

Giornata di studio su:

Progetto Metamorfosi

Firenze, 28 ottobre 2010

Le tecnologie per il monitoraggio operativo delle attività di spandimento a livello aziendale

I. INTRODUZIONE

A partire dagli anni '60 il continuo sviluppo del comparto zootecnico ha avuto come conseguenza la comparsa di forme di allevamento sempre più intensive caratterizzate da un elevato carico di bestiame per unità di superficie e da un alto consumo di alimenti di origine extra aziendale. Tutto ciò ha inevitabilmente determinato un'eccessiva produzione di reflui rispetto alla superficie aziendale disponibile, trasformando così una fonte primaria di elementi nutritivi per le colture in materiale di scarso valore, da smaltire al più basso costo possibile (Mazzetto e Calcante, 2009). Come conseguenza, gestioni non appropriate hanno portato a una distribuzione in campo degli effluenti non sempre sostenibile e agronomicamente corretta la cui principale conseguenza è il peggioramento qualitativo delle acque superficiali e sotterranee, dovuto in particolar modo a un eccesso di nitrati (Sommer et al., 2004). A tale conferma, l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) ha stimato che l'agricoltura italiana incide per oltre il 60% sui rilasci di azoto verso le acque superficiali e ha dimostrato l'esistenza di una stretta correlazione tra la concentrazione dei nitrati nelle acque e l'intensità delle pratiche agricole presenti sul territorio (Provolo et al., 2008). Questa situazione ha obbligato da subito le istituzioni ad adottare, a partire dalla "Direttiva nitrati" (91/676/CEE) del 1991, misure nazionali e regionali nel tentativo di arginare il problema, mettendo in essere un severo sistema di monitoraggio *a preventivo* della distribuzione dei reflui zootecnici a partire dalla suddivisione del territorio in zone a diversa vulnerabilità. In seguito al completo recepimento nazionale della Direttiva, avvenuto

* Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Ingegneria Agraria

nel 2006, la regione Lombardia ha deciso con la delibera regionale n. 8/5868 del 21 novembre 2007 “Integrazioni con modifica del programma di azione per la tutela e risanamento delle acque causato da nitrati di origine agricola”, di estendere le aree sensibili ai nitrati a una buona parte del territorio di pianura ad alta intensità zootecnica e alle fasce di esondazione fluviale previste dal Piano per l’Assetto Idrogeologico predisposto dall’Autorità di Bacino del Fiume Po. Questo atto rende, di fatto, operativa anche la designazione delle zone vulnerabili che la Regione ha rivisto dapprima nel 2003 e successivamente nel 2006, estendendola alla configurazione attuale: la norma regionale, infatti, introduce nuovi criteri da applicare anche alle aziende collocate al fuori delle zone vulnerabili e alle aziende non zootecniche che utilizzano azoto minerale, seguendo il principio della limitazione su tutto il territorio delle quantità di azoto utilizzate. Oltre alla produzione – da parte delle aziende – del Piano Operativo Aziendale (POA/POAs) e la comunicazione annuale del PUAs/PUA già previsti da precedenti norme, un’altra importante novità del Dgr. 5868/07 riguarda la predisposizione di un piano di automonitoraggio aziendale al fine di verificare *a consuntivo* l’effettiva applicazione di quanto dichiarato nei piani sopra citati. In caso di non osservanza o di incongruenza, sono predisposte sanzioni amministrative (Mazzetto et al., 2008). Il quadro delineato mette in evidenza la necessità – da parte degli agricoltori – di poter disporre di un sistema di monitoraggio a livello aziendale che consenta l’automazione della raccolta dei dati relativi alla gestione degli effluenti zootecnici e il loro successivo stoccaggio in opportuni database. Ciò richiede, obbligatoriamente, l’adozione di un Sistema Informativo Aziendale in grado di archiviare ed elaborare i dati relativi alle attività di movimentazione degli effluenti in azienda (McGechan e Lewis, 2000). La gestione di tale flusso di informazioni, che per molte realtà può non essere di entità trascurabile, diventa sostenibile solo adottando tecnologie ICT per automatizzare la raccolta e il trasferimento dei dati provenienti dal monitoraggio a livello aziendale. Lo strumento informatico che a oggi permette di raggiungere gli obiettivi descritti è la *farm network*, ovvero un sistema in grado di collegare in tempo reale tutti gli attori coinvolti (macchine e strutture di stoccaggio) con un server aziendale, così da realizzare in remoto il *monitoraggio operativo*, in tempo reale, delle attività di spandimento dei reflui (Mazzetto et al., 2009b). Il progetto METAMORFOSI, acronimo di “*Metadistretto industriale per lo sviluppo di tecnologie di monitoraggio e controllo remoto a favore dello svolgimento delle operazioni di spandimento di effluenti zootecnici secondo logiche a basso impatto ambientale*”, ha proprio come obiettivo la generazione automatica dei registri delle attività e delle relative mappe di distribuzione (Quaderni di

Campagna Informatici, completi di dosaggi sito-specifici a consuntivo) attraverso la generazione di sistemi informativi aziendali e territoriali tra loro connessi in rete.

2. LE FARM NETWORKS

Le tecnologie per le telecomunicazioni, di uso comune nei settori industriale e terziario, stanno recentemente registrando un notevole interesse anche da parte del mondo agricolo (McKinion et al., 2004; Serodio et al., 2001). Se sinora le uniche applicazioni hanno riguardato semplici sistemi di scambio di informazioni (apparecchi rice-trasmittenti, telefoni cellulari), l'estensione delle aziende e la distribuzione sul territorio delle strutture produttive a esse legate stanno spingendo gli agricoltori verso l'adozione di sistemi (fonia + dati) per il monitoraggio e il controllo remoto delle varie componenti aziendali, andando così a creare vere e proprie reti aziendali o farm networks (Thysen, 2000). Di norma, si tratta di applicazioni: a) di monitoraggio remoto (semplice osservazione degli eventi) e di controllo (ad es. accensione e spegnimento impianti), per le quali è sufficiente adottare la tecnologia cosiddetta "wireless" (sistemi di comunicazione a bassa potenza che non fa uso di cavi), e b) che richiedono tecnologie più complesse (rete Internet, tecnologia GSM, GPRS ecc.) per la localizzazione di mezzi e per il trasferimento di dati verso punti esterni all'azienda.

In generale, una rete aziendale può essere considerata, secondo una classificazione di tipo geografico, come una WLAN (Wireless Local Area Network), ovvero una rete locale basata su sistemi wireless (standard Wi-Fi: IEEE 802.11) e nodi ripetitori in grado di trasferire dati e informazioni a tutti i punti dell'azienda (Vellidis et al., 2007) (fig. 1A).

Quando l'ambito aziendale è troppo esteso e, di conseguenza, alcune particolari attività vanno a ricadere all'esterno dell'area WLAN, occorre estendere la dimensione della farm network implementando una rete di livello superiore (WAN, Wide Area Network). Essa si basa – normalmente – su tecnologie GSM o GPRS.

In questo caso si deve prevedere un opportuno gateway per consentire la connessione sia tra i vari computer aziendali, sia con la rete Internet. Se, per la realizzazione della WAN, le tecnologie GSM e GPRS sono ormai più che collaudate, lo stesso non si può dire per le costituenti la WLAN. Infatti, la tecnologia Wi-Fi non appare, al momento, adottabile per realizzare la farm network in quanto di estrema complessità, elevato costo e alta richiesta di

Il problema che ne limita l'impiego è la complessità della rete di connessione che ne deriva. Il Bluetooth, dal canto suo, contraddistinto da un corto raggio di copertura (< 10m), non appare al momento tecnologia adatta per essere inserite nella farm network. Per contro, i moduli RF trasmettenti su frequenza libera si configurano come dispositivi interessanti per la trasmissione dati all'interno di farm networks, in quanto permettono di ottenere notevoli distanze di trasmissione (in ogni caso facilmente regolabili) a fronte di semplicità d'uso e costo modesto.

