

Verso una progressiva automazione della gestione dei nitrati negli allevamenti: spandimenti intelligenti tra norme, problematiche e realtà

I. INTRODUZIONE

La presente relazione riferisce delle esperienze condotte nell'ambito del progetto Metamorfosi per verificare la possibilità di adottare un approccio attivo per risolvere il problema della gestione dei nitrati da reflui zootecnici, approccio che prevede che i problemi siano risolti in fase di pianificazione e di controllo dell'esecuzione dello spargimento, impiegando tecniche a elevato contenuto tecnologico, secondo i principi della cosiddetta "agricoltura di precisione".

Le tecniche annoverate sotto il termine di agricoltura di precisione hanno una storia che è ormai più che ventennale. L'interesse nella loro pratica adozione nel mondo agricolo è stato in questo periodo molto fluttuante. Recentemente, tuttavia, la raggiunta maturazione tecnologica nel campo delle soluzioni GPS e di automazione del controllo dei mezzi in campo, legata alla maggiore affidabilità dei componenti elettronici montati a bordo delle macchine agricole, sta portando a una certa diffusione delle opzioni di guida assistita e automatica delle motrici di campo. Ciò fa intravedere una certa possibilità che i dati che vengono utilizzati per realizzare tale pratica – se nel caso integrati con quelli acquisiti attraverso altri tipi di sensori – possano andare a costituire una base di conoscenze aziendali o territoriali in grado di supportare la messa in essere di ulteriori e più avanzate soluzioni tecnologiche per la applicazione dei metodi scientifici alle coltivazioni agricole.

* *Università degli Studi di Milano, Dipartimento VSA*

2. VINCOLI NORMATIVI

L'impiego delle tecniche di cui sopra, tuttavia, non può essere visto nel nostro Paese sganciato da quelle che sono le condizioni normative che regolano lo spargimento dei reflui zootecnici e che determinano alcuni vincoli alla operatività in campo. In sintesi si ha che, nelle zone classificate come vulnerabili dalla normativa, cioè quelle in cui la gestione dei nitrati è al centro dell'attenzione degli operatori, gli apporti delle concimazioni N di derivazione organica ($170 \text{ kgN/ha} \cdot \text{anno}$) debbano integrarsi con gli apporti non organici per andare a coprire le quantità asportate annualmente dalle diverse colture. Il tutto è definito all'interno di piani di concimazione che debbono essere redatti, seguendo precise regole di calcolo, e presentati all'amministrazione pubblica in modo che la medesima possa attivare controlli in merito a quanto distribuito.

Per chiarire questo passaggio, che è fondamentale per comprendere quale può essere l'apporto delle tecniche di agricoltura di precisione nel supportare gli operatori del settore ad adattarsi ai vincoli imposti dalle normative, si può ragionare, a esempio, sul caso del mais in regione Lombardia, in area vulnerabile, con concimazione organica effettuata in prossimità della semina. L'asportazione di N del mais è fissata in $25,2 \text{ kgN/t}$, e quindi in previsione di produrre 10 t/ha di granella, risulta che l'asportazione di N si calcola in $252 \text{ kgN/ha} \cdot \text{anno}$. Di questi $170 \cdot 0,6 = 102$ vengono considerati forniti dalla concimazione attraverso la distribuzione dei reflui aziendali (lo $0,6$ è un coefficiente di efficacia, variabile in relazione al tipo di terreno e alla stagione, che tiene conto che non tutto l'N organico in via di distribuzione è assimilabile nella singola stagione agraria). La restante quota di $150 \text{ kgN/ha} \cdot \text{anno}$, sottratta di N_p , N_m , e N_c (N_p = N prontamente disponibile; N_m = N mineralizzato a partire dalla S.O.; N_c = N residuo dalla coltivazione precedente; tutti parametri che vengono calcolati dal software utilizzato per redarre i piani agronomici), è distribuibile sotto forma di azoto inorganico impiegando diverse tipologie di concime.

In questo quadro di quantità fissate in base a una norma, spetta all'agricoltore utilizzare i diversi apporti – nelle forme, con la frammentazione e la sequenza temporale delle dosi da lui decise – per coprire i fabbisogni complessivi dichiarati nei piani di concimazione. Ciò rispettando una serie di vincoli temporali (a esempio impossibilità di distribuire i liquami durante i mesi più freddi dell'anno) e di vincoli spaziali che sono di seguito riassunti in modo schematico, che portano a impossibilità a distribuire a:

- 5 m dalle sponde dei corsi d'acqua non significativi;

- 10 m dalle sponde dei corsi d'acqua superficiali significativi
- 25 m dall'inizio dell'arenile per acqua lacuali e dai corpi idrici ricadenti nelle zone umide ai sensi della convenzione di Ramsar
- 10 m di raggio nel caso di acque sotterranee
- 200 m di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione (pozzi o sorgenti) salvo ulteriori delimitazioni da parte dell'autorità competente.

L'interesse dell'agricoltore, quindi, dovrebbe essere quello – come al solito nel nostro paese il condizionale è d'obbligo – di utilizzare al meglio le quantità che la legge gli permette di impiegare per realizzare una produzione ottimale in termini economici. Ciò sia impiegando attrezzature specificatamente scelte allo scopo di diminuire le possibili perdite di nutriente per percolazione nel terreno e per emissione in atmosfera, sia distribuendo le quantità disponibili in modo preciso e, se nel caso, tenendo conto delle variabilità di fertilità intrinseca tra i singoli appezzamenti o, per appezzamenti di elevata dimensione, di fertilità interna al singolo appezzamento. Il tutto massimizzando la produttività del lavoro degli operatori e delle attrezzature impiegate e utilizzando quindi tecnologie di automazione che ottimizzino questi aspetti. L'adozione di forme di automazione va vista anche allo scopo di diminuire al massimo i rischi legati a interventi non tempestivi, cioè eseguiti al di fuori dei periodi utili, il che, a causa della complessità delle tecniche insita nel fatto di dovere gestire differenti tipologie di fattori fertilizzanti, è tutt'altro che semplice da conseguire.

