

## GIOVANNI CARUSO - GIACOMO PALAI

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

### NUOVE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO DELL'OLIVETO

#### ABSTRACT

*The different olive systems that choose Umbrian olive growing presented the different roles and needs and required monitoring techniques that differ in terms of methods and purposes. Monitoring in olive growing has undergone a major renewal with the advent of precision agriculture which, through the use of geo-referencing devices and proximity and remote sensors, has used the repair of data collection in the field. This brief contribution will present the main characteristics and potential of remote sensing in olive growing, with particular reference to the use of drones in precision olive growing.*



L'olivicoltura italiana si contraddistingue per essere costituita da un'ampia diversità di sistemi olivicoli che presentano talvolta anche finalità differenti. Oliveti storici, che hanno un valore inestimabile dal punto di vista ambientale e che sono parte integrante del patrimonio storico e culturale di interi territori, si trovano accanto a nuovi impianti olivicoli, molto spesso altamente meccanizzati, finalizzati all'aumento della produttività attraverso una razionalizzazione della gestione agromonica. L'olivicoltura Umbra, così come quella di molte regioni italiane, presenta caratteristiche analoghe.

Le diversità tra i diversi sistemi olivicoli comportano, a loro volta, un differente approccio, nelle modalità e nelle finalità, del monitoraggio dell'oliveto. In oliveti storici o situati in zone soggette a rischio idrogeologico, le finalità del monitoraggio sono riconducibili alla tutela del patrimonio olivicolo attraverso attività di censimento degli alberi, di prevenzione nei confronti di un possibile sviluppo di nuovi focolai infettivi, e di verifica delle sistemazioni idraulico-agrarie dei versanti olivati. Il monitoraggio effettuato in oliveti intensivi ha come obiettivo, invece, quello di fornire indicazioni volte ad incrementare la produttività e la qualità dell'olio da un lato, e ridurre l'impatto ambientale, dall'altro.

A prescindere dalle finalità delle indagini, le tecniche di monitoraggio in agricoltura hanno subito un grande rinnovamento con l'avvento dell'agricoltura di precisione. Dalle misurazioni e rilievi effettuati manualmente, si è passati all'utilizzo di sensori elettronici utilizzabili in prossimità dell'oggetto da analizzare (albero o suolo) all'interno dell'oliveto (proximal sensing) fino ad arrivare al telerilevamento che, attraverso l'uso di fotocamere specifiche per indagini sulla vegetazione, riesce a fornire indicazioni sullo stato di salute della coltura.

Il telerilevamento è una tecnica che permette di acquisire informazioni sulle caratteristiche di un oggetto in funzione del diverso comportamento delle superfici e dei corpi ai fenomeni di assorbimento o riflessione della luce nelle diverse lunghezze d'onda. Dai dati che vengono raccolti attraverso sensori o apparecchi ottici, distanziati dall'oggetto di studio, è possibile estrapolare importanti informazioni riguardanti il terreno e lo stato di salute della coltura durante il suo ciclo produttivo. Gli stessi dati raccolti, distribuiti nello spazio, consentono di realizzare

mappe tematiche georeferenziate che distinguono aree omogenee, ad esempio per la vigoria delle piante, all'interno dell'appezzamento. Attraverso il calcolo degli indici vegetazionali è possibile ottenere informazioni sullo stato di salute della vegetazione in riferimento allo stato sanitario, idrico e nutrizionale. Le comuni metodologie di telerilevamento si basano sull'impiego di satelliti e aerei che, tuttavia, presentano alcuni limiti operativi in ambito agricolo. Il telerilevamento da satellite ha il vantaggio di coprire grandi porzioni di territorio ma, di contro, presenta una risoluzione spaziale delle immagini piuttosto bassa, un alto costo se utilizzato per aziende di piccole dimensioni e delle tempistiche di acquisizione vincolate al passaggio dei satelliti sopra una determinata area. Il telerilevamento aereo consente di raggiungere una migliore risoluzione spaziale rispetto al satellite ma risulta anch'esso antieconomico per aziende di piccole dimensioni. In questo contesto, l'uso degli APR (aeromobili a pilotaggio remoto) per il telerilevamento rappresenta una soluzione innovativa alle problematiche sopra esposte. Gli APR sono dei velivoli caratterizzati dall'assenza del pilota umano a bordo che possono essere manovrati da terra mediante un radiocomando o programmati per l'esecuzione autonoma di rotte prestabilite (Figura 1). Il crescente interesse