In conclusione, una rete aziendale è il risultato della combinazione di più network di crescente livello, ciascuna realizzata e ottimizzata in base al volume e alla velocità di scambio dati e al raggio di copertura richiesto (Pierce e Elliott, 2008).

2.1 *La farm network realizzata nel progetto METAMORFOSI*

Nel corso del Progetto METAMORFOSI sono state coinvolte due aziende pilota lombarde, entrambe a indirizzo foraggero-zootecnico, una con produzione di latte a uso alimentare e l'altra finalizzata all'allevamento di capi bovini da macello. In ciascuna azienda è stata realizzata una farm network, strutturata secondo una logica client-server con download dei dati in tempo reale, la cui utilità è quella di slegare la gestione aziendale da compiti di raccolta e di trasferimento dati su piattaforme ausiliarie (schede di memoria, palmari), automatizzando una fase sicuramente critica e – spesso – poco affidabile. Entrando nel dettaglio, ogni farm network realizzata si appoggia su una struttura mista (RF + TCP/IP) connessa in tempo reale a un server centrale (fig. 1B). Ogni trattore e/o semovente (client) dell'azienda viene equipaggiato con un datalogger dotato di GPS e connesso a sensori in grado di misurare i principali parametri operativi. Un modem GPRS interno provvede allo scarico dei dati in tempo reale sul server. Il database che ne deriva viene integrato con ulteriori dati provenienti dai dispositivi per la misura del livello del liquame nei vasconi di stoccaggio (anche essi client). Sul server aziendale, l'applicativo che si occupa di ricevere i dati è dotato di un componente software che permette di creare connessioni multiple sullo stack TCP/IP. Esso verifica, su una porta prefissata, se vi sono le chiamate dei diversi dispositivi (Mazzetto et al., 2009a). Quando un mezzo/dispositivo si collega alla porta, il server abilita la connessione e consente lo scarico dei dati. Sulla porta possono essere aperte fino a un massimo di 128 connessioni contemporanee (il limite è dovuto allo specifico componente software). Si realizza, in tal modo, la componente

operazionale del Sistema Informativo Aziendale, che consente il monitoraggio operativo permettendo, così, di gestire il flusso di dati relativo alle attività di distribuzione e movimentazione dei reflui zootecnici. Infine, dato che l'architettura aperta della rete wireless a logica client server consente, per sua natura, la connessione simultanea di più aziende, è possibile impiegare questa tecnologia per realizzare forme di monitoraggio su scala territoriale.

3. IL MONITORAGGIO OPERATIVO DEI MEZZI AGRICOLI

Per realizzare il monitoraggio delle operazioni meccanizzate di campo si è fatto uso di tecnologie informatiche hardware appositamente progettate che hanno come base concettuale quella dei Quaderni di Campagna Informatizzati (QCI) (Mazzetto et al., 2007). Ciascun dispositivo di monitoraggio raccoglie i dati fondamentali necessari per la ricostruzione, a posteriori e in automatico, delle modalità di gestione e conduzione delle macchine agricole in modo da poter redigere il registro delle attività di tutte le macchine operatrici (MO) preposte alle operazioni di distribuzione dei reflui zootecnici in uso presso l'azienda. In estrema sintesi, le strategie di sviluppo dei prototipi – da installare su ciascun mezzo adibito alle operazioni di spandimento – hanno cercato di soddisfare le seguenti esigenze:

- a. *contenimento dei costi*, da individuare come ragionevole compromesso tra semplicità costruttiva, necessità di garanzia di funzionamento continuo (in condizioni di lavoro molto gravose) e robustezza;
- b. *semplicità d'impiego*, senza alcuna interferenza con il lavoro normalmente svolto dagli addetti alle operazioni di spandimento (questi, in linea teorica, non dovrebbero essere nemmeno informati dell'esistenza delle unità di registrazione, nel senso che il loro funzionamento dovrebbe essere del tutto autonomo rispetto alla presenza di qualunque responsabile aziendale);
- c. *garanzia di completezza dei dati raccolti*, con minimi rischi di alterazioni e manomissioni;
- d. essere di *potenziale interesse anche per la stessa direzione aziendale*, ovvero: oltre a svolgere una funzione di monitoraggio ambientale, il sistema potrebbe trovare impieghi anche a livello di management aziendale (controllo e modalità delle operazioni svolte, gestione delle risorse, piani di concimazione ecc.).

Per il monitoraggio delle attività di distribuzione sono state prese in considerazione due architetture hardware alternative dette – rispettivamente – *implement oriented* e *tractor oriented* (fig. 2A e fig. 2B). Entrambe le versioni, posizionate l'una sulla macchina operatrice e la seconda a bordo del trattore,

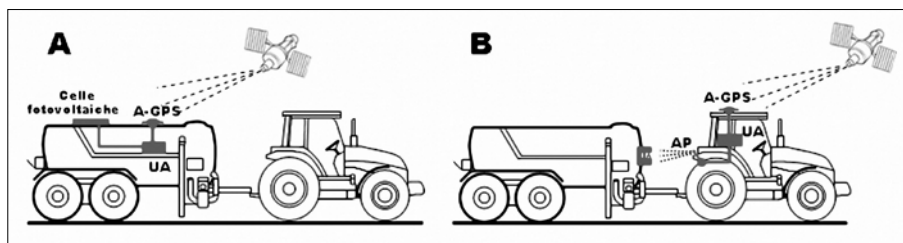


Fig. 2 Le architetture hardware sviluppate nel progetto METAMORFOSI per il monitoraggio delle attività di campo: A) implement oriented; B) tractor oriented

implementano un ricevitore Gps (AGps) per il riconoscimento automatico dei luoghi di lavoro e una unità di acquisizione dati (o datalogger, UA) con modulo per la trasmissione wireless dei dati stessi.

L'architettura implement oriented, di semplice realizzazione e installazione, richiede alimentazione elettrica o direttamente derivata dal trattore o tramite pannelli fotovoltaici. Per aumentare i parametri oggetto del monitoraggio, è prevista la possibilità di installare un sensore di pressione sulla paratia di scarico del carro botte in modo da poter riconoscere la fase di scarico dell'effluente (fig. 3A). L'architettura tractor oriented si presta a soluzioni modulari a complessità scalabile. Si va dalla versione più semplice deputata solamente alla registrazione dei percorsi tramite ricevitore GPS, a versioni più complesse con sensori preposti al monitoraggio di alcuni parametri operativi del trattore (numero di giri e temperatura dei gas di scarico, direttamente proporzionale ai consumi di gasolio, innesto della pdp), per finire con la soluzione più completa, che prevede sia l'identificazione dell'operatrice accoppiata, sia il monitoraggio delle sue condizioni di funzionamento (fig. 3B). Questa soluzione necessita, pertanto, di sistemi per l'identificazione automatica delle macchine operatrici accoppiate per consentire il riconoscimento delle operazioni eseguite (*sistema a ricognizione automatica*). A tale scopo, ogni MO viene dotata di un trasmettitore in radiofrequenza (AP) attivabile tramite sensore di vibrazione e in grado di generare, a intervalli prestabiliti, un codice numerico legato univocamente alla specifica macchina operatrice. La scelta dell'architettura tractor oriented è legata alla possibilità di estendere il monitoraggio a tutte le attività meccanizzate svolte in azienda e non solo a quelle legate alla distribuzione dei reflui. Entrando nel dettaglio, l'unità di acquisizione dati è un modulo elettronico compatto, denominato CSP, che integra un ricevitore GPS – il cui orologio garantisce la sincronizzazione dei dati rilevati – con un modem GSM che consente: 1) la connessione dati via GPRS; 2) la comunicazione