3. PREREQUISITI ALL'APPLICAZIONE DELLE TECNICHE INNOVATIVE

A oggi, tuttavia, le aziende che impiegano reflui nelle aree vulnerabili non ancora hanno intrapreso un percorso virtuoso di innovazione mirato alla distribuzione dei reflui con attrezzature meccaniche adatte a rendere efficiente l'impiego dei principi fertilizzanti contenuti nei reflui, e in particolar modo nei liquami e, quindi, a raggiungere l'obiettivo di contenere le concimazioni inorganiche entro i limiti stabiliti dalla legge. In particolare, le operatrici diffuse in modo generalizzato sono gli spandiliquame per distribuzione non localizzata. Questi sono essenzialmente costituiti da una botte in acciaio zincato, montata su un telaio trainato da trattore, e sono dotati di un compressore d'aria azionato dalla p.d.p. che, creando una depressione di circa 0,5-1 bar, permette di effettuare il carico del prodotto. Su questa tipologia di macchine, lo scarico può avvenire: A) per gravità; B) mettendo il serbatoio in pressione, mediante la compressione dell'aria; C) fornendo energia di

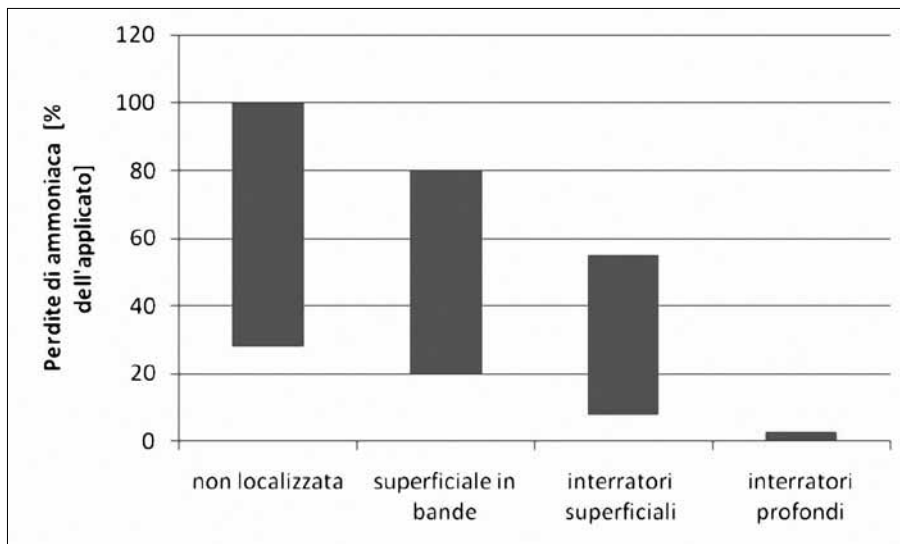


Fig. 1 *Perdite di ammoniaca in funzione del tipo di distribuzione in campo. (Fonte: Final research report - FAIR-PL98-4057)*

pressione e cinetica, tramite una pompa. All'uscita del serbatoio può essere montato un semplice ugello a specchio, o, nel caso di distribuzione in pressione, l'ugello può essere montato su una lancia per effettuare distribuzioni da bordo campo. In tutti questi casi la larghezza effettiva di lavoro non è facilmente definibile e, quindi, non si può assicurare una omogeneità di spargimento con la conseguente utilizzazione ottimale dei principi fertilizzanti. Inoltre, cosa ben più grave, il liquame prima di raggiungere il suolo viene sottoposto a una areazione più o meno spinta che provoca perdite di ammoniaca che, nei casi in cui vengono utilizzate le lance sotto pressione, possono raggiungere valori drammatici (anche il 100% dell'N si perde in atmosfera; fig. 1).

Per quanto riguarda più in specifico i carribotte con distribuzione per gravità, è anche praticamente impossibile mantenere una omogeneità di spargimento longitudinale lungo la fila, in quanto la pressione nel serbatoio si modifica man mano che il medesimo si svuota. Per i carribotte in pressione, invece, la portata in uscita tende a rimanere costante (a meno della variazione della pressione statica del liquido che man mano scende di livello) e, quindi, se si mantiene costante la velocità di avanzamento, può essere raggiunta una certa omogeneità longitudinale distribuzione. Tuttavia, essendo che la portata non viene regolata in automatico con un controllo che sia impostato sui valori di velocità di avanzamento, l'abilità dell'ope-

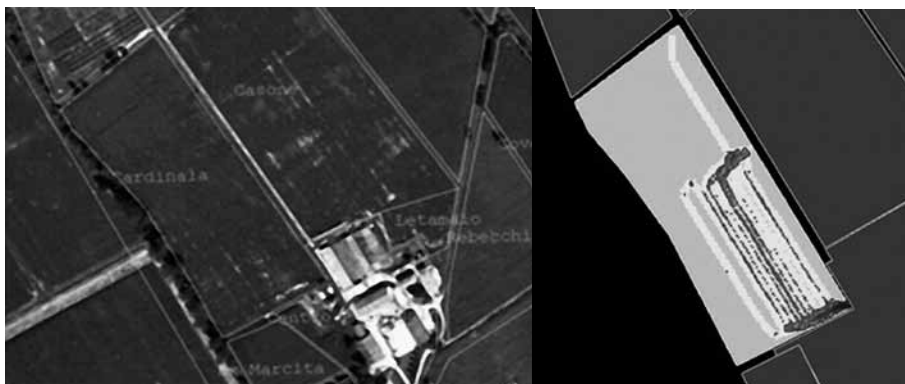


Fig. 2 Esempio di mappa di distribuzione che si può ritrovare facilmente nella realtà operativa

ratore influenza molto i risultati ottenibili. Nel momento in cui si decida di operare secondo tecniche innovative che regolino la dose distribuita è quindi fondamentale sostituire gli attuali dispositivi di distribuzione non localizzata con quelli a distribuzione localizzata dotati di organi interratori, nel caso di distribuzione in presemina, o di organi adduttori al terreno, per le distribuzioni in copertura. In tal modo si raggiunge il duplice obiettivo di diminuire le perdite di ammoniaca nell'aria (ovviamente in grado maggiore con l'interramento) e di conseguire una larghezza di lavoro costante. Nelle soluzioni più avanzate poi, il flusso di liquame in uscita dalla botte viene suddiviso, a mezzo di un ripartitore idraulico. Su questa tipologia di macchine all'interno della botte sono sempre presenti organi di rimescolamento e triturazione, inoltre, in alternativa ai classici sistemi di carico e di scarico a mezzo compressori d'aria, vengono montate delle pompe volumetriche attive che, cioè, operano venendo direttamente a contatto con il liquame. Queste consentono una regolazione della distribuzione efficiente anche in termini di omogeneità longitudinale in quanto la portata in uscita è facilmente regolabile governando il regime della pompa in funzione della velocità di avanzamento.

Essenziale è poi, in tutti i casi, che l'operatore mantenga delle traiettorie di guida corrette atte a evitare sovrapposizioni e a completare in tutta la sua interezza il ricoprimento del campo. Troppo spesso, infatti, le operazioni vengono svolte secondo una operatività come quella indicata in figura 2.

Da essa emerge che solo circa il 25% dell'appezzamento è stato interessato dallo spargimento e, in più, questa area è stata trattata in modo assolutamente disordinato.

4. STATO DELL'ARTE DELLE TECNICHE INNOVATIVE

4.1 *Guida assistita e guida automatica*

La recente diffusione nel modo operativo dei sistemi di guida assistita o semi-automatica basati sull'impiego del GPS è sicuramente stata positivamente stimolata dalla possibilità di facilmente valutare da un punto di vista economico, ma non solo, i benefici che si possono conseguire passando dalla guida manuale a quella di tipo innovativo nelle sue diverse soluzioni (tab. 1) (Lazzari, 2006).

