



# Tecnologie aerospaziali integrate a supporto dell'agricoltura di precisione

*F. Borfecchia, L. De Cecco, S. Martini, L. Giordano, C. Trotta, D. Masci, V. Di Gioia, V. Pignatelli, A. Moreno, C. Micheli, S. Mancini, A. Pizzuti, P. Piciuccio, S. Taraglio, V. Nanni, C. Moriconi*

## Tecnologie innovative aerospaziali e loro utilizzo

L'agricoltura, uno dei settori produttivi più rilevanti a livello planetario, è anche uno dei più vulnerabili ai cambiamenti climatici, specialmente nei Paesi in via di sviluppo, nonostante essa vi contribuisca notevolmente rilasciando in atmosfera enormi quantità di gas serra. Si stima che, attualmente, il suo contributo alle emissioni di gas climalteranti (~15%) sia in aumento e che sia pari a circa la metà di quello attribuito alla produzione energetica, nonché superiore a quello dei trasporti (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC).

Anche se la produttività agricola dipende prevalentemente dal clima, responsabile di periodi di siccità, alluvioni, temperature estreme e variazioni della piovosità, molti altri fattori locali, come la mancanza di sostanze nutritive, di acqua o di altre carenze del suolo, le muffe, gli attacchi di insetti o altri fitofagi, possono avere un forte impatto nel ridurre il raccolto. In questo contesto, tenendo conto che sono aumentate notevolmente anche la sensibilità e l'attenzione dell'opinione pubblica sulla qualità del cibo, sull'utilizzo di composti di sintesi e sulla sostenibilità delle attività umane, al fine di ottimizzare in tali direzioni la gestione degli agro-ecosistemi, da vari anni hanno sempre più preso piede gli approcci fondati sia sulle pratiche biologiche sia sui concetti dell'agricoltura di precisione. Quest'ultima, in particolare, è basata sulla disponibilità di tecnologie di recente evoluzione per una gestione ottimizzata, con un supporto alle decisioni efficaci e "smart", volto alla prevenzione e mitigazione degli effetti negativi sugli agro-ecosistemi legati ai differenti fattori di stress delle colture, in base al monitoraggio puntuale dei diversi parametri biofisici vegetali, nella prospettiva della maggiore sostenibilità economica e ambientale delle attività produttive.

In generale, l'agricoltura industriale attuale mira ad aumentare il raccolto, minimizzando allo stesso tempo i costi e migliorando la qualità dei prodotti, mentre la moderna agricoltura di precisione si basa sulla messa a punto di strategie di gestione specifiche per massimizzare qualità, rendimento e profitto, riducendo gli eventuali impatti ambientali dovuti all'eccessivo uso di

fertilizzanti o di pesticidi. Questo è uno degli obiettivi principali dell'agricoltura di precisione, che consiste in un nuovo concetto di gestione agricola ottimizzata, impostata sull'osservazione efficace per mezzo di tecniche innovative di misurazione estensiva, in grado di stimare la variabilità inter e intra-campo delle specie coltivate, modulando opportunamente gli input in termini di nutrienti, acqua, fertilizzanti e pesticidi, secondo le specifiche esigenze delle colture, variabili sia in funzione dello spazio che del tempo.

Questo approccio innovativo, oltre all'aumento dell'automazione, richiede tecniche di posizionamento e misura efficaci con capacità di mappatura, a livello del singolo appezzamento, di parametri biofisici chiave, rappresentativi dello status della piantagione. A tal fine, si stanno sempre più diffondendo tecnologie di monitoraggio estensivo basate sulla rilevazione remota, tramite la necessaria sensoristica, dell'energia elettromagnetica riflessa nelle sue componenti multi/iperspettrali che, una volta opportunamente elaborate tramite modellistica specifica, consentono di stimare estensivamente le distribuzioni di tali parametri alle scale spazio-temporali d'interesse, superando i limiti dell'utilizzo esclusivo dei rilievi in campo puntuali, dovuti ai costi e alle risorse disponibili.

D'altronde, la vegetazione si caratterizza per la capacità di catturare e trasformare l'energia elettromagnetica solare per mezzo della fotosintesi, sfruttando principalmente le componenti nel rosso, mentre riflette quelle nel verde e soprattutto vicino infrarosso, NIR (Near Infra-Red). Tali lunghezze d'onda riflesse ed emesse nel canale termico TIR (Thermal Infra-Red), in particolare quelle nell'intervallo spettrale tra il rosso e NIR (Red-Edge), contengono informazioni relative al funzionamento e allo stato di salute del sistema vegetale, essenziali per soddisfare varie esigenze di monitoraggio, finalizzato ad un'efficace ed estensiva diagnostica remota degli stress della vegetazione.