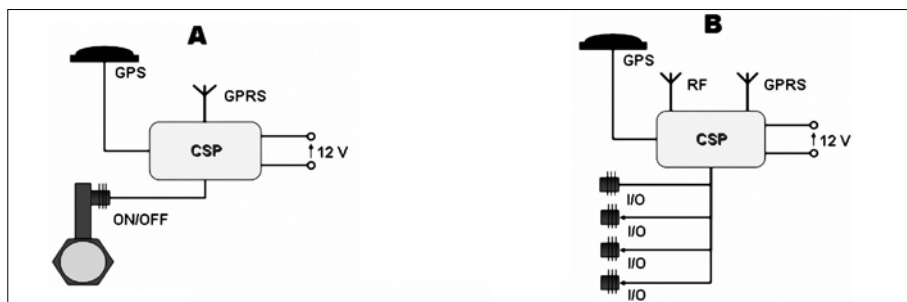


Fig. 3 Schemi a blocchi dei dispositivi di monitoraggio QCI: A) implement oriented e B) tractor oriented

attraverso SMS per la richiesta dati; 3) la comunicazione per la programmazione in remoto del CSP stesso. Il CSP, alimentato direttamente dalla batteria del trattore, è dotato di una batteria tampone che consente un'autonomia di 6/8 ore di funzionamento al massimo consumo. L'avviamento del CSP è automatico, a mezzo di un *sensore di vibrazione* (accelerometro): all'accensione del trattore, l'accelerometro viene sollecitato e il CSP provvede all'accensione dei moduli GPS e GSM. Viene quindi calcolata la posizione geografica corrente e si ha l'aggancio alla rete GSM per trasmettere, ogni 10 secondi, la propria posizione, lo stato degli ingressi/uscite (I/O) e il codice macchina operatrice (quando presente) al server centrale. Il CSP è anche dotato di una *micro SD* che funziona da *buffer di memoria*, indispensabile per evitare perdite di dati nel caso in cui la connessione GPRS non sia disponibile. Non appena la connessione viene ristabilita, vengono trasmessi al server anche i dati pregressi.

Il datalogger è alloggiato in un contenitore avente grado di protezione IP67. Al suo interno si trovano anche l'eventuale ricevitore radio per il riconoscimento della macchina operatrice accoppiata al trattore e le due antenne GSM e GPS. La soluzione dell'integrazione in un unico contenitore risulta estremamente pratica in vista delle installazioni e riduce al minimo i cablaggi. Da notare che ogni cantiere meccanizzato ad architettura tractor oriented realizza, di fatto, la parte WLAN della rete aziendale. Sul piano gestionale, ciò che viene registrato ogni 10 secondi dai QCI viene trasferito, in tempo reale via modem GPRS (velocità massima: 64 kbit/s), al computer aziendale tramite la WAN della farm network. In merito alle finalità del progetto METAMORFOSI, la soluzione QCI tractor oriented adottata consente di: a) riconoscere l'operatrice accoppiata; b) riconoscere il punto di prelievo; c) stimare le quantità di effluente caricato; d) riconoscere il luogo di distribuzione; e) registrare i percorsi e i tracciati di



Fig. 4 Il circuito elettronico del trasmettitore di codice con in evidenza l'interruttore di vibrazione. A destra, indicato dalla freccia, il punto di installazione del trasmettitore su un carrobotte

distribuzione, per poter poi distinguere, a mezzo di specifiche *procedure di inferenza*, tra *stati di lavoro effettivi e ausiliari*. A questo punto, il sistema grazie a una base di dati opportunamente progettata, costruisce e aggiorna automaticamente il Registro di Spandimento ovvero, in estrema sintesi, una “tabella” i cui record corrispondono a una singola operazione di spandimento.

3.1 I trasmettitori di codice macchina operatrice

Permettono, come già accennato, il riconoscimento automatico della macchina operatrice accoppiata al trattore, al fine di identificare senza ambiguità il lavoro svolto dal cantiere. Sono componenti necessari all'architettura *tractor oriented* a ricognizione automatica, nella quale il trattore si comporta come un sistema di riconoscimento mobile in grado di identificare le MO a esso accoppiate grazie a dei trasmettitori di codice (AP) installati a bordo di queste ultime (Mazzetto et al., 2005). Dal punto di vista tecnologico si tratta di un *trasmettitore RF* di nuova concezione in grado di generare un codice univoco per ciascuna MO e la cui accensione è a opera di un *sensore di vibrazione* (fig. 4). In questo modo, il codice viene trasmesso solo ed esclusivamente quando la MO è accoppiata a un trattore in funzione. I vantaggi sono duplici: da un lato si evita la ricezione di segnali indesiderati legati a macchine in sosta, dall'altro si minimizzano le richieste energetiche dei moduli radio.

I trasmettitori realizzati lavorano sulla banda di frequenza 868-870 MHz e i dati sono trasmessi con modulazione FSK, a garanzia di una maggiore protezione verso i disturbi relativi ad altri tipi di modulazione. Ciò consente di coprire distanze superiori a 200 m in spazio aperto mediante l'utilizzo di antenne omnidirezionali. L'interfaccia dei moduli radio è seriale in logica TTL-RS232 e la trasmissione dei dati avviene secondo la tecnica "*store and forward*": i dati che entrano dalla porta seriale vengono memorizzati in un buffer e spediti al termine della loro ricezione. In fase di ricezione i byte vengono memorizzati e trasferiti sulla seriale soltanto dopo la validazione del checksum (in sostanza, il messaggio radio ricevuto deve essere integro). In caso di fallimento tutto il pacchetto viene rigettato. I trasmettitori sono stati progettati per poter funzionare in ogni condizione ambientale e operativa. In merito, a livello progettuale si è tenuto conto che gli accoppiamenti delle varie MO sono differenti (trainati, semiportati e portati) e, limitatamente all'accoppiamento portato, è possibile disporre anche dell'attacco a tre punti anteriore, oltre che della possibilità di combinare più macchine operatrici. Ne deriva che il corretto funzionamento dei trasmettitori è subordinato al posizionamento dell'antenna ricevente sul trattore, tenuto conto che la massa di quest'ultimo offre una notevole schermatura ai campi di ricezione del segnale. Per saggiare le prestazioni dei trasmettitori si sono condotte due tipologie di prove:

- a) test di laboratorio, per indagare l'effettivo assorbimento energetico;
- b) test di campo per ottenere sperimentalmente i diagrammi di irradiazione così da poter scegliere la configurazione ottimale a livello di potenza di trasmissione.

Le misure effettuate in laboratorio hanno dimostrato che i trasmettitori progettati hanno un consumo, in fase di trasmissione, decisamente contenuto. Tenendo conto che, in fase di lavoro, vengono generati due codici al minuto, ne consegue una durata teorica (presumendo un impiego di 90 giorni/anno e un turno di lavoro di 8 ore/giorno) di oltre 5 anni. Ciò rende antieconomico l'intervento di cambio delle batterie nei confronti della sostituzione dell'intero trasmettitore (è prevista, infatti, una versione commerciale in configurazione "usa e getta"). I test di campo hanno permesso di scegliere tra due differenti potenze di trasmissione (LOW e HIGH) e di determinare la migliore posizione del dispositivo ricevente sul trattore. In sintesi, la potenza HIGH si è dimostrata più affidabile in termini di affidabilità di trasmissione, mentre la posizione più idonea sul trattore è risultata quella con il ricevitore fissato sul lato posteriore della cabina: in questo modo è possibile ricevere senza ambiguità i codici trasmessi da MO accoppiate sia posteriormente sia anteriormente (fig. 5).

