

# Agricoltura di Precisione per la frumenticoltura toscana: il caso studio

di Marco Mancini, Anna Dalla Marta, Simone Orlandini, Marco Napoli, Simone Gabriele Parisi



Fig 1 - Installazione della strumentazione per georeferenziazione e sistemi di controllo e misura su metitrebbiatrici e trattori.

Gran parte delle aree coltivate a frumento in Italia sono dislocate in ambienti caratterizzati da elevata disomogeneità dal punto di vista pedologico, orografico e climatico. La variabilità dell'ambiente fisico si riscontra anche nella crescita e nella produzione del frumento che mostrano una differenziazione elevata anche in aree di coltivazione con limitate estensioni quali campi di pochi ettari.

In tale contesto la possibilità di applicare input di coltivazione in maniera sitospecifica, a seconda delle esigenze, ha risvolti positivi sulla sostenibilità sia economica sia ambientale. La necessità attuale per l'introduzione di applicazioni di agricoltura di precisione è di avere nuove figure professionali che siano in grado di adottare un approccio sistemico multidisciplinare che integri conoscenze di informatica, di telerilevamento, di cartografia, di sistemi informativi territoriali, alle conoscenze agronomiche, oltre a competenze tecniche legate ai centri di assistenza delle componenti meccaniche (Casa R., 2016).

Nei progetti integrati di Filiera "Pasta dei Coltivatori Toscani" e "Grani Antichi Nuove Tecniche di lavorazione", supportati dal Programma di Sviluppo Rurale della Regione Toscana, in alcune aziende agricole pioniere sono state introdotte macchine operatrici capaci di guida parallela e di monitorare le rese, modelli per la distribuzione sitospecifica del fertilizzante azotato, sistemi di monitoraggio remoto ed un dossier aziendale informatizzato capace di elaborare e storicizzare le informazioni colturali parcellari. L'obiettivo dei progetti è di gestire agronomicamente, con tecniche di agricoltura di precisione, la coltivazione del frumento

e di trasferire le conoscenze alle aziende agricole ed al Consorzio Agrario di Siena, coordinatore dei progetti.

Le azioni svolte per l'introduzione delle tecniche di fertilizzazione di precisione sono state:

- ▶ introduzione di sistemi di geoposizionamento e teleguida nei mezzi meccanici delle aziende pilota;
- ▶ valutazione dello stato vegetazionale della coltura per mezzo di monitoraggio remoto;
- ▶ fornitura di mappe di prescrizione per la concimazione di copertura sitospecifica basate su monitoraggio remoto della coltura;

- ▶ organizzazione delle informazioni per la realizzazione di un dossier aziendale digitale,
- ▶ raccolta di informazioni utili per la storicizzazione e tracciabilità delle operazioni colturali;

### Aspetti agronomici della fertilizzazione azotata di copertura del frumento

La resa e la qualità del frumento sono influenzate dal peculiare andamento meteorologico di ciascuna annata. Nelle fasi che vanno dalla semina alla prima fertilizzazione di copertura, nelle aree collinari possono verificarsi condizioni di notevole disomogeneità vegetativa all'interno degli appezzamenti produttivi, sia con eccessi di precipitazioni che in condizioni di siccità (Dalla Marta et al., 2011); nel primo caso troveremo vegetazione sofferente soprattutto nei fondovalle, luogo di ristagni idrici, mentre in caso di siccità la vegetazione sarà più rigogliosa nei fondovalle, generalmente più umidi. Le necessità di azoto distribuite sono legate alle aspettative di resa che, a loro volta sono legate allo stato di rigoglio vegetativo della coltura al momento della distribuzione. La dose di fertilizzante azotato viene quindi determinata al momento della distribuzione in copertura, a fine accostamento e a metà levata, sulla base dello stato vegetazionale del frumento ed in funzione delle aspettative produttive medie del campo. In tale contesto la distribuzione differenziata all'interno di un appezzamento non può essere operata a partire dalle mappe di resa degli anni precedenti, ma necessità di un monitoraggio vegetazionale che consenta di individuare le potenzialità produttive delle differenti sottozone. A livello di ricerca, l'obiettivo è di simulare, attraverso

la modellistica, la crescita e la produzione partendo da monitoraggio remoto e simulando l'effetto di dosi variabili d'azoto e dalle previsioni climatiche fino al raggiungimento della maturità fisiologica.

