

SALVATORE FILIPPO DI GENNARO\*, ALESSANDRO MATESE\*,  
LEANDRO ROCCHI\*, ANDREA BERTON\*\*, CAROLINA VAGNOLI\*,  
ALESSANDRO ZALDEI\*, CARLA MAZZIOTTI\*, ANTONIO RASCHI\*

## Il telerilevamento e l'agricoltura di precisione per la gestione del territorio e le produzioni agricole di qualità

### INTRODUZIONE

Gli stress biotici e abiotici sono responsabili di significative riduzioni della produzione e del deprezzamento qualitativo di numerosi prodotti agrari. Negli ultimi decenni, una delle maggiori sfide per la ricerca nel settore agrario è stato lo sviluppo di nuove tecniche per la protezione delle colture, che garantissero una tempestiva e accurata definizione del rischio, o dei danni avvenuti, in modo da pilotare le procedure di intervento riducendo al minimo i danni ambientali. Il telerilevamento si è presentato, fin dai primi esperimenti, come una metodologia promettente a riguardo; a tale prospettiva deve essere ricondotta la decisione del CNR, nel 1980, di dar vita a un Istituto di analisi Ambientale e Telerilevamento applicato all'Agricoltura (IATA). Gli stati di stress, infatti, modificano l'interazione fra la radiazione elettromagnetica e le caratteristiche della superficie fogliare, permettendo di identificare eventuali alterazioni anatomiche o fisiologiche nelle lunghezze d'onda appropriate (Bacci et al., 1991).

Di fatto, le prime osservazioni sistematiche della terra dallo spazio avvennero nei primi anni '70 del secolo scorso, e il termine "remote sensing" (poi reso in lingua italiana come "telerilevamento") risale a forse 10 anni prima, intendendosi come telerilevamento la misura di alcune proprietà di un oggetto tramite strumenti di misura non a diretto contatto con l'oggetto stesso (Jones & Vaughan, 2010; Bacci et al., 1991). Fin dal decennio precedente, tecniche fotografiche all'infrarosso erano state usate per la valutazione delle condizioni

\* *Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche IBIMET CNR, Firenze*

\*\* *Istituto di Fisiologia Clinica del Consiglio Nazionale delle Ricerche IFC CNR, Pisa*

di stress (Colwell, 1956) e foto emisferiche per lo studio della struttura della vegetazione (Evans & Coombe, 1959). L'idea di utilizzare la temperatura della vegetazione misurata tramite termometro all'infrarosso per evidenziare stati di stress idrico e inferire il tasso di traspirazione, fu avanzata da Tanner agli inizi degli anni '60 del secolo scorso (Tanner, 1963) ed ebbe all'inizio poco seguito per l'altissimo costo della strumentazione, la macchinosità delle misure, la scarsa riproducibilità dei risultati. Tuttavia, fu presto chiaro che per effettuare screening agronomici, fisiologici e biochimici anche a fini di selezione genetica per la resistenza allo stress idrico, era necessario mettere a punto metodi non distruttivi che fossero rapidi, accurati, e permettessero la gestione di un elevato numero di campioni, nel corso di tutte le fasi di sviluppo della pianta (Hanson and Nelson, 1980). Tali caratteristiche non erano riscontrabili nei metodi tradizionali, mentre la misura della temperatura all'infrarosso offriva buone possibilità. Allo stesso tempo, l'introduzione di radiometri multicanale portatili equipaggiati con filtri adeguati permetteva di effettuare misure nelle stesse bande utilizzate dai satelliti LANDSAT (Pinter et al., 1990).

L'attività di G. Maracchi, nei primi anni di esistenza dello IATA, non si caratterizzò solo per il coinvolgimento diretto nelle ricerche sulle applicazioni del telerilevamento, ma anche e soprattutto nello stimolo ai collaboratori per la costruzione di una rete di relazioni internazionali con le Istituzioni di ricerca più avanzate per lo svolgimento di campagne comuni (Raschi e Scarascia Mugnozza, 1980; Pinter et al., 1987), e nel sostegno allo sviluppo di strumentazione innovativa, per la riduzione dei costi e il superamento dei limiti tecnologici più evidenti.

