

POTENZIALITÀ APPLICATIVE DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE NELL'AMBIENTE VENETO

Antonio Berti⁽¹⁾, Maurizio Borin⁽¹⁾, Carlo Giupponi⁽¹⁾, Francesco Morari⁽¹⁾, Giuseppe Zanin⁽¹⁾, Carlo Duso⁽¹⁾, Lorenzo Furlan⁽¹⁾, Stefania Rizzo⁽²⁾, Luigi Sartori⁽²⁾, Serenella Nardi⁽³⁾, Erika Sessi⁽³⁾

⁽¹⁾*Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali – Università di Padova*

⁽²⁾*Dipartimento del Territorio e Sistemi agro-forestali – Università di Padova*

⁽³⁾*Dipartimento di Biotecnologie Agrarie – Università di Padova*

Introduzione

L'agricoltura di precisione è una forma di agricoltura tecnologicamente avanzata, nella quale si fa ricorso a macchine operatrici dotate di “sistemi intelligenti”, in grado di dosare i fattori produttivi (fertilizzanti, antiparassitari...) in relazione alle reali necessità dell'appezzamento e alle diverse zone omogenee interne ad esso (Verghagen e Bouma, 1997). Nella normale pratica agricola, gli interventi vengono basati sulle caratteristiche medie del suolo e ciò implica che, in funzione delle intrinseche variabilità spaziali dentro il campo, l'applicazione dei fattori produttivi potrà essere insufficiente o eccedentaria. L'agricoltura di precisione, al contrario, mira ad adattare gli apporti puntiformi, tenendo conto della variabilità locale delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del campo, nonché della tempistica di applicazione (Pierce e Sadler, 1997). Tale tecnica può essere finalizzata a tre scopi principali: 1) incrementare le rese a parità di input complessivi; 2) ridurre gli input a parità di resa; 3) incrementare le rese riducendo nel contempo gli input (Robert et al., 1993).

Il progresso tecnologico raggiunto in termini di automazione, gestione ed elaborazione dei dati spaziali rende l'agricoltura di precisione già potenzialmente attuabile dall'agricoltore, almeno dal punto di vista tecnico. Diviene per contro limitante l'impegno richiesto per la determinazione della variabilità spaziale dei fattori pedologici e biologici che concorrono a determinare la fertilità di un sito. Per alcuni fattori all'intrinseca variabilità spaziale, si aggiunge un'elevata variabilità temporale.

L'applicazione di questo approccio innovativo richiede una conoscenza approfondita delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei campi, la loro mappatura e memorizzazione in modo che possano poi essere gestite da computer di controllo delle operazioni colturali, posti a bordo delle macchine. L'esecuzione degli interventi richiede poi un sistema di posizionamento automatico (*GPS = Global Positioning System*), che consenta alla macchina di riconoscere sulla mappa il punto esatto in cui si trova e di differenziare conseguentemente l'operazione colturale a cui è preposta.

Il primo passo per l'applicazione di tecniche di precisione è la realizzazione di uno studio pedologico e di un'analisi delle condizioni nutrizionali dei terreni. Queste informazioni costituiscono infatti la base per le successive estrapolazioni riguardanti le lavorazioni, la densità di semina e la concimazione da applicare nell'area in esame. A queste osservazioni preliminari si possono poi aggiungere rilievi mirati per quanto riguarda la presenza e la

distribuzione spaziale di piante infestanti, di fitofagi e patogeni, destinate a fare da base di conoscenza per i possibili trattamenti di difesa della coltura.

Questa fase iniziale è fondamentale per il successo delle tecniche di precisione: l'operatore si trova a dover effettuare delle scelte importanti riguardo alla metodologia e alla numerosità di campionamento delle variabili allo studio. Infatti, sia i fattori pedologici che le infestazioni presentano una forte variabilità su scale spaziali piuttosto limitate; inoltre la ricostruzione della variabilità spaziale dei fattori analizzati a partire da campioni puntiformi viene di norma realizzata con tecniche geostatistiche, la cui applicabilità dipende dalla disponibilità di un sufficiente numero di campioni elementari.

Dal punto di vista applicativo ci si trova quindi di fronte a due esigenze discordanti: da una parte l'ottenimento di elevate precisioni nella stima dei fattori allo studio richiederebbe elevate intensità di campionamento, ma dall'altra considerazioni di carattere economico spingerebbero a limitare al massimo le analisi da effettuare.