### Macchine operatrici e sistemi di monitoraggio remoto

I mezzi meccanici delle aziende, in particolare la mietitrebbiatrice e la trattore usata per le concimazioni, sono stati cablati e dotati di sensori e computer della Trimble. La mietitrebbiatrice è stata dotata di sensori di portata per la misurazione delle produzioni, mentre per la distribuzione di concime è stato utilizzato uno spandiconcime a settori separati della Kuhn (fig.1).

Per migliorare la precisione dei sistemi di posizionamento e di navigazione satellitari, durante le fasi sperimentali del progetto, si è provveduto al posizionamento temporaneo di una singola stazione RTK (Real Time Kinematic).

Il monitoraggio dello stato vegetazionale della coltura è stato effettuato per mezzo delle immagini satellitari multispettrali Rapid Eye, capaci di fornire contemporaneamente informazioni su ampie aree di territorio. Sono state acquisite 2 immagini, la prima nella prima settimana di marzo, corrispondente alla fase fenologica di fine accostamento/inizio levata (prima della prima concimazione di copertura) e la seconda nella prima settimana di aprile, ossia a metà levata (prima della seconda concimazione di copertura).

La risoluzione spaziale di circa 5x5 m è idonea alle applicazioni reali in quanto lo spandiconcime opera su un fronte di 18 m, ed è controllabile solamente su ciascuna delle due giranti, equivalente a 9 m.

Il monitoraggio remoto dello

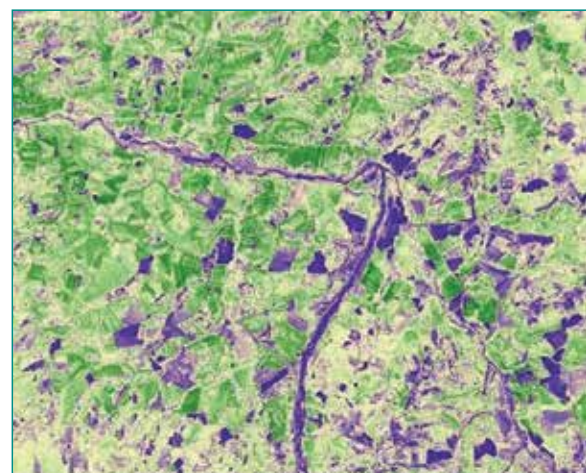


Fig. 2 - Mappa dell'indice NDVI RE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge) elaborata dall'immagine telerilevata nell'aprile 2012.

stato vegetazionale del frumento è stato ottenuto a partire da indici vegetazionali basati sulla correlazione che sussiste fra le risposte di riflettanza nelle varie bande e le variabili biofisiche della coltura, gli aspetti quantitativi e qualitativi delle rese finali (Filella e Peñuelas, 1994; Cammarano et al., 2011; Dalla Marta et al., 2015).

Gli indici di vegetazione sono utilizzati anche a carattere predittivo, sia direttamente che integrandoli con modelli colturali per stimare la resa in granella del frumento duro (Broge e Leblanc, 2000; Labus et al., 2002; Mkhabela et al., 2011; Dalla Marta et al., 2015) e per valutare aspetti qualitativi della produzione quali il contenuto di

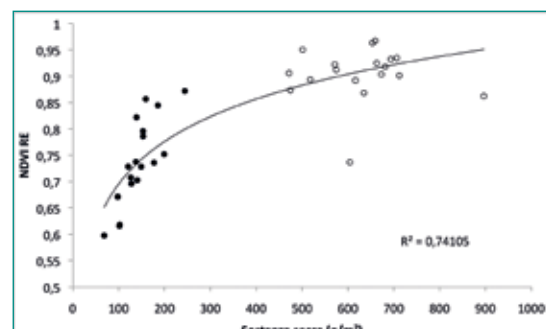


Fig. 3 - relazione fra NDVI\_RE e biomassa secca nelle fasi fenologiche di levata e antesi. La relazione è significativa nella fase di levata e successivamente scompare nella fase di antesi.

Tab. 1 - Indici di vegetazione utilizzati in questo studio, dove R è la riflettanza alla lunghezza d'onda (nm).