Se, da un lato, il telerilevamento con misure a terra (da Maracchi confidenzialmente chiamato "telerilevamento da vicino") offriva la possibilità di adattare la struttura sperimentale alle necessità contingenti, il telerilevamento da satellite imponeva di contare su campagne di misura imposte e pianificate da Istituzioni internazionali, con strumenti non flessibili, talvolta con scarsa continuità nelle tecniche di misura, e con evidenti difficoltà per il confronto con quanto misurato a terra, in esperimenti su parcelle di dimensioni limitate (Jones & Vaughan, 2010). Allo stesso tempo, le misure ambientali in situ potevano all'inizio contare solo su strumentazione non automatizzata, e in seguito su sensori digitali di alto costo e su strumenti registratori digitali di alto costo necessitanti di ambienti protetti per un funzionamento prolungato.

Lo sviluppo tecnologico degli ultimi decenni ha portato una significativa riduzione dei costi della sensoristica per misure ottiche a terra e allo sviluppo di protocolli di trasmissione efficienti, mentre per ciò che riguarda i dati

telerilevati, si è assistito a un aumento inimmaginabile dei dati disponibili, e alla riduzione dei costi. A ciò si aggiunge un incremento di performance in termini hardware e software di strumenti digitali di analisi dei dati, affiancato da un'elevata riduzione dei costi. Tutto ciò ha offerto particolari opportunità per lo sviluppo della agricoltura di precisione, in cui è particolarmente critico disporre di dati in tempo reale sulla crescita e la fenologia delle colture, la presenza di stati di stress biotici o abiotici, in modo spazialmente affidabile.

L'agricoltura di precisione è stata definita nel 1999 da Pierce e Novak (Pierce & Novak, 1999) come «un sistema che fornisce gli strumenti per fare la cosa giusta, nel posto giusto, al momento giusto»: è, quindi, un sistema di gestione integrato della produzione agricola, basato su osservazioni, misure e azioni correlate alle necessità delle colture, che mira ad un aumento delle produzioni di qualità coniugato ad un uso efficiente delle risorse (Stafford 2000; Zhang et al., 2002).

In Francia, Germania, Regno Unito le aziende agricole che hanno già adottato le tecniche di agricoltura di precisione superano ampiamente il 20%, negli USA siamo oltre 80%: producono di più e meglio, spendendo meno e riducendo l'impatto sull'ambiente, coniugando finalmente redditività e sostenibilità. In Italia invece solo l'1% della superficie agricola coltivata vede l'impiego di tecnologie legate all'agricoltura di precisione, anche se il dato dovrebbe salire al 10% entro il 2021, secondo gli obiettivi del MIPAAF in linea con quanto richiesto dalla UE. E proprio in accordo con le "Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia" del MIPAAF (2017) all'interno dell'Istituto di Biometeorologia sono state sviluppate due linee di ricerca basate su tecnologie di telerilevamento a diversa scala spaziale e temporale, ossia droni e satelliti.

L'evoluzione tecnologica in campo di automazione ha fornito all'agricoltura di precisione una nuova soluzione per il monitoraggio remoto, definita con l'acronimo inglese UAV, ossia Unmanned Aerial Vehicle. Si tratta di piattaforme aeree ad ala fissa o rotante a pilotaggio remoto, che volano senza l'ausilio di un pilota a bordo. Talvolta vengono anche chiamati impropriamente "droni", dalla parola inglese "drone" che significa "ronzio" per via del rumore prodotto. Possono essere pilotati a vista da un operatore per mezzo di un radiocomando, oppure volare in modalità completamente autonoma, sfruttando un complesso sistema di sensori di controllo di volo (giroscopi, bussola magnetica, GPS, sensore di pressione e accelerometri triassiali) gestiti da un microprocessore. Si possono, infatti, programmare delle rotte di volo, impostando le coordinate di una serie di punti GPS (waypoints). Questi strumenti possono essere equipaggiati con una serie di sensori che permettono di

