

LUIGI BODRIA*

Le tecnologie meccaniche appropriate

PREMESSE

La meccanizzazione agricola svolge la basilare funzione di moltiplicare la produttività del lavoro dell'uomo, aumentando grandemente la sua capacità di produrre alimenti. A buona ragione, quindi, può essere ritenuta il primo fondamentale passo dello sviluppo sociale dell'umanità.

Grazie all'impiego di ausili meccanici, infatti, l'uomo viene progressivamente sollevato dalla necessità primaria di produrre alimenti, liberando e rendendo disponibili energie e risorse per lo sviluppo tecnologico della società.

Nei paesi industrializzati la meccanizzazione si è grandemente sviluppata, così che una percentuale molto ridotta (3-5%) della popolazione attiva è oggi sufficiente per la gestione del processo produttivo nel settore primario.

Ciò, tuttavia, ha fatto sì che il peso economico della meccanizzazione abbia assunto una sempre maggiore rilevanza, sino a giungere a un'incidenza percentuale sui costi produttivi totali dell'ordine del 25-30%.

Crescente importanza, quindi, assume la necessità di disporre di tecnologie affidabili ed efficienti, i cui costi siano sopportabili dall'agricoltura e remunerativi per le aziende produttrici.

In altri termini, uno sviluppo economico dell'agricoltura, sia per i suoi più tradizionali aspetti alimentari, sia per le sue nuove valenze ambientali ed energetiche, richiede un forte impegno della ricerca per la definizione di *tecnologie appropriate*, ossia: *ottimizzate in termini economici, tecnici, funzionali e ambientali*.

* Università degli Studi di Milano

TECNOLOGIE PER LA RIDUZIONE DEI COSTI DI PRODUZIONE DELLE MACCHINE

Il contenimento dei costi di produzione, nato con lo sviluppo delle produzioni di massa all'inizio del secolo scorso, si è fortemente sviluppato nel tempo, giungendo a definire metodologie progettuali e produttive molto sofisticate al fine di avere macchine altamente affidabili e di costi ridotto.

Il primo passo nella razionalizzazione delle produzioni di massa è costituito dalla standardizzazione dei componenti e dei processi. Ne è un tipico esempio l'organizzazione per "famiglie" di motori e trattori generalmente adottata dalle case produttrici (tab. 1).

Si è successivamente sviluppato il processo di *progettazione modulare* basato su specifiche matrici in cui le caratteristiche dei nuovi prodotti, definite dai progettisti e dai ricercatori, vengono integrate e confrontate con le risorse produttive, di sviluppo, di realizzazione, di assemblaggio e di assistenza post-vendita delle aziende.

La *progettazione modulare*, applicata nello sviluppo di componenti meccanici, elettrici, elettronici e di sistemi di software, consente la loro unificazione sulle diverse linee di montaggio e su diversi prodotti, portando rilevanti economie di scala, tempi di sviluppo inferiori, approvvigionamenti più rapidi, manutenzione e riparazione più semplice.

Grande attenzione, poi, è rivolta a rendere il compito produttivo più efficiente mediante la riduzione dei costi di assemblaggio, di realizzazione e di manutenzione.

A tale fine vengono introdotte metodologie di:

- *progettazione dell'assemblaggio*, per ottimizzare le diverse componenti e definire i tempi e i costi di realizzazione delle macchine;

FAMIGLIE	1	2	3	4
Gamma di Potenza (kW)	30 -55	60 - 90	90 - 125	125 - 250
Tendenze del mercato				
Motore	3 cil. ($\cong 3 \text{ dm}^3$)	4 cil. ($\cong 4 \text{ dm}^3$)	5 cil. ($\cong 6 \text{ dm}^3$)	6 cil. ($> 7 \text{ dm}^3$)
Trasmissione	Sincronizzato Hi - Low o Power shift opzionali	Sincronizzato con Power Shift 4 marce		
			Power shift integ opz.	
		Power shift integrale CVT		

Tab. 1 *Caratteristiche delle famiglie di trattori*

- *progettazione della produzione*, finalizzata alla definizione dei processi produttivi e delle macchine utensili necessarie;
- *progettazione dell'assistenza post-vendita*, per rendere funzionale ed economica la manutenzione delle macchine vendute.

