

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

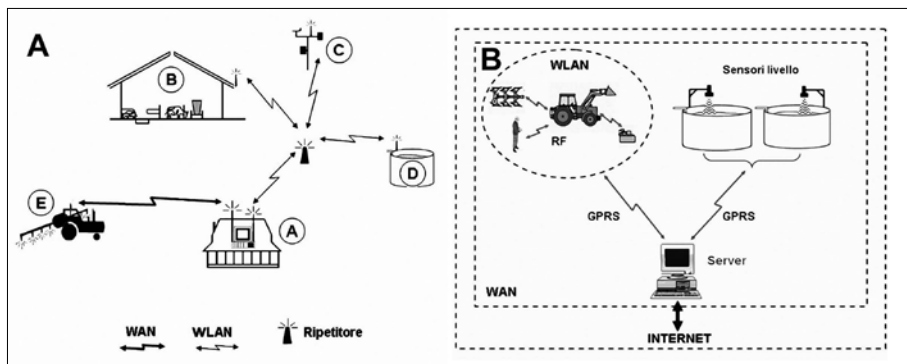


Fig. 1 A) Schema di una generica farm network. La WLAN connette la stalla (b), la capanna meteorologica (c) e i sensori di livello sulla vasca di stoccaggio dei reflui (d). I dati vengono ricevuti, amplificati e trasmessi dal ripetitore al server aziendale (a). I mezzi in movimento (e) trasferiscono i dati ad (a) via GPRS utilizzando la rete WAN.

B) La farm network realizzata presso le aziende pilota del progetto METAMORFOSI

PROPRIETÀ	TECNOLOGIE WIRELESS			
	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	Moduli RF
Frequenza	2,4 – 5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	868 – 870 MHz
Data rate	11 – 54 Mbit/s	1 Mbit/s	20-250 kbit/s	9,6 – 115,2 Kbit/s
Raggio di copertura	50-100 m	10 m	50-100 m	10-200 m
Complessità della rete	Alta	Alta	Media/Alta	Bassa
Consumo	Alto	Medio	Molto Basso	Basso
Applicazioni	WLAN, trasferimento file, collegamento a Internet, ecc.	Periferiche per PC, accessori per cellulari, ecc.	Controllo apparati e ambienti, domotica, reti di sensori, apparecchiature mediche, ecc.	Telemetria, trasferimento dati, ecc.

Tab. 1 Comparazione tra sistemi wireless (AA.VV., 2006)

potenza di trasmissione. Più interessante, al contrario, è la tecnologia normalmente impiegata per la realizzazione di reti WPAN (Wireless Personal Area Network) comprendente, tra gli altri, i sistemi Bluetooth, ZigBee e RF, le cui principali caratteristiche sono comparativamente e sinteticamente descritte in tabella 1. In generale, ZigBee, il cui standard (802.15.4) è stato rilasciato nel 2003, appare particolarmente idoneo alla realizzazione della WLAN in quanto consente di coprire raggi di trasmissione di oltre 100 m (fino a 500 m in campo aperto e con antenna amplificata) con esigui consumi di energia.

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 ($< 10\text{m}$), 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,

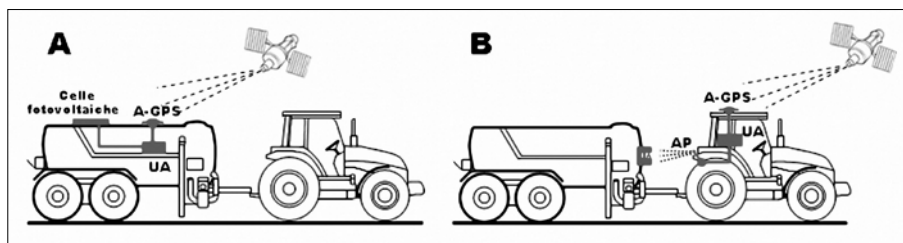


Fig. 2 Le architetture hardware sviluppate nel progetto METAMORFOSI per il monitoraggio delle attività di campo: A) implement oriented; B) tractor oriented

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

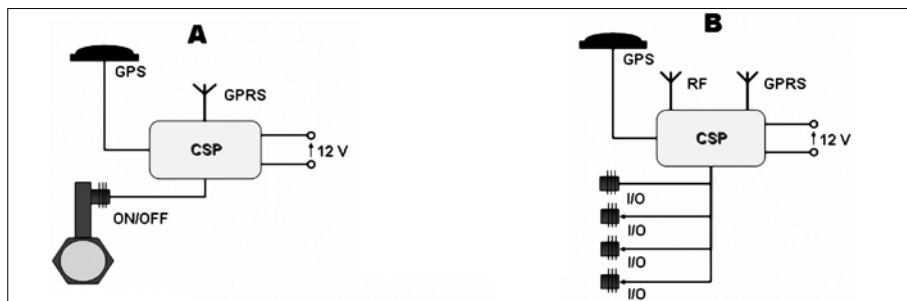


Fig. 3 Schemi a blocchi dei dispositivi di monitoraggio QCI: A) implement oriented e B) tractor oriented

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).