*Fig. 1 - APR equipaggiato con fotocamere RGB e multispettrali ed utilizzato per il rilievi presso un oliveto in prova in provincia di Livorno.*

per gli APR è legato, da un lato, al miglioramento delle loro performance (in termini di autonomia di volo e capacità di carico), dall'altro, alla miniaturizzazione di fotocamere e sensori utilizzati per lo svolgimento di lavori aerei di diverso tipo. Tra i principali vantaggi del telerilevamento con APR vi sono sicuramente la flessibilità, la tempestività e la velocità di intervento. Infatti, a differenza degli altri metodi di telerilevamento, con gli APR è possibile organizzare ed effettuare interventi di telerilevamento in tempi brevissimi e, in caso di necessità, ripetere il volo nello stesso giorno. Inoltre, la possibilità di volare ad altezze inferiori rispetto alle altre piattaforme di telerilevamento consente di acquisire immagini con una maggiore risoluzione spaziale, utilizzabili per indagini più dettagliate a livello di singola pianta.

Attraverso il telerilevamento aereo e tecniche specifiche di elaborazione delle immagini è possibile ricavare utili informazioni sulla geometria delle chiome nei frutteti e vigneti (Caruso et al., 2019; Caruso et al., 2017; Caruso et al., inviato\_a) . Alcune sperimentazioni condotte dal laboratorio di frutticoltura di precisione del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali dell'Università di Pisa hanno dimostrato l'efficacia del telerilevamento da drone per la stima dei volumi di olivi in piena produzione (Caruso et al., 2019; Caruso et al., inviato\_b). In particolare, è stato osservato che le stime ottenute da fotogrammetria con drone a bassa quota risultavano più precise rispetto a quelle ottenute da misurazioni a terra, specialmente per gli olivi con chiome particolarmente irregolari. Ciò è dovuto alle semplificazioni che si adottano nelle misure a terra attraverso le quali la chioma dell'albero viene assimilata ad una forma geometrica regolare. Al contrario, i valori derivati da telerilevamento da drone si basano sulla ricostruzione tridimensionale della forma irregolare della chioma dell'albero, permettendo di ottenere migliori stime rispetto a quelle derivate da misurazioni sul terreno. L'utilizzo di questa tecnica di ricostruzione tridimensionale ha consentito di monitorare efficacemente il differente incremento volumetrico delle chiome di olivi sottoposti a differenti regimi irrigui. In un altro esperimento condotto in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali dell'Università di Palermo, la stessa metodologia proposta per la stima dei volumi delle chiome è stata utilizzata per la stima del volume

del materiale di potatura disposto sul terreno in corrispondenza dell'interfilare (Figura 2). Anche in questo caso, è stato possibile stimare corret-