In proposito, un recente studio UK in aziende a indirizzo cerealicolo industriale, ha valutato le superfici alle quali si verifica l'indifferenza economica per l'adozione delle soluzioni qui di seguito elencate:

1. guida assistita con ricevitore in singola frequenza e correzione da segnale Egnos gratuita, con accuratezza di ± 40 cm, per eseguire le operazioni da 1 a 5 in tabella 1;
2. guida semiautomatica con segnale Omnistar VBE o Starfire1 a pagamento con accuratezza di ± 30 cm, per eseguire le operazioni da 1 a 6 in tabella 1;
3. guida semiautomatica con segnale Omnistar XP/HP o Starfire 2 a pagamento con accuratezza di ± 20 cm, per eseguire le operazioni da 1 a 8 in tabella 1;
4. guida semiautomatica con segnale RTK da stazione a bordo campo accuratezza e precisione di ± 2 cm, per eseguire tutte le operazioni di tabella 1.

Lo studio ha portato alle seguenti conclusioni:

- Per la soluzione 1, già a poco più di 100 ha di superficie i benefici ottenibili in termini di riduzione delle sovrapposizioni tra passate, risparmio di fattori a logorio totale e parziale e manodopera, superano i costi legati agli ammortamenti del sistema (calcolati su 5 anni);
- Per superfici comprese tra i 300 ai 500 ettari anche la guida basata sulle soluzioni 2 e 3, per le quali si deve pagare un canone, incomincia a diventare economicamente sostenibile;
- Per superfici superiori a 400 ha, la guida automatica basata su ricevitori RTK, con correzione fornita da una stazione locale, inizia pure a diventare economicamente valida.

Riferendo più specificatamente l'analisi a una generica azienda da 500 ha, gli effetti economici stimabili per unità di superficie sono quelli evidenziati in tabella 2.

Risulta come i benefici siano molto più consistenti per le soluzioni tecnologicamente più avanzate, superando per la soluzione 4 le 20 £/ha, a fronte tut-

OPERAZIONE	PRECISIONE RMS [cm]	TIPO DI RICEVITORE
1. Semina riso in risaia allagata	50-100	Singola fase correzione WASS
2. Applicazione concimi e fertilizzanti in pieno campo	50-100	Singola fase correzione WASS
3. Diserbo	30-80	Singola fase correzione WASS
4. Lavorazioni secondarie del terreno	30-50	Singola fase con lisciatura della pseudorange
5. Lavorazioni principali terreno con utensili a denti	20-40	Singola fase con lisciatura della pseudorange
6. Raccolta colture	20-30	Doppia fase con correzione in WA. Singola fase con lisciatura della pseudorange
7. Aratura fuorisolco	10-20	Doppia fase L1/L2 con ricevitore a bordo campo o correzione in WA. Singola fase con lisciatura della pseudorange
8. Semina convenzionale	10-20	Doppia fase L1/L2 con ricevitore a bordo campo o correzione in WA
9. Sarchiatura	3-5	Doppia fase L1/L2 RTK con stazione a bordo campo
10. Semina precisione	3-5	Doppia fase L1/L2 RTK con stazione a bordo campo
11. Aratura in solco	3-5	Doppia fase L1/L2 RTK con stazione a bordo campo
12. Trapianto	3-5	Doppia fase L1/L2 RTK con stazione a bordo campo

Tab. 1 *Tipologie di sistemi di posizionamento a base GPS di impiego possibile per l'esecuzione delle diverse operazioni agricole di campo (Fonte: Lazzari, 2006)*

	SOL. 1	SOL. 2	SOL. 3	SOL. 4
Minori costi operativi di campo	1,25	2,00	3,50	4,50
Minori perdite di valore delle operatrici	0,75	1,50	2,25	2,75
Minori input fattori agrochimici	0,50	0,75	8,50	14,50
Totale benefici	2,50	4,25	14,25	21,75
Costi unitari sistema	1,25	5,00	12,25	20,00
Flusso netto annuo	1,25	-0,75	2,00	1,75

Tab. 2 *Benefici, costi e flusso di cassa realizzabili con l'adozione delle 4 soluzioni di guida a confronto. Valori in Sterline/ha (Fonte: Knight et al., 2009)*

tavia di costi di esercizio anch'essi di molto superiori. Interessante in ogni caso il sistema meno costoso e meno preciso, qui analizzato in una configurazione che prevedeva la presenza in azienda di 2 sistemi invece di 1 solo, che presenta buoni flussi di cassa, del tutto comparabili con quelli degli altri sistemi.

Da notare che i benefici calcolati in tabella 2 sono indipendenti dalla presa in considerazione di altri tipi di tecniche agricoltura di precisione, e in

	GUIDA CONVENZIONALE	GUIDA ASSISTITA
Velocità di avanzamento [km/h]	8	10
Capacità di lavoro [km/h]	12	15
Superficie trattata correttamente [%]	90	96
Perdite di produzione [%]	1-4	1-2
Vantaggio economico [%]		15-45

Tab. 3 *Vantaggi del ricorso a sistemi di guida assistita a base GPS (Fonte: Sartori, 2009)*

particolare non tengono conto degli eventuali benefici di soluzioni tecnologiche che prevedono il trattamento differenziato di subaree interne agli appezzamenti, che potrebbero essere realizzate impiegando componenti a base GPS già di per se acquisiti in azienda perché convenienti grazie ai vantaggi qui dimostrati della guida assistita o automatica.

Anche esperienze condotte nel nostro Paese da Sartori (2009) con spandiconcime centrifughi hanno permesso di verificare la convenienza della guida assistita grazie a un aumento della velocità di avanzamento da 8 a 10 km/h e un conseguente aumento della capacità di lavoro della macchina da 12 a 15 ha/h. La superficie risultava trattata più uniformemente: se con la guida non assistita la superficie trattata correttamente era del 90%, con la guida assistita si saliva al 96% e questo aveva influenze sulle rese perché si verificavano minori perdite di produzione dovute alla disformità di trattamento. Il vantaggio economico legato non solo alla produzione, ma anche all'aumento dell'efficienza della macchina, risultava oscillare dal 15 al 45% in più rispetto dell'operazione fatta tradizionalmente (tab. 3).

Un impiego corretto e proporzionato di queste tecnologie nella gestione dei fertilizzanti azotati, siano essi organici o inorganici, può quindi portare sicuramente a benefici.

4.2 *Concimazioni a rateo variabile in base alla variabilità del suolo e delle produzioni*

Praticare una agricoltura di precisione basata su tecniche VRT (Variable Rate Technology) significa adottare metodiche che permettano *la coerente e non ambigua possibilità di trattare in modo differenziato singole aree omogenee di terreno delle quali si conoscono le effettive caratteristiche produttive*.