In questo contesto, grazie anche allo sviluppo di sensori e piattaforme satellitari ed aeree dedicate, a partire dal secolo scorso, si è fatto sempre più ricorso integra-

to a queste tecniche osservative di “telerilevamento” o EO (Earth Observation), in grado di fornire informazioni coerenti, riproducibili ed economicamente efficaci sulla copertura vegetativa e sulla sua evoluzione temporale alle diverse scale d’interesse, da quelle del singolo appezzamento a quelle globali dell’intero pianeta. Le applicazioni innovative, basate sulle informazioni acquisite dai sensori satellitari, stanno diventando sempre più indispensabili, non solo per il progresso scientifico (si pensi all’esplorazione planetaria e alla modellistica atmosferica), per la sicurezza (ad esempio: telecomunicazioni, previsioni meteo, supporto nelle emergenze, inquinamento ambientale) e per la gestione sostenibile del pianeta (bilancio idrologico, cambiamenti climatici, ciclo del carbonio), ma anche per il supporto alle politiche locali e alla vita quotidiana dei cittadini (GPS e telefonia, agricoltura e gestione del territorio, trasporti ecc.). Attualmente, molte agenzie spaziali governative mondiali, anche di paesi emergenti quali Cina, India, Brasile, sono impegnate in programmi importanti, liberalizzando l’accesso alle informazioni acquisite alle varie scale, alla base per lo sviluppo di servizi e prodotti innovativi, con ricadute significative per l’economia. In questa prospettiva, si collocano anche i programmi di punta europei di EO e monitoraggio globale quali Galileo (nuovo sistema GPS) e Copernicus, portati avanti dall’ESA (European Space Agency). Nell’ambito di quest’ultimo, nei prossimi mesi del 2015, è prevista la messa in orbita del primo satellite del sistema Sentinel2, con sensori ottici in grado di assicurare un monitoraggio efficace della vegetazione e degli agro-ecosistemi, con caratteristiche spettrali (inclusenti bande di acquisizione nel Red-Edge) e spaziali, adeguate alle applicazioni nel settore agricolo per le specifiche esigenze sopra citate.

Attraverso l’utilizzo di nuovi materiali e di soluzioni aeronautiche e di navigazione (GPS) avanzate, anche il settore degli APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto) sta evidenziando una crescita d’interesse notevole, con lo sviluppo di applicazioni in diversi settori, tanto da richiedere una nuova regolamentazione specifica da parte dell’Ente Nazionale per l’Aviazione Civile, preposto a livello nazionale. Attualmente, si assiste alla rilevante diffusione di queste applicazioni avanzate di telerilevamento anche a supporto dell’agricoltura di precisione. Esse sono basate, oltre che su satelliti, pure su piattaforme innovative che vanno da ultraleggeri, in grado di decollare ed atterrare da aviopiste, a droni UAV (Unmanned Aerial Vehicle)/APR, che possono essere telecomandati a distanza mantenendo vari livelli di autonomia relativi al posizionamento, tramite tecnologia GPS, e gestione della missione.

Oltre alle tecniche di rilevamento e posizionamento aerospaziali (GPS, GNSS ecc.), in questo contesto giocano un ruolo determinante i più recenti metodi integrati di elaborazione della grande massa di dati geo-spaziali prodotti, basati sulla Geomatica e sul GIS (Geographic Information System). Grazie quindi all’evoluzione delle tecnologie aerospaziali e della sensoristica, attualmente tali pratiche colturali avanzate possono giovare di rilievi d’interesse agronomico effettuati da diverse piattaforme e con differenti modalità, che vanno dall’utilizzo di apparati portatili per misure locali sul campo, a riprese da varie piattaforme aeree o satellitari da utilizzare eventualmente in modo integrato per l’ottimizzazione della copertura.

I dati a livello di bacino, rilevati continuamente dai sensori di ultima generazione delle piattaforme satellitari, in grado di captare le sottili variazioni spettrali dovute alle alterazioni nel metabolismo della pianta, causate da patogeni, carenze nutritive o idriche, sono integrati da quelli acquisiti localmente tramite APR appositamente attrezzati, al fine di stimare mappe di fabbisogno di fitofarmaci, acqua e fertilizzanti da sfruttare tramite macchine agricole innovative per trattare il singolo appezzamento.

La calibrazione dei rilievi estensivi effettuati tramite queste tecniche aerospaziali si basa su modellistica integrata da rilievi a terra puntuali georiferiti di parametri radiometrici e fenologici (Figura 2), con campionamenti da sottoporre a varie analisi di laboratorio (quali fluorescenza, spettroscopia Raman, genetica), finalizzate a rilevare eventuali indicatori di stress di diversa origine (come carenza di acqua o di nutrienti, patologie) attraverso indagini su parametri (ad esempio: peso secco, azoto), su composti (clorofilla, pigmenti ecc.) o su variabili genetiche (Figura 1).