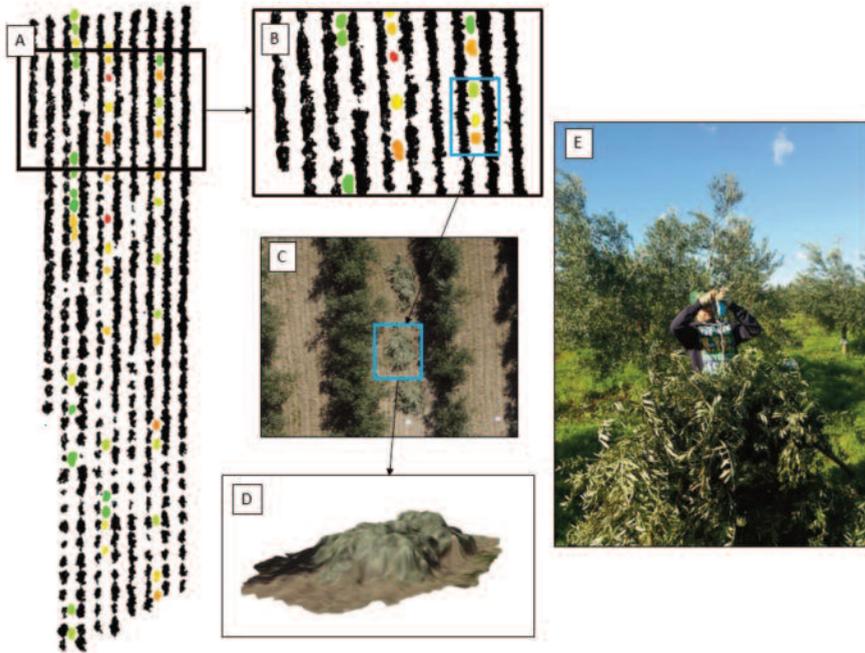


Fig. 2 - Schema del flusso di lavoro utilizzato per stimare il volume dei residui di potatura dell'olivo. A) vista dell'intero oliveto dove si distinguono le chiome degli alberi (nero) e i cumuli dei residui di potatura disposti lungo l'interfilare (colori/grigio); B) ingrandimento di una porzione di oliveto; C) foto aerea dove si distinguono le chiome degli alberi e i residui di potatura; D) ricostruzione tridimensionale di un cumulo di potatura tramite la tecnica "structure from motion"; E) pesatura dei residui di potatura in campo.

tamente il volume dei residui di potatura che risultava ben correlato con il loro peso misurato a terra tramite bilancia elettronica (Caruso et al., inviato b). La stima dei volumi delle chiome e del materiale di potatura mediante telerilevamento da drone può essere applicata alle diverse tipologie di oliveti ed avere finalità differenti. Il monitoraggio della geometria della chioma in oliveti intensivi è finalizzata a definire una corretta strategia di gestione della potatura nell'oliveto, in termini di intensità e turno, nell'ottica di una riduzione dei costi di produzione. Allo stesso

modo, una stima corretta delle caratteristiche dimensionali della pianta consente, nel caso della gestione fitosanitaria nell'oliveto, di stabilire la corretta quantità di soluzione da irrorare in funzione della superficie fogliare da trattare. Un altro risvolto applicativo legato alla possibilità di monitorare l'incremento volumetrico delle chiome, ed estendibile a tutte le tipologie di oliveto, consiste nella possibilità di stimare, attraverso specifiche relazioni allometriche, l'incremento di biomassa aerea a livello di intero oliveto o areale olivicolo. Questo dato può costituire un "input" importante per i modelli di stima del bilancio del carbonio nell'oliveto.

L'utilizzo di fotocamere multispettrali montate su aereo o drone consente di ricavare degli indici vegetazionali relativi allo stato idrico, nutrizionale e fitosanitario della coltura. La possibilità di ricavare da remoto importanti informazioni sullo stato di salute dell'oliveto risulta particolarmente vantaggioso nei casi in cui esso sia situato in zone impervie e poco meccanizzabili. La stessa tecnica, utilizzata su moderni impianti intensivi consente di ricavare mappe tematiche di prescrizione utilizzabili nell'ambito dell'olivicoltura di precisione.