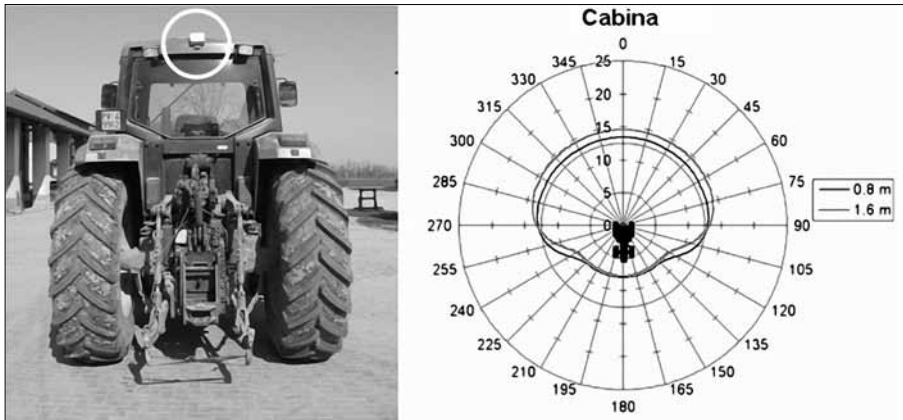


Fig. 5 Nel cerchio è evidenziato il ricevitore di codice macchina, installato sulla sommità della cabina del trattore. A fianco è riportato uno dei diagrammi di irradiazione ottenuto sperimentalmente con il trasmettitore settato al livello di potenza HIGH e a due diverse altezze (0,8 e 1,6 m da terra)

4. IL MONITORAGGIO OPERATIVO DEL LIVELLO DEL LIQUAME NELLE VASCHE DI STOCCAGGIO

Il monitoraggio delle operazioni di distribuzione consente di certificare dove la singola attività di spandimento viene effettuata, con quali tempistiche e quali modalità. Non viene risolto, se non attraverso un processo di stima (es. conteggio del numero di volte in cui un carro botte, ipotizzato a pieno carico, spande in un appezzamento), il problema della quantità di refluo effettivamente distribuita. A tale scopo, il progetto METAMORFOSI ha previsto la realizzazione di dispositivi per il monitoraggio dei flussi di liquame a partire dalle strutture di stoccaggio (Mazzetto e Sacco, 2009). In questo modo è possibile individuare sia gli eventi di carico di dette strutture, con interessanti risultati riguardo all'osservanza dei periodi di maturazione dell'effluente, sia gli eventi di scarico comprensivi dell'effettivo volume di refluo movimentato.

4.1 I sensori per le misure di livello dell'effluente nelle strutture di stoccaggio

Servono per realizzare in continuo, in base a principi fisici diversi, misure relative allo stato di riempimento delle strutture di stoccaggio degli effluenti zootecnici. Nello specifico, si tratta di dispositivi per indagare la gestione di materiali allo stato liquido o semiliquido (liquami), attraverso *misure di livello*.

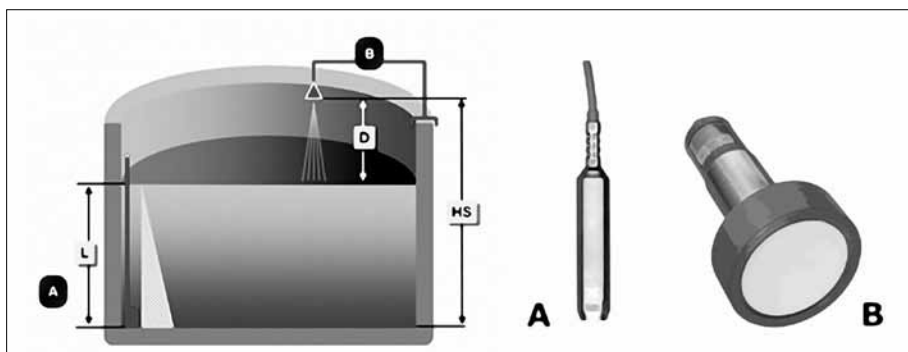


Fig. 6 I sensori impiegati per la misura del livello dell'effluente all'interno delle strutture di stoccaggio. A) sensore di pressione, B) sensore a ultrasuoni

Nel corso del progetto, sono stati impiegati due diversi tipi di sonde in grado di effettuare (fig. 6): a) *misure di pressione*, tramite *sensori idrostatici* da immergere nel fluido da misurare in modo che la *pressione idrostatica* agisca su una membrana sensibile, generando un segnale in tensione proporzionale al livello L del liquido; b) *misure di distanza*, tramite *sensori acustici* che, posti al di sopra del pelo libero del liquame, emettendo un *impulso ultrasonico* misurano il tempo di volo necessario a che questo, una volta riflesso dall'ostacolo alla distanza da misurare, ritorni sul sensore stesso; in tal modo, il sensore genera un segnale di tensione proporzionale alla distanza D da misurare. Nota la quota HS del sensore rispetto al fondo dello stoccaggio, la misura di livello si ottiene come $L = HS - D$. Ovviamente, per effettuare il monitoraggio operativo del livello dell'effluente nelle strutture di stoccaggio, i sensori devono essere collegati a un dispositivo comprendente una unità di registrazione e un modem GPRS per il trasferimento remoto dei dati al server aziendale.

A. Sensori di pressione

La sonda va installata sul fondo della struttura di stoccaggio ed è connessa a un datalogger con un unico cavo in cui sono alloggiati l'alimentazione, i conduttori di segnali e un *tubo di compensazione* in ferro zincato. Quest'ultimo, detto anche tubo di "calma", esegue una compensazione con la pressione atmosferica e smorza eventuali fluttuazioni del liquame durante le fasi di carico e prelievo e impedisce l'ostruzione della membrana sensibile della sonda agevolando, nel contempo, le fasi di installazione, manutenzione e movimentazione della sonda stessa.

Vantaggi: a) installazione relativamente semplice, in quanto non occor-

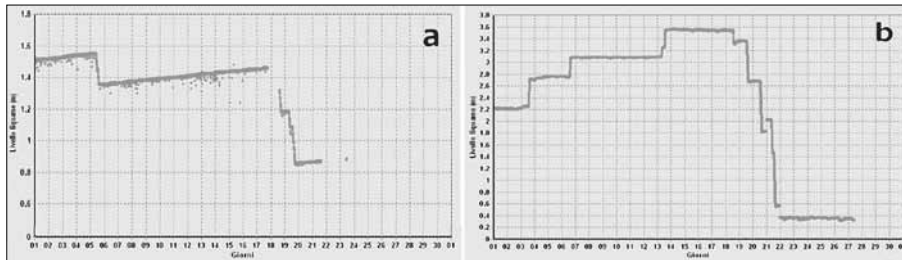


Fig. 7 Diagrammi mensili di movimentazione del liquame misurati con: a) il sensore di pressione e b) il sensore a ultrasuoni.

rono tarature preliminari; b) impiego flessibile, in quanto sono agevolmente applicabili in strutture sia interrate (sotto grigliato) sia fuori terra (vasche di stoccaggio); c) le misure di livello non sono influenzate dalla presenza di “cappello” al di sopra del liquame. *Svantaggi*: a) necessità di periodica manutenzione; b) i sensori sono immersi in un fluido corrosivo.

B. Sensori a ultrasuoni

La sonda è alloggiata in un contenitore di protezione con la membrana sensibile posizionata esternamente verso la superficie del pelo libero. È necessario un supporto in acciaio inox, adeguatamente rinforzato a evitare momenti flettenti (che altererebbero HS), in modo da posizionare il sensore ad almeno 1 m dal bordo. Ciò lo rende adatto preferibilmente per il monitoraggio di vasche fuori terra. *Vantaggi*: limitata manutenzione, in quanto il sistema non è a diretto contatto con l’effluente. *Svantaggi*: a) la necessità di collocare una struttura di supporto, a sbalzo sopra il pelo libero del liquame, comporta un’installazione sempre difficoltosa e pericolosa; b) le letture sono spesso disturbate, anche in modo rilevante, da fenomeni non direttamente connessi a variazioni di massa dell’effluente (presenza di “cappello” al di sopra del pelo libero, con crescita di vegetazione; processi di fermentazione ecc.); c) spesso richiedono una taratura preliminare.

In figura 7 si riportano degli esempi di diagrammi mensili ottenuti a partire dai dati misurati dai vari tipi di sonde. Si hanno eventi di scarico in corrispondenza di brusche variazioni decrescenti nei livelli di stoccaggio.

Gli eventi di carico, dal canto loro, hanno andamenti crescenti diversi a seconda del tipo di stoccaggio e di gestione in stalla: 1) lento e continuo, tipico delle vasche di raccolta sotto grigliato in stalla (carichi continui, fig. 7a); 2) rapido e discontinuo, nel caso del periodico riempimento effettuato con gruppo di pompaggio dalle vasche di raccolta (carichi discontinui, fig. 7b).

