

## Sistemi di telerilevamento utili alla stima della produzione di legno e frutto in castagneti

Carla Nati<sup>1</sup>, Alessandro Matese<sup>2</sup>, Riccardo Dainelli<sup>2</sup>, Andrea Berton<sup>3</sup>, Niccolò Brachetti Montorselli<sup>4</sup>, Salvatore Filippo Di Gennaro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CNR-IVALSA, Sede di Sesto Fiorentino

<sup>2</sup> CNR-IBIMET, Sede di Firenze

<sup>3</sup> CNR-IFC, Sede di Pisa

<sup>4</sup> Libero Professionista

### Introduzione

Le nuove tecnologie di telerilevamento (remote sensing – RS) si stanno rapidamente diffondendo anche nel settore forestale, per il monitoraggio, l’inventario e la gestione dei boschi. I sistemi disponibili variano in base a caratteristiche quali, ad esempio: la finestra temporale di acquisizione (giornaliera, settimanale, mensile, ecc.), il livello di risoluzione dell’immagine, il tipo di sensori utilizzati (vicino infrarosso – NIR; visibile – RGB; ecc.). La scelta della piattaforma (satellite, aereo, drone) su cui installare i sensori dipende dal livello di dettaglio necessario e quindi dallo scopo che si vuole raggiungere (Matese *et al.*, 2015). Il costo di impiego delle diverse piattaforme è un’altra variabile molto importante di cui tenere conto nella pianificazione del lavoro. In tal senso, i sistemi satellitari (SAT) rappresentano uno strumento a costo zero per osservazioni di lungo termine su vaste aree. I velivoli pilotati forniscono immagini di maggiore risoluzione rispetto ai satelliti, ma sono costosi e necessitano di una attenta pianificazione. Più agili, in termini di programmazione e costi i droni o *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), i quali offrono un dettaglio ancora maggiore rispetto agli aerei (Puliti *et al.*, 2017) ma risultano adatti per coprire aree di limitata estensione, data la ridotta autonomia di volo. Gli UAV hanno conosciuto recentemente una grande espansione, anche nel settore forestale (Torresan *et al.*, 2016). L’obiettivo del presente lavoro è stato quello di testare le potenzialità di diverse piattaforme di telerilevamento nel fornire supporto informativo alla gestione dei castagneti a livello di comprensorio e di dettaglio:

- analisi multitemporale dello stato vegetativo dei castagneti da satellite
- mappatura delle specie forestali da aereo
- stima della biomassa legnosa e della produzione edibile potenziale da UAV

### Materiali e metodi

#### *Disegno Sperimentale*

Il territorio preso in esame è quello del Monte Amiata (GR) in Toscana, un territorio vocato dal punto di vista castanicolo, con ben 3 varietà D.O.P.: Cecio, Bastarda Rossa e Marrone. Nei Comuni di Castel del Piano e Arcidosso sono stati selezionati 3 castagneti privati, all’interno dei quali sono state individuate le aree di prova, 3 coltivate a Cecio, 2 a Bastarda Rossa e 1 con un mix delle prime due, per un totale di circa 6 ha (fig. 1). La varietà è stata l’unica variabile scelta per confrontare tra loro i diversi castagneti, simili invece per accessibilità e gestione. All’interno delle 6 particelle sono state scelte 30 piante, che sono state numerate, marcate con vernice spray e georiferite; di tutte le piante è stato misurato il diametro a 1,3 m da terra (DBH).

#### *Piattaforme di telerilevamento*

Nel progetto sono state impiegate 3 piattaforme di telerilevamento: il SAT Sentinel 2, un aereo ultraleggero e un modello UAV multirottore (fig. 2). Le loro prestazioni nel fornire supporto informativo per la gestione del castagneto sono state valutate analizzando applicazioni specifiche per ciascuna soluzione di telerilevamento.

*Satellite:* con SAT Sentinel-2 è stata condotta un’analisi multitemporale, nelle bande di interesse per lo studio della risposta spettrale di ecosistemi agroforestali. L’analisi ha riguardato il periodo 2017–2018, per l’osservazione dello stato di salute dei castagneti dell’area. Per ciascuna immagine satellitare è stato calcolato l’indice NDVI, ed è stato estratto il dato medio per ciascuna delle particelle analizzate.