Le tecniche VRT che realizzando la distribuzione in maniera differenziata delle concimazioni azotate, da fertilizzanti organici o minerali, tipicamente

prevedono che vengano impiegate delle operatrici specifiche in cui il controllo della dose sparsa è effettuato in modo automatico. Il sistema di controllo è comandato da un calcolatore tipicamente dislocato nella cabina di guida. Nella memoria del calcolatore sono presenti le informazioni di variabilità territoriali. I dati e le informazioni sono in genere misurati, rilevati in campo ed elaborati a punto fisso in un momento precedente a quello della distribuzione anche se, recentemente, hanno trovato diffusione soluzioni in cui la misura dei parametri di controllo avviene direttamente durante l'intervento in campo. In quest'ultimo caso, le informazioni sono impiegate direttamente per attuare i controlli senza che sia necessario un GPS per acquisire la posizione del mezzo. Nei casi in cui vengano utilizzate mappe ottenute in tempi precedenti il GPS è invece necessario per comandare una centralina di controllo che automaticamente regola un attuatore di flusso. Peraltro, tecniche semplificate possono prevedere che l'operatore agisca direttamente in modo manuale sugli attuatori delle macchine operatrici o sulla velocità di avanzamento dei mezzi, ma i risultati di questi approcci semplificati non risultano al momento indagati nei loro effetti.

Vi è comunque da sottolineare come nelle tecniche VRT classiche non viene mai individuato un singolo vegetale da trattare, ma il terreno viene suddiviso in una griglia di parcelle e nel database del sistema informatico a ognuna di esse viene riferita una serie di dati (tipicamente uno o più dei seguenti parametri: produzione, contenuto di N, P, K, sostanza organica e umidità del terreno). In base a questi vengono poi calcolati gli interventi più appropriati per quella singola area. Idealmente una qualsiasi soluzione di mappatura della variabilità dei parametri in gioco dovrebbe essere poco costosa ed eseguibile e interpretabile in modo automatizzato. Purtroppo non è ancora così e i più recenti studi in argomento sono ormai concordi con il fatto che le prospettive di interpretare specie in modo automatico i dati raccolti e mappati sono ancora molto lontane da essere realizzate.

Infatti, per quanto riguarda le caratteristiche del suolo, in attesa che metodi quali quelli basati sull'impiego di geo-radar e sulla misura della conducibilità trovino diffusione, nei pochi casi in cui nel nostro Paese si ricorre ad analisi della tessitura del suolo della fertilità del medesimo, si esegue in genere 1 campione/ha, con cadenza quadriennale, per i parametri di fertilità che variano nel tempo. Con opportuni accorgimenti, attuati in base a preventive attività di scouting per individuare le aree tra loro omogenee, è possibile creare griglie di campionamento che, attraverso la successiva utilizzazione di tecniche geostatistiche, forniscono mappe con i differenti strati informativi che sono utili a prendere le successive decisioni in termini di differenziazione

degli interventi. Peraltro la diffusione delle analisi del terreno nel nostro Paese di solito è limitata ai terreni sui quali si pratica l'ortofrutticoltura, mentre per le aziende cerealicole zootecniche si utilizzano i metodi semplificati cui sopra si è accennato in sede di discussione della normativa. Scarsi quindi i dati disponibili a scala aziendale per le aziende interessate allo spargimento di reflui, e ciò costituisce una barriera economica all'adozione delle tecniche innovative VRT.

Per differenziare le distribuzioni, la tecnica che meglio riflette i principi scientifici agronomici più consolidati è quella che parte dal presupposto che:

- sia possibile calcolare a preventivo la *dose economica ottimale* di N per la coltura adottata;
- la medesima dose economica vari significativamente a scala di campo.

Per determinare la dose economica ottimale, è necessario che sia conosciuta la dose tecnica ottimale della coltura. Come è noto questa è calcolabile per ogni tipo di terreno e coltura in base al bilancio dell'azoto che, in termini generali, possiamo considerare essere quantificabile con procedure in tutto analoghe, nei loro principi scientifici, a quelle viste sopra in sede di discussione delle normative. In funzione della variabilità stimata all'interno dell'appezzamento si debbono cioè calcolare N_p , N_m e N_c per ogni singola sub area. Inoltre si deve considerare che la reale possibilità di utilizzo di queste quote può essere influenzata dalla esistenza di fattori inibitori che possono bloccare l'attività sia della microflora nel terreno, sia delle piante e rendere quindi indisponibili per la produzione quote consistenti di fertilizzante. Infine questo comportamento può assumere un andamento variabile anche a scala di campo. In altri termini, nel caso di presenza di cause inibitrici il rilascio e/o l'assimilazione, le aree del campo che presentano maggiori o minori produzioni rispetto alla media non necessariamente riflettono la quantità di azoto presente, ma quanto efficacemente il sistema complessivo terreno-pianta riesce a captare l'energia solare e a trasformarla in biomassa utile ai fini produttivo-economici. È altresì intuitivo come il medesimo sistema non abbia solo una variabilità nello spazio, ma pure nel tempo, e come quest'ultima variabilità sia imprescindibilmente legata agli andamenti climatici. Proprio l'incertezza rispetto agli andamenti climatici stagionali rappresenta indubitabilmente una ostacolo alla definizione della dose tecnica.

Una volta calcolata la dose tecnica, il metodo della stima dell'ottimo economico insegna che si debbono considerare i costi dell'azoto e i futuri prezzi di mercato della produzione in modo da valutare la dose marginale alla quale si verifica l'indifferenza economica all'aumento delle quote di fertilizzante a fronte del supposto incremento di produzione a esse associato. È evidente che queste ulteriori stime introducono ulteriori elementi di incertezza.

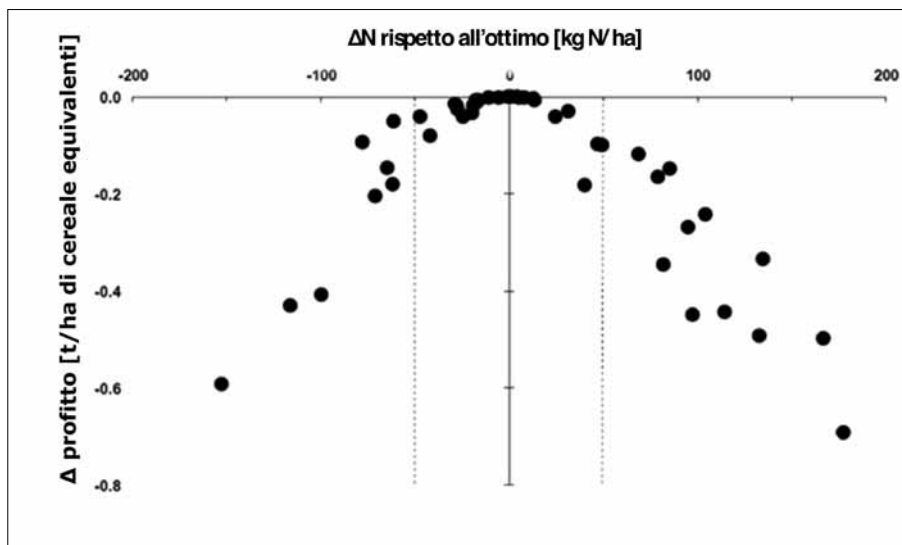


Fig. 3 Effetto dello scostamento della dose di azoto da quella ottimale sull'andamento del profitto colturale. Fonte: Sylvester-Bradley *et al.*, 2008

Ovviamente queste valutazioni si giustificano solo laddove si suppone siano presenti negli appezzamenti delle subaree omogenee di terreno che presentino una elevata differenza di dose economica ottimale stimabile e questo rappresenta un ulteriore scoglio da superare.