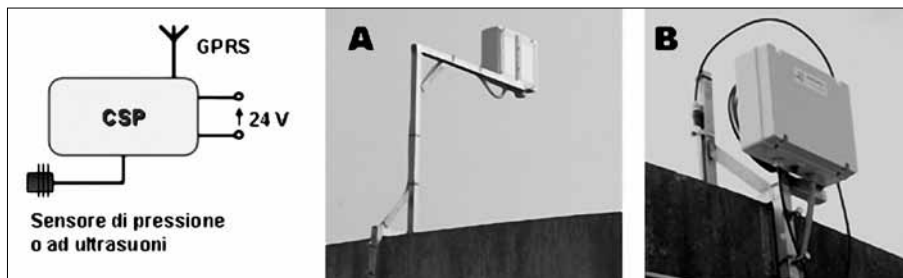


Fig. 8 Schema a blocchi del dispositivo per la misura del livello di effluente nelle vasche di stoccaggio mediante: A) sensore a ultrasuoni e B) sensore di pressione

4.2 Il dispositivo per il monitoraggio operativo delle strutture di stoccaggio degli effluenti zootecnici

Consente di effettuare e registrare, in continuo, le misure di livello relative agli *effluenti allo stato liquido* presenti nelle strutture di stoccaggio. Ciò al fine di mantenere costantemente aggiornata una base di dati sulla quale poter poi inferire, attraverso apposite procedure, le dinamiche degli effluenti stessi con l'individuazione degli *eventi di carico e scarico* e la determinazione dei *volumi di effluente gestiti all'interno di un dato intervallo temporale*, includendo una stima dei *bilanci di azoto* in ingresso e uscita. Il dispositivo, a cui viene collegato un *sensore* per la misura del livello di effluente, eventualmente associato a un ulteriore sensore per la misura delle concentrazioni di azoto, si compone di: a) un *datalogger* che governa le modalità di acquisizione dati; b) un *dispositivo di trasmissione* dati verso il server; c) una *memoria tampone*, per la registrazione temporanea dei dati a livello locale; d) un *orologio* per la sincronizzazione dei dati.

Le caratteristiche costruttive dell'intero sistema di monitoraggio dipendono:

- dalla *tipologia delle strutture di stoccaggio* (fuori terra o direttamente in stalla sotto pavimento grigliato) e dalla loro dislocazione spaziale (influenza il numero di sonde gestibili da ogni datalogger);
- dal *tipo di sonda* utilizzata (*a ultrasuoni* o *a immersione*).

Il datalogger è costituito dal dispositivo CSP (fig. 8), già impiegato nel monitoraggio operativo dei mezzi agricoli.

Ciò a garanzia di una notevole compattezza costruttiva, poiché il CSP integra tutti i componenti da a) a d) di cui sopra. Il dispositivo, infatti, integra un *modulo GSM* con un *ricevitore GPS*. Il primo garantisce la *connessione al server via GPRS* – tramite la rete WAN della farm network – (velocità mas-

sima: 64 kbit/s), nonché la comunicazione con l'utente attraverso SMS per specifiche richieste di dati o per eventuali aggiornamenti della programmazione del sistema in remoto. Il GPS, dal canto suo, limita qui la sua funzionalità alla sola *sincronizzazione dei dati* grazie al suo orologio, risultando superflue le misure di posizionamento. Il CSP è sempre in funzione e registra – su una memoria *micro SD* – i dati provenienti dai sensori connessi ai suoi ingressi analogici. La registrazione è effettuata a intervalli di 60 s e la micro SD funge da memoria tampone nel caso in cui la connessione GPRS non sia momentaneamente disponibile. Analogamente ai QCI, non appena si ha il ripristino della connessione vengono trasmessi anche i dati pregressi.

Le prestazioni dei sistemi sono state monitorate durante l'intera durata del progetto. Il loro comportamento è stato analizzato con il modulo software *StorEyes* che, attraverso delle procedure di inferenza, decodifica le misure delle sonde in sequenze intelligibili di eventi, ottenendo i relativi *bilanci di massa*.

5. DISPOSITIVO SEMPLIFICATO PER LA STIMA DELLA CONCENTRAZIONE DI AZOTO NEGLI EFFLUENTI ALLO STATO LIQUIDO

I sistemi per il monitoraggio operativo descritti nei precedenti paragrafi consentono di gestire la risorsa liquame in termini di bilancio di massa (reale o stimato). In realtà, ciò che importa è il contenuto in azoto (nitrico e ammoniacale) nell'effluente stesso in quanto responsabile sia del suo valore fertilizzante, sia del potenziale inquinamento ambientale. Ad oggi lo strumento imposto dalla legge (PUA ecc.) considera – per stabilire l'osservanza dei limiti di spandimento – un valore di azoto di origine zootecnica di derivazione bibliografica, in funzione del tipo di allevamento e di altri parametri legati alla conduzione aziendale, introducendo una semplificazione burocratica non sempre coerente con la realtà della singola azienda. Poter, quindi, disporre di un sistema semplice ed economico per la stima del contenuto di azoto permette di affinare la gestione del refluo sia in attività di monitoraggio sia in azioni di controllo operativo: è noto, infatti, che per massimizzare l'efficacia della fertilizzazione azotata, in termini generali è necessario effettuare un'accurata distribuzione in volume ottimizzando il dosaggio dei nutrienti azotati per la coltura nel rispetto dei vincoli ambientali esistenti. A tale scopo, nel progetto METAMORFOSI, è stato studiato un sensore che consente la stima rapida del titolo in azoto totale del liquame di origine zootecnica, sfruttando la relazione esistente tra conducibilità elettrica e concentrazione dei soluti nel liquame stesso.

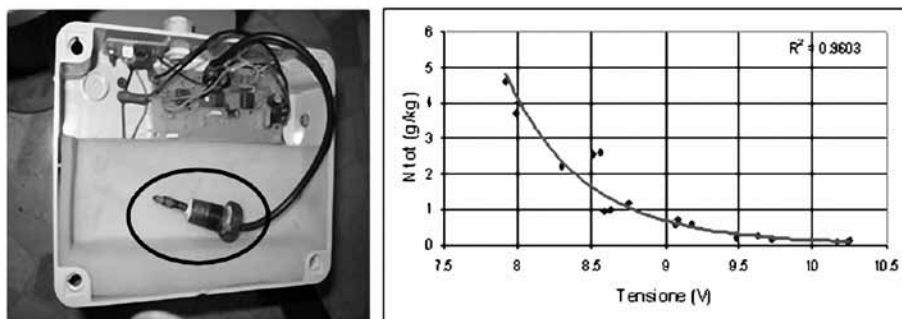


Fig. 9 Il dispositivo semplificato per la stima del contenuto in azoto dei reflui zootecnici con in evidenza la sonda, e la curva di taratura ottenuta sperimentalmente

È noto che nei liquami sia bovini sia suini lo ione ammonio NH_4^+ è il catione presente in concentrazione maggiore, cui segue lo ione K^+ , secondo per importanza tra le basi molari. All'interno di ogni tipologia di liquame, la concentrazione di questi due cationi è *significativamente correlata alla conducibilità elettrica (CE)* (Provolo e Martinez-Suller, 2007). In generale, la correlazione lineare tra l' NH_4^+ e la CE spiega più dell'82% della varianza all'interno dei vari tipi di liquame: di conseguenza, poter misurare le caratteristiche elettriche dei liquami permette di ottenere una stima delle concentrazioni di azoto e – quindi – del potere fertilizzante degli effluenti d'allevamento.