Tale ultimo punto costituisce, oggi, un elemento chiave per garantire un'elevata competitività dei prodotti, essendo sempre maggiore l'attenzione del mercato per un servizio di assistenza post-vendita di elevata efficienza.

Le evoluzioni tecnologiche più recenti, tuttavia, che vedono una sempre maggiore applicazione di automatismi, dispositivi elettronici, software di controllo e applicativi gestionali, ha reso ancora più complessa la gestione del percorso progettuale e della fase produttiva.

Al fine di fare fronte a tali crescenti esigenze, si è reso necessario articolare ancora meglio il percorso progettuale con un approccio di tipo sistemico, facendo ricorso all'*ingegneria dei sistemi*.

Tale tecnica, inizialmente sviluppata e applicata nella progettazione di software e nell'industria aerospaziale, si è successivamente diffusa in molti altri settori industriali caratterizzati da produzioni di elevata complessità.

Tra questi, anche l'industria delle macchine agricole che, per far fronte agli sviluppi tecnologici più recenti, comincia ad applicare l'ingegneria dei sistemi al fine di ridurre i costi e i rischi connessi alla progettazione di macchine sempre più costose e complesse.

L'ingegneria dei sistemi (fig. 1) si basa sull'integrazione delle diverse discipline e dei diversi gruppi di specialisti coinvolti nello sviluppo di un progetto in un processo strutturato che dall'idea iniziale giunge sino all'operatività finale dell'oggetto, integrando fra loro gli aspetti economici, tecnici, produttivi e le aspettative del fruitore finale.

Il sistema, come evidenziato nella figura 1, si struttura in tre principali componenti:

- il “Requirements Management” basato sull'analisi delle aspettative dell'utilizzatore per la definizione delle specifiche del prodotto e lo sviluppo dell'architettura del sistema produttivo;
- il “Top Down Synthesis and Simulation” che consente di sintetizzare lo sviluppo del prodotto partendo dall'idea iniziale e dai requisiti definiti, integrandoli nell'architettura del sistema produttivo precedentemente indicate;
- il “Bottom Up Simulation and Analysis”, che, al contrario, opera in senso ascendente, verificando il processo produttivo a partire dai componenti finali, mediante il metodo degli elementi finiti e la simulazione dinamica tridimensionale.