*Aereo* L’azienda Terrasystem srl ha realizzato su tutto il versante occidentale dell’Amiata (circa 2500 ha), una campagna di rilievo con il vettore

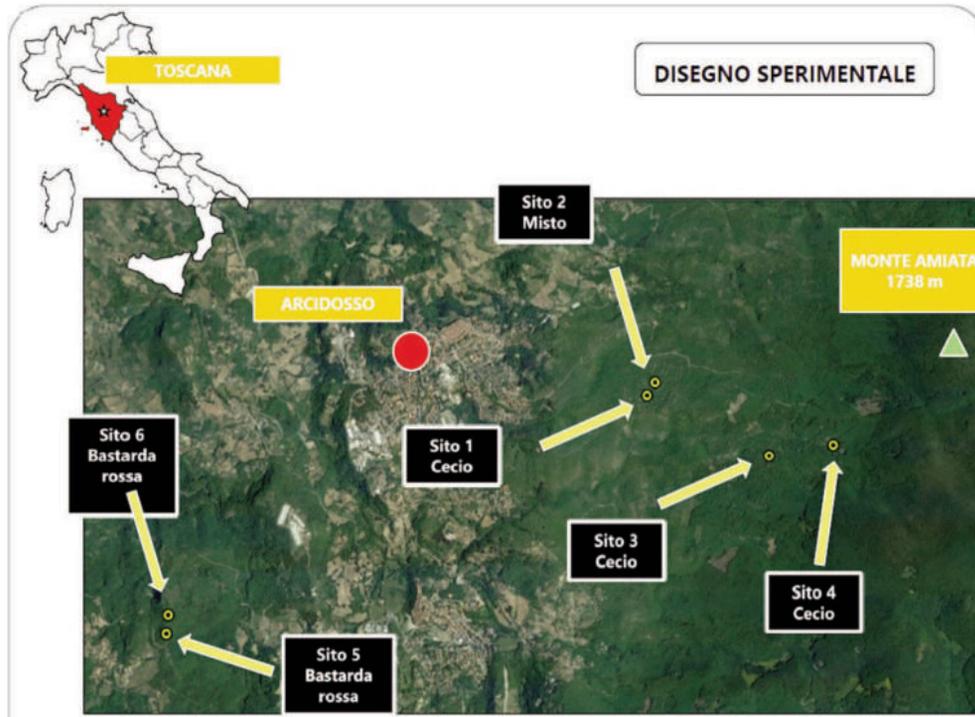


Fig. 1 - Siti sperimentali del progetto

aereo Sky Arrow 650 TC/TCNS per la classificazione delle specie forestali. Le immagini acquisite sono state elaborate per realizzare ortofoto attraverso passaggi di correzione radiometrica (multispettrale) e geometrica (multispettrale e RGB). Il dato multispettrale è stato impiegato per l'analisi dello stato di salute dei castagni nei siti-studio. Il dato RGB visibile è stato impiegato per realizzare una ortofoto in alto dettaglio di tutto l'areale monitorato, finalizzata al riconoscimento fotogrammetrico delle specie arboree e all'elaborazione di una mappa catastale. Osservazioni a terra georiferite hanno consentito di creare una "chiave di riconoscimento fotointerpretativa" per supportare la classificazione delle specie. Eliminando le aree non coperte da bosco, la restante superficie forestale è stata classificata in 6 classi (fig. 3).