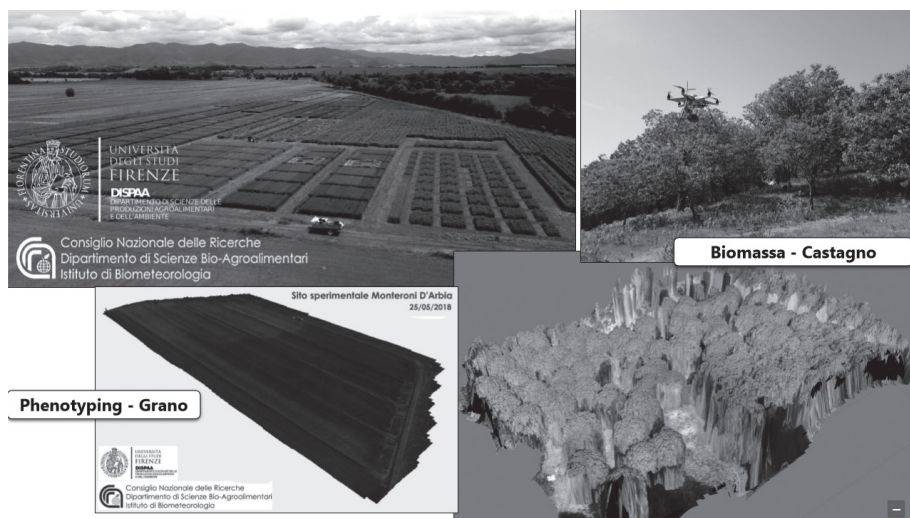


Fig. 1 Esempi di acquisizione della piattaforma Efesto per le produzioni agricole di qualità

eseguire un'ampia gamma di operazioni di monitoraggio (Di Gennaro et al., 2017; Matese et al., 2015; Matese et al., 2018). Si dimostrano di particolare utilità grazie al fatto di essere in grado di assicurare altissima risoluzione spaziale a terra (dell'ordine di pochi centimetri), e allo stesso tempo la possibilità di un monitoraggio altamente flessibile e tempestivo, grazie a ridotti tempi di pianificazione, rispetto all'organizzazione di un volo aereo. Queste caratteristiche rendono questo strumento ideale in vigneti di medio-piccola superficie (1-20 ha), in particolar modo in quelle aree viticole caratterizzate da un'alta frammentazione della superficie vitata dovuta a un'accentuata variabilità. A fronte di questi aspetti positivi, le piattaforme UAV rispetto all'aereo, presentano un importante limite nel peso della strumentazione supportabile a bordo e nei tempi operativi. La piattaforma "Efesto", realizzato in collaborazione con l'azienda Sigma Ingegneria è un drone con caratteristiche ottimizzate per questo tipo di attività, sia in termini di consumi e quindi autonomia di volo, che dimensioni ridotte per renderlo facilmente trasportabile. Il drone è equipaggiato con 3 sensori per consentire un'acquisizione simultanea fondamentale per fornire immagini confrontabili acquisite nelle medesime condizioni ambientali in termini di temperatura e radiazione solare. Tale sistema di sensori di precisione fornisce utili informazioni per valutare le alterazioni cromatiche della chioma (carenze nutrizionali o sintomi fogliari), analisi dell'efficienza fotosintetica e della vigoria, descrizione della variabilità termica della chioma e dettaglio di stati di stress idrico. Nel dettaglio il sistema è costituito



Fig. 2 Esempio di mappe di contenuto idrico

da una camera multispettrale, di una camera nel visibile e infine una camera termica dotate di GPS in grado di ottenere in un unico volo 3 strati informativi georiferiti. Questi sensori ottimizzati per l'utilizzo da droni sono in grado di fornire, nello specifico, una camera multispettrale che fornisce mappe di vigore NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). La camera visibile fornisce risoluzioni spaziale superiori e la possibilità di elaborare modelli 3D per la ricostruzione dell'architettura delle colture e quindi caratterizzarne la biomassa. In ultimo la camera termica consente di analizzare la temperatura superficiale della chioma e derivarne mappe di stress idrico basate sull'indice CWSI (Crop Water Stress Index) (fig. 1).