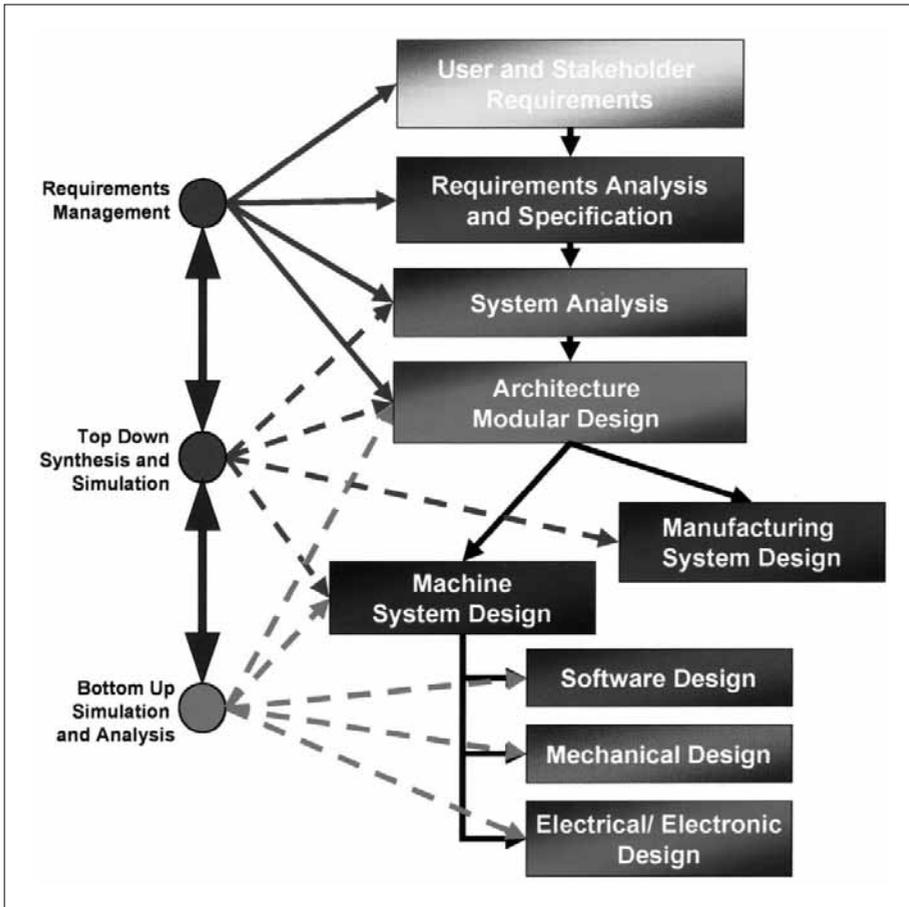


Fig. 1 *Approccio di tipo sistemico alla produzione industriale*

Grazie all'impiego della tecnica dell'ingegneria dei sistemi è possibile accelerare grandemente la fase di definizione del progetto utilizzando la "prototipazione virtuale" che consente di sperimentare in "ambiente virtuale" il prodotto finale, giungendo così a una consistente riduzione del tempo che intercorre fra l'idea iniziale e l'ingresso della macchina sul mercato.

TECNOLOGIE PER IL MIGLIORAMENTO DELLA FUNZIONALITÀ

Il rapido sviluppo delle macchine agricole degli ultimi anni deriva dalla progressiva diffusione dell'"innovazione incrementale" che ha portato continui miglioramenti funzionali delle tecnologie.

I principali passi evolutivi che, dall'introduzione del motore diesel, hanno segnato lo sviluppo della meccanizzazione agricola hanno riguardato in termini generali:

- gli azionamenti idraulici e i sistemi di controllo;
- i cantieri combinati;
- l'elettronica e le tecnologie informatiche;
- l'incremento delle prestazioni delle macchine.

In tale quadro evolutivo un ruolo non appariscente, ma che sta acquisendo una sempre maggiore importanza in termini tecnici e funzionali, è svolto dallo sviluppo di *nuovi materiali* per le parti e i componenti delle macchine.

Sino a non molto tempo fa, una tipica macchina agricola era di norma costituita prevalentemente di ferro e acciaio (fig. 2), ma oggi le moderne macchine (fig. 3) vedono l'impiego di numerosi materiali differenti al fine di:

- resistere alle crescenti sollecitazioni dovute all'incremento delle prestazioni;
- ridurre l'inerzia delle parti in movimento e il peso delle macchine;
- migliorare la resistenza all'usura;
- aumentare la vita utile dei componenti e delle macchine nel suo complesso;
- migliorare l'ergonomia, la sicurezza e il design.

I tradizionali acciai da costruzione possono venire sostituiti da *acciai speciali* a granulometria e ad altra resistenza che consentono una sensibile riduzione degli spessori dei componenti e, quindi, del peso.

Per i componenti delle trasmissioni sono sempre più frequentemente impiegati *acciai legati* di alta qualità, caratterizzati da carichi di rottura sino a 1200 N/mm² ed elevata durezza (fig. 4). Grazie a essi si riducono notevolmente le dimensioni di alberi e ingranaggi consentendo, unitamente alle minori dimensioni degli organi strutturali, una maggiore libertà costruttiva e consistenti risparmi di peso.

Per i componenti per i quali la leggerezza costituisce un elemento essenziale, si ricorre all'impiego di *leghe leggere* a base di alluminio, che presentano una massa volumica di circa 2/3 più leggera rispetto all'acciaio.

Un tipico esempio è costituito dai supporti dei bracci dei ranghinatori a girello realizzati con leghe di alluminio che consentono una riduzione di 34 kg della massa del rotore (fig. 5).

Un altro settore dove l'uso di materiali innovativi va trovando crescente impiego è quello dei componenti soggetti a usura.

I *materiali resistenti all'usura* trovano un tradizionale impiego nelle macchine per la lavorazione del terreno, ma in anni più recenti il loro uso si va estendendo anche ad altre categorie di macchine.

