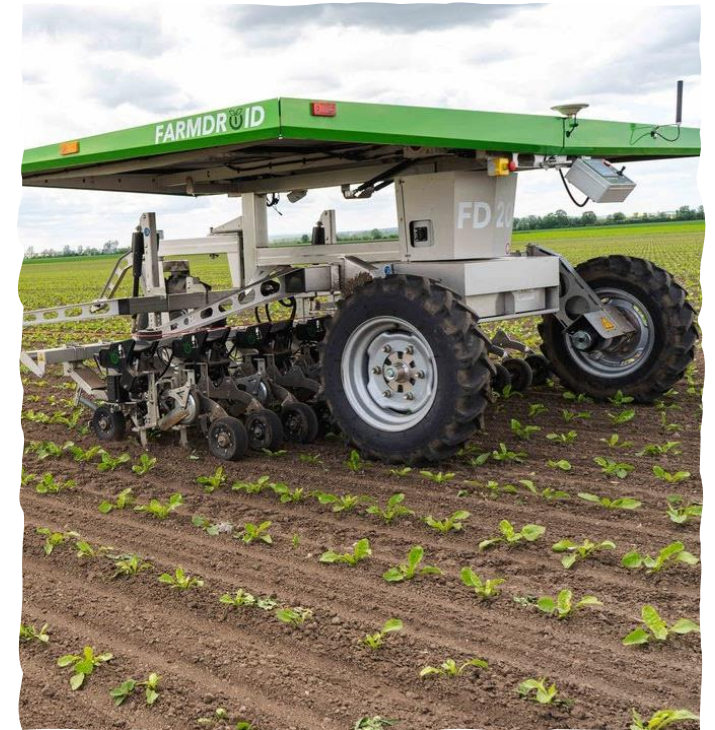
- Oltre ai concimi fogliari, possiamo trovare anche quelli granulari.
- Sono disponibili sul mercato spandiconcimi che consentono una distribuzione localizzata, anche con interrimento, oppure i più avanzati con un sistema di pesatura automatico che garantisce la corretta operatività della macchina anche in condizioni di forte inclinazione.
- In foto un modello di *spandiconcime a dosi variabili con pesatura automatica*: offrono la possibilità di distribuire dosi variabili di prodotto in accordo con una mappa di distribuzione opportunamente elaborata.
- Il funzionamento si basa sul confronto tra la mappa e la posizione in campo determinata da un ricevitore GPS, unitamente alle prescrizioni agronomiche contenute in un file (dosi da erogare per ciascuna classe della mappa).



Semina di precisione

Gli obiettivi della semina attuata con la tecnica dell'agricoltura di precisione sono:

- il controllo e la variazione della *densità* di seme
- il controllo della *profondità* di deposizione del seme
- Il controllo della *uniformità* o regolarità della semina



Semina di precisione



Le seminatrici di precisione, a distribuzione essenzialmente pneumatica, sono adatte per basse densità di semina, perché depositano un seme per volta mentre quelle a distribuzione meccanica sono più adatte per le alte densità.