È da considerare inoltre che le operazioni colturali vengono effettuate con attrezzature che presentano ben determinate caratteristiche tecniche, e che non sempre sono in grado di sfruttare appieno un'informazione spaziale dettagliata. La precisione spaziale dell'attrezzatura dipenderà infatti dalla sua larghezza di lavoro, dalla velocità di avanzamento e dal tempo di risposta degli strumenti di regolazione. Se questa precisione non collima con quella ottenibile in fase di rilievo si può avere una perdita di informazione e, in ultima analisi una riduzione dei vantaggi ottenibili con la tecnica di precisione.

Tenendo conto di queste problematiche, si è quindi impostata una ricerca che ha l'obiettivo di verificare, con esperienze dirette e simulazioni, le modalità di applicazione delle tecnologie che compongono l'agricoltura di precisione. Nella prima fase di questa ricerca si sono approfondite le problematiche della ricostruzione della variabilità spaziale dei fattori allo studio.

Materiali e metodi

La sperimentazione, iniziata nel 1999, si svolge presso l'Azienda agricola San Basilio, sita ad Ariano Polesine, in provincia di Rovigo (44.57 N e 12.10 E, altitudine 0 m s.l.m.).

L'area interessata alla sperimentazione ha una superficie di 5.82 ha, e fa parte di un appezzamento della superficie complessiva di circa 12 ha, caratterizzato dalla presenza di un sistema di drenaggio sottosuperficiale adatto anche alla sub-irrigazione freatica. La superficie dell'appezzamento si presenta completamente piana.

La composizione granulometrica media presenta percentuali di 17% di limo, 40% di argilla e 43% di sabbia, e il terreno è classificabile, secondo il metodo del Soil Survey americano modificato, come franco-argilloso.

Il terreno è già da anni condotto secondo il criterio della minima lavorazione con discature a 20 cm di profondità.

La coltura presente nel 1999 era la soia (cv. Lory, gruppo di maturazione I).

I rilievi iniziali sono consistiti nel prelievo di carote di terreno nello strato 0-20 cm, su cui sono state determinate la composizione granulometrica, il contenuto di sostanza organica, il pH e i contenuti in N totale, P₂O₅ assimilabile e K₂O scambiabile. I rilievi sono stati effettuati

sui nodi di una maglia base quadrata di 27 m di lato, per un totale di 80 campioni elementari. Su questa stessa maglia è stata poi stimata la popolazione di insetti fitofagi tramite trappole a feromoni.

Dopo l'emergenza della soia è stato effettuato un rilievo quanti-qualitativo dell'infestazione presente, enumerando le piante presenti in un area elementare di 0.75 x 0.5 m. Il rilievo è stato effettuato sui nodi di una maglia quadrata di 4.5 m di lato, sovrapposta alla maglia base. I dati di densità reale osservati sono stati quindi trasformati in densità equivalenti (Berti e Zanin, 1994), in modo da permettere la stima della perdita di resa causata dall'infestazione. Si sono così ottenute due mappe derivate di perdita di resa, una causata dalle dicotiledoni ed una dalle graminacee.

Alla maturazione della coltura si è provveduto alla raccolta di aree di saggio per la determinazione della resa di 1.5 x 20 m, sempre poste sulla maglia base di campionamento.

Risultati

a. Statistiche descrittive

Le analisi chimico-fisiche del terreno hanno evidenziato una considerevole variabilità del sito sperimentale (Tab. 1).

Tabella 1 – Caratteristiche medie del terreno e resa finale della soia.

<i>Variabile</i>	Media	Mediana	Min	Max	CV %	Simmetria	Curtosi
PH	7.8	7.8	7.3	8.4	3.1	0.27 ns	-0.15 ns
CO (%)	3.0	3.1	0.9	4.6	29.7	-0.57 *	-0.33 ns
SO (%)	5.1	5.3	1.6	7.9	30.0	-0.54 *	-0.34 ns
N Kj (%)	0.3	0.3	0.1	0.5	26.7	-0.15 ns	-0.62 ns
P ₂ O ₅ (ppm)	76	67	32	151	39.1	1.00 *	0.30 ns
K ₂ O (ppm)	240	248	130	363	19.4	-0.32 ns	-0.39 ns
C/N	10.4	10.5	6.3	14.0	12.6	-0.13 ns	0.97 *
Limo (%)	17.5	18.0	10.0	23.0	16.9	-0.39 ns	-0.42 ns
Argilla (%)	39.7	43.0	21.0	52.0	24.0	-0.55 *	-1.03 *
Sabbia (%)	42.8	40.0	28.0	66.0	27.3	0.54 *	-1.06 *
Resa finale (t ha ⁻¹)	5.15	5.10	4.44	5.98	7.6	0.35 ns	-0.55 ns

