
Corso di Meccanizzazione di precisione

Utilizzo di droni in agricoltura di precisione

Prof. Ing. Francesco Santoro

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.)

Università di Bari Aldo Moro

La sensoristica in agricoltura di precisione

consente di effettuare osservazioni e fornire informazioni georiferite

raccomandano uno degli input principali del processo di elaborazione dell'informazione a fini gestionali in agricoltura di precisione.

- Negli ultimi anni si sono sviluppati sensori per telerilevamento, idonei all'analisi dello stato fisiologico delle colture delle mediante l'acquisizione di dati puntuali o spaziali (immagini).
- Sistemando sensori ottici multispettrali o termici a bordo di piattaforme remote (aerei o satelliti) si può analizzare la risposta spettrale delle colture, in termini di riflettanza ed emissività in varie lunghezze d'onda
- Mediante indici di vegetazione si può quindi studiare la variabilità spaziale e temporale dello stato di salute delle colture, come il contenuto di clorofilla o la presenza di condizioni di stress.
- Le suddette piattaforme impiegate per attività di telerilevamento presentano limiti applicativi.
- Sebbene una valutazione economica dei costi di queste piattaforme sia complessa e soggetta ad alta variabilità in funzione delle superfici da monitorare, le piattaforme quali satelliti o aerei presentano una limitata versatilità, scarsa flessibilità operativa e ridotta risoluzione spaziale e temporale.

Lo sviluppo dei droni

Nell'ultimo decennio hanno trovato una progressiva diffusione nuovi strumenti di monitoraggio, ovvero gli **aerei a pilotaggio remoto** definiti

- UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o
- UAS (Unmanned Aerial System) o
- SAPR (Sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto) o, più comunemente
- droni



Un'ampia varietà di sensori adatti ad essere portati su SAPR, sono in commercio, fra cui:

- **Sistemi di acquisizione d'immagini iperspettrali per descrivere la risposta spettrale specifica delle colture;**
- **Sistemi LiDAR (Light Detection And Ranging), che forniscono una caratterizzazione tridimensionale ad estrema precisione, per valutazioni strutturali e di biomassa.**

Principali applicazioni di monitoraggio da droni 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

Lo sviluppo dei droni

Il SAPR può:

- essere controllato a distanza, rimanendo nel campo visivo di un pilota a terra;
- volare autonomamente seguendo un insieme di punti reimpostati, detti **waypoints**, definiti dall'utente, tramite un complesso sistema di sensori di controllo del volo, **controllati da un microprocessore**, quali:
 - **giroscopi,**
 - **bussola magnetica,**
 - **GNSS,**
 - **sensore di pressione**
 - **accelerometri triassiali**





Lo sviluppo di droni

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.