Non si conoscono esperienze approfondite della stima di tali variabilità e dosi economiche nel nostro Paese. In merito, tuttavia, si ha una recente indagine in UK dove Sylvester-Bradley *et al.*, 2008 che, utilizzando i dati di una prova condotta su 50 parcelle per calcolare le dosi ottimali economiche di azoto, hanno ottenuto i risultati riportati in figura 3.

Nel range di ± 50 kgN/ha rispetto all'ottimo stimato di N la variazione di profitto (PLV-costi) calcolata in termini di unità standardizzate di produzione di cereali (t cereale/ha) è estremamente limitata, cioè inferiore al valore di $\pm 0,05$ t/ha. Per un range di ± 100 kgN/ha si rimane quasi sempre sotto una differenza di profitto di $\pm 0,1$ t/ha. In altri termini, più che una dose economicamente ottimale si ha un intervallo di dosi economicamente ottimali rendendo così a priori di scarso interesse l'applicazione delle complesse procedure decisionali di cui sopra pensate per arrivare a stimare un valore unico di dose economicamente ottimale. Partendo dai dati in figura 3 si potrebbe infatti concludere che, supponendo di accettare un rischio produttivo di $\pm 0,1$ t/ha, sarebbe ragionevole concimare in un range da 0 a 200 kgN/anno, il che non è di grande utilità

SUDDIVISIONE IN PARCELLE PER OGNI ETTARO DI SUPERFICIE	CONCIMAZIONE MAX (180 kg/ha)	CONCIMAZIONE MIN (155 kg/ha)	CONCIMAZIONE MEDIA (TRA PARENTESI I VALORI IN kg/ha)
$4T_{\max}$	0	10,29	(180); 0
$T_{\max} + 1T_{\min}$	5,55	7,72	(173,75); 3,65
$2T_{\max} + 2T_{\min}$	11,09	5,14	(167,5); 4,00
$1T_{\max} + 3T_{\min}$	16,64	2,57	(161,25); 2,44
$4T_{\min}$	22,18	0	(155); 0

Tab. 4 *Reddito Lordo addizionale adottando la tecnica a dosi variabili in sostituzione della concimazione tradizionale. Valori in kLire/ha*

pratica in termini di agricoltura convenzionale, ma lo è ancor meno qualora si pensi di applicare una tecnica di agricoltura di precisione a dosi variabili di fertilizzante. A fronte di questi risultati appare evidente che difficilmente può esserci una convenienza ad applicare, in modo completamente automatico e avulso dall'andamento stagionale, una tecnica basata solamente sulla stima delle dosi economiche ottimali. Solo laddove si sia in presenza di appezzamenti di dimensione molto elevata e con consistente variabilità vi potrebbe essere (ma il condizionale è d'obbligo) una convenienza economica ad affrontare investimenti e costi di esercizio connessi con questo approccio.

Del resto a conclusioni abbastanza simili si era già arrivati già più di dieci anni orsono (Mazzetto et Al, 1997) analizzando i possibili vantaggi della concimazione differenziata eseguita in base a misure di fertilità del terreno e stimando la dose tecnica da applicare. Nel caso studiato si era ipotizzato di avere due tipi di terreno con due differenti curve di crescita con ottimo tecnico rispettivamente a 180 kN/ha e a 155 kgN/ha. Si era inoltre ipotizzato che i trattamenti differenziati potessero essere effettuati su parcelle di 0,25 ha e si erano ottenuti i risultati riportati in tabella 4.

Valutando i RL calcolati in tabella si può notare che:

- solo nel caso in cui si stimava fossero commessi *evidenti errori* di concimazione (concimazione elevata in caso di terreno prevalentemente poco fertile) si superavano le 22 kLire/ha;
- con pratiche un poco più attente si arrivava a una differenza massima di 11 kLire/ha;
- tenendo conto, attraverso una corretta campionatura del terreno, della variabilità intrinseca dello stesso ed effettuando una concimazione standard fissata al valore medio (terza colonna, valore tra parentesi in kgN/ha) i potenziali benefici della nuova tecnica con concimazione differenziata per aree omogenee non superavano mai le 4 kLire/ha.

Quanto finora esposto valga per l'approccio alle tecniche VRT legato alla stima della fertilità del suolo.

Alla ricerca di metodi più economici e in grado di automatizzare l'acquisizione dei dati, ben altre prospettive sembrava si fossero aperte negli scorsi anni quando si era ipotizzato di utilizzare i dati delle produzioni di campo come base per individuare una variabilità che avesse un significato per eseguire in modo, anch'esso quasi automatico, delle operazioni di concimazione differenziate su base geografica. In breve, col passare degli anni 3 tipi di soluzioni sono state via via proposte per realizzare un siffatto obiettivo. Esse sono state pensate prevedendo l'impiego di sensori:

- di misura di flusso di prodotto a bordo delle macchine da raccolta equipaggiate con GPS;
- ottici per misurare l'energia elettromagnetica riflessa dalle colture e utilizzarla in algoritmi in grado di stimare il vigore vegetativo delle coltivazioni e, di conseguenza, le produzioni. Ciò montando i sensori in remoto, sia su satellite o altro elemento in volo (classiche tecniche di aereofotogrammetria), sia sulle macchine agricole operanti in campo (fotogrammetria vicina), in tutti i casi con GPS a bordo. In particolare, nel caso di sensori montati a bordo, questi possono essere impiegati sia per raccogliere dati da essere successivamente utilizzati per produrre mappe, sia, collegati a un processore per l'elaborazione in tempo reale dei dati e il controllo degli attuatori, per effettuare direttamente la concimazione differenziata.
- meccanici a bordo delle macchine, in grado di stimare indirettamente il vigore vegetativo delle colture, sia per restituire mappe, sia per operare direttamente on-line sul dato raccolto.

Il primo tipo di approccio è quello che per molti anni è stato in pratica sinonimo nel nostro Paese dell'applicazione dell'agricoltura di precisione in cerealicoltura e ha trovato anche qualche applicazione concreta. Per ragioni di sintesi esso è il solo a essere qui indagato. Con tale approccio il costo per equipaggiare una mietitrebbia con un sistema di mappatura delle produzioni è tipicamente di 5000-6000 euro. Per una azienda di 500 ha si può stimare che ciò comporti un costo di esercizio pari a 2,5-3 euro/ha * anno.