L'Istituto di Biometeorologia di Firenze, congiuntamente a Barilla S.p.a., ha messo a punto un servizio disponibile *on-line* sul sito web [www.agrosat.it](http://www.agrosat.it), in grado di fornire preziose indicazioni all'agricoltore nella gestione sito-specifica delle colture con tecniche di agricoltura di precisione, per ottimizzare la qualità e la quantità delle produzioni a parità di costi, nonché aumentare la sostenibilità. In effetti, attualmente in Italia sono ancora scarsamente diffuse tecniche di agricoltura di precisione per aumentare la produzione e la qualità del raccolto, riducendo al contempo i costi per gli agricoltori e l'impatto ambientale. Tale servizio web è gratuito e impiega la combinazione dei dati satellitari provenienti dalle piattaforme ESA Sentinel-2A e 2B del programma europeo di osservazione della Terra "Copernicus". Consente la gestione sito specifica delle colture, fornendo diversi prodotti, tra cui in primo luogo le mappe di vigore multitemporali e le mappe di resa potenziale. Inoltre, inserendo una dose di concimazione

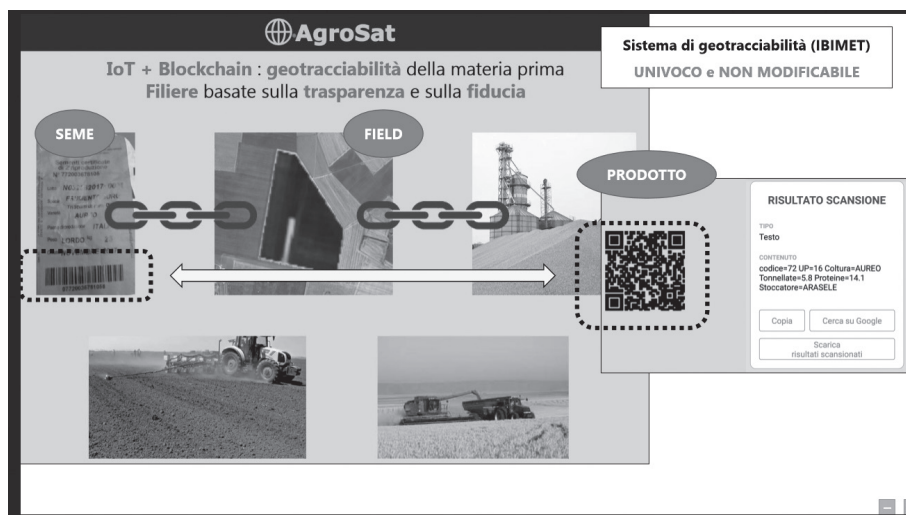


Fig. 3 Geotracciabilità dei prodotti nazionali mediante l'impiego di tecnologia blockchain

standard, il sistema elabora le mappe di prescrizione di concimazione, modellando la dose in base alla variabilità rilevata. Le mappe di prescrizione così realizzate sono esportabili e utilizzabili direttamente su sistemi a rateo variabile. A seguito delle recenti norme nazionali che prevedono l'obbligo di indicazione dell'origine della materia prima in etichetta sia per il riso che per la pasta secca alimentare, l'Istituto sta approfondendo le modalità più idonee per assicurare la geotracciabilità dei prodotti nazionali, garantendone la trasparenza, l'irreversibilità e la verificabilità delle informazioni attraverso una sorta di "passaporto" che impiega la tecnologia *blockchain* (fig. 3).

## RIASSUNTO

Il telerilevamento in agricoltura è una scienza applicata con finalità diagnostico-investigative che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sulle colture poste a distanza da un sensore mediante misure di radiazione elettromagnetica. Le attività di ricerca sul telerilevamento sono punto di forza del CNR fin dal 1980 in cui prese vita l'Istituto di analisi ambientale e Telerilevamento applicato all'Agricoltura (IATA). L'idea era quella di utilizzare uno strumento di monitoraggio delle colture che potesse dare un supporto alle decisioni agronomiche. Lo sviluppo tecnologico degli ultimi decenni ha portato, per gli strumenti ottici a terra, a una significativa riduzione dei costi della sensoristica e allo sviluppo di protocolli di trasmissione efficienti, mentre per ciò che riguarda i dati telerilevati, si è assistito a un aumento inimmaginabile dei dati disponibili, e alla riduzione dei costi. A ciò si aggiunge l'aumentata capacità di calcolo dei computers, la



loro semplicità d'uso, e la loro economicità. Tutto ciò ha offerto particolari opportunità per lo sviluppo della agricoltura di precisione, in cui è particolarmente critico disporre di dati in tempo reale sulla crescita e la fenologia delle colture, la presenza di stati di stress biotici o abiotici, in modo spazialmente affidabile.

