

# Gli strumenti dell'agricoltura di precisione: le mappe di prescrizione per la concimazione

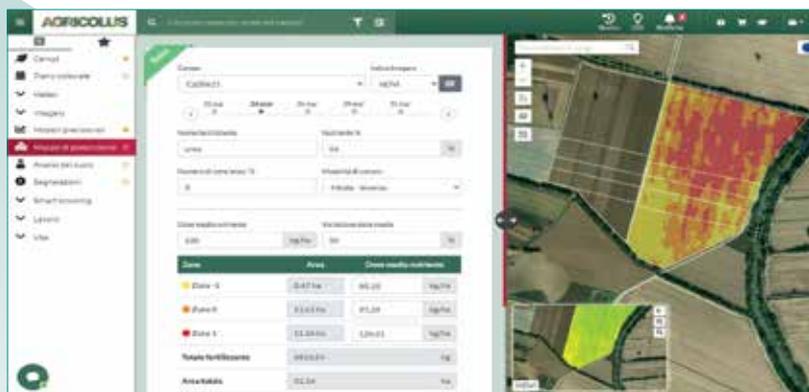


Fig. 1 - Creazione delle mappe di prescrizione in Agricolus.

di Sara Antognelli

Le tecnologie per l'agricoltura di precisione a disposizione degli agricoltori sono molteplici e necessitano di essere utilizzate in modo consapevole per generare un reale valore aggiunto. Le mappe di prescrizione per la concimazione e i dati satellitari sono due tra le tecnologie più diffuse.

## Agricoltura di precisione: cos'è?

Una recente definizione della FAO descrive l'agricoltura di precisione come: "Un'agricoltura guidata da informazioni ambientali dettagliate, per minimizzare l'uso di acqua, agrochimici, e lavoro", ovvero "un'agricoltura che usa tecnologie GPS, satelliti e sensori al suolo, e sistemi di gestione intensiva delle informazioni per comprendere le variazioni delle condizioni delle risorse all'interno del campo. Queste informazioni sono utilizzate per applicare fertilizzanti e altri input con maggiore precisione, e per prevedere più accuratamente la resa" (FAO 2006).

Questa definizione evidenzia come l'agricoltura di precisione sia in realtà un approccio che prevede l'applicazione di diverse tecnologie, integrate fra loro in

modo organico ed efficiente. L'agricoltura di precisione si sta diffondendo in molte e diverse forme. Nuove tecnologie come modelli previsionali, dati satellitari, sistemi di posizionamento GPS e sistemi di supporto alle decisioni stanno entrando a far parte della quotidianità di molte aziende agricole, cambiando il modo di prendere decisioni: le decisioni basate sulla raccolta dati seguita da un processo di interpretazione di quest'ultimi si stanno sostituendo infatti alle decisioni basate esclusivamente sull'esperienza.

## Gli strumenti dell'agricoltura di precisione

Gli strumenti a disposizione delle aziende agricole per l'applicazione delle tecniche di agricoltura di precisione sono moltissimi, tanto da generare spesso confusione tra i potenziali utilizzatori. Per semplicità, tali strumenti possono essere raggruppati come segue:

- ▶ **Strumenti di controllo:** misurano cosa sta accadendo in campo.
- ▶ **Strumenti di previsione:** elaborano i dati acquisiti dagli strumenti di controllo per stimare altre informazioni.
- ▶ **Strumenti di decisione e prescrizione:** integrano diverse

informazioni e forniscono un supporto concreto al processo decisionale *data driven*.

- ▶ **Sistemi di attuazione:** permettono di applicare in campo le decisioni.

Gli strumenti di controllo misurano cosa sta accadendo in campo. I dati raccolti, se non interpretati correttamente, non forniscono informazioni agronomiche agli utenti. Esempi di strumenti di controllo sono, ad esempio, gli indici calcolati da satellite o drone. Questi indici sono di fatto delle misure derivate dalla combinazione della riflettanza nelle diverse bande, che necessitano di interpretazione per fornire informazioni sullo stress delle colture. Altri esempi di strumenti di controllo sono le osservazioni in campo, eseguite dagli agricoltori durante i loro sopralluoghi. Se adeguatamente registrati e georeferenziati, i dati da osservazioni in campo sono un ottimo strumento per interpretare le immagini da satellite e comprendere le dinamiche spaziali di alcune patologie. Altri dati che possono essere acquisiti in campo sono i dati registrati dalle centraline meteo, i dati registrati dai sensori di resa posti sulle macchine raccogliatrici, oppure i dati provenienti da

strumenti innovativi posti sui mezzi agricoli, in grado di fornire dati sulla loro posizione nei diversi momenti delle attività in campo (come il device Agriplug di Agricolus, che permette alle aziende di raccogliere dati sulle operazioni svolte dai propri macchinari).