Indice	Formula	Bibliografia
NDVI	$(R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670})$	Rouse et al., 1974
NDVI RE	$(R_{780} - R_{700}) / (R_{780} + R_{700})$	Gitelson e Merzlyak, 1997
OSAVI	$(1 + 0.16)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al., 1996
CHL	$R_{780} / R_{550} - 1$	Gitelson et al., 2003

proteine (Hansen et al., 2002; Guasconi et al., 2011). Uno dei problemi principali di questi indici di vegetazione risulta essere da una parte la difficoltà di impiego fino a quando il suolo non è sufficientemente ricoperto dalla vegetazione, ossia verso la fine dell'accestimento; dall'altra, il fenomeno della saturazione dell'indice che si raggiunge quando la densità della copertura vegetale, misurata in indice di area fogliare (LAI) supera il valore di circa 3. In questo caso l'indice perde la capacità di discriminare la variabilità della vegetazione in quanto la risposta radiometrica è sempre simile (Aparicio et al., 2002). Recentemente viene molto utilizzato NDVI red edge (NDVI RE), calcolato impiegando la banda a cavallo fra i 700 nm, ricavata fra il rosso e l'infrarosso vicino. Questo ha fornito stime migliori rispetto ai tradizionali indici di vegetazione. Partendo da tali presupposti sono stati calcolati, per l'intera area coperta dalle immagini telerilevate, l'NDVI e l'NDVI

RE oltre ad alcuni dei principali indici similari principalmente impiegati in bibliografia (tab. 1 e fig. 2).

#### Dal monitoraggio remoto alle mappe di prescrizione

La scelta dell'indice con migliore performance è stata effettuata tramite un'acquisizione sincrona di immagini satellitari e misure puntuali sulla vegetazione. La variabilità vegetativa in campo è stata indotta allestendo campi sperimentali con due differenti varietà di frumento duro, Miradoux e Claudio con differenti livelli di fertilizzazione azotata (136, 160 e 183 kg di N ad ha). Il monitoraggio è stato ripetuto per 3 anni consecutivi. In 18 punti sono stati prelevati campioni ed effettuate misure volte a determinare, nelle fasi fenologiche di metà levata e antesi, il peso secco della biomassa aerea, il suo contenuto di N totale, il LAI e nella fase fenologica di maturità, la resa, il contenuto di N totale nella granella. Dallo studio delle relazioni fra indici di vegetazione e parametri della resa finale è emerso

chiaramente che, indipendentemente dalla varietà e dal livello d'azoto totale fornito, nella fase di metà levata è ben definita la produttività relativa che avrà la coltura. Le aree con vegetazione più rigogliosa saranno maggiormente produttive. Tale informazione conferma la necessità di sostenere la produzione con livelli d'azoto proporzionali alle aspettative delle future necessità della pianta.

Gli indici telerilevati sono stati poi messi in relazione con indicatori vegetazionali rilevati direttamente sulla coltura (peso secco, LAI, azoto presente sulla biomassa verde) nelle due fasi fenologiche di levata e antesi. L'indice vegetazionale migliore, per il monitoraggio remoto della coltura, è risultato l'NDVI-RE, che ha mostrato le migliori performance alla prima data (tab.2), mostrando correlazione positiva anche con la resa finale. Questa capacità di descrivere lo stato del raccolto è risultata particolarmente efficace in levata, per due ragioni principali: in primo luogo, la variabilità della vegetazione è abbastanza elevata per essere discriminata e descritta da indici telerilevati; in secondo luogo, la fase di levata rappresenta il tempo ottimale in cui il terreno è completamente coperto dalla vegetazione, ma questa non è sufficientemente densa per saturare le risposte radiometriche delle bande spettrali con cui si calcolano gli indici telerilevati.

Con valori di sostanza secca fino a 300-400 g/m<sup>2</sup> e di LAI fino a circa 3 l'indice telerilevato riesce a distinguere le differenze fra le varie aree con differente rigoglio, mentre al di sopra la risposta radiometrica della coltura si uniforma (fig. 3).

Nel periodo fra inizio levata e metà della levata si apre quindi una finestra temporale, in cui

Tab. 2 - Coefficiente di determinazione delle correlazioni tra i parametri vegetativi rilevati nella coltura nelle fasi fenologiche di levata e antesi e gli indici telerilevati, nell'anno 2012. In rosso le relazioni significative. Valori di significatività: P≤0.05 con r≥0.45, P≤0.01 con r≥0.57, P≤0.001 con r≥0.69.