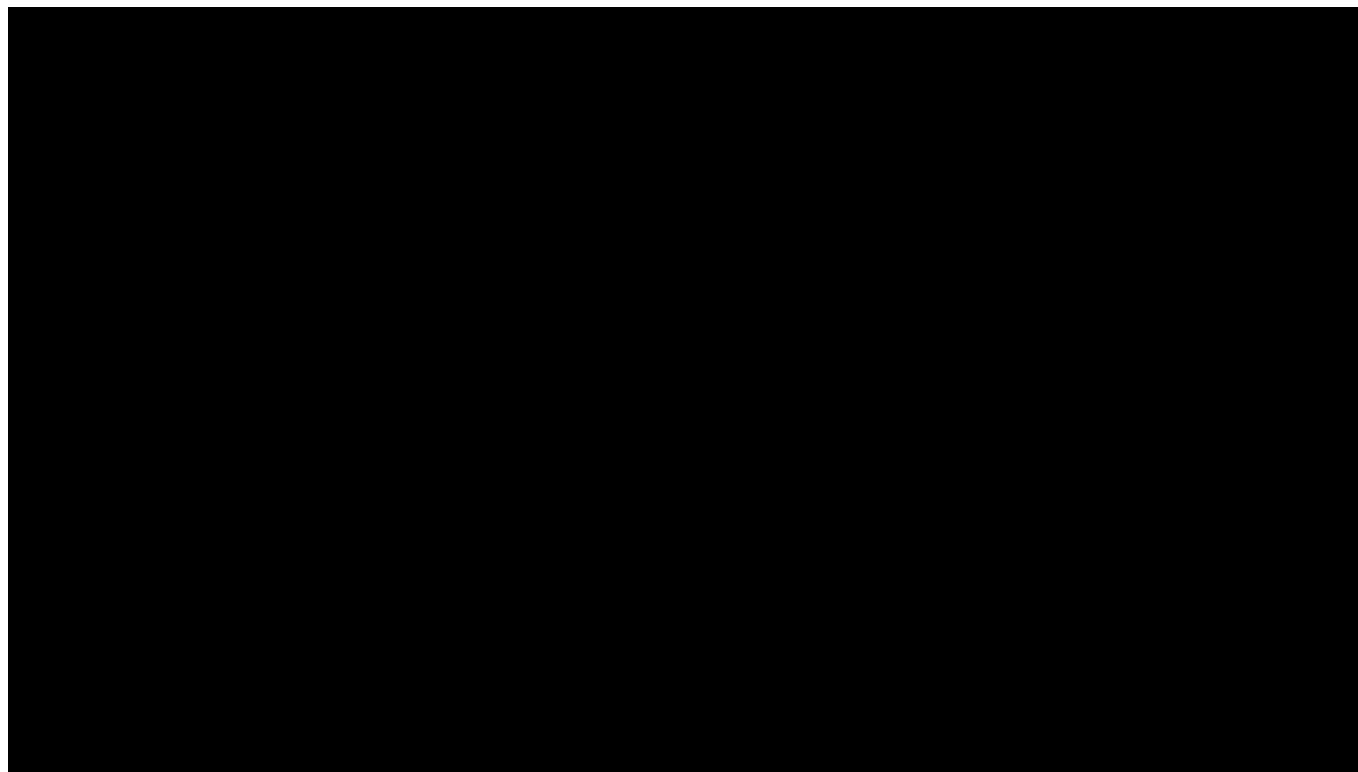
Lo stato dell'arte nel settore delle seminatrici di precisione riguarda il controllo della regolarità di semina attraverso l'applicazione di **sensori optoelettronici** che, in tempo reale, contano i semi passanti nel tubo adduttore e misurano intervallo di tempo tra un seme e l'altro

In questo modo conoscendo, la velocità di avanzamento è possibile determinare la percentuale del seme deposto regolarmente e le classi corrispondenti alle mancate o doppie deposizioni

Le indicazioni fornite dal monitor possono orientare l'operatore ad attuare le regolazioni più idonee.

In foto **FarmDroid FD20**, un robot che integra la tecnologia GPS RTK per semine a precisione elevata e successive sarchiature perfette. Per le semine ad alta precisione può montare 6 o 8 contenitori sulle file e differenti dischi di semina a seconda della coltura utilizzata.

LA SEMINA DI PRECISIONE



Raccolta selettiva

La tecnica della raccolta selettiva prevede la *differenziazione del prodotto al momento della raccolta in base a precisi criteri qualitativi utilizzando economicamente la variabilità temporale e spaziale delle caratteristiche della produzione di un appezzamento.*

La raccolta selettiva è stata applicata nella raccolta dell'uva e si realizza:

- con la raccolta contemporanea in due o più tramogge, presenti su idonee vendemmiatrici
- con una raccolta frazionata, in modo che aree differenti siano raccolte in tempi diversi, sulla base di analisi degli indici di vegetazione eseguite con immagini multispettrali derivanti da satelliti o da altre piattaforme

I vantaggi conseguibili sono:

- la raccolta di prodotti di qualità omogenea mediante raccolte scalari,
- il conferimento di un prodotto con caratteristiche merceologiche omogenee

Le esperienze per colture estensive sono state, ad oggi, meno numerose e prevalentemente limitate, a quei prodotti che alla raccolta presentano un prezzo diverso in funzione delle loro caratteristiche qualitative (ad esempio, il frumento tenero e duro ed il pomodoro)

In foto **Flying Autonomous Robots** pensato per la raccolta automatizzata di frutta



Diserbo di precisione

- Pensato per il diserbo tra le file, Orio è un esempio di rover agricolo collaborativo utile ad effettuare lavorazioni di precisione.
- Sviluppato da Naio Technologies che ha messo sul mercato anche Dino, Oz e Ted, si dedica a lavorazioni su orticole.
- Grazie al sistema di navigazione GPS, ai sensori e alla telecamera Orio si orienta e si muove in **completa autonomia** ed è in grado di rilevare la coltura, adattare la posizione dei suoi attrezzi e diserbare il più vicino possibile senza danneggiarla.



OBIETTIVO: Razionalizzare l'uso delle risorse ambientali

Nuova configurazione del frutteto
Digitalizzazione agricola
Nuove competenze



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 "Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione"



Grazie per l'attenzione