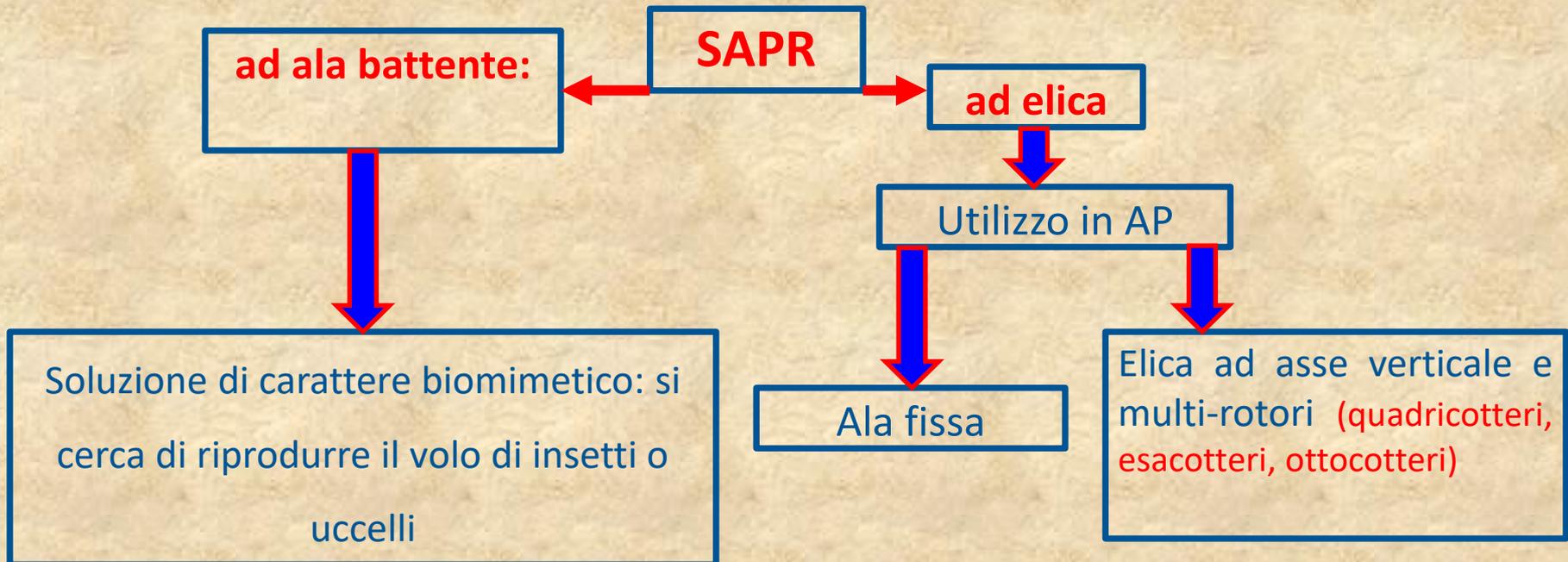
SAPR

Con il termine di SAPR si definisce un complesso sistema di acquisizione dati, costituito da:

- Piattaforma impiegata per monitoraggio remoto (drone)
- Sensore/sensori, che rappresentano il *payload* supportato dal drone
- Stazione di controllo a terra (pilota, controllore)

Tipologie di SAPR

- Sono molte le tipologie di SAPR presenti sul mercato, tutte distinte per caratteristiche che possono differire moltissimo tra diversi modelli.
- Una semplice classificazione delle piattaforme SAPR può essere effettuata in base alla modalità di volo adottata



Recente classificazione dei droni

Queste piattaforme sono distinte in famiglie in base alla quota e alla durata del volo

Famiglia mini UAV

```
graph LR; A[Famiglia mini UAV] --> B[MAV (Micro-UAV)]; A --> C[NAV (Nano-UAV)];
```

MAV (Micro-UAV)

NAV (Nano-UAV)

- caratterizzati da dimensioni minime (massimo 15 cm per pochi grammi di peso);
- in grado di operare a basse quote (decine di metri) per brevi tempi di volo (10 minuti)
- finalizzati ad attività di sorveglianza e monitoraggio, in cui rientra la classe di sistemi ad ala battente precedentemente descritta.

Recente classificazione dei droni

Queste piattaforme sono distinte in famiglie in base alla quota e alla durata del volo.

Le altre classi comprendono:

- **LASE (Low Altitude e Short Endurance)**, ossia piattaforme in grado di effettuare opzioni di volo a bassa quota e breve durata di volo;
- **LALE (Low Altitude e Longue Endurance)**;
- **HALE (High Altitude e Short Endurance)**.

Il riferimento alla categoria:

bassa quota → voli che raggiungono massimo 1500 metri;

breve durata → voli non superiori alle 2 ore.

Recente classificazione dei droni

LASE (Low Altitude e Short Endurance), ossia piattaforme in grado di effettuare opzioni di volo a bassa quota e breve durata di volo;

Hanno le seguenti caratteristiche:

- Sono piccole piattaforme aeree ad ala fissa di circa 2-5 kg, con apertura alare inferiore ai 3 metri;
- Sono sistemi a decollo ed atterraggio orizzontale, con diverse modalità di decollo:
 - da terra,
 - con lancio a mano da parte dell'operatore,
 - per mezzo di un sistema a catapulta.
- Questi sistemi si spingono sino a 1500 metri di altitudine circa con autonomie di volo di circa 1-2 ore.

Nella classe LASE s'inseriscono i **VTOL (Vertical Take-Off & Landing)**:

- sistemi mono o multirotori a decollo e atterraggio verticale;
- ottimi in ambienti con terreno irregolare o spazi limitati.
- La quota di volo è mediamente intorno ai 500 metri
- l'autonomia di volo varia da 20 minuti ad un'ora circa, in funzione del modello e del payload supportato.