Gli strumenti di previsione sono costituiti da algoritmi. Gli algoritmi previsionali sono formati da un insieme più o meno complesso di operazioni matematiche che utilizzano i dati ottenuti dagli strumenti di controllo per ottenere altre informazioni. Un esempio di modello previsionale ampiamente diffuso è rappresentato dalle previsioni meteo. Per il calcolo delle previsioni meteo, infatti, sono necessari dati meteo raccolti da centraline. In base a questi dati, vengono stimati gli andamenti delle diverse variabili (temperatura, pioggia ecc.) nel futuro. Ci sono altri modelli previsionali che invece stimano variabili diverse da quelle di origine. Ad esempio, Agricolus stima la fase fenologica delle colture in base ai dati meteo attuali. In questo caso, il modello ha la funzione di stimare una variabile differente nello stesso contesto (luogo e tempo) dei dati di input. Altri modelli con un simile funzionamento sono quelli che stimano ad esempio il rischio di insorgenza delle patologie, oppure il fabbisogno nutrizionale o idrico delle piante, o ancora la fase fenologica degli insetti, o la mortalità di alcuni di questi, come la mosca dell'olivo. In tutti questi casi, se le previsioni del meteo futuro sono sufficientemente affidabili, possono fungere da input dei modelli e stimare le altre variabili nello stesso intervallo temporale analizzato.

La moltitudine di informazioni prodotta dagli strumenti di controllo e previsione necessita

di essere organizzata per fornire informazioni utili alle decisioni degli agricoltori. Gli strumenti di decisione e prescrizione rispondono a questa esigenza.

Gli strumenti di decisione sono costituiti normalmente da dashboard di confronto dei dati e da sistemi di sovrapposizione dei layer geografici, che permettono di confrontare in modo ragionato dati provenienti da diverse fonti e supportare il processo decisionale.

Gli strumenti di prescrizione integrano matematicamente i dati. Ad esempio, le mappe di prescrizione, ad oggi sempre più utilizzate dagli agricoltori, associano a ciascuna coordinata del campo una specifica quantità di input, ottenuta da alcuni calcoli e integrata dalle osservazioni del tecnico aziendale. Le mappe di prescrizione sono utilizzate spesso per somministrare al campo dosi differenziate di concime, ma possono essere prodotte anche per differenziare la quantità di semente, di fitofarmaci, o la dose irrigua.

Per applicare le mappe di prescrizione sono necessari strumenti di attuazione come i sistemi a rateo variabile.

#### **Tecnica: creare mappe di prescrizione basate sull'interpretazione dei dati satellitari**

Gli utenti della piattaforma Agricolus reputano molto utile creare le proprie mappe di prescrizione basate sull'interpretazione dei dati satellitari. Questa tecnica permette di creare mappe di prescrizione per la concimazione con una ridotta necessità di sopralluoghi in campo; è particolarmente importante nelle aziende dedicate ai seminativi, dove le colture estese su aree vaste e con un reddito per ettaro relativamente basso non rendono economicamente

sostenibile un monitoraggio in campo costante e certosino.

La funzionalità "Mappe di prescrizione" di Agricolus permette di creare mappe facilmente utilizzabili nei sistemi a rateo variabile che consentono di ottimizzare la dose di concimazione, associando a ciascuna zona del campo la quantità di concime più adatta.

La creazione delle mappe di prescrizione in Agricolus si articola in due fasi (fig. 1):

- 1) Selezione dei parametri
- 2) Definizione della modalità di calcolo

#### **Selezione dei parametri per le mappe di prescrizione**

La mappa di prescrizione prevede la suddivisione di ciascun campo in zone omogenee al loro interno, a cui somministrare la stessa dose di concime.