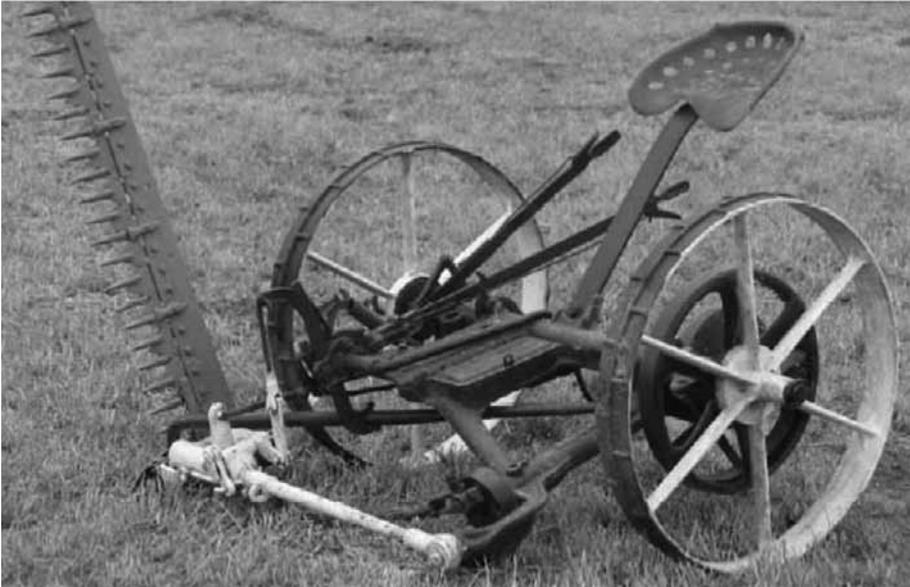


Fig. 2 Le macchine agricole degli anni passati erano estremamente semplici



Fig. 3 Evoluzione di un cantiere per la raccolta dei foraggi

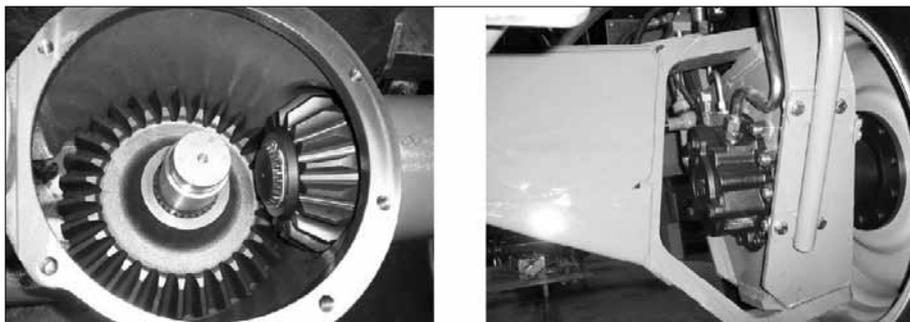


Fig. 4 L'impiego di acciai speciali ad alta resistenza consente di realizzare organi di trasmissione più piccoli e leggeri



Fig. 5 Alloggiamenti di cuscinetti dei bracci di un ranghinatore a girello realizzati in lega leggera di alluminio

Nel caso delle trincia-raccogliatrici per foraggi, ad esempio, non solo gli organi di taglio, ma anche i canali in lamiera di trasporto del prodotto sono sottoposti a notevole usura.

Le lame rotanti e la controlama fissa degli organi di trinciatura delle moderne macchine caratterizzate da una capacità di raccolta molto elevata, sono

soggette a una rapidissima usura. Per aumentare la resistenza e la durata, sono entrambe protette da un riporto in materiale speciale in carburo di tungsteno ad altissima durezza e resistenza all'usura (fig. 6).

Analogamente, i canali di trasporto del trinciato sono protetti da uno strato di materiale ad alta resistenza, nel caso di condizioni particolarmente gravose per la presenza di sabbia e/o impurità nel foraggio.

Anche l'uso delle *materie plastiche* si è andato grandemente sviluppando per la realizzazione di diversi componenti. L'impiego emergente, tuttavia, è quello relativo al moderno "design" delle macchine agricole di più recente concezione.

Un aspetto estetico accattivante costituisce oggi un requisito indispensabile per avere un buon successo di mercato.