Ad esempio, è possibile stimare l'indice di area fogliare (LAI) a partire dai valori di NDVI (normalized difference vegetation index) ottenuto dall'elaborazione delle immagini multispettrali telerilevate (Figura 3). I valori di NDVI possono essere calcolati a partire da immagini acquisite da satellite, aereo e drone (Caruso et al., 2019; Gómez et al., 2011). Il LAI influenza marcatamente la fisiologia dell'olivo in quanto determina la radiazione intercettata dall'albero, la traspirazione e, quindi, i consumi idrici dell'albero. Appare evidente, pertanto, come la possibilità di stimare questo parametro sull'intero oliveto e in tempi rapidi costituisca un importante miglioramento nella stima del fabbisogno idrico dell'oliveto e dei volumi irrigui da erogare.

È possibile, inoltre, monitorare lo stato idrico dell'olivo da remoto utilizzando fotocamere termiche. La determinazione della temperatura della chioma e dell'aria (mediante sensori in campo) consente di calcolare il differenziale termico tra le foglie e l'atmosfera che, a sua volta, risulta fortemente legato all'attività traspirativa dell'albero e alla disponibilità idrica nel suolo. La temperatura della chioma è influenzata dalla traspirazione che, attraverso il passaggio di stato dell'acqua da liquido a gas,

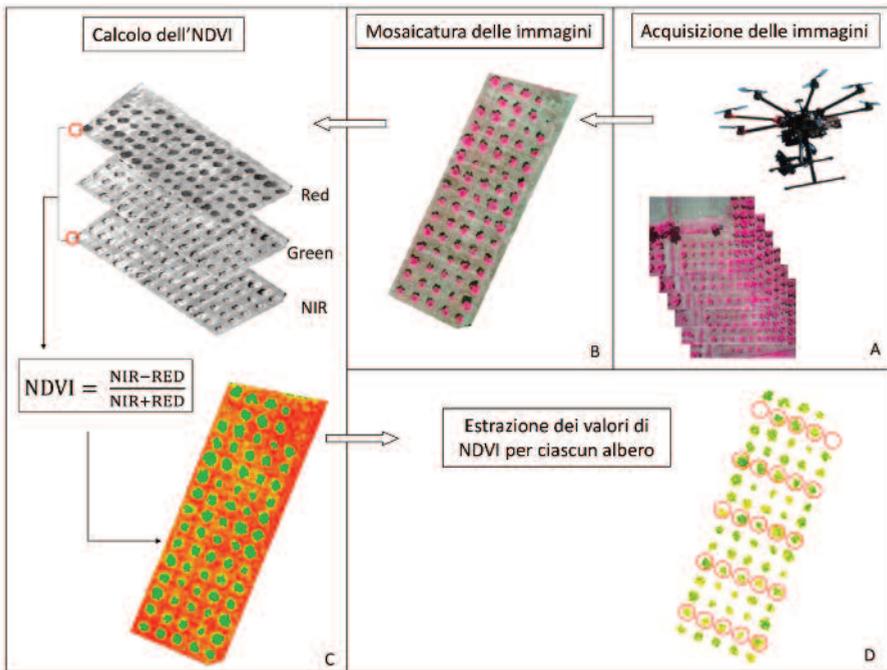


Fig. 3 - Diagramma di flusso della procedura per il calcolo dell'NDVI a partire dalle immagini multispettrali acquisite da APR. Modificato da Caruso et al., 2019, PLoS ONE, vol.11, Article number e0210804.

consente di abbassare la temperatura fogliare. Condizioni di carenza idrica comportano una riduzione della traspirazione e un innalzamento della temperatura fogliare. L'indice utilizzato per la determinazione dello stato idrico dell'albero a partire dal dato di temperatura è il crop water stress index (CWSI) che, considerando anche il valore di pressione del deficit di vapore (VPD), consente di confrontare i valori di giornate caratterizzate da una differente domanda evapotraspirativa. I limiti di questa tecnica sono legati al presenza di vento intenso che, causando il rimescolamento dell'aria in prossimità della chioma, rende meno precisa la determinazione della temperatura fogliare. La possibilità di indentificare da remoto condizioni di stress idrico su singole piante o su intere zone dell'oliveto consente di evidenziare eventuali differenze di tessitura e ritenzione idrica del suolo di oliveti in asciutto. Allo stesso modo, anomalie termiche i aree delimitate di oliveti in irriguo, posso indicare possibili gua-

sti e/o malfunzionamenti di ali gocciolanti o dell'impianto di irrigazione.