La definizione delle zone omogenee viene fatta sulla base di un indice satellitare rilevato in una determinata data. L'utente può scegliere un indice tra quelli proposti nella funzionalità "Imagery", calcolato su qualsiasi data disponibile. L'indice più frequentemente utilizzato è l'NDVI calcolato nell'ultima data disponibile prima dell'applicazione del concime, ma possono essere scelti altri indici come l'indice di clorofilla TCARI/OSAVI o un indice di stress idrico come l'NDMI. La scelta dell'indice di riferimento è un passaggio che deve essere eseguito con competenza dal tecnico che crea la mappa di prescrizione.

Il campo viene quindi zonizzato sulla base dell'indice selezionato. La definizione delle zone omogenee è basata sul calcolo di un indice statistico che raggruppa i diversi punti del campo sulla base della distanza dalla media dell'indice. L'algoritmo definisce

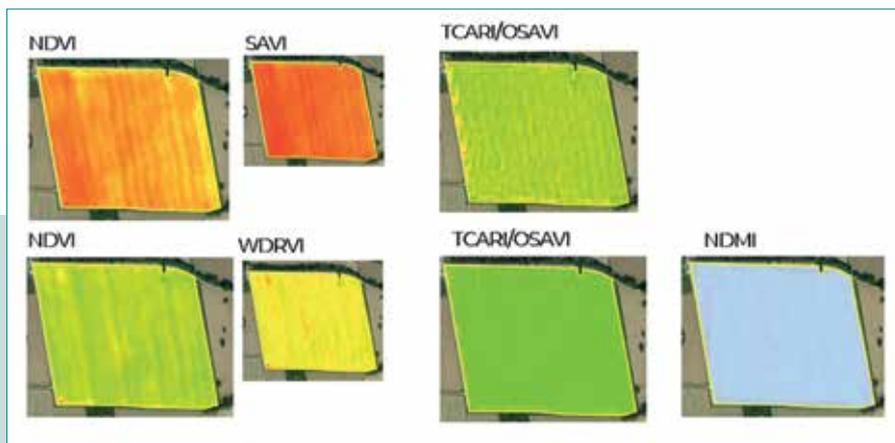


Fig. 2 - Confronto tra indici su un campo di grano tenero in fase di accostimento (sopra) e di fioritura (sotto).

anche il numero massimo di zone in cui è significativo suddividere il campo, ma l'utente può decidere di diminuirle.

#### Modalità di calcolo delle mappe di prescrizione

L'utente può scegliere autonomamente una modalità di calcolo tra "diretta" o "inversa". Con la prima metodologia, si prevede di concimare maggiormente le zone con bassa vigoria. Si inserisce la dose media di elemento nutritivo nel campo e la percentuale di variazione massima desiderata rispetto alla media.

Con la seconda metodologia si predilige di concimare le zone a più alta vigoria. L'utente inse-

risce la dose media di elemento nutritivo nel campo e la percentuale di variazione massima desiderata rispetto alla media. Per valutare l'azione migliore da intraprendere l'agricoltore deve definire se la carenza di nutrienti è il fattore che limita la vigoria o se vi sono altri fattori preponderanti, come deficit, eccessi idrici, o problemi di emergenza delle plantule che hanno causato una ridotta vigoria in alcune zone del campo. Nel primo caso dovranno essere somministrati più nutrienti nelle aree con vigoria più bassa, nel secondo è più efficiente somministrare un minor quantitativo di nutrienti in queste aree, dove una concimazione più abbon-

dante non ne migliorerebbe la produttività. L'analisi comparativa degli indici di vigoria rende possibile definire i fattori limitanti con un buon grado di accuratezza, necessitando solo in alcuni casi di sopralluoghi in campo.