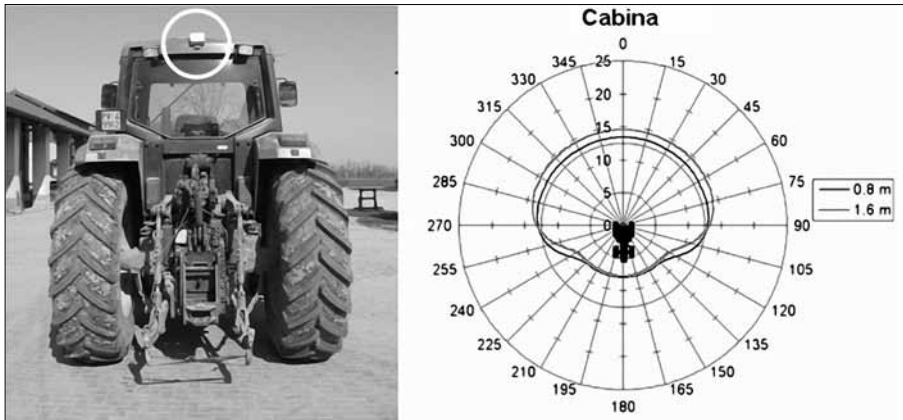


Fig. 5 Nel cerchio è evidenziato il ricevitore di codice macchina, installato sulla sommità della cabina del trattore. A fianco è riportato uno dei diagrammi di irradiazione ottenuto sperimentalmente con il trasmettitore settato al livello di potenza HIGH e a due diverse altezze (0,8 e 1,6 m da terra)

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*.

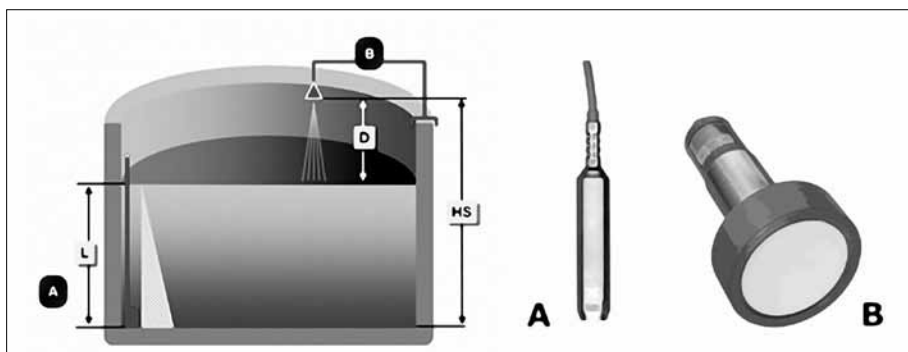


Fig. 6 I sensori impiegati per la misura del livello dell'effluente all'interno delle strutture di stoccaggio. A) sensore di pressione, B) sensore a ultrasuoni

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-

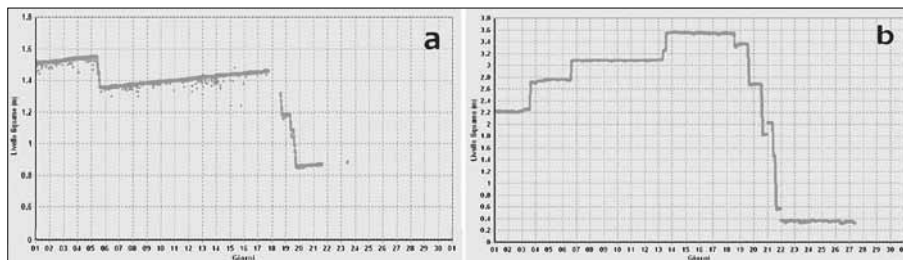


Fig. 7 Diagrammi mensili di movimentazione del liquame misurati con: a) il sensore di pressione e b) il sensore a ultrasuoni.

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).