In particolare si notano forti differenze nella granulometria, con tessiture che variano da franco-sabbioso ad argilloso. Anche la sostanza organica presenta consistenti variazioni (da 1.6 a 7.9%), mentre la dotazione di elementi nutritivi, pur presentando valori sensibilmente differenti, si mantiene comunque su valori medio-elevati. I parametri di simmetria e curtosi indicano delle differenziazioni tra le variabili considerate: sabbia, argilla, sostanza organica e

fosforo assimilabile presentano significativi scostamenti dalla normalità, indicando un'aggregazione spaziale di queste variabili, mentre pH, azoto e potassio presentano una distribuzione più uniforme.

Per quanto riguarda l'infestazione presente (Tab. 2), le stime di perdita di resa in assenza di trattamento evidenziano una marcata aggregazione spaziale delle osservazioni. È anche evidente una notevole diversità delle due componenti malerbologiche considerate, con le dicotiledoni che si presentano nettamente dominanti sulle graminacee.

Tabella 2 – Stima delle perdite di resa causabili dalle infestanti (%).

<i>Variabile</i>	Media	Mediana	Min	Max	Dev. Std.	Simmetria	Curtosi
Graminacee	0.83	0.00	0.00	25.11	3.17	4.71 *	23.23 *
Dicotiledoni	10.21	0.00	0.00	70.83	13.72	1.20 *	0.60 *

La resa finale ha invece presentato maggiore omogeneità (CV pari a 7.5%), e ciò è da porre in relazione alla buona fertilità generale dell'appezzamento e dell'efficace controllo dell'infestazione effettuato su tutta la superficie. Ciononostante, la differenza tra i valori minimi e massimi è risultata di circa 1.5 t ha⁻¹, evidenziando le possibilità di miglioramento delle rese globali possibili con un'applicazione mirata dei fattori produttivi anche in situazioni piuttosto favorevoli.

b. Distribuzione spaziale

A esclusione di quello relativo alla resa finale, i semivariogrammi delle variabili analizzate hanno raggiunto molto rapidamente un valore asintotico, indicando che le dimensioni della maglia di campionamento erano tendenzialmente troppo ampie per identificare l'eventuale esistenza di una struttura di variabilità spaziale alla microscala. Questo comportamento è anche da ascrivere al campionamento effettuato secondo una maglia regolare, resosi peraltro necessario per ottenere una mappatura dell'intera area sperimentale con una numerosità campionaria non eccessiva. Esso pone comunque in evidenza la difficoltà pratica di combinare un rilievo affidabile delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo con una taglia di campionamento ragionevolmente applicabile, dal punto di vista economico, nella normale pratica agricola. Nel caso delle malerbe, inoltre, la griglia di campionamento era notevolmente più stretta (4.5 x 4.5 m), ma ciononostante la correlazione spaziale dei campioni appare assai scarsa. Solo nel caso della resa finale si è potuto determinare un semivariogramma secondo un modello esponenziale. In queste condizioni non si è potuto utilizzare il kriging per predire i valori in punti non misurati. Le mappe riportate in figura 1 sono quindi state ottenute tramite una procedura di interpolazione con medie pesate sull'inverso della distanza.