	INDEX	PS (g·m <sup>-2</sup> )	LAI (m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> )	N (%)	N (g·m <sup>-2</sup> )
LEVATA	NDVI	0.806	0.848	-0.044	0.839
	NDVI RE	0.906	0.942	-0.029	0.935
	CHL	0.525	0.591	0.043	0.583
	OSAVI	0.807	0.848	-0.044	0.840
ANTESI	NDVI	-0.001	0.417	0.301	0.145
	NDVI RE	0.008	0.330	0.260	0.135
	CHL	0.034	0.395	0.104	0.057
	OSAVI	-0.001	0.417	0.301	0.145



la vegetazione copre completamente il suolo e non è troppo folta, gli indici vegetazionali elaborati da informazioni telerilevate consentono di descrivere abbastanza bene la variabilità della vegetazione all'interno delle unità produttive. Normalmente questa finestra temporale è collocata fra le due concimazioni di copertura.

L'immagine satellitare acquisita nella fase di fine accostamento – inizio levata (fine marzo- inizio aprile) può quindi essere utilizzata per produrre mappe di prescrizione della seconda concimazione di copertura. Risulta, infatti, idonea a descrivere la variabilità di campo, fornendo informazioni puntuali sullo stato della vegetazione (LAI, biomassa aerea, azoto fogliare), ed è associabile alle aspettative di resa finale.

Dal punto di vista operativo l'acquisizione delle immagini, l'ortofotorettifica, le correzioni per la trasparenza dell'atmosfera e l'elaborazione degli indici vegetazionali è stata esternalizzata ad una ditta specializzata. Attualmente risulta molto interessante anche la possibilità d'impiego di monitoraggio remoto attraverso immagini Sentinel 2 la cui risoluzione spaziale di circa 10x10 m risulta idonea ai fini operativi.

#### Mappe di prescrizione e fertilizzazione sitospecifica

Le mappe vegetazionali costituiscono, ai fini sperimentali, un input per i modelli di crescita e sviluppo della coltura, quali CERES-Wheat. I modelli possono essere calibrati con informazioni dettagliate sulla vegetazione, derivanti dal monitoraggio remoto, con dati meteorologici previsionali, derivanti dalle previsioni stagionali e da differenti dosi di fertilizzante, al fine di individuare la dose otti-

male ai fini della ottimizzazione delle performance produttive. Allo stato attuale nel contesto operativo non sperimentale è molto difficile operare con modelli di simulazione che prevedono una descrizione dettagliata di tutte le componenti del agroecosistema. Per questo motivo la produzione delle mappe di prescrizione è stata effettuata senza l'ausilio di modelli di crescita e sviluppo. Dalla mappa di NDVI RE sono state estratte le mappe dei singoli appezzamenti produttivi e sono state effettuate operazioni di reclassamento, suddividendole in categorie vegetazionali utilizzabili come discriminanti delle differenti necessità di apporti nutritivi (fig. 4).

La scelta della dose media di fertilizzante azotato viene lasciata all'agricoltore in base alla sua conoscenza, esperienza, e strategia affinata nel contesto produttivo, sia agronomico, sia economico. L'agricoltore può decidere anche la percentuale in più od in meno da attribuire a ciascuna categoria.

#### Mappatura delle rese

Il sistema di monitoraggio continuo applicato alle metitrebbie consente la mappatura delle rese. La procedura di calibrazione richiede un primo passaggio durante il quale si acquisiscono dati

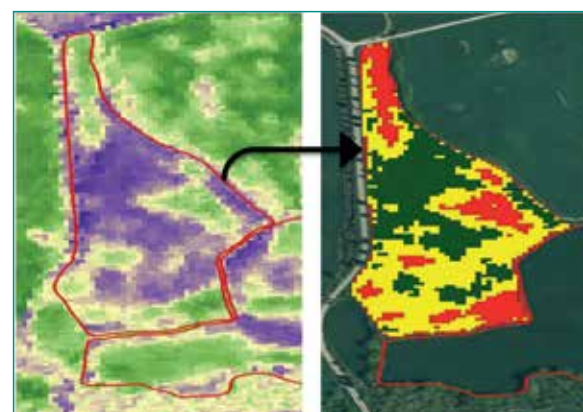


Fig. 4 - reclassamento della mappa di NDVI RE 12 apr 2013 (a sinistra) ottenuta da immagini Rapid Eye per la produzione di una mappa utilizzabile per la fertilizzazione azotata di copertura (a destra).

georeferiti, visibili in tempo reale dai monitor di bordo (fig. 5).

Al primo scarico della metitrebbia si misurano le informazioni esatte circa il peso e l'umidità relativa e si riutilizzano per la calibrazione del sistema di monitoraggio. Queste informazioni base di conoscenza e costituiscono un importante elemento per il miglioramento e l'estensione delle applicazioni sitospecifiche. A questo scopo è stato impiegato il software SITI4farmer, piattaforma WEB dedicata all'agricoltura di precisione.