*UAV*: Un prototipo multirottore (EFESTO) sviluppato dal CNR (Di Gennaro *et al.*, 2019), ha effettuato voli sui siti-studio prima e dopo l'intervento di potatura sulle piante campione. EFESTO è un sistema progettato per ottimizzare le acquisizioni in contesti agro-forestali, con il miglior compromesso tra portabilità e flessibilità d'uso, autonomia, stabilità in volo e qualità delle immagini acquisite. EFESTO è stato equipaggiato con camera multispettrale per l'analisi dello stato vegetativo dei castagni (dati non presentati) e ricostruzione 3D delle chiome (quantificazione della rimozione di biomassa); camera RGB per la misurazione automatizzata della produzione castanicola. La stima della biomassa rimossa con le potature è stata realizzata comparando il dato di canopy height model (CHM) delle immagini multispettrali acquisite prima e



Fig. 2 - Piattaforme di telerilevamento impiegate nello studio

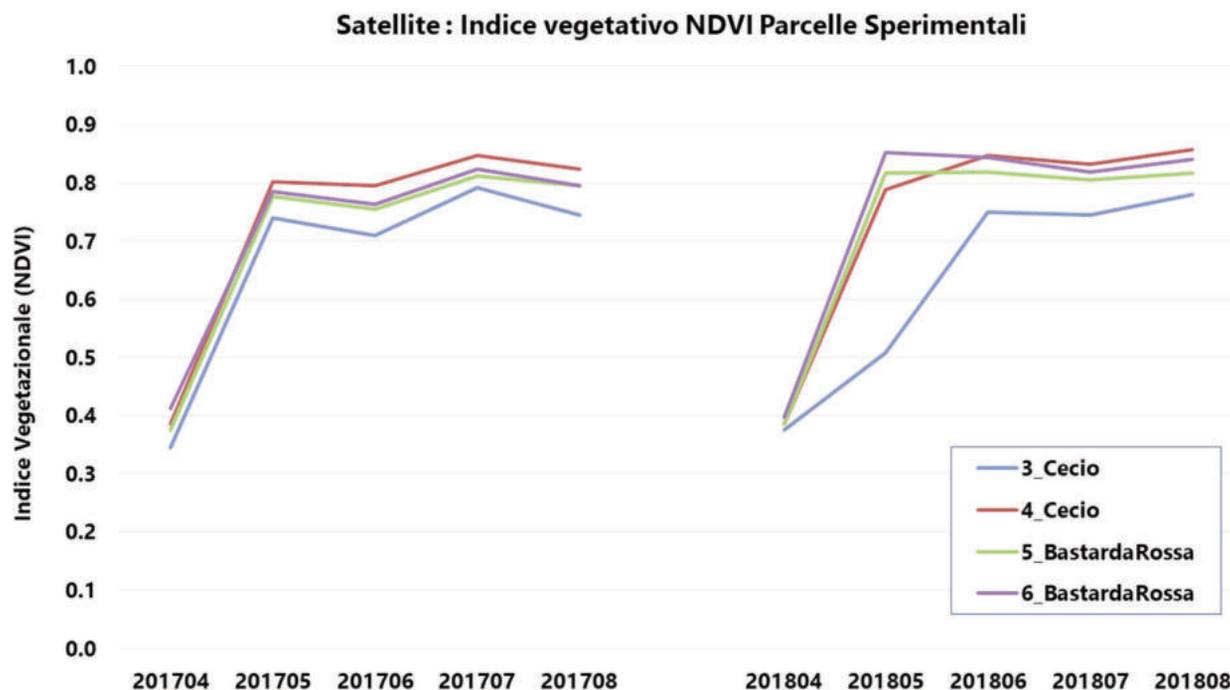


Fig. 3 - Analisi multitemporale del dato NDVI satellitare su 4 siti monitorati

dopo l'intervento di potatura (Matese *et al.*, 2016). Il dato RGB è stato elaborato dalle singole immagini per testare tecniche automatiche di analisi dell'immagine finalizzate al riconoscimento e al conteggio dei ricci sulle chiome di alcune piante (ImageJ software).

#### Misure di biomassa a terra

Dopo aver mappato e georiferito le zone, si è proceduto alla potatura delle piante marcate, separando il materiale di dimensioni sopra i 4-5 cm di diametro, da quello più minuto. Il primo era destinato all'industria estrattiva del tannino o ad essere venduto come legna da ardere dopo una adeguata stagionatura in campo, il secondo, privo di sbocco commerciale, veniva bruciato sul posto. Tutto il materiale di potatura è stato pesato per poterlo ricondurre alla pianta madre, per mezzo di bilance portatili. La precisione delle stesse veniva assicurata attraverso pesate a vuoto dei mezzi di trasporto, che venivano ripetute a cadenze regolari. Campioni di biomassa sono stati raccolti per misurarne il contenuto di acqua e riportare tutto a peso anidro, per poter confrontare tra loro le diverse particelle, patate in momenti diversi.