#### L'interpretazione dei dati satellitari

Agricolus fornisce indici satellitari calcolati da Sentinel 2 per tutte le date disponibili (generalmente ogni 3-5 giorni, in assenza di copertura nuvolosa). Gli indici forniti sono raggruppati in 3 categorie:

- ▶ Indici di vigoria
- ▶ Indici di clorofilla
- ▶ Indici di stress idrico

Questi indici possono essere confrontati per definire la miglior strategia di concimazione, partendo da alcune semplici valutazioni. Per prima cosa è bene osservare il valore medio dell'NDVI, che si può considerare come riferimento per la vigoria. Osservando il valore medio dell'NDVI, è possibile stabilire se ci si trova in una fase in cui la vegetazione è ancora in accrescimento o in pieno sviluppo vegetativo. Nel primo caso può essere utile integrare l'osservazione con un indice di vigoria alternativo, meno soggetto all'effetto del suolo, mentre nel secondo può essere utile confrontare l'NDVI con indici meno soggetti a saturazione. Una volta compreso quale indice utilizzare in base al valore medio, si passa ad analizzare la variabilità spaziale della vigoria. La variabilità spaziale dell'indice permette di individuare le zone con bassa vigoria. Per comprenderne la causa è utile il confronto con un indice di vegetazione specifico, ad esempio l'indice di clorofilla. Quest'ultimo consen-

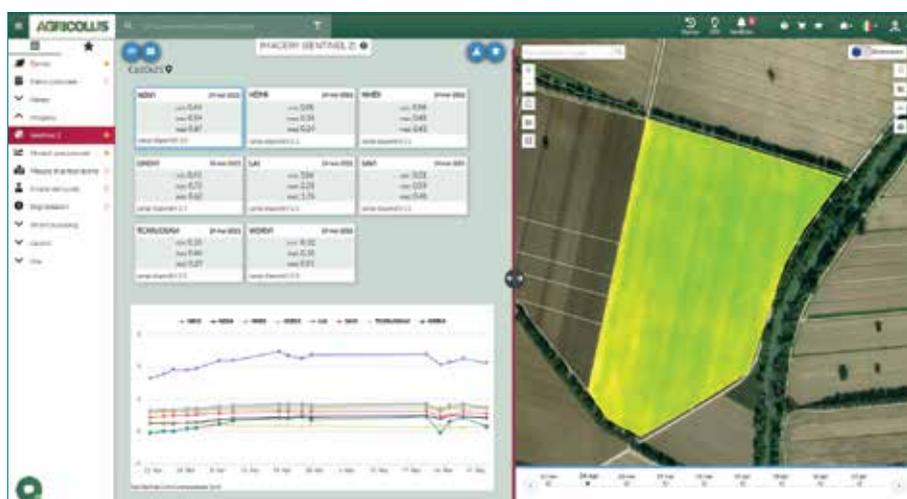


Fig. 3 - Comparazione dei dati satellitari in Agricolus.

te di stabilire se le zone affette da bassa vigoria sono anche affette da clorosi, sintomo tipico della carenza dei nutrienti ma anche di altri fattori, come l'insorgenza di patologie. Inoltre, se l'indice di vigoria è elevato (e quindi la vegetazione è sufficientemente sviluppata), un confronto con un indice di stress idrico permette di capire se alcune zone del campo sono affette da problemi legati a carenza o eccesso idrico (figura 2).

### Quale indice utilizzare?

All'interno della piattaforma Agricolus, l'agricoltore ha a propria disposizione molteplici indici di vegetazione (figura 3). L'NDVI è l'indice di vigoria più versatile e conosciuto. Tuttavia, in caso di copertura vegetale parziale, come nel grano in fase di accostamento, è bene ricorrere al SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) (Huete et al., 1988), che permette di ridurre il rumore dei diversi tipi di suolo sul dato di vigoria. Nelle fasi fenologiche in cui l'NDVI tende a saturare (come in fase di fioritura delle graminacee), è utile ricorrere al WDRVI (Wide-Dynamic Range Vegetation Index) (Gitelson A.A. 2004, Henebry G.M. 2004) che, pure avendo valori assoluti meno interpretabili, permette di evidenziare maggiormente le differenze tra le diverse aree del campo, in quanto

meno soggetto a saturazione. L'indice di clorofilla TCARI/OSAVI (Haboudane et al. 2002) può essere quindi utilizzato per buona parte del ciclo colturale (figura 4), poiché risulta piuttosto resiliente nei confronti delle variazioni dell'indice di area fogliare (Leaf Area Index -LAI) nel caso in cui quest'ultimo superi una soglia di almeno 1 mq/mq. Gli indici di stress idrico sono facilmente interpretabili quando la coltura è ben sviluppata (LAI superiore a 2 mq/mq), mentre con un valore LAI più basso risentono fortemente della variabilità della vigoria, mescolando gli effetti dello stress idrico con quelli del mancato sviluppo vegetativo della pianta. In caso di copertura vegetale sufficiente, sia l'indice NDMI (Normalized Difference Moisture Index) (Skakun, R.S. et al., 2003) che il meno noto NMDI (Normalized Multiband Drought Index) (Wang et al. 2007) risultano direttamente proporzionali alla quantità d'acqua presente nelle foglie (fig. 2).