Recente classificazione dei droni

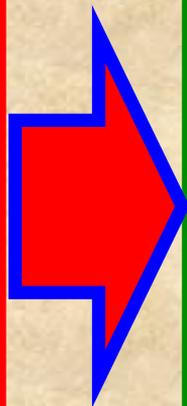
Le altre classi comprendono:

- **LASE (Low Altitude e Short Endurance)**, ossia piattaforme in grado di effettuare opzioni di volo a bassa quota e breve durata di volo;
- **LALE (Low Altitude e Longue Endurance)**;
- **HALE (High Altitude e Short Endurance)**.

Le classi **LALE** e **HALE** comprendono **piattaforme ad ala fissa** in grado di raggiungere 5000 m circa sino a 20000 m ed oltre in alcuni modelli di HALE. I tempi operativi possono superare le 30 ore e queste piattaforme possono superare più di 10 kg di payload, **ma questi sistemi non sono impiegati in operazioni di monitoraggio agricolo.**

Piattaforme più impiegate in agricoltura

- Le piattaforme più impiegate in agricoltura di precisione rientrano nella classe LASE.
- Sono sistemi ad ala fissa e multi rotori, scelti in funzione del tipo di monitoraggio da effettuare, del territorio e della superficie d'interesse.



- Le piattaforme multi rotore VTOL più comunemente impiegate sono:
 - di dimensioni medio-piccole e peso inferiore ai 5 kg al netto del payload
 - **equipaggiate con motori elettrici che limitano il tempo di volo a meno di 1 ora.**
- Hanno capacità di carico limitato la miniaturizzazione dei sensori consente di soddisfare la maggior parte delle esigenze di monitoraggio remoto

Le componenti principali di un SAPR multi rotore

- **Unità centrale (Flight control)**: gestisce il volo
- **Sistema IMU (Inertial Measurement Unit)**: insieme di componenti per il corretto volo del drone. E' un modulo per la misurazione diretta di accelerazioni e velocità angolari rispetto a tre assi dello spazio, comprendente accelerometri, giroscopi, bussola magnetica ed altimetro barometrico;
- **Sistema Navi Control**: elemento che esegue l'algoritmo di inseguimento dei punti precaricati
- **Modulo GPS (Global Positioning System)**:
 - in modalità di volo automatico - invia la posizione del drone alla Navi Control che, a sua volta, tramite l'algoritmo d'inseguimento, comanda alla Flight Control;
 - in modalità di volo manuale - il GPS comanda direttamente la Flight Control;
- **Sistema controllo radio**: un ricevitore che s'interfaccia con un telecomando
- **Sistema ECS (Electronic Speed Control)**: interfaccia l'unità Flight Control con ciascuno dei motori del drone, consentendo di comandare individualmente la velocità di rotazione i ciascuno di essi;
- **Camera Mount (gimbal)**: una culla, stabilizzata basculante su 3 assi, in grado di supportare i sensori e, allo stesso tempo, garantire il corretto orientamento durante gli spostamenti del drone
- **Telaio (frame)**, generalmente in fibra di carbonio

Piattaforme più impiegate in agricoltura

- L'elettronica di bordo dialoga con la stazione a terra per mezzo di un sistema radio bi-direzionale.
- Ciò consente all'operatore a terra di visualizzare la posizione del velivolo, l'orientamento della prua e le informazioni di volo: quota, velocità, autonomia di volo residua, consumi.
- Le immagini acquisite dai sensori di bordo possono anche essere trasmesse e visualizzate istantaneamente dalla stazione a terra, per mezzo di una trasmittente video montata sul drone ed un monitor con ricevitore a terra.



Sensori

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.