Non disponendo il mercato delle macchine agricole di volumi sufficientemente elevati di unità per giustificare l'impiego di stampi per lamiera, l'uso di materie plastiche rinforzate con fibre di vetro è sempre più diffusa.

Vengono impiegate sofisticate tecnologie pneumatiche di stampaggio a caldo per la realizzazione di pannellature per carrozzeria di aspetto gradevole.

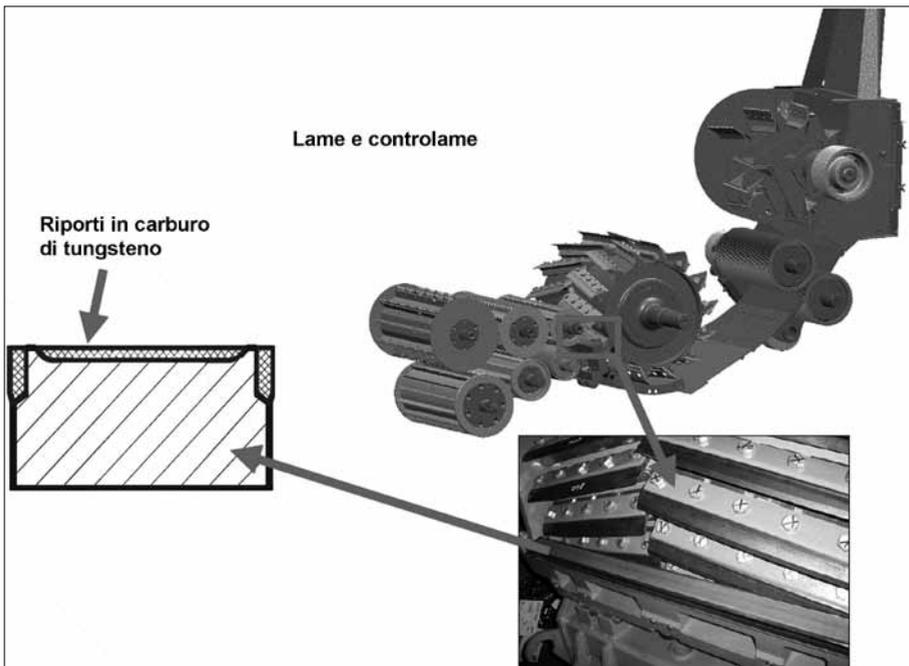


Fig. 6 Organi di trinciatura con riporti in materiali speciali ad alta resistenza

Anche in termini di peso le materie plastiche offrono importanti vantaggi: l'uso di polietilene a bassa densità, ad esempio, consente di ridurre il peso dei serbatoi del 70% rispetto alla tradizionale lamiera.

TECNOLOGIE PER L'AUTOMAZIONE DELLE OPERAZIONI

Certamente l'elettronica e l'automazione costituiscono l'innovazione radicale che ha maggiormente caratterizzato le linee evolutive delle moderne macchine e degli impianti agricoli.

Gli enormi sviluppi dell'elettronica digitale e delle tecnologie informatiche degli ultimi decenni hanno portato allo sviluppo di sistemi sempre più sofisticati in grado di controllare e ottimizzare i parametri evolutivi delle macchine adattandoli alle condizioni di funzionamento e alle importazioni scelte, senza la necessità dell'intervento diretto dell'operatore.

Siamo, quindi, entrati in quella che, con un neologismo di efficace sintesi, si definisce "meccatronica", a indicare la capacità delle macchine di avvalersi di un mix di elettronica e informatica per sistemi di automazione sempre più evoluti (fig. 7).

Si può a buona ragione ritenere che la meccatronica rappresenti l'ultimo grande "salto evolutivo", di portata non inferiore alle grandi *innovazioni radicali* che hanno trasformato la meccanizzazione agricola nel corso della sua storia (fig. 8).