Il dispositivo sviluppato è composto da un *generatore di corrente alternata* semplificato e da un apposito sensore da porre a contatto col liquame in grado di restituire un valore di tensione correlato alla CE. Il circuito e il sensore sono stati realizzati secondo approcci di “elettronica povera” (fig. 9) utilizzando componenti commerciali a basso costo e facilmente reperibili sul mercato. In sintesi, il suo principio di funzionamento si basa sul fatto che la conducibilità elettrica, essendo una caratteristica chimico/fisica del fluido da analizzare, determina – a parità di intensità elettrica “I” fornita agli estremi del sensore – una tensione “V” dipendente dalla concentrazione di soluti nel fluido stesso. Più precisamente, la tensione risulta essere *inversamente proporzionale* alla conducibilità elettrica: al crescere della concentrazione di soluti presenti in soluzione, la tensione diminuisce, e viceversa. Naturalmente, le *curve di taratura* che mettono in relazione i due parametri devono essere note a priori. Il dispositivo può funzionare come strumento di misura per analisi direttamente svolte sul liquame presente nelle vasche di stoccaggio o messo in linea su condutture (ad es. fertirrigatori) e in prossimità dei distributori dei carri botte per realizzare forme avanzate di controllo operativo.

Sul dispositivo in oggetto sono state condotte prove di laboratorio con l'obiettivo di:

a) effettuare una *taratura preliminare* finalizzata alla possibilità di indagare l'intero intervallo di conducibilità tipico dei liquami zootecnici,

b) determinare la *funzione di trasferimento* (concentrazione di azoto in funzione della tensione misurata).

I risultati ottenuti sono da ritenersi incoraggianti: la relazione: $V-[N \text{ tot}]$ è rappresentata da una relazione logaritmica che, sebbene altamente significativa ($R^2 > 0.96$), propone degli intervalli (specie alle alte concentrazioni di azoto) di più difficile misura per fenomeni di saturazione. Ne deriva la necessità di ulteriori test per ampliare il campo di lettura pur considerando valido il principio di funzionamento del sensore.

6. CONCLUSIONI

L'obiettivo del progetto METAMORFOSI, ovvero la realizzazione di dispositivi e di tecnologie alla portata di tutti per il tele monitoraggio e il controllo delle attività di spandimento degli effluenti zootecnici, non è quello di risolvere definitivamente il problema dell'inquinamento da nitrati di origine zootecnica, ma intende fornire strumenti informatici per aiutare sia gli agricoltori nella produzione di documentazione comprovante l'aderenza tra quanto realmente effettuato e quanto dichiarato nei PUA/ PUAs, sia l'ente pubblico controllore con la messa in essere di un sistema di monitoraggio territoriale sicuro, oggettivo e sempre aggiornato. La ricerca di soluzioni hardware e software semplici e a basso costo, soprattutto riguardo ai dispositivi da installare a livello aziendale, è uno dei principali capisaldi del progetto, assieme a una limitata richiesta di impegno (soprattutto in termini di tempo) a carico dell'agricoltore. Il primo prodotto realizzato ha riguardato il sistema per il monitoraggio operativo del livello di liquame nelle strutture di stoccaggio che, permettendo l'identificazione degli eventi di carico e scarico, realizza il bilancio di massa dell'azoto a livello aziendale. Si ritiene che questo debba essere la funzione base per poter valutare con la necessaria oggettività i flussi di N sul territorio. Le informazioni che ne derivano possono, poi, essere integrate con quelle derivanti dal monitoraggio operativo delle attività di campo svolte coi QCI, in modo da ottenere dei quadri di riepilogo a diverso grado di dettaglio. A titolo di esempio, si riporta il caso di studio proposto in figura 10, relativo a una distribuzione di liquame svolta in un'azienda dotata di sistema di spandimento ombelicale.

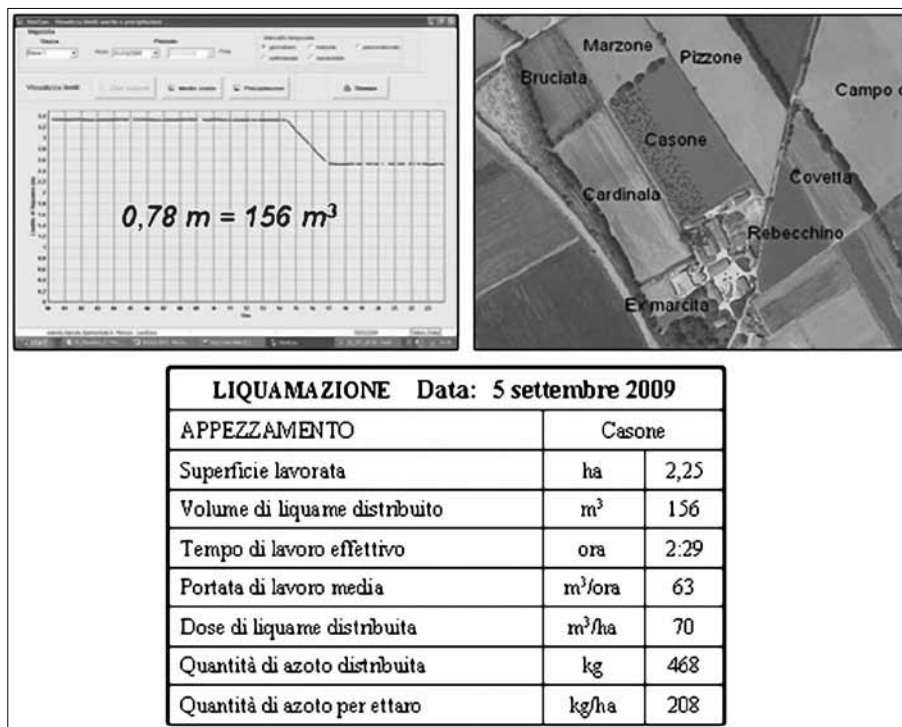


Fig. 10 Report di dettaglio di una liquamazione eseguita il 5/09/2009

L'elaborazione dei dati provenienti dai dispositivi per il monitoraggio – effettuate con gli applicativi software sviluppati (StorEyes + gestionale di campo) – evidenzia che: il prelievo totale dalle vasche ha riguardato 78 cm di liquame, corrispondenti a circa 156 m³ e l'intervento ha interessato una superficie complessiva effettiva di 2,25 ha. Ne risulta un volume di liquame distribuito pari a 70 m³/ha. Considerando un titolo in azoto di 3 kg/m³ (come dichiarato nel PUA aziendale) ne consegue che, a seguito della liquamazione svolta, è stata apportata al campo una quantità di azoto di 208 kg/ha. Dai dati è possibile, inoltre, risalire alla durata dell'operazione – 2.29 ore – e alla portata media della pompa di messa in pressione del liquame posta in prossimità delle vasche (63m³/h). La veridicità dei dati è stata, peraltro, confermata da un operatore a terra che, munito di cronometro, ha osservato l'intera operazione. Il livello di dettaglio desiderato, tuttavia, dipende comunque dal ruolo dell'utente: nel caso di un amministratore pubblico, sarebbe risultato sufficiente il dettaglio dei primi due punti, associato alla data di esecuzione dell'operazione, anch'essa ovviamente fornita dal sistema.

Concludendo, la diffusione su vasta scala dei sistemi per il monitoraggio operativo delle attività di distribuzione degli effluenti d'allevamento, così come previsto nel progetto METAMORFOSI, avendo raggiunto una buona maturità tecnologica e un costo sostenibile, dipende fortemente dalla volontà di identificare forme di incentivazione finalizzate a favorire la partecipazione volontaria delle aziende alla rete di monitoraggio. Ciò nella piena consapevolezza che solo tra un'efficiente cooperazione tra queste ultime e l'amministrazione del territorio si possono ottenere i migliori risultati possibili sul fronte della gestione sostenibile delle risorse azotate.