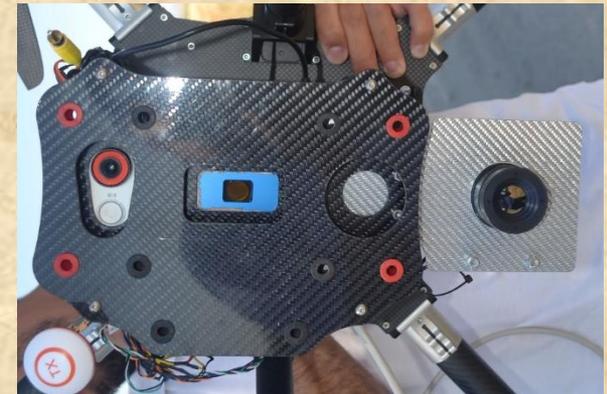
a) Camera visibile RGB; b) camera multispettrale; c) camera iperspettrale; d) spettroradiometro a fibra ottica; e) camera termica ; f) LIDAR

Sensori

- Il telerilevamento in agricoltura di precisione si basa su tecniche di spettroscopia.
- **Si impiegano sensori ottici per la misura della radiazione elettromagnetica a diverse lunghezze d'onda:**
 - nella regione del visibile (VIS 400-700 nm),
 - vicino infrarosso (NIR 700-1300 nm)
 - infrarosso termico (TIR 7.500-15.000 nm).

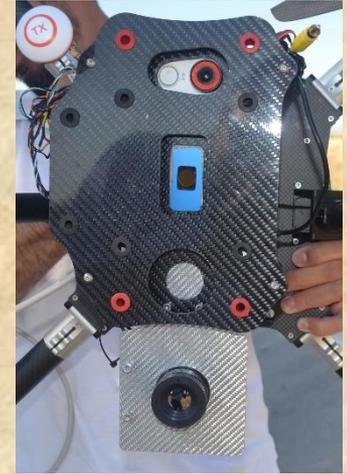
- Il rapporto tra l'intensità del flusso radiante riflesso e incidente è specifico per ogni tipo di superficie.
- **La riflettanza spettrale di un corpo (parete vegetale, suolo, ecc.) è chiamata "firma spettrale".**

- **Le classi più comuni di sensori multi spettrali e iperspettrali sono in grado di rilevare un'alterazione di attività foto sintetica sulla superficie della foglia correlata allo stato nutrizionale, alla salute ed al vigore delle piante.**



Sensori termici

- I sensori termici sono utilizzati per misurare l'emissività dei corpi e, quindi, la temperatura superficiale delle foglie da remoto.
- Questo parametro è correlato a stati di stress idrico della pianta:
 - a seguito di condizioni di carenza di approvvigionamento idrico, la pianta risponde chiudendo gli stomi **per ridurre la perdita d'acqua**, interrompendo il fenomeno di raffreddamento evapotraspirativo e aumentando la temperatura fogliare.



Sensori LIDAR

- I sistemi Light Detection and Ranging (LiDAR) consentono lo studio della struttura delle piante e la stima di biomassa.
- **Questa tecnologia di telerilevamento misura la distanza tra il sensore ed un punto illuminando il bersaglio con un raggio laser e analizzando successivamente il tempo di volo e la quantità di luce riflessa.**

Principali tipologie di sensori impiegati per attività di monitoraggio da SAPR in agricoltura

Sensore	Dettagli	Applicazioni	Limitazioni
Camere digitali RGB	Immagini a colori o in scala di grigi (analisi delle strutture)	Proprietà visibili, crescita	Limitati allo spettro VIS
Camere multispettrali	Poche bande spettrali per ogni pixel nelle regioni VIS-NIR	Risposte multiple di piante a carenza di nutrienti, stress idrico, malattie	Limitate a poche bande spettrali
Camere iperspettrali	Spettri continui o discreti per ogni pixel nelle regioni VIS-NIR	Stress delle piante, produzione di qualità, controllo della sicurezza	Analisi delle immagini complessa, sensori costosi
Spettrometri	Spettri VIS-NIR mediati per un dato field of view (campo visivo)	Malattie, risposte agli stress, fotosintesi, clorofilla	Solo pochi sviluppi per SAPR, il suolo può influenzare la qualità dei dati, possibilità di mixing spettrale
Camere termiche	Temperatura per ciascun pixel (per sensori di calibrazione radiometrica) relative alle emissioni infrarosse termiche	Conduttanza stomatica, risposte delle piante a stress idrico e malattie, supporto a tecniche di irrigazione di precisione	Condizioni ambientali che influiscono sulle prestazioni. Piccole differenze di temperature non rilevabili.
LIDAR	Misure fisiche derivanti dal laser (600-1000 nm) in base al tempo di volo	Stime accurate delle strutture delle piante e del volume	Sensibile a piccole variazioni di lunghezza del percorso