#### L'impiego del software gestionale SITI4farmer ([www.siti4farmer.eu](http://www.siti4farmer.eu))

Il software di ABACO SPA di Mantova ([www.abacogroup.eu](http://www.abacogroup.eu)) è stato utilizzato come base per assolvere alle necessità di operatività e di storicizzazione delle



Fig. 5 - Mietitrebbiatura con monitoraggio continuo delle rese.



Fig. 6 - Dashboard di visualizzazione dell'andamento storico dell'indice NDVI medio sull'intero appezzamento, con possibilità di visualizzare anche il valore del singolo pixel e confrontare le immagini di due date differenti per il medesimo appezzamento.

informazioni. Infatti la piattaforma Siti4farmer, utilizzata in modalità Cloud, fornisce strumenti finalizzati alla conoscenza e monitoraggio del territorio, all'agricoltura di precisione, alla pianificazione e controllo delle attività in campo.

Il Portale permette la rappresentazione del territorio con una dotazione di ortofoto aeree certificate e ad altissima risoluzione (fino a 20 cm) corredate da altimetria del terreno (DTM – Digital Terrain Model) e del soprasuolo, come alberi, edifici (DSM – Digital Surface Model).

Il primo passo dell'implementazione è stata la gestione dei dati dell'Azienda Chiarion, oggetto del caso studio, in Siti4farmer ed ha previsto l'importazione dei dati catastali da dossier aziendale. A seguire si è proceduto all'assegnazione dei codici colturali idonei (Agea) per una

corretta compilazione del piano colturale. Collegata ai suddetti codici colturali, è presente la gestione della scala fenologica secondo lo standard BBCH, la parametrizzazione comprende anche l'approfondimento radicale medio per tipologia di terreno ed i coefficienti colturali (Kc) per ogni macrofase fenologica. Una volta completato il piano colturale, Siti4farmer è in grado di gestire le attività di Pratica Agricola, che comprendono: semina, fertilizzazione, diserbo, trattamenti con fitofarmaci e raccolta, e in generale tutte le attività effettuate negli appezzamenti oggetto dello studio. Da sottolineare che il portale è in grado di gestire le base dati raccolte dagli strumenti in campo.

#### Il monitoraggio continuo attraverso l'indice vegetazionale NDVI

In Siti4farmer è disponibile un dataset completo di NDVI calcolato a partire dalle immagini riprese dalla costellazione Sentinel 2A e 2B, Landsat 8 durante la stagione vegetativa della coltura.

La frequenza di ripresa delle immagini in caso di cielo sereno è di 4-5 giorni e la risoluzione è di circa 10x10 m. La risoluzi-

zione temporale ha consentito di monitorare costantemente l'andamento dell'intera stagione vegetativa cogliendone la variabilità spaziale e temporale (fig. 6 e 7). La risoluzione spaziale per colture con copertura continua della superficie, quali il frumento, risulta buona per effettuare la maggior parte delle operazioni colturali quali diserbanti, concimazioni, trattamenti fitosanitari (fig. 6 e 7).

Nell'ambito del progetto sovrapposti sono stati presi in considerazione gli appezzamenti a frumento nelle campagne 2016/2017 situati nel comune di Monteroni d'Arbia (SI) ed impiegati in fase sperimentale per la stima della bontà predittiva. La possibilità di seguire, attraverso il software, l'andamento della vegetazione durante tutta la stagione costituisce il presupposto per rendere accessibile all'agricoltore le informazioni operative. Occorre sempre considerare che la fase in cui le informazioni circa la variabilità vegetazionale del campo sono maggiormente attendibili sono