Purtroppo, a fronte di un tale costo di investimento relativamente limitato, per produrre mappe che forniscano informazioni affidabili è richiesta una buona conoscenza del funzionamento dei sensori, si devono eliminare gli errori che si verificano durante i rilievi in campo, debbono essere conosciuti i principi della geostatistica per comprendere il significato delle diverse aree che vengono evidenziate. I risultati che si ottengono si differenziano di molto passando da una coltura all'altra e, all'interno di queste, da varietà a varietà. Inoltre, così come le altre metodiche, le mappe prodotte peccano di mancanza di efficacia in quanto in tanti casi la variabilità della produzione risulta li-

	ORZO	FRUMENTO 1	FRUMENTO 2	MEDIA
strategia 1 (£/ha)	-16	3	-8	-7
strategia 2 (£/ha)	-25	21	-42	-15
strategia 3 (£/ha)	4	-6	-7	-3
strategia 4 (£/ha)	10	5	-20	-2

Tab. 5 *Differenza di profitto delle diverse strategie di concimazione rispetto a quella che prevede una distribuzione standard su tutta la superficie. Valori in Sterline/ha. (Fonte: Welsh et Al., 2003)*

mitata e perlopiù inconsistente se valutata su diverse stagioni in quanto molto influenzata dagli eventi climatici (Gubiani e Lazzari 2000, 2001).

In proposito ai risultati economici che si possono ottenere con questa tecnica, si riporta qui di seguito l'esperienza di Welsh et Al.. Questi Autori hanno operato in UK su 3 tipi di cereali autunno-vernini applicando 4 possibili strategie di maggiore, uguale o minore concimazione di particelle a maggiore, standard o minore produzione preventivamente individuate nei campi da loro trattati. In particolare le strategie sono state:

1. Applicazione di maggiore N sulla superficie più produttiva, uguale N sulla standard, minore N sulla meno produttiva;
2. Applicazione di minore N sulla superficie più produttiva, uguale N sulla standard, maggiore N sulla meno produttiva
3. Applicazione di minore N sulla superficie più produttiva, uguale N sulla standard, uguale N sulla meno produttiva
4. Applicazione di N standard sulla superficie più produttiva, uguale N sulla standard, maggiore N sulla meno produttiva
5. Controllo con N standard (medio) su tutta la superficie.

In tabella 5 sono riassunti i risultati di questa esperienza.

In essa è mostrato che le 4 strategie hanno sempre comportato in media (ultima colonna) delle perdite rispetto alla strategia di concimazione standard. La conclusione ovvia è che le mappe produttive possono quindi essere considerate solo come un indicatore che esiste una variabilità produttiva all'interno di un determinato campo, ma non essere utilizzate, se non integrate con altre fonti di informazione, per definire strategie di concimazione differenziata.

In definitiva, le incertezze per tutte le soluzioni qui indagate sono molte. Strategie gestionali che siano basate solamente sulla variabilità spaziale e che ignorino le interazioni tra coltura-terreno e clima possono risultare rischiose esacerbando le possibili variazioni produttive. A fronte di ciò, sicuramente l'approccio che minimizza i rischi di commettere errori nell'orizzonte economico-produttivo è quello che prevede di calcolare una dose media per appezzamento e di distribuirla in modo omogeneo sul medesimo.

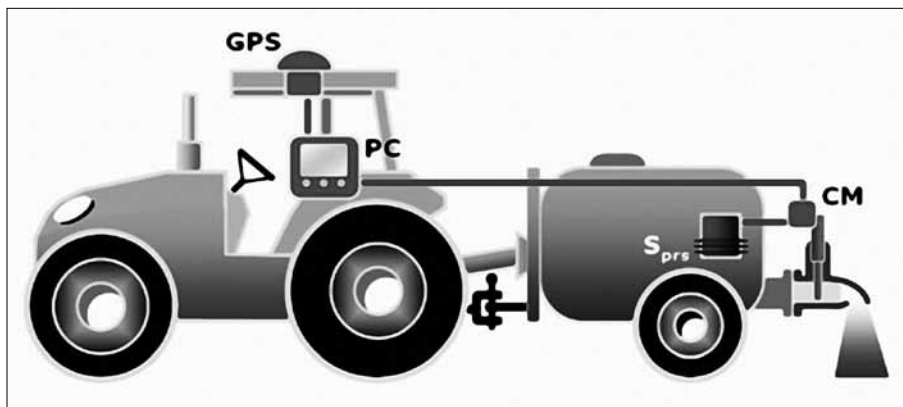


Fig. 4 Il sistema realizzato

Quindi, in molti casi l'impiego di campionamenti, sensori e mappe può aiutare l'agricoltore a decidere che in alcuni appezzamenti o in alcune aree dei medesimi vi sia *qualche cosa da fare*, piuttosto che non, come si era pensato erroneamente agli albori dell'introduzione di queste tecniche, che *cosa fare*.

5. ATTIVITÀ DEL PROGETTO METAMORFOSI

Considerando quanto esposto fino a ora, appare coerente concludere che, per il comparto cerealicolo zootecnico italiano sembra importante avere a disposizione tecnologie in grado non tanto di effettuare distribuzioni a dosi variabili sui singoli appezzamenti, ma che permettano di avere:

1. dosi costanti e sicure sui singoli appezzamenti,
2. avendo cura di non trattare le fasce di rispetto.

Per far questo nell'ambito del progetto Metamorfosi sono stati progettati e realizzati i seguenti dispositivi e sensori:

1. un sistema per la distribuzione degli effluenti d'allevamento da accoppiare a carri botte e in grado di regolare la dose distribuita variando la portata in base alla velocità di avanzamento secondo valori fissati su base georiferita e stoccati nella memoria di un computer installato a bordo della macchina motrice (fig. 4). In particolare il sistema è in grado di bloccare automaticamente il flusso quando si arriva in capezzagna o quando si è in presenza di zone di rispetto;
2. un sensore per la stima della concentrazione di azoto negli effluenti liquidi d'allevamento, già descritto in una precedente relazione.