#### ABSTRACT

Remote sensing in agriculture is the acquisition of information about a crop or phenomenon without making physical contact with the crop and thus in contrast to on-site observation. Research activities on remote sensing are the strong point of the CNR since 1980 when the Institute for Environmental Analysis and Remote Sensing applied to Agriculture (IATA) was created. The idea was to use a crop monitoring tool that could support agronomic decisions. The technological development of the last decades has led to a significant reduction in sensor costs and the development of efficient transmission protocols for ground-based instruments, while for what concerns remote sensing data, there has been an unimaginable increase in available data, and cost reduction. Added to this is the increased computing capacity of computers, their ease of use, and their cost-effectiveness. All this has offered particular opportunities for the development of precision agriculture, where it is particularly critical to have real-time data on crop growth and phenology, the presence of biotic or abiotic stress states, in a spatially reliable way.

#### BIBLIOGRAFIA

- BACCI L., BENINCASA F., MARACCHI G., ZIPOLI G. (1991): *Ground-based remote-sensing measurements for early detection of plant stresses*, «Bulletin OEPP/EPPO Bulletin», 21, pp. 673-681.
- COLWELL R.N. (1956): *Determining the prevalence of certain cereal crop diseases by means of aerial photography*, «Hilgardia», 26, pp. 223-286.
- EVANS, G.C. & COOMBE, D.E. (1959): *Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate*, «J. Ecol.», 47 (1), pp. 103-113.
- HANSON A.D. & NELSON C.E. (1980): *Water: adaptation of crops to drought-prone environments*, in P.S. Carlson (Editor), *Biology of Crop Productivity*, Academic Press, New York, pp. 77-152.
- JONES H.G. & VAUGHAN R.A. (2010): *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*, Oxford University Press.
- PINTER P.J. JR., ZIPOLI G., MARACCHI G., REGINATO R.J. (1987): *Influence of topography and sensor view angles on NIR/red ratio and greenness vegetation indices of wheat*, «International Journal of Remote Sensing», 8, 6, pp. 953-957.
- PINTER P.J. JR., ZIPOLI G., REGINATO R.J., JACKSON R.D., IDSO S.B., HOHMAN J.D. (1990): *Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars*, «Agricultural water management», 18, pp. 35-48.
- RASCHI A. E SCARASCIA MUGNOZZA G. (1980): *Misura dell'evapotraspirazione mediante la temperatura di superficie*, Atti del XX Convegno sullo Spazio, Roma 11-13 marzo 1980, pp. 325-334.
- DI GENNARO S.F., RIZZA F., BADECK F.W., BERTON A., DELBONO S., GIOLI B., TOSCA-

- NO P., ZALDEI A., MATESE A. (2017): *UAV-based high-throughput phenotyping to discriminate barley vigour with visible and near-infrared vegetation indices*, «International Journal of Remote Sensing», 24 November 2017, pp. 1-15.
- MATESE A., BARALDI R., BERTON A., CESARACCIO C., DI GENNARO S.F., DUCE P., FACINI O., MAMELI M.G., PIGA A., ZALDEI A. (2018): *Estimation of Water Stress in grapevines using proximal and remote sensing methods*, «Remote Sensing», Volume 10, Issue 1.
- MATESE A., TOSCANO P., DI GENNARO S.F., GENESIO L., VACCARI F.P., PRIMICERIO J., BELLI C., ZALDEI A., BIANCONI R. AND GIOLI B. (2015): *Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture*, «Remote Sensing», 7(3), pp. 2971-2990;
- PIERCE F.J. & NOWAK P. (1999): *Aspects of precision agriculture*, «Advances in agronomy», 67, pp. 1-85.
- STAFFORD J. V. (2000): *Implementing precision agriculture in the 21st century*, «Journal of Agricultural Engineering Research», 76, pp. 267-275.
- TANNER C.B. (1983): *Plant temperatures*, «Agronomy Journal», 55, pp. 210-211.
- ZHANG N., WANG M., WANG N. (2002): *Precision agriculture - a worldwide review*, «Computers & Electronics in Agriculture», 36, pp. 113-132.