L'indice NMDI ha anche un'altra peculiarità: in caso di suolo nudo (NDVI vicino allo 0) esso risulta inversamente proporzionale alla quantità d'acqua nel terreno. Questo spiega anche perché non è bene utilizzare tale

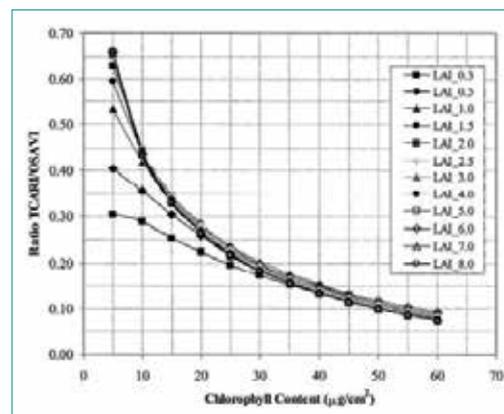


Fig. 4 - Relazione tra TCARI/OSAVI e contenuto di clorofilla delle piante (Haboudane et al. 2002).

indice su vegetazione mediamente sviluppata: le relazioni tra acqua nel terreno e acqua fogliare interagirebbero, mescolando gli effetti (figura 5).

### BIBLIOGRAFIA

- FAO (2006), Plant nutrition for food security, *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No.16*, <http://www.fao.org/3/a0443e/a0443e.pdf> (Retrieved: 07/06/2021).
- Huete, Alfredo R. "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)." *Remote sensing of environment* 25.3 (1988): 295-309.
- Henebry, G. M., Viña, A., & Gitelson, A. A. (2004). The wide dynamic range vegetation index and its potential utility for gap analysis.
- Gitelson, A. A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of plant physiology*, 161(2), 165-173.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of environment*, 81(2-3), 416-426.
- Skakun, R. S., Wulder, M. A., & Franklin, S. E. (2003). Sensitivity of the thematic mapper enhanced wetness difference index to detect mountain pine beetle red-attack damage. *Remote Sensing of Environment*, 86(4), 433-443.
- Wang, L., & Qu, J. J. (2007). NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 34(20).

### PAROLE CHIAVE

AGRICOLTURA DI PRECISIONE; MAPPE DI PRESCRIZIONE; CONCIMAZIONE; IMMAGINI SATELLITARI.

### ABSTRACT

Technologies for precision agriculture are spreading over the agricultural world. They include different tools for data gathering, forecasts, prescription, decision and actuation of the decisions. To be effective, farmers should be skilled to use them. The paper shows how, between the several technologies, indices calculated from satellite can be used to create useful prescription maps for optimizing crop fertilization.

### AUTORE

SARA ANTONELLI,  
DISCOVER@AGRICOLUS.COM  
DOTTORE AGRONOMO E  
DATA ANALYST PRESSO AGRICOLUS S.R.L.

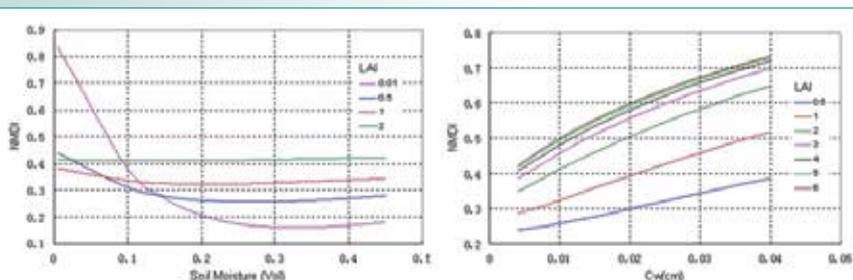


Figure 2. Sensitivity of NMDI to (left) soil moisture and (right) leaf water content.

Fig. 5 - Sensibilità dell'NMDI all'umidità del suolo (sinistra) e al contenuto d'acqua fogliare (destra) (Wang et al. 2007).