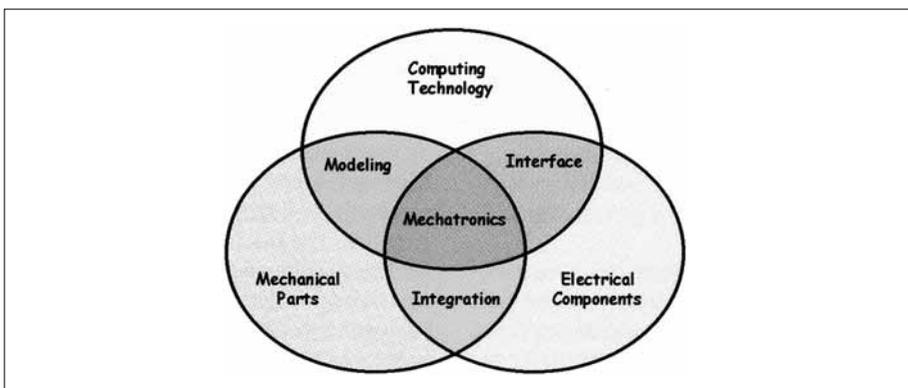


Fig. 7 La meccatronica combina tecnologie meccaniche, elettroniche e informatiche ottimizzando la funzionalità

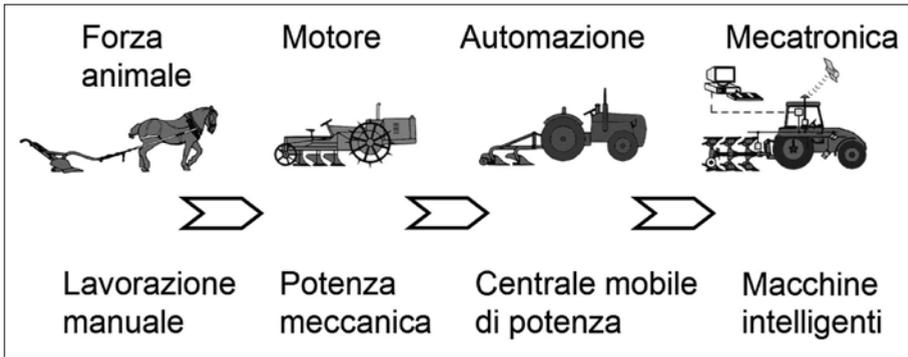


Fig. 8 Le innovazioni radicali che hanno caratterizzato lo sviluppo della meccanizzazione agricola

L'AUTOMAZIONE NELLE MACCHINE MOTRICI

La macchina sulla quale per prima e con maggiore intensità l'automazione ha trovato ampia e rapida diffusione è senza dubbio il trattore agricolo.

Tutte le principali funzioni che stanno alla base del funzionamento del trattore quali: il controllo dell'iniezione, la gestione della trasmissione alle ruote, l'inserimento della PTO e della trazione all'assale anteriore, ecc., sono automatizzate grazie a sofisticati sistemi di regolazione.

È sufficiente entrare nella cabina di un moderno trattore per vedere come pulsanti, joystick, led e display grafici hanno integralmente sostituito indicatori e leveraggi meccanici (fig. 9). Ciò a portato, da un lato, all'applicazione di controllo automatici e servomeccanismi che hanno reso molto più ergonomica e sicura la guida della macchina e, dall'altro, a una serie di miglioramenti funzionali che consentono una sostanziale ottimizzazione delle prestazioni.

Tali benefici sono particolarmente evidenti nei motori che, con l'introduzione dei moderni sistemi di *controllo elettronico dell'iniezione*, hanno visto un radicale miglioramento delle loro prestazioni.

Essi, infatti, rendono possibile regolare con estrema precisione la quantità di combustibile e il momento dell'iniezione, modulando l'immissione del gasolio nel cilindro al fine di ottimizzare la combustione in tutte le diverse condizioni operative. I sistemi più sofisticati sono in grado, nel pur breve tempo disponibile, di frazionare l'immissione del combustibile in un'*iniezione pilota* di una piccolissima quantità di combustibile ($1 \div 4 \text{ mm}^3$) che prepara e ottimizza le condizioni per la successiva *iniezione principale*, con il risultato di ottenere consistenti miglioramenti in termini di rumorosità, consumo di combustibile e residui di combustione nei gas di scarico. In alcuni casi si ha



Fig. 9 Lo sviluppo tecnologico ha profondamente modificato l'interfaccia uomo-macchina

anche una ulteriore *iniezione secondaria*, all'inizio della fase di espansione, al fine di ridurre l'emissione degli NO_x .