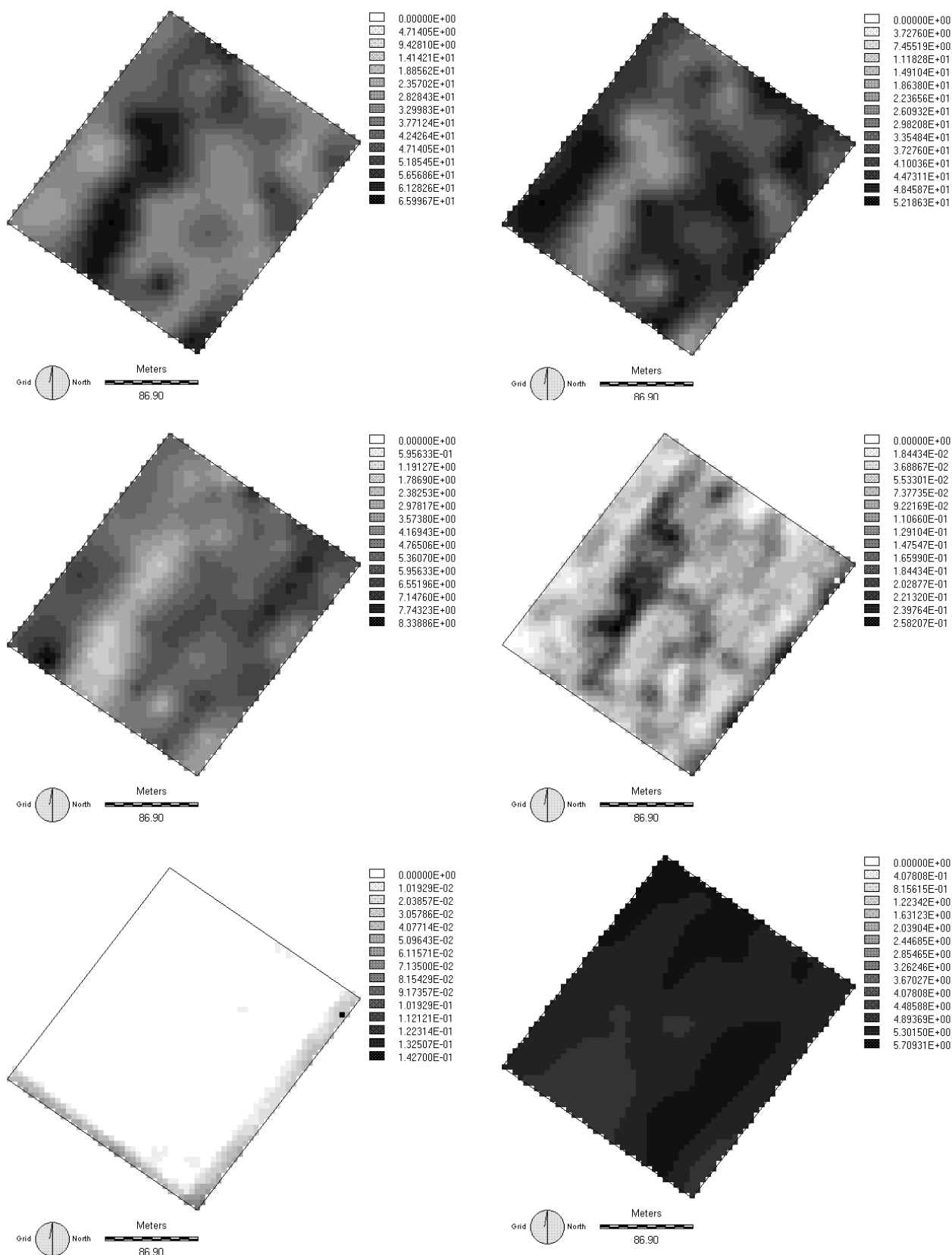


Figura 1 – Mappatura del tenore di argilla (%) (A), di sabbia (%) (B), del contenuto di sostanza organica (%) (C), della perdita di resa dovuta alle dicotiledoni (D) e alle graminacee (E) e della resa finale della soia ($t\ ha^{-1}$) (F).

Le mappe mettono comunque in evidenza le diversificazioni all'interno del sito sperimentale, caratterizzato da fasce di differente tessitura disposte tendenzialmente nel senso

delle lavorazioni del terreno. La distribuzione della sostanza organica rispecchia sostanzialmente quella dell'argilla, anche se le variazioni appaiono meno marcate.

La distribuzione delle malerbe si è presentata molto differente per le due categorie di infestanti considerate: mentre le graminacee sono sostanzialmente presenti sui bordi dell'appezzamento, le dicotiledoni sono diffuse più omogeneamente, anche se presentano densità , e di conseguenza stime delle perdita di resa causabile, maggiori in corrispondenza della fascia sabbiosa precedentemente identificata.

Come già indicato in precedenza la resa finale della soia si presenta maggiormente omogenea, anche se si osservano zone caratterizzate da rese diversificate. Nel complesso, le rese più elevate paiono concentrarsi nella aree caratterizzate da tenori in sostanza organica elevati e con una tessitura maggiormente argillosa. Questa risposta è probabilmente da attribuire sia ad una maggiore disponibilità di nutrienti che ad un miglior rifornimento idrico.