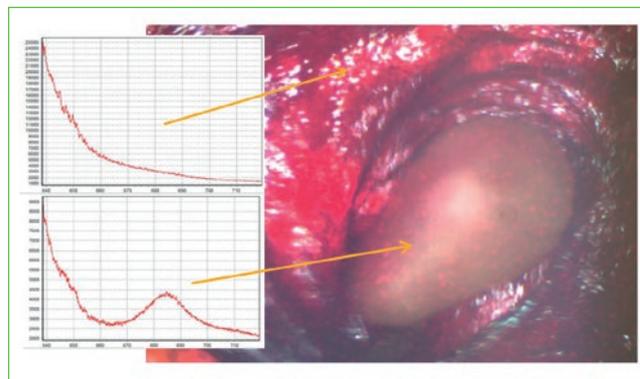


Figura 1  
Rilevazione del contenuto di clorofilla (Chl) nell’achenio di fragole affette da attacco di muffe (*Penicillium*) tramite tecniche di fluorescenza attiva (Horiba LIF)





Figura 5  
Utilizzo di UAV ad ala rotante ed alimentazione elettrica per il monitoraggio dei beni culturali e l'ispezione di edifici e infrastrutture danneggiate da eventi sismici e catastrofici

fronte adeguatamente ad eventi improbabili e a situazioni potenzialmente dannose.

In tale contesto, il Laboratorio di Robotica del Dipartimento Tecnologie Energetiche dell'ENEA, nell'ambito di una serie di progetti europei e regionali (MACRO, EUROSTARS ARCA, SARA), in collaborazione con partner industriali, quali Deep Blue Srl e SpaceTech GmbH, ha realizzato un sistema (hardware e software) prototipale, alloggiabile a bordo di un UAV, in grado di far fronte, in modo semiautomatico, a possibili eventi di

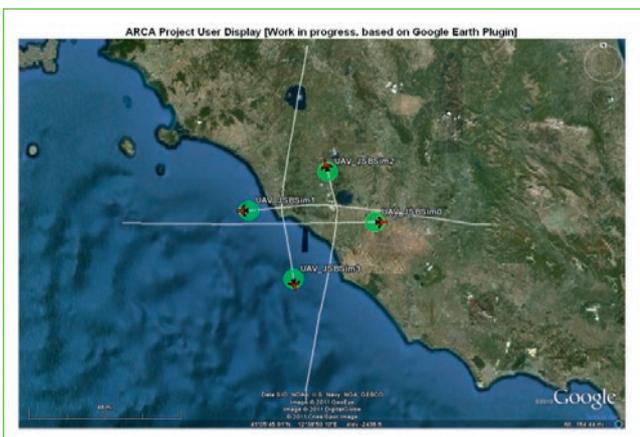


Figura 6  
Simulazione di quattro UAV in rotte di collisione controllate e risolte dall'algoritmo del sistema

collisione tra aeromobili, anche in caso di configurazione complessa dovuta alla presenza di più velivoli (Figura 6).

Il sistema, sulla base di un protocollo aeronautico di interscambio di informazioni, provvede a segnalare automaticamente al pilota a terra la manovra evasiva che permetta allo UAV di non avvicinarsi mai ad altro aeromobile entro un dato raggio di sicurezza (per i velivoli commerciali 5 miglia nautiche, circa 8 km), prescritto dalle regole del controllo del traffico aereo. Nel caso di un velivolo completamente autonomo, la manovra evasiva elaborata in tempo reale viene direttamente inviata all'autopilota, garantendo così la sicurezza del volo.

In uno scenario dove l'agricoltura gioca un ruolo sempre più determinante e strategico, la diffusione, in tale settore, di queste tecnologie aerospaziali e robotiche avanzate, sempre più accessibili, risponde alle esigenze di basare le decisioni su informazioni integrate, non solo per aumentare la produzione, ma anche per assicurare cibo di qualità alla popolazione mondiale, minimizzando gli impatti ambientali e sul clima, e valorizzando la biodiversità. In tale contesto, le applicazioni basate su queste tecnologie si stanno rivelando sempre più indispensabili per far fronte alle sfide di aumento della produttività in agricoltura richiesto dal mercato globale, in una prospettiva di sostenibilità ambientale incentrata anche sulla diffusione dell'economia verde e circolare, a cui si riferiscono alcune delle applicazioni sperimentali e sugli APR condotte in ENEA. Tali concetti sono alla base dell'eco-innovazione, praticabile in accordo con la conservazione e tutela delle risorse naturali, e tenendo conto dei cambiamenti ambientali e climatici in una visione multiscala, integrata, sistemica ed olistica degli agro-ecosistemi, tramite i quali provvedere adeguatamente alla nutrizione della crescente popolazione mondiale, che si stima raggiungerà circa 9 miliardi nel 2050.

Per approfondimenti: [flavio.borfecchia@enea.it](mailto:flavio.borfecchia@enea.it)

**Flavio Borfecchia, Luigi De Cecco, Sandro Martini**  
ENEA, Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale

**Ludovica Giordano, Claudio Moriconi, Vincenzo Nanni, Sergio Taraglio, Claudia Trotta**  
ENEA, Divisione Smart Energy

**Valter Di Gioia, Vito Pignatelli, Carla Micheli,**  
ENEA, Divisione Bioenergia, bioraffineria e chimica verde

**Domenica Masci, Sergio Mancini**  
ENEA, Divisione Biotecnologie e agroindustria

**Angelo Moreno**  
ENEA, Dipartimento Tecnologie Energetiche

**Alessandro Pizzuti, Piero Piciuccio**  
ITEMASas - Ingegneria termo-elettromeccanica avanzata