#### Risultati e discussione

I risultati della valutazione delle performance delle diverse piattaforme di telerilevamento hanno consentito di ottenere diversi prodotti sfruttando le potenzia-

lità di ciascuna piattaforma.

#### SAT - Analisi multitemporale

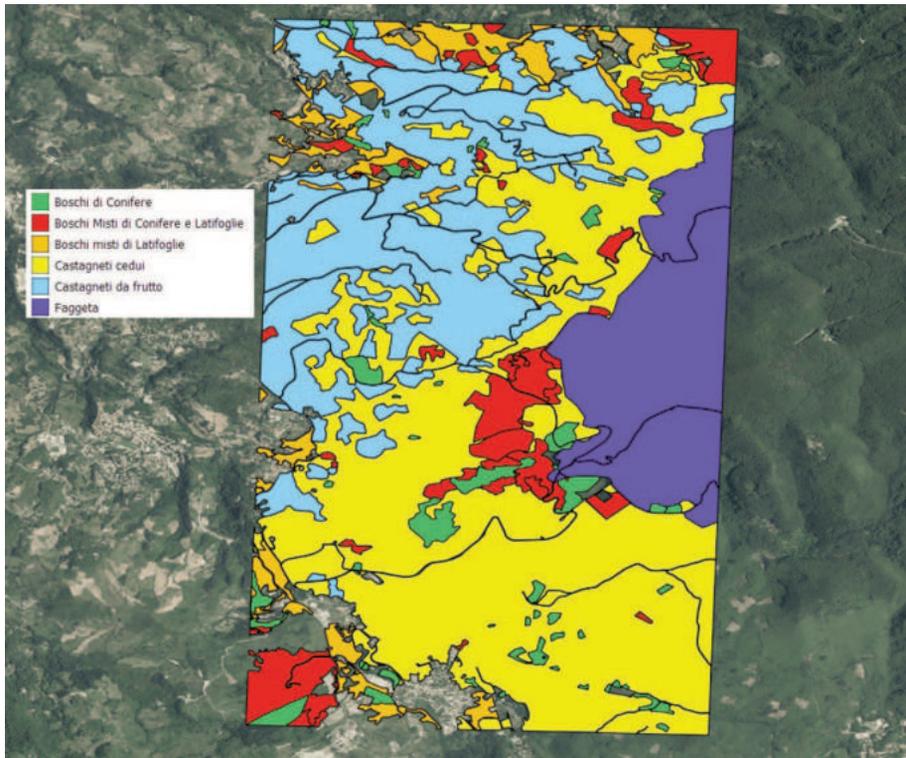
L'analisi multitemporale del dato satellitare ha fatto emergere l'influenza delle diverse annate sulla risposta vegetativa delle piante sia nel 2017, caratterizzato da scarse precipitazioni e alte temperature, sia nel 2018, più in linea con le medie stagionali (fig. 3). Si è osservato inoltre un notevole calo vegetazionale nel 2018 nella parcella 3, chiara risposta spettrale ad un consistente intervento di potatura effettuato in questo sito.

#### Aereo - Analisi fotointerpretativa per classificazione specie forestali

Il processo di fotointerpretazione dell'ortofoto generata da immagini RGB ha consentito di generare una mappa catastale classificata per diverse tipologie di specie forestali. I dati confermano il peso della castanicoltura in questo areale, evidenziando come la superficie totale castanicola rappresenti il 69.79% dell'areale monitorato, su cui i castagneti da frutto hanno un elevato impatto (25.01%) (fig. 4).