Per quanto riguarda il monitoraggio dello stato fitosanitario dell'olivo da remoto, notevoli passi in avanti sono stati fatti per la messa a punto di algoritmi che, partendo da immagini termiche e iperspettrali, riescono ad individuare gli alberi affetti da malattie ma non ancora sintomatici. Un esempio, purtroppo tuttora molto attuale, riguarda l'identificazione mediante telerilevamento di olivi affetti da disseccamento rapido, la fitopatologia causata dal batterio *Xylella fastidiosa* che sta compromettendo l'olivicoltura pugliese. Le alterazioni fisiologiche e funzionali determinate dalla malattia a carico degli olivi colpiti possono essere rilevate strumentalmente dai sensori iper-spettrali e termici, molto prima che lo siano ad occhio nudo nelle osservazioni di campo (Zarco-Tejada et al., 2018). Queste informazioni risultano fondamentali sia per la sorveglianza delle aree esenti dal batterio che per la mappatura della diffusione dell'infezione sui territori colpiti. Un altro esempio riguarda l'identificazione precoce di olivi affetti da verticilloso (*Verticillium dahliae* Kleb.) attraverso l'uso combinato del CWSI, dei rapporti tra le bande nello spettro del visibile (RGB), e della fluorescenza della clorofilla, stimati da immagini telerilevate, (Calderón et al., 2018). In riferimento alla difesa fitosanitaria dell'oliveto un'altra possibile applicazione, in questo caso non legata al monitoraggio ma ad un intervento diretto, riguarda l'applicazione spray a basso volume da drone di prodotti a base di Spinosad, un'insetticida di origine naturale, ammesso in olivicoltura biologica per la lotta adulticida alla mosca delle olive (*Bactrocera oleae* Rossi). Il sistema sfrutta il principio del metodo di lotta "attract and kill" che, attraverso la somministrazione di bassi volumi (circa 5 litri ad ettaro) di esche avvelenate su piante alterne o su porzioni di chioma, è finalizzato al contenimento della popolazione adulta del dittero. Nello specifico, l'utilizzo dei droni per tali applicazioni consiste nella predisposizione di un piano di volo che prevede il sorvolo dei filari a bassa quota (pochi metri al di sopra della chioma dell'albero) e la nebulizzazione sincronizzata al passaggio sopra l'obiettivo (chioma). L'uso di questa tecnica, ancora in fase di sperimentazione e vincolata alla legislazione sui trattamenti fitosanitari per via aerea, potrebbe risultare vantaggiosa soprattutto per gli oliveti situati in zone impervie dove la scarsa accessibilità

con mezzi meccanici rende difficoltoso il controllo della mosca olearia.

Infine, l'uso di tecniche di telerilevamento in attività di ricerca può rappresentare un utile supporto in esperimenti di campo sulla gestione agronomica o nelle prove di fenotipizzazione di nuove o "vecchie" cultivar di olivo da selezionare per nuove tipologie di impianti. A tal proposito, una recente sperimentazione ancora in corso presso i campi sperimentali del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali dell'Università di Palermo, ha dimostrato come sia possibile discriminare le diverse cultivar di olivo sulla base dei parametri biofisici e geometrici rilevati da drone e come l'uso di questa piattaforma aerea possa agevolare notevolmente la raccolta di dati quando il numero di alberi in osservazione è elevato (Caruso et al., inviato b).