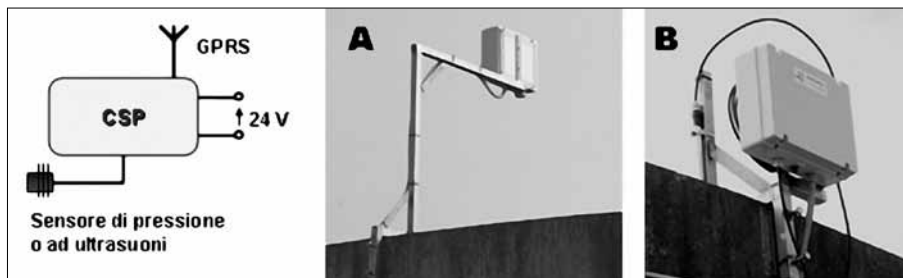


Fig. 8 Schema a blocchi del dispositivo per la misura del livello di effluente nelle vasche di stoccaggio mediante: A) sensore a ultrasuoni e B) sensore di pressione

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.

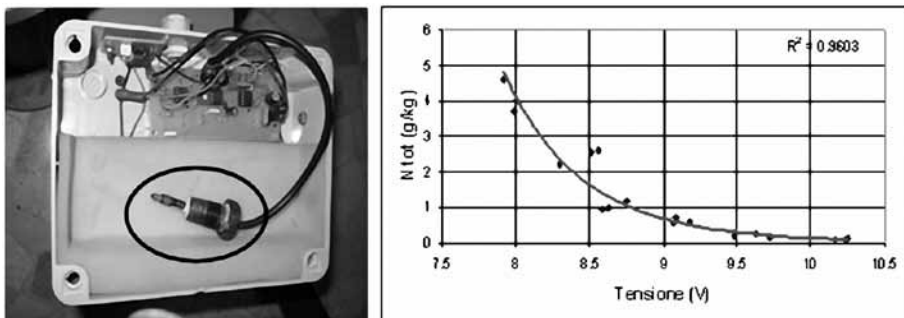


Fig. 9 Il dispositivo semplificato per la stima del contenuto in azoto dei reflui zootecnici con in evidenza la sonda, e la curva di taratura ottenuta sperimentalmente

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.

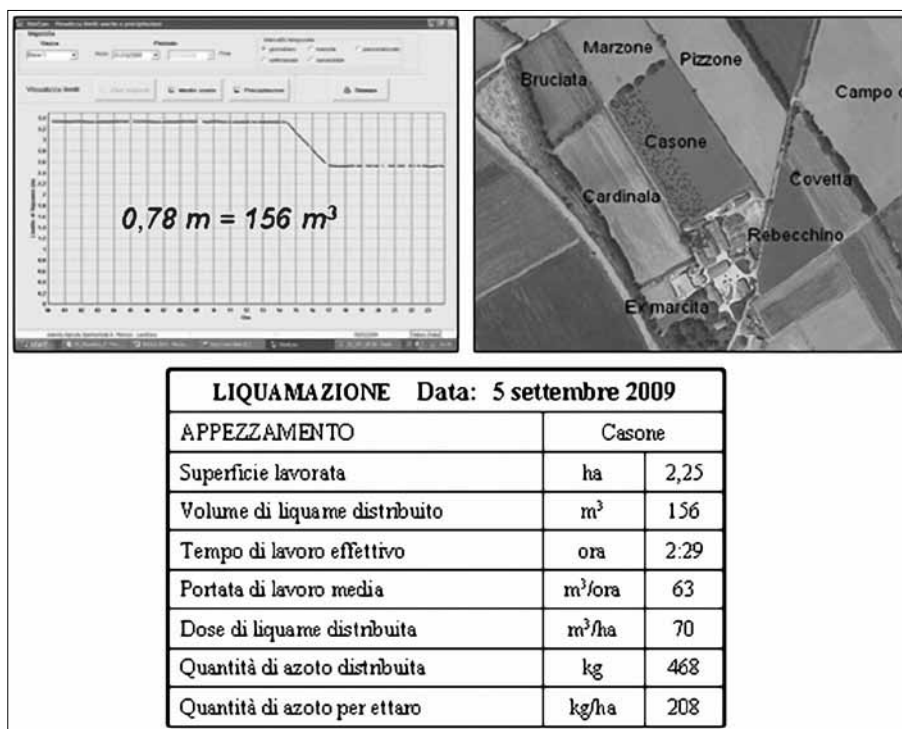


Fig. 10 Report di dettaglio di una liquamazione eseguita il 5/09/2009

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.