RIASSUNTO

La messa in essere di sistemi di monitoraggio a vari livelli (aziendale e territoriale) è ormai un'esigenza primaria anche per il mondo agricolo. Il Dipartimento di Ingegneria Agraria di Milano è da anni impegnato nello sviluppo di sistemi per il monitoraggio operativo dai punti di vista hardware, con l'individuazione di idonee soluzioni tecnologiche, e software con la progettazione di database derivanti dalla compilazione automatica dei Quaderni di Campagna Informatici (QCI). L'ultima versione realizzata in merito, ha previsto la realizzazione di una rete aziendale a logica client-server connessa in tempo reale a un server centrale. I client connessi alla rete sono i trattori aziendali e i sistemi per la misura del livello del liquame bovino nelle vasche di stoccaggio. Per permettere lo scarico dei dati e la loro archiviazione sul server centrale, ogni client è connesso a una rete TCP/IP tramite modem GPRS. L'architettura aperta della rete wireless consente la connessione simultanea di più aziende e permette, quindi, di realizzare forme di monitoraggio anche su scala territoriale. A tale proposito, quanto descritto funge da base tecnologica per il progetto METAMORFOSI (bando Metadistretti 2007 – Reg. Lombardia) che ha come finalità la creazione di un Sistema Informativo su scala territoriale per il monitoraggio della distribuzione dei reflui zootecnici.

ABSTRACT

Actually, the realization of monitoring systems at various levels (farm and territory) is very important for the agricultural sector. The Department of Agricultural Engineering of Milan is involved in the development of farm monitoring systems from many years. In particular it faces both hardware and software aspects, such as the identification of the most suitable technological solutions and the realization of a database based on the technology of the Field Datalogger (FD). The last version of the farm monitoring system is characterized by client-server logic and wireless data download. Actually, clients connected to the net are represented by all farm tractors and the two devices for the measurement of slurry level in storage tank. In order to allow the data upload to the central server, each client is connected to a TCP/IP net by GPRS modem

The open architecture of the wireless network allows simultaneous connection of

more farms and therefore allows to create monitoring forms on a territorial scale. This technology is the basis of METAMORFOSI project (Metadistretti 2007 - Lombardy Region). Its goal is the creation of a Territorial Information System for monitoring the distribution of zootechnical effluents.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (2006): *RFId Tecnologie per l'innovazione*, Fondazione Ugo Bordoni, Roma, pp. 180-196.
- MAZZETTO F., CALCANTE A. (2009): *Design, development and early testing of a device for the monitoring of zootechnical effluent using raingun distribution systems*, «Journal of Agricultural Engineering», 2, pp. 9-17.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., NALDI E. (2005): *Realizzazione di sistemi di identificazione dei mezzi agricoli con soluzioni di basso costo*, Atti del Convegno AIIA "L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea", Catania 27-30 giugno 2005.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., SALOMONI F., VECCHIATI P., BIAGIONI. V., PRANDINI F. (2008): *Monitoraggio automatico per lo spandimento dei reflui*, «L'Informatore Agrario», 40, pp. 107-110.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., SALOMONI F. (2009a): *Development and first tests of a farm monitoring system based on a client-server technology*, Proc. of Precision Agriculture 09. Wageningen, The Netherlands, 6-8 july 2009, pp. 389-396.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., SACCO P., SALOMONI F., LANDONIO S. (2009b): *Monitoring and remote control of slurry waste distribution activities for a sustainable management of livestock farms: the METAMORFOSI Project*, Proc. of 33 CIOSTA CIGR 5 Conference, Reggio Calabria, 17-19 giugno 2009, pp. 903-907.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., SALOMONI F. (2007): *A low cost system for the automatic monitoring of slurry distribution activities: the MOSAICO project*, poster paper proc. of 6 European Conference of Precision Agriculture (6ECPA). Skiathos, Greek, 3-7 june 2007.
- MAZZETTO F., SACCO P. (2009): *A software application package for monitoring and controlling slurry animal waste in storage tanks at livestock farms*, Proc of 33 CIOSTA CIGR 5 Conference, Reggio Calabria, 17-19 giugno 2009, pp. 891-895.
- MCGECHAN M. B., LEWIS D. R. (2000): *Watercourse pollution due to surface runoff following slurry spreading*, Part 2: *Decision Support to minimize Pollution*, «Journal of Agricultural Engineering Research», 75, pp. 429-447.
- MCKINION J.M., TURNER S.B., WILLERS J.L., READ J.J., JENKINS J.N., MCDADE J. (2004): *Wireless technology and satellite internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture*, Agricultural Systems, 81, pp. 201-212.
- PIERCE F.J., ELLIOTT T.V. (2008): *Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington*, «Computers and Electronics in Agriculture», 61, pp. 32-43.
- PROVOLO G., MARTINEZ-SULLER L. (2007): *In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity*, 98, pp. 3235-3242.
- PROVOLO G., RIVA E., SERÙ S. (2008): *Gestione e utilizzazione dell'azoto di origine zootecnica: soluzioni tecnologiche e impiantistiche*, «Quaderni della Ricerca», Regione Lombardia, 93, pp. 4-10.

- SERODIO C., BOAVENTURA CUNHA J., MORAIS R., COUTO C., MONTEIRO J. (2001): *A networked platform for agricultural management systems*, «Computers and Electronics in Agriculture», 31, pp. 75-90.
- SOMMER S.G., HANSEN M.N. e SØGAARD H.T. (2004): *Infiltration of Slurry and Ammonia Volatilisation*, «Biosystems Engineering», 88, pp. 359-367.
- THYSEN I. (2000): *Agriculture in the information society*, «Journal of Agricultural Engineering Research» , 76, pp. 297-303.
- VELLIDIS G., GARRICK V., POCKNEE S., PERY C., KVIEN C., TUCKER M. (2007): *How wireless will change agriculture*, Proc. of 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, 3- 6 june 2007, pp. 57-67.

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

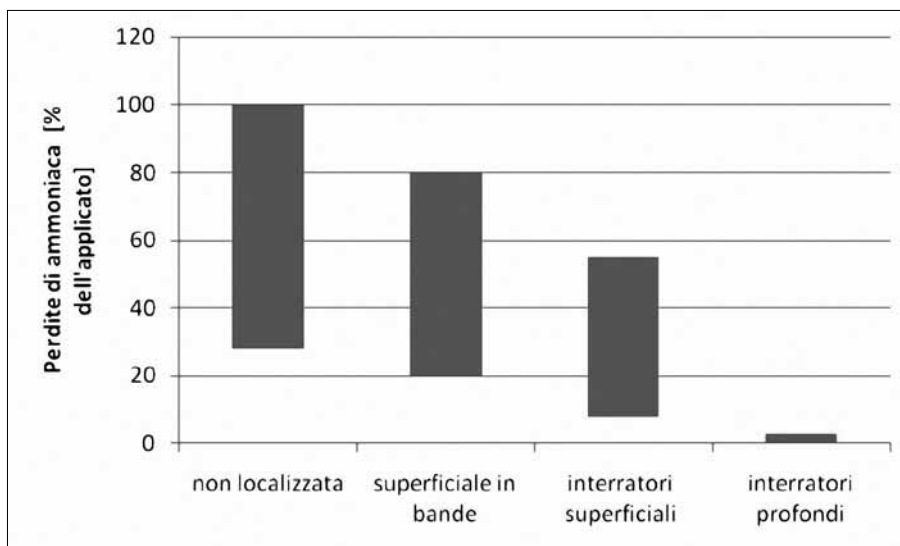


Fig. 1 *Perdite di ammoniaca in funzione del tipo di distribuzione in campo. (Fonte: Final research report - FAIR-PL98-4057)*

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-

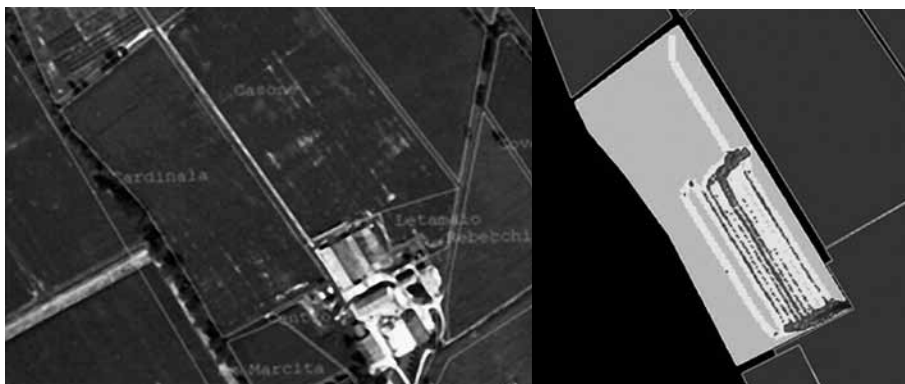


Fig. 2 Esempio di mappa di distribuzione che si può ritrovare facilmente nella realtà operativa

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.