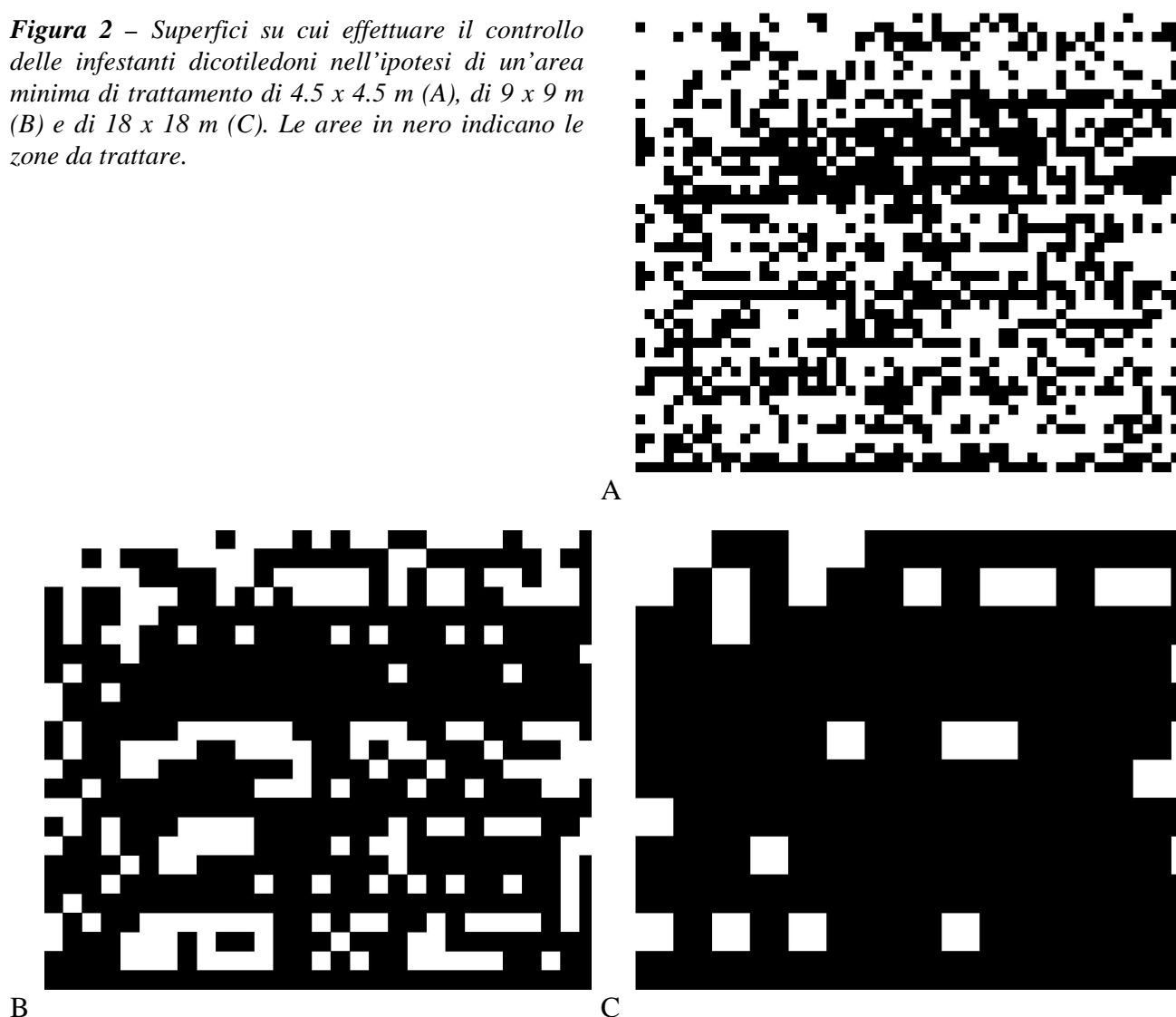
c. Applicabilità dell'informazione spaziale nel caso del controllo delle piante infestanti

Nell'ottica dell'agricoltura di precisione, il controllo delle malerbe dovrebbe essere fatto in maniera mirata, trattando solo le aree con infestazione tale da determinare importanti perdite di resa. L'identificazione delle aree su cui intervenire va fatta intersecando una mappa di perdita di resa con un valore di soglia economica di intervento. Sulla base del prezzo della soia e del costo medio dei trattamenti di diserbo, si può stabilire in prima approssimazione un livello di soglia che si aggira attorno al 5% di perdita di resa. Assumendo questo valore come soglia, è quindi possibile determinare sia l'estensione delle aree del campo richiedono il trattamento rispetto all'intero appezzamento che la localizzazione spaziale di queste zone.