Per quanto riguarda il primo sistema, con riferimento alla figura 4 si ha



Fig. 5 Caratteristiche tecniche del componente PC completo di scheda GPS

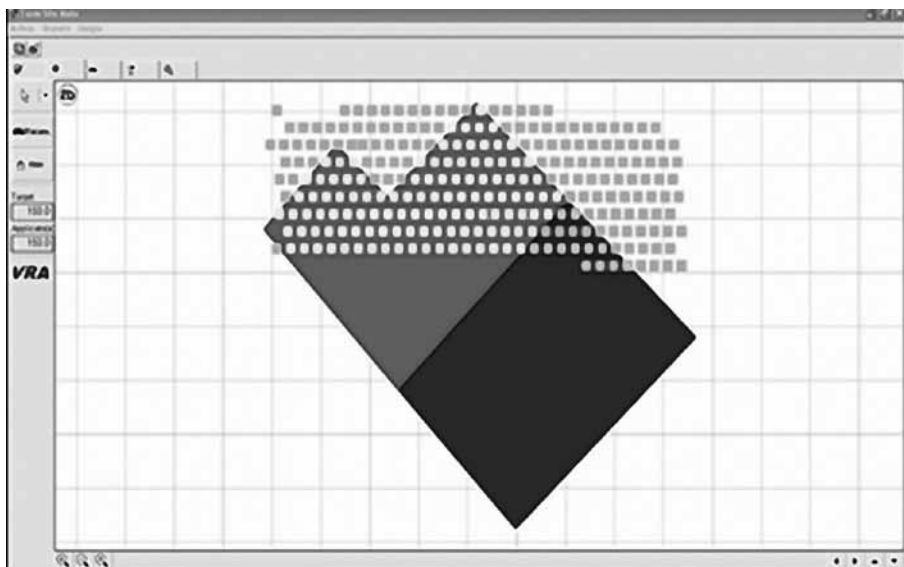


Fig. 6 Interfaccia grafica del software installato sul PC e impiegato per comandare la centralina di regolazione



Fig. 7 Caratteristiche tecniche del componente CM



Fig. 8 *Caratteristiche tecniche della valvola di regolazione completa di sensore lineare*



Fig. 9 *Esecuzione delle prove di campo effettuate impiegando il sistema realizzato nel progetto Metamorfosi. Notare la vetustà del carro botte impiegato a dimostrazione della possibilità di impiego del sistema in qualsiasi ambito. In base a quanto sopra detto queste operatrici non dovrebbero essere più impiegate in aree vulnerabili, ma già un loro impiego corretto potrebbe portare benefici a livello sia aziendale sia sociale per il minore impatto ambientale conseguente*

che sul trattore sono alloggiati il computer touchscreen (**PC**) e il ricevitore **GPS**, mentre sul carrobotte, oltre alla valvola di regolazione, sono presenti la centralina elettronica (**CM**) che regola il funzionamento della valvola (tramite attuatore idraulico) in base alle informazioni provenienti dal computer e da un sensore di pressione (S_{prs}). Le caratteristiche dei componenti sono riportati nelle figure 5, 6, 7 e 8.

I componenti indicati sono stati scelti in modo che il sistema possa essere modularmente adattato con pochi accorgimenti a qualsiasi carrobotte esistente (fig. 9).

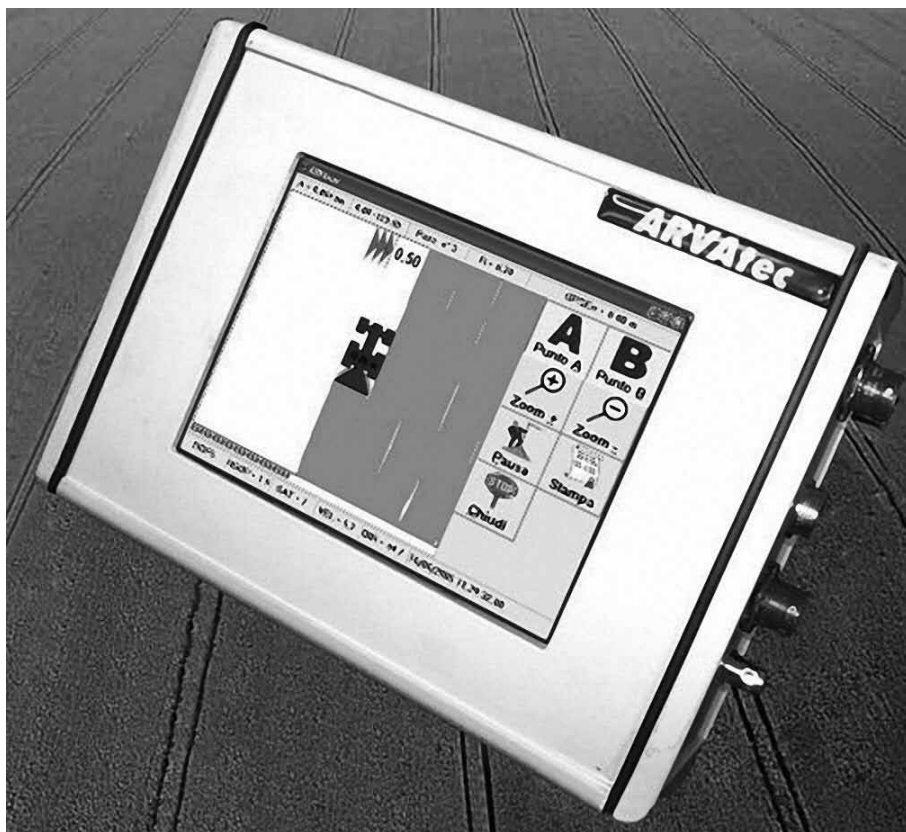


Fig. 10 *Interfaccia grafica del software per la guida assistita installato sul PC*

Prove di campo sono state svolte per verificare la regolarità di funzionamento del sistema. Durante le medesime il tragitto di spandimento era pre-impostato e seguito impiegando un sistema di guida assistita (fig. 10).

Il tracciato delle prove di spandimento effettuate è rappresentato in figura 11.

Confrontando la figura 11 con la figura 2 si ha la chiara percezione di come l'impiego delle tecnologie messe a punto possa portare a spandimenti più regolari. Ovviamente il sistema è in grado di registrare i dati necessari a compilare in modo automatico il registro degli spargimenti di cui si è discusso in uno degli interventi precedenti. Al momento, tuttavia, questa operazione non avviene integrandosi nel sistema informativo complessivo descritto precedentemente, ma solo in sistemi informativi aziendali autonomi (stand alone).



Fig. 11 *Mapa di distribuzione realizzata con il sistema di controllo innovativo. Punti scuri = valvola aperta; punti chiari = valvola chiusa*

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Quanto sopra può essere generalizzato al contesto dell'agricoltura a orientamento cerealicolo zootecnico della Pianura Padana portando alle indicazioni di sintesi riportate in tabella 6.

La guida assistita con sistemi di base (entry level) rappresenta ormai una tecnologia che ha raggiunto un buon grado di maturità e i sistemi che si trovano sul mercato hanno un costo tale da potere essere abordabili anche in situazioni aziendali di medio-piccola dimensione. I benefici connessi all'adozione di questa tecnologia non sono legati solo alla fertilizzazione e, quindi, i tempi di ammortamento sono relativamente limitati essendo che i costi possono essere spalmati su più operazioni. Inoltre, così come per gli altri sistemi di guida, la tecnica a essi connessa non richiede nessuna elaborazione di dati da parte dell'operatore o della direzione aziendale e quindi è bene accetta in un contesto produttivo che non ha ancora recepito e digerito tutte quelle innovazioni che hanno a che vedere con l'informatica. Meno agevole è per le piccole aziende poter acquisire sistemi di guida automatica di fascia superiore, e, ancor più, sistemi di guida automatica con correzione RTK. Questi ultimi si può prevedere che si diffonderanno solo nelle aziende di maggiori dimensioni e, ancor più, presso i contoterzisti operanti a livello comprensoriale.