Un'altra importante evoluzione dell'automazione è costituita dallo sviluppo delle trasmissioni tipo powershift e dei sistemi di variazione continua del rapporto di trasmissione (CVT - Continuously Variable Transmission) (fig. 10). Tali dispositivi consentono di realizzare sistemi di *gestione automatizzata della trasmissione*, in grado di ottimizzare la scelta del rapporto in funzione dei diversi parametri operativi.

Ciò è reso possibile dalla comunicazione, tramite il Bus di sistema, delle diverse ECU di controllo (motore, sollevatore, trasmissione, ecc.), che consente l'interscambio dei diversi parametri di funzionamento e il confronto con le impostazioni selezionate dall'operatore. Su tali basi il sistema sceglie in modo automatico il trasporto di trasmissione ottimale per l'esecuzione dell'operazione in atto.

Lo sviluppo di sistemi di gestione elettronica della trasmissione consente anche l'automazione di operazioni ripetitive quali, ad esempio, le manovre necessarie a fondo campo che vengono memorizzate e riprodotti con il semplice azionamento di un pulsante.

Considerando il migliore rendimento del motore ottenibile con la gestione elettronica dell'iniezione e la possibilità di operare sempre in condizioni

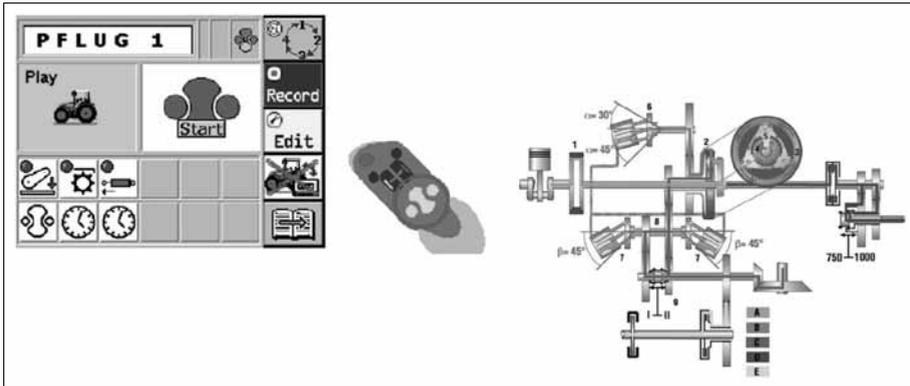


Fig. 10 *La gestione elettronica della trasmissione ha grandemente ampliato la loro funzionalità*

ottimali assicurata dalla gestione automatizzata della trasmissione, si può valutare una riduzione complessiva del consumo di combustibile dell'ordine del 28-30%.

L'automazione nelle macchine operatrici

Le principali linee di sviluppo dell'automazione nelle macchine operatrici riguardano:

- l'ottimizzazione operativa e funzionale;
- la riduzione dell'impatto ambientale;
- i sistemi informativi per l'ottimizzazione della gestione delle macchine;
- la tracciabilità aziendale;
- la qualità dei prodotti.

Un significativo esempio è costituito dalle mietitrebbiatrici che, per la loro complessità meccanica e funzionale, hanno già da tempo visto un'intensa applicazione dell'elettronica per rendere più agevole ed efficace lo svolgimento delle operazioni.

Ormai generalizzato è l'impiego di monitor di controllo per la regolazione in modo automatico dei parametri operativi della piattaforma di taglio e degli apparati di pulizia. Per quanto riguarda, in particolare, il rilievo delle perdite di granella, i moderni rilevatori sono in grado di rapportare la quantità di granella persa alla velocità di avanzamento della macchina e alla produttività, fornendo così un valore assoluto delle perdite percentuali e segnalando all'operatore su quale apparato intervenire per ridurre a valori ottimali tali perdite.

Tra le applicazioni di maggiore interesse ambientale delle tecnologie elettroniche vi è certamente quella relativa al *controllo della dose di prodotto distribuito*.

I moderni sensori per il rilievo della velocità e della portata, oggi semplici ed economici, hanno portato alla diffusione dei sistemi DPA (Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento) nei quali, una volta impostati tramite la centralina di controllo il valore della quantità di prodotto che deve essere distribuito per ettaro, la portata invariata agli ugelli viene automaticamente regolata in funzione della velocità di avanzamento del trattore per mantenere il valore voluto della dose distribuita.