#### UAV - Stima di biomassa

Al termine di una serie di test, è stato individuato un approccio in grado di caratterizzare la quantità di biomassa generata dalle potature. L'indice di densità della chioma, estrapolato dal modello delle altezze confrontando il dato 2017 con il dato 2018 ha per-



Classe	Ha
Boschi di Conifere	81.69
Boschi misti di Latifoglie	132.05
Boschi Misti di Conifere e Latifoglie	180.34
Castagneti cedui	1093.49
Castagneti da frutto	610.80
Faggeta	343.68
<b>TOTALE</b>	<b>2442.06</b>

Fig. 4 - Ortofoto ad alta risoluzione in colori reali e sovrapposta la mappa a colori delle tipologie forestali. Tabella di sintesi dei risultati dell'analisi fotointerpretativa degli areali coperti da differenti specie forestali.

messo di caratterizzare le nuove chiome modificate dall'intervento di potatura invernale, trovando una correlazione tra la stima fornita dal drone e la biomassa misurata a terra (valori di  $R^2 > 0.45$  in tutte le parcelle monitorate) (fig. 5) e definire così un metodo per la stima da drone della biomassa rimossa con la potatura. In particolare, l'indice di densità è variato in tutte le parcelle da valori prossimi a 0 (alberi con potatura blanda) fino a valori maggiori di 10, in alberi che hanno subito una potatura forte con biomassa asportata superiore a 500 kg (parcella 3). Non si sono notate differenze significative dell'indice di densità in relazione alle varietà prese in esame (Cecio e Bastarda). Sebbene l'approccio sperimentale testato richieda ulteriore affinamento e validazione, le potenzialità della metodologia sono decisamente interessanti, poiché offrono uno strumento per la stima della quantità di biomassa prima della potatura, agevolando la logistica della raccolta e l'approvvigionamento.

#### UAV - Stima precoce della produzione castanicola

L'elaborazione delle immagini acquisite a quota 25 m nel visibile ha consentito di discriminare correttamente i frutti rispetto alla copertura fogliare. Impiegando un algoritmo di riconoscimento automatico degli elementi d'immagine, è stato possibile effettuare l'individuazione e il conteggio dei ricci, fornendo così una indicazione con largo anticipo (fine

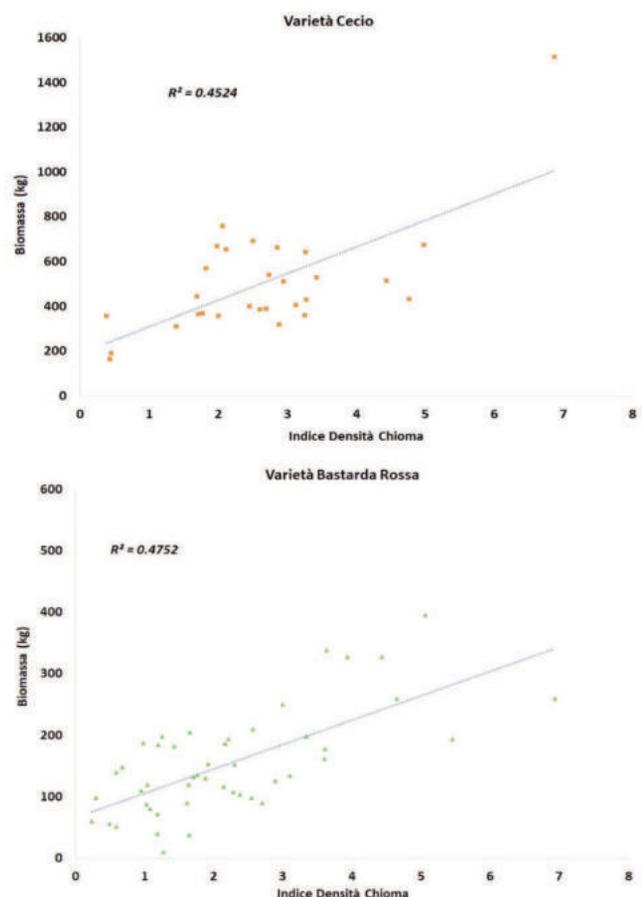


Fig. 5 - Correlazioni lineari tra dato remoto UAV e dati di biomassa monitorati a terra su varietà Cecio e Bastarda Rossa

luglio) della produzione potenziale. Il metodo individuato basato su singole immagini acquisite in punti casuali del castagneto, consente la rapida copertura di un vasto areale e l'elaborazione delle immagini senza necessità di una ricostruzione fotogrammetrica dell'intero appezzamento, in ottica di campionamento random. Questo approccio rende l'elaborazione estremamente rapida, tanto da ottenere in pochi minuti una stima di produzione su larga scala. I risultati preliminari della sperimentazione svolta hanno dimostrato le capacità di questo approccio metodologico, con un errore di circa il 15%. L'esperienza effettuata richiede ulteriore affinamento, per individuare il miglior setup di acquisizione, come ad esempio quota di volo, tipologia sensore e condizioni di luce ottimali.