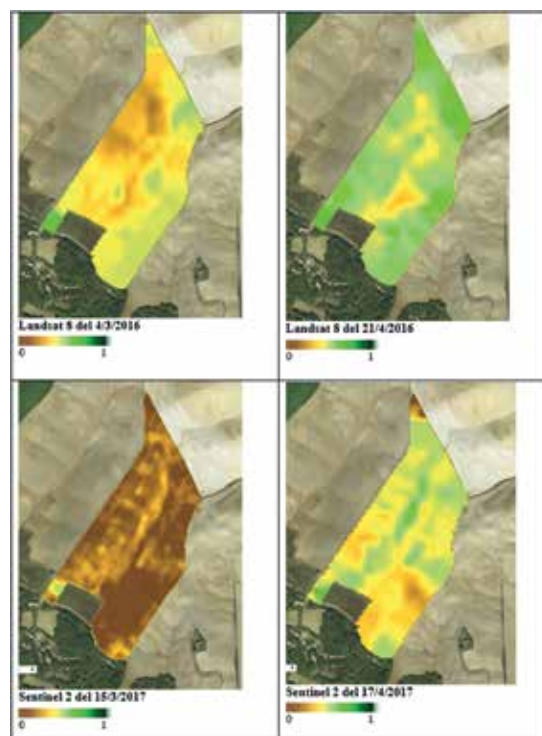


Fig. 7 - sequenza temporale delle immagini NDVI dai satelliti Sentinel2 e Landsat 8 relative ad un appezzamento sperimentale dell'Azienda Chiarion, durante la stagione frumenticola 2016/2017.

# SITI4farmer

La tua piattaforma per l'agricoltura di precisione

[www.siti4farmer.eu](http://www.siti4farmer.eu)

info@siti4farmer.eu  
tel. +39 0376 222181

© Abaco Spa - Mantova  
[www.abacogroup.eu](http://www.abacogroup.eu)



sempre quelle comprese fra la fine accestimento e la fine levata. Naturalmente è possibile confrontare gli andamenti di annate diverse distinguendo anche le differenze che sussistono di anno in anno.

L'immagine NDVI è stata processata attraverso il software Siti4farmer con la funzionalità di editing al fine di ottenere una base informativa utile per la formulazione della mappa di prescrizione (fig. 8).

### Gli indici agrometeorologici

Oltre agli indici di vegetatività (NDVI), a partire dai raster meteorologici giornalieri (calcolati grazie ai dati meteorologici della rete SIR - Toscana e dei dati previsionali giornalieri a 7 giorni), sono stati calcolati sul territorio oggetto di studio una serie di indicatori quali: la temperatura del terreno a 10 cm di profondità, la radiazione solare globale, l'evapotraspirazione potenziale da coltura di riferimento (ET<sub>o</sub>) e l'evapotraspirazione reale della coltura (ET<sub>m</sub>) e non ultimo il bilancio idrico.

Per il bilancio idrico oltre ai suddetti dati meteorologici si è reso necessario acquisire i dati pedologici aziendali, necessari per determinare l'ampiezza del "serbatoio" cui la pianta può attingere la risorsa idrica (AWC).

### I DSS standard

Sulla base delle informazioni provenienti dai dati meteorologici ed indici agrometeo, sono stati implementati una serie di allarmi in grado di controllare le seguenti casistiche:

- 1) temperatura del terreno adatta alla semina;
- 2) crescita vegetativa non uniforme: a partire dalle immagini NDVI, andando a leggere il valore relativo alla deviazione standard, in caso

di valori superiori ad una soglia parametrizzabile e comunque fissata per default a 0.2, viene emessa un'allerta nel caso tale soglia venga oltrepassata,

- 3) indice di disomogeneità all'interno dell'appezzamento,
- 4) accumulo di risorse termiche insufficienti per la maturazione tecnologica/raccolta.

### Conclusioni

L'introduzione dei sistemi e delle tecniche di fertilizzazione azotata di precisione ha aperto la strada per nuove sfide volte ad ampliare le applicazioni possibili e a migliorare quelle messe a punto. La storicizzazione delle produzioni, i dati sulle caratteristiche dei suoli, i modelli di crescita e sviluppo, il miglioramento delle previsioni stagionali, consentiranno di migliorare l'affidabilità delle mappe di prescrizione e delle fertilizzazioni e di renderle operative anche per la concimazione fatta alla semina, la prima concimazione di copertura e per le necessità di altri nutrienti quali fosforo e potassio.

Tutto ciò è facilitato dall'impiego di software come SITI4farmer che raccolgono in un unico ambiente tutti i dati