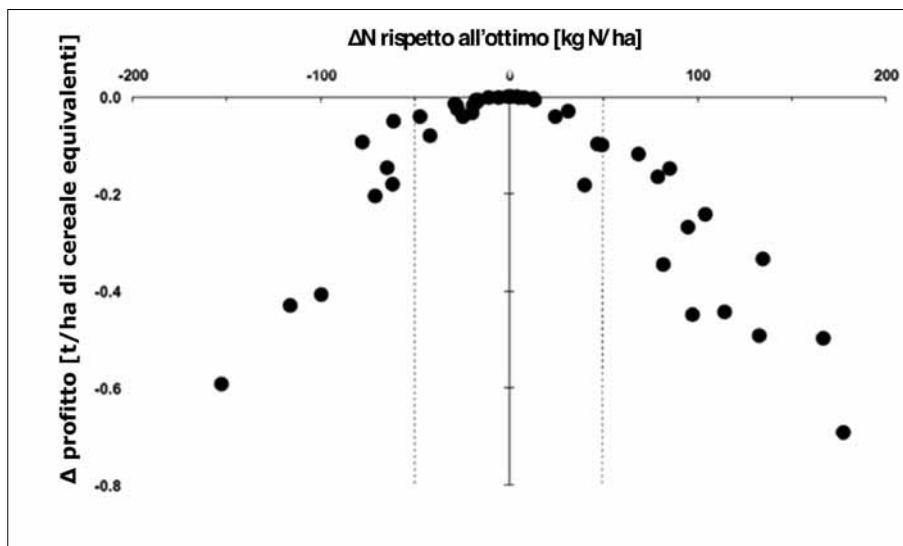


Fig. 3 Effetto dello scostamento della dose di azoto da quella ottimale sull'andamento del profitto colturale. Fonte: Sylvester-Bradley *et al.*, 2008

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.

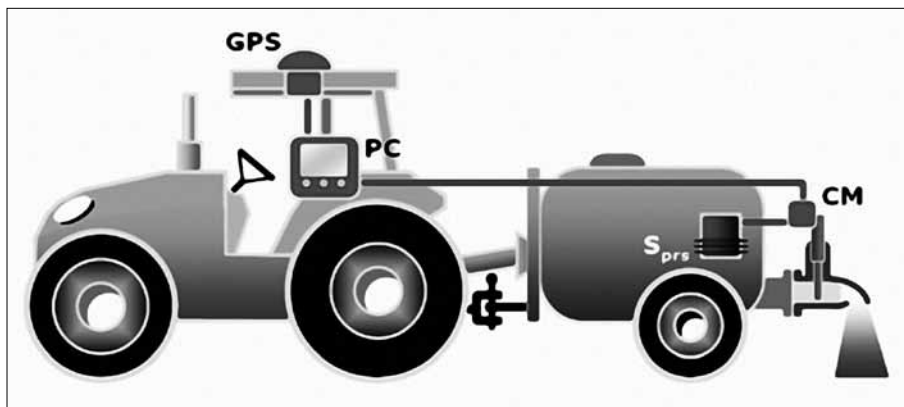


Fig. 4 Il sistema realizzato

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

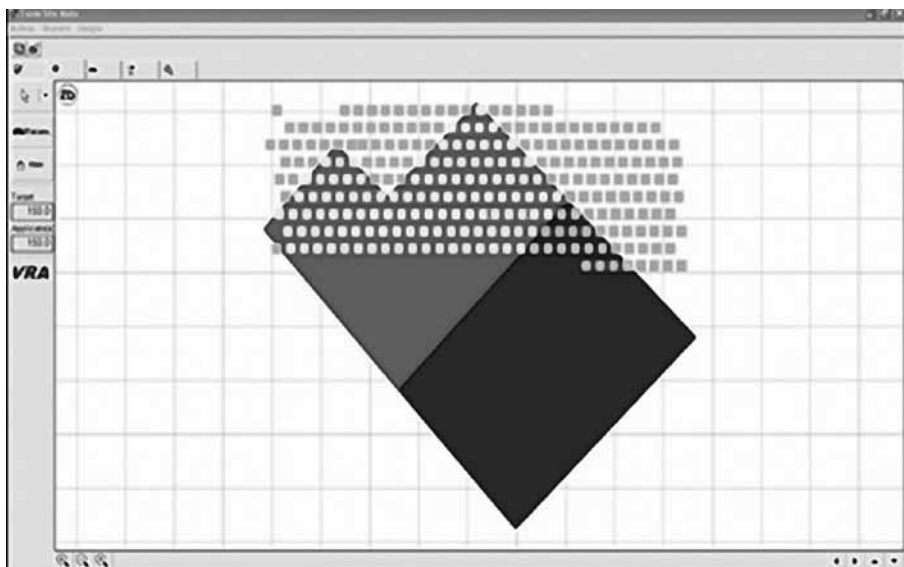


Fig. 6 Interfaccia grafica del software installato sul PC e impiegato per comandare la centralina di regolazione



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).

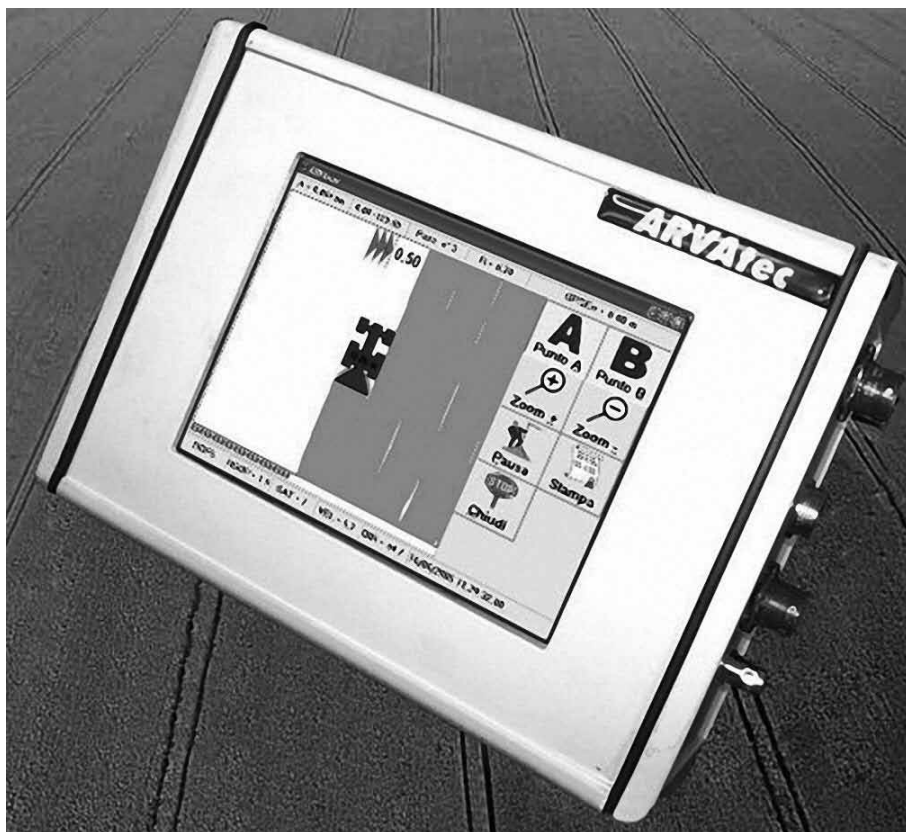


Fig. 10 *Interfaccia grafica del software per la guida assistita installato sul PC*

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 IO 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 mietitrici 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 macchina agricola 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.