## Conclusioni

Malgrado lo spopolamento delle aree montane, i costi crescenti, la competizione globale e il deperimento a causa di malattie e di nuovi parassiti, coltivare castagni da frutto rappresenta un'attività importante in molte regioni d'Italia, con produzioni di qualità, certificate da riconoscimenti comunitari DOP e IGP, ed espressione di una preziosa biodiversità. In questo contesto, il supporto di tecnologie e metodologie innovative proprie dell'Agricoltura di Precisione, rappresenta uno strumento chiave per realizzare una castanicoltura sostenibile mirata all'ottimizzazione della produzione e alla tutela dello stato di salute delle piante. La piattaforma satellitare Sentinel-2 si è confermata uno strumento di supporto gratuito ed efficace per valutazioni multitemporali a livello di comprensorio, come ad esempio valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici su fenologia e stato vegetativo. Per quanto riguarda le acquisizioni aeree a bassa quota, sono state ottenute ottime performance su analisi a livello di singolo albero con interessanti applicazioni come riconoscimento varietale per mappature catastali. Le piattaforme UAV si sono dimostrate un

importante strumento per studi di dettaglio e validazione di sistemi di telerilevamento tradizionali a risoluzione spaziale inferiore. Inoltre, le notevoli potenzialità dell'estrema risoluzione spaziale fornita, combinate a tecniche di analisi dell'immagine in continuo sviluppo, rendono gli UAV un potente strumento in grado di fornire rapidamente un supporto informativo per migliorare la gestione dei castagneti con applicazioni innovative precedentemente non realizzabili.

## Ringraziamenti

Il ringraziamento degli autori va a Giovanni Alessandri (Agricis Consulting s.r.l.) e a Lorenzo Fazzi (Associazione Castagna del Monte Amiata). Un ringraziamento particolare va a Mirco Fazzi e Roberto Ulivieri, per il supporto fornito nel corso del progetto.

Il presente lavoro è stato finanziato dal Reg. UE n. 1305/2013 - PSR 2014/2020 – Bando per “Progetti Integrati di Filiera – PIF, 2015”. Atto di assegnazione n. 2359 26/05/2015 - P.I.F. n. 3/2015 “VACASTO PLUS”. Azione 16.2 – Progetto: “OPEN RICCIO”

## Bibliografia

- DI GENNARO S.F., TOSCANO P., CINAT P., BERTON A., MATESE A., 2019. *A Low-Cost and Unsupervised Image Recognition Methodology for Yield Estimation in a Vineyard*. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- MATESE A., TOSCANO P., DI GENNARO S.F., GENESIO L., VACCARI F.P., PRIMICERIO J., BELLI C., ZALDEI A., BIANCONI R., GIOLI B., 2015. *Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture*. *Remote Sens.* 7, 2971–2990.
- MATESE A., DI GENNARO S.F., BERTON A., 2016 *Assessment of a canopy height model (CHM) in a vineyard using UAV-based multispectral imaging*. *International Journal of Remote Sensing* (online), 1-11.
- PULITI S., ENE L.T., GOBAKKEN T., NÆSSET E., 2017. *Use of partial-coverage UAV data in sampling for large scale forest inventories*. *Remote Sens. Environ.* 194, 115–126.
- TORRESAN C., BERTON A., CAROTENUTO F., DI GENNARO S.F., GIOLI B., MATESE A., MIGLIETTA F., VAGNOLI C., ZALDEI A., WALLACE L., 2016. *Forestry applications of UAVs in Europe: a review*. *International Journal of Remote Sensing* 2016 (online), 1-21.