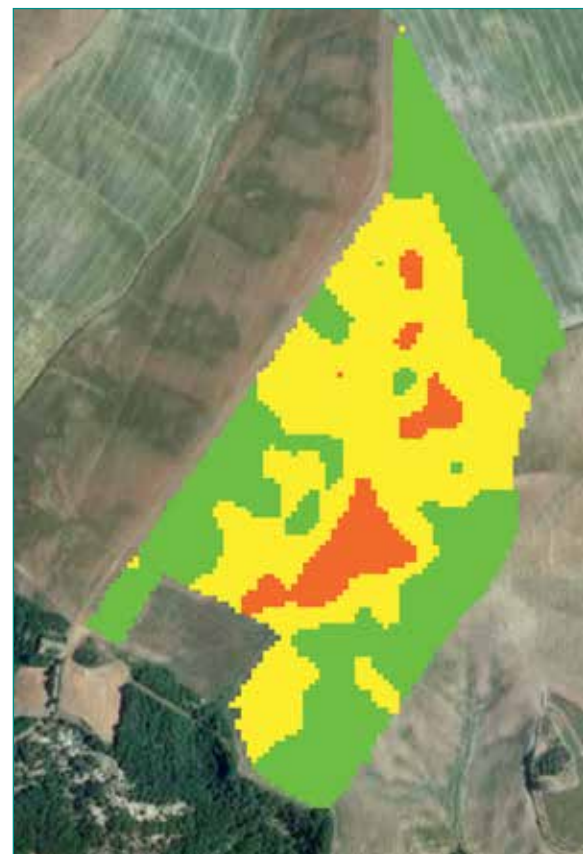


Fig. 8 - immagine NDVI acquisita in fase di levata (21/4/2016) reclassata ai fini della somministrazione della seconda concimazione di copertura.

della campagna, ne forniscono una visione storica e georiferita (dove, quando, come) e elaborano informazioni di "supporto alle decisioni". Grazie alle nuove tecnologie sono ora disponibili, per tutti gli agricoltori e a costi contenuti, apparecchiature di precisione, sensoristica di



Fig. 9 - dashboard che aggrega gli indici agrometeorologici storici e previsionali calcolati sull'azienda Chiarion. A: Plot andamento delle temperature massime, minime e precipitazioni giornaliere. B: Plot andamento dell'evapotraspirazione giornaliera da coltura di riferimento e reale del frumento duro. C: Plot dell'andamento della radiazione globale giornaliera. D: Plot dell'andamento della temperatura del terreno minima e massima giornaliera a 10 cm di profondità. E: Plot dell'andamento del bilancio idrico giornaliero.

campo ed algoritmi complessi per la elaborazione dei dati.

Questo nuovo modo di lavorare in agricoltura è la chiave di volta per l'incremento e miglioramento della produzione, nell'ottica della sostenibilità, tracciabilità e capacità di adattamento ai cambiamenti climatici.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Consorzio Agrario di Siena, il Dr. Roberto Ceccuzzi, la Az. Agr. Chiarion, la Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze per il supporto fornito. Il progetto GRani Antichi Nuove Tecniche di coltivazione è svolto nell'ambito della sottomisura 16.2 - PSR Regione Toscana. Si ringrazia inoltre per il supporto fornito: il Dr. Agr. Pietro Pagliuca.

### BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, N., VILLEGAS, D., ARAUS, J.L., CASADESUS, J. & ROYO, C. (2002). Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Sci.* 42, 1547-1555.
- BROGE, N.H. & LEBLANC, E. (2000). Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment* 76, 156-172.
- CAMMARANO, D., FITZGERALD, G.J., BASSO, B., CHEN, D., GRACE, P. & O'LEARY, G.J. (2011). Remote estimation of chlorophyll on two wheat cultivars in two rainfed environments. *Crop & Pasture Science* 62, 269-275.
- Dalla Marta A., Grifoni D., Mancini M., Zipoli G., Orlandini S. (2011) - The influence of climate on durum wheat quality in Tuscany, Central Italy. *International Journal of Biometeorology*, 55, 87-96.
- Dalla Marta A., Grifoni D., Mancini M., Orlando F., Guasconi F., Orlandini S. (2015) - Durum wheat in-field monitoring and early-yield prediction: assessment of potential use of high-resolution satellite imagery in a hilly area of Tuscany, Central Italy. *Journal of Agricultural Science*, 153, 68-77
- Dalla Marta A., Orlando F., Mancini M., Guasconi F., Motha R., Qu J., Orlandini S. (2015). A simplified index for an early estimation of durum wheat yield in Tuscany (Central Italy). *Field Crops Research*, 170, 1-6
- FILELLA, I. & PEÑUELAS, J. (1994). The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing* 15, 1459-1470.
- Guasconi F., Dalla Marta A., Grifoni D., Mancini M., Orlando F., Orlandini S. (2011) - Influence of climate on durum wheat production and use of remote sensing and weather data to predict quality and quantity of harvests. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3/2011, 21-28.
- HANSEN, P. M., JØRGENSEN, J.R. & THOMSEN, A. (2002). Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barley using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 139, 307-318.
- LABUS, M.P., NIELSEN, G.A., LAWRENCE, R.L., ENGEL, R. & LONG, D.S. (2002). Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 4169-4180.
- MKHABELA, M.S., BULLOCK, P., RAJ, S., WANG, S. & YANG, Y. (2011). Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 385-393.