	GUIDA ASSISTITA	GUIDA AUTOMATICA 10 CM PRECISIONE, 20 CM ACCURATEZZA	GUIDA AUTOMATICA RTK	DOSAGGIO LIQUAMI COSTANTE (METAMORFOSI) MAPPATURA SEMPLICE	VRT LIQUAMI CON MAPPATURA FERTILITÀ	VRT LIQUAMI CON MAPPATURA FERTILITÀ E PRODUZIONI
Piccole aziende (< 50 ha)	=	-	-	-	-	-
Medie aziende (50- 300) ha	+	=	-	-	-	-
Grandi aziende (300 – 1000) ha	+	+	=	+	-	-
Piccoli contoterzisti senza gestione comprensoriale dei liquami (fino a 500 ha)	+	=	=	=	-	-
Grandi contoterzisti con gestione comprensoriale dei liquami (> 500 ha)	+	+	+	+	=	-

Tab. 6 Possibile impiego di alcune tecnologie di agricoltura di precisione in contesti territoriali padani a vocazione zootecnica e con produzioni di campo cerealicolo-forag-
giere

Per quanto riguarda, invece, le tecniche agricoltura di precisione, il sistema messo a punto all'interno del progetto *Metamorfosi* – pensato più per funzionare a rateo costante che non dosi variabili – o altri analoghi con il medesimo livello tecnologico, possono trovare diffusione presso le aziende medio grandi e i contoterzisti. Si è invece del parere che le soluzioni VRT vere e proprie, in cui la distribuzione venga fatta variare sulla base di mappe prescrittive pensate per dosare quantità di fattori variabili in funzione della fertilità del terreno o della produzione del medesimo rilevata attraverso la mappatura in automatico delle produzioni in campo, non abbiano, almeno a breve-medio termine, nessuna possibilità di diffusione nelle nostre realtà. Al limite queste soluzioni potrebbero risultare interessanti in situazioni molto particolari, cioè in presenza di contoterzisti operanti su superfici molto ampie, con ampi appezzamenti e in terreni molto disomogenei, con un elevato turn over di operatori – e quindi con una profonda necessità di centralizzare la gestione delle informazioni – per evitare errori di applicazione molto grandi. In merito, alcune esperienze portate avanti in Lombardia con finanziamenti regionali, sembra che stiano dando risultati incoraggianti. In questo caso, più indicate sembrano comunque essere le pratiche basate sul rilievo della fertilità tramite analisi del terreno, mentre quelle basate sulla mappatura delle produzioni dovrebbero sempre essere utilizzate con estrema cautela, sempre in seguito a rilievi eseguiti su basi temporali di molti anni e previa attenta analisi agronomica.

RIASSUNTO

Uno degli obiettivi del progetto *Metamorfosi* è stato quello di investigare la possibilità di introdurre in Italia tecniche innovative nel settore distribuzione dei reflui. In una prima parte della memoria vengono descritti i vincoli che la normativa italiana impone e come questi possano influenzare le decisioni degli agricoltori in tema di scelte tecnologiche. Una seconda parte riferisce dello stato dell'arte delle tecnologie sia di guida assistita e semiautomatica a base GPS, sia per il dosaggio a rateo variabile dei fertilizzanti. Una terza parte discute delle caratteristiche di un prototipo di sistema per il controllo dello spandimento dei liquami progettato e realizzato per essere adatto alle condizioni italiani. Infine sono discusse le prospettive di una diffusione delle tecnologie innovative all'interno dei diversi tipi di aziende e contoterzisti italiani.

ABSTRACT

One of the objectives of the *Metamorfosi* Research Project has been to investigate the possibilities of adopting innovative techniques for slurry distribution in the Italian con-

text. First of all, the normative requirements and their influence versus the farmer's decisions regarding slurry distribution are analysed. In a second part, the state of art of assisted and semiautomatic GPS guidance as well of VRT technologies used for slurry distribution are discussed. In a third part, the characteristics of a prototype of a system designed for the precise distribution of slurry is presented. In the conclusive part the possibility of diffusion of the innovative technologies into Italian farms is discussed.

BIBLIOGRAFIA

- ALFAM FAIR-PL-98-4057: *Ammonia Losses from Field Applied Animal Manure*, Final report, www.alfam.dk
- GUBIANI R., LAZZARI M. (2000): *Precisione della mappatura automatica di un sistema DGPS*, «L'Informatore Agrario», 4, pp. 87-90.
- GUBIANI R., LAZZARI M. (2001): *Problematiche connesse con la raccolta e utilizzazione dei dati puntuali di produzione forniti dai sistemi Yield mapping montati su mietitrebbiatrici in un'ottica di agricoltura di precisione*, Atti del VII Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA) "Ingegneria Agraria per lo Sviluppo dei Paesi del Mediterraneo", Vieste (FG) 11-14 settembre.
- KNIGHT S., MILLER P. C. H., ORSON J. H. (2009): *An up-to-date cost/benefit analysis of precision farming techniques to guide growers of cereals and oilseeds*, Research Review No. 71. AHDB-HGCA, London (now Stoneleigh).
- LAZZARI M. (2005): *Il controllo della macchine agricole mediante GPS*, in *L'agrimensura ai tempi del GPS: dal rilievo topografico alla guida automatica*, «I Georgofili. Quaderni», x, pp. 69-147.
- MAZZETTO F., LAZZARI M., VACCARONI M. (1997): *Agricoltura di precisione: realtà e prospettive*, Atti VI Convegno Nazionale AIIA di Ingegneria Agraria, Ancona 11-12 settembre, Vol. 3, pp. 271-280.
- SARTORI L. (2009): *Fertilizzanti, come distribuirli in modo esatto e preciso*, «Macchine e motori Agricoli», n. 2, pp. 36-40.
- SYLVESTER-BRADLEY R., KINDRED D.R., BLAKE J., DYER C.J., SINCLAIR A.H. (2008): *Optimising fertiliser nitrogen for modern wheat and barley crops*, Project Report No. 438, HGCA, London (now Stoneleigh).
- WELSH J.P., WOOD G.A., GODWIN R.J., TAYLOR J.C., EARL R., BLACKMORE S., KNIGHT S.M. (2003a): *Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals, part I: winter barley*, «Biosystems Engineering», 84 (4), pp. 481-494.
- WELSH J.P., WOOD G.A., GODWIN R.J., TAYLOR J.C., EARL R., BLACKMORE S., KNIGHT S.M. (2003b): *Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals, part II: wheat*, «Biosystems Engineering», 84 (4), pp. 495-511.