In conclusione, le nuove tecnologie legate all'agricoltura di precisione vengono e verranno utilizzate sempre di più anche nel settore olivicolo che, pur presentando ancora marcate differenze con altri sistemi frutticoli in termini di modernizzazione, può giovare sia per la gestione agronomica dell'oliveto che per il monitoraggio territoriale di areali olivicoli molto diversificati come quello umbro.

### **RIASSUNTO**

I diversi sistemi olivicoli che caratterizzano l'olivicoltura umbra presentano ruoli e finalità diversi e richiedono tecniche di monitoraggio che differiscono per modalità e scopi. Il monitoraggio in olivicoltura ha subito un grande rinnovamento con l'avvento dell'agricoltura di precisione che, attraverso l'uso di dispositivi per la georeferenziazione e di sensori di prossimità e da remoto, ha consentito di ottimizzare la raccolta dei dati in campo. In questo breve contributo verranno presentate le principali caratteristiche e potenzialità del telerilevamento in olivicoltura, con particolare riferimento all'uso dei droni in olivicoltura di precisione.

## BIBLIOGRAFIA

- CALDERÓN R., NAVAS-CORTÉS J. A., ZARCO-TEJADA P. J., 2015. *Early detection and quantification of verticillium wilt in olive using hyperspectral and thermal imagery over large areas*. Remote Sensing, Volume 7, Issue 5, Pages 5584-5610.
- CARUSO G., TOZZINI L., RALLO G., PRIMICERIO J., MORIONDO M., PALAI G., GUCCI R., 2017. *Estimating biophysical and geometrical parameters of grapevine canopies ('Sangiovese') by an unmanned aerial vehicle (UAV) and VIS-NIR cameras*. Vitis. 2017; 56: 63-70.
- CARUSO G., ZARCO-TEJADA P. J., GONZÁLEZ-DUGO V., MORIONDO M., TOZZINI L., PALAI G., RALLO G., HORNERO A., PRIMICERIO J., GUCCI R., 2019. *High-resolution imagery acquired from an unmanned platform to estimate biophysical and geometrical parameters of olive trees under different irrigation regimes*. PLoS ONE, Volume 14, Issue 1, January 2019, Article number e0210804.
- CARUSO G., PALAI G., CARUSO M., ROCCUZZO G., STAGNO F., ZARCO-TEJADA P.J., GONZÁLEZ-DUGO V., HORNERO A., GUCCI R. (inviato a). *Using an unmanned platform and VIS-NIR cameras to determine biophysical and geometrical parameters of olive, grapevine and citrus canopies*. International Symposium on Precision Management of Orchards and Vineyards, Palermo 7 - 11 October 2019.
- CARUSO G., PALAI G., D'ONOFRIO C., MARRA F. P., GUCCI R., CARUSO T. (inviato b). *Detecting biophysical and geometrical characteristics of the canopy of three olive cultivars in a hedgerow planting systems using an UAV and VIS-NIR cameras*. International Symposium on Precision Management of Orchards and Vineyards, Palermo 7 - 11 October 2019.
- GÓMEZ J. A., ZARCO-TEJADA P. J., GARCÍA-MORILLO J., GAMA J., SORIANO M. A., 2011. *Determining biophysical parameters for olive trees using CASI-Airborne and Quickbird-Satellite imagery*. Agron Journal, 103: 644-654.
- ZARCO-TEJADA P. J., CAMINO C., BECK P. S. A., CALDERON R., HORNERO A., HERNÁNDEZ-CLEMENTE R., KATTENBORN T., MONTES-BORREGO M., SUSCA L., MORELLI M., GONZALEZ-DUGO V., NORTH P. R. J., LANDA B. B., BOSCIA D., SAPONARI M., NAVAS-CORTES, J. A., 2018. *Previsual symptoms of Xylella fastidiosa infection revealed in spectral plant-trait alterations*. Nature Plants, Volume 4, Issue 7, Pages 432-439.