### PAROLE CHIAVE

AGRICOLTURA DI PRECISIONE; RAPID EYE; SENTINEL-2; MONITORAGGIO REMOTO; NDVI, DSS

### ABSTRACT

Most of the wheat areas in Italy are located in areas characterized by high inhomogeneities from the pedological, geographic and climatic point of view. In this context, the precision fertilization in function of crop needs, has had a positive impact on both economic and environmental sustainability.

In the integrated projects of the "Pasta dei Coltivatori Toscani" chain and the "Grani Antichi Nuove Tecniche di lavorazione", supported by the Rural Development Program of the Tuscany Region, some testing farms have been provided with operating machines capable of parallel guidance and monitoring yields, precision distribution models for nitrogen fertilizer, remote monitoring systems, and a computerized business dossier capable of processing and storing parcel information. This basic knowledge informations are an important element for the improvement and extension of sitespecific field practice. In this framework, SITIFarmer software was used as a platform dedicated to precision agriculture.

### AUTORE

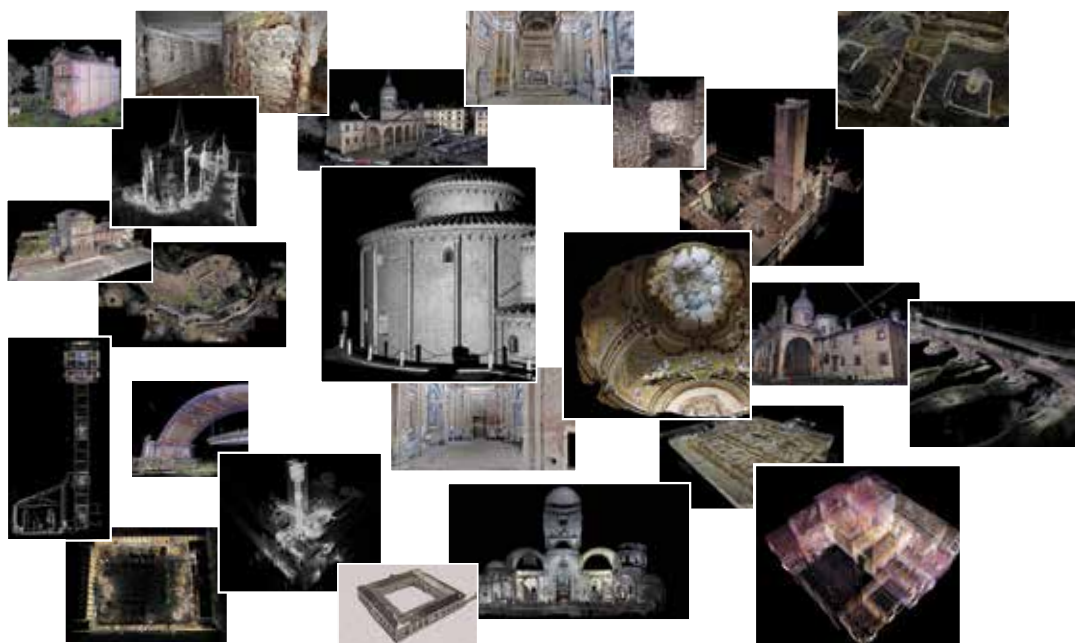
MARCO MANCINI, MARCO.MANCINI@UNIFI.IT

ANNA DALLA MARTA, SIMONE ORLANDINI, MARCO NAPOLI

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLE PRODUZIONI AGRO-ALIMENTARI E DELL'AMBIENTE (DISPAA)  
UNIVERSITÀ DI FIRENZE.

SIMONE GABRIELE PARISI, S.PARISI@ABACOGROUP.EU

ABACO S.p.A., CORSO UMBERTO I, 43, 46100 MANTOVA,



**GEOGRA**

Via Indipendenza, 106  
46028 Sermide - Mantova - Italy  
Phone +39.0386.62628  
info@geogra.it  
www.geogra.it



# ArcGIS

**il WebGIS accessibile**

**ovunque  
in ogni momento  
da ogni dispositivo**