Considerando la popolazione infestante di dicotiledoni, nel 59% della superficie la perdita di resa sia inferiore al livello di soglia. Nel caso delle graminacee, presenti solo sui bordi dell'appezzamento, tale percentuale sale al 97%. Si ha quindi una notevole potenzialità di riduzione dei quantitativi di diserbanti impiegati.

Sulla base del rilevamento eseguito è poi possibile produrre delle mappe che indicano le aree che necessitano del trattamento. In figura 2 A è riportata la localizzazione di queste aree considerando le densità di infestazione rilevate sulla maglia di 4,5 x 4,5 m.

Figura 2 – Superfici su cui effettuare il controllo delle infestanti dicotiledoni nell’ipotesi di un’area minima di trattamento di 4.5 x 4.5 m (A), di 9 x 9 m (B) e di 18 x 18 m (C). Le aree in nero indicano le zone da trattare.



In condizioni reali, però, le attrezzature da diserbo impiegabili non sono in grado di seguire una maglia con un dettaglio spaziale così elevato. Si sono quindi effettuate due simulazioni considerando a) una diserbatrice con barra da 18 m in grado di controllare indipendentemente i due settori della barra e b) un’attrezzatura con barra di 18 m senza controllo indipendente dei settori. Per entrambe si è ipotizzata una velocità di avanzamento di 3 m s^{-1} e un tempo di risposta dell’attrezzatura di 3 s nel primo caso e di 6 s nel secondo. L’attrezzatura di tipo b) è da considerare come un sistema attualmente disponibile, mentre quella di tipo a) rappresenterebbe una possibile evoluzione. Si sono quindi prodotte le mappe corrispondenti, mediando le densità di infestazione all’interno di unità spaziali corrispondenti alla minima area trattabile (81 m^2 nel caso ‘a’ e 324 m^2 nel caso ‘b’), ricalcolando le perdite di resa e identificando le aree con infestazione in grado di determinare perdite di resa superiori al livello di soglia. Dalle figure 2 B e 2 C, corrispondenti rispettivamente all’ipotesi a) e alla b), si può notare come la superficie trattata aumenti in maniera inversamente proporzionale alla risoluzione spaziale del sistema di trattamento. Nella prima ipotesi la superficie non trattata si riduce infatti al 33% per passare al 15% nella seconda.

Conclusioni

L'analisi delle mappe della varianza delle caratteristiche del terreno indica che la maglia adottata era tendenzialmente troppo larga per apprezzare appieno la variabilità spaziale. Una rappresentazione più precisa richiederebbe quindi un campionamento più intensivo, che comporta però dei costi di effettuazione più elevati. Si pone quindi il problema di trovare un compromesso tra precisione ed economicità del rilievo. Dal punto di vista pratico, comunque, le mappe ottenute sono indicative della situazione reale e permettono di identificare aree con diversa struttura e con importanti variazioni nelle caratteristiche chimiche principali.

Le informazioni ricavate in questo primo anno di sperimentazione hanno permesso di formare una base di conoscenza sulla variabilità spaziale di alcuni importanti fattori. Queste conoscenze sono necessarie per lo sviluppo di tecniche di precisione, che richiedono la disponibilità di informazioni raccolte su più anni, in modo da monitorare l'evoluzione delle caratteristiche dell'ambiente di coltivazione.

Lo sfruttamento completo delle potenzialità di riduzione degli input chimici con l'agricoltura di precisione richiede quindi attrezzature con un'elevata risoluzione spaziale. È però evidente che il miglioramento della risoluzione richiede tecnologie più avanzate e complesse, determinando in ultima analisi un incremento dei costi fissi. È quindi necessario trovare un compromesso opportuno tra costo delle attrezzature e precisione, in modo da garantire la convenienza economica dell'adozione di queste tecniche.

Bibliografia

- Berti A., Zanin G., 1994. "Density Equivalent: a method for forecasting yield losses caused by mixed weed populations". *Weed Research*, 34:326-332.
- Pierce F.J., Sadler E.J. (ed), 1997. *The state of site specific management for agriculture*, ASA Publ., ASA, CSSA e SSSA, Madison, WI, USA.
- Robert P.C., Rust R.H., Larson W.E., 1993. *Proceedings of soil specific crop management: a workshop on research and development issues*. SSSA Spec. Publ., SSSA, Madison, WI, USA.
- Verhagen J. , Bouma J., 1997. "Modeling soil variability". In Pierce F.J., Sadler E.J. (ed), *The state of site specific management for agriculture*, ASA Publ., ASA, CSSA e SSSA, Madison, WI, USA.