In grande evoluzione sono anche le ricerche in atto per giungere alla *distribuzione differenziata degli "input"* secondo, da un lato, le caratteristiche del prodotto (tipo di prodotto attivo, concentrazione di azoto, ecc.) e, dall'altro, le esigenze localizzate delle colture e di aree particolarmente sensibili, al fine di garantire una migliore sostenibilità ambientale dei processi agricoli (fig. 11).



Fig. 11 *Monitoraggio della distribuzione dei liquami con sistemi GPS*

L'acquisizione delle capacità di comunicare e scambiare dati fra le diverse centrali elettroniche di controllo (ECU), ottenuta con lo sviluppo di reti elettriche in grado di trasportare e riconoscere pacchetti di dati digitali (*sistemi CAN-BUS*) (fig. 12), ha consentito, poi, di trasformare i dati grezzi in *informazioni* che diventano così elementi attivi nell'ambito di processi gestionali, sia operativi, sia direttivi, giungendo a definire i *sistemi informatici aziendali* (fig. 13).

Ciò si realizza integrando meccanica, elettronica e informatica in sistemi articolati che comprendono:

- tecnologie elettroniche preposte, sia all'acquisizione dei dati, sia alla loro utilizzazione per la regolazione e il controllo del processo;

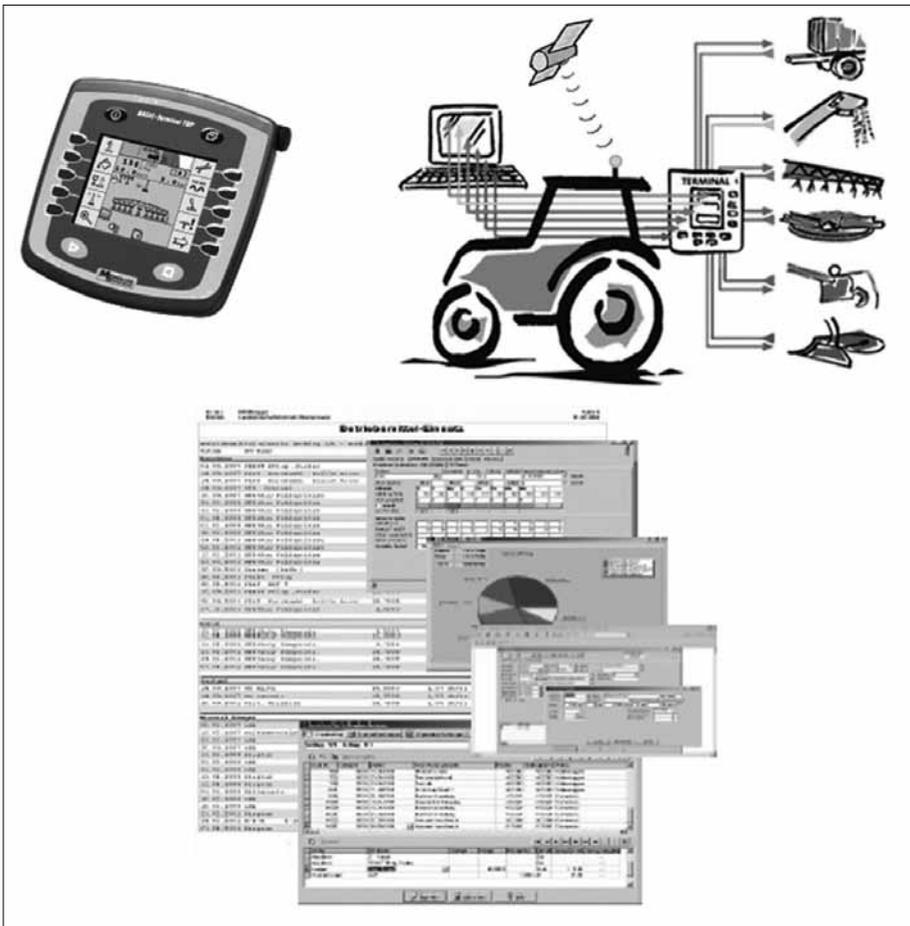


Fig. 12 Gestione automatizzata dei dati operativi delle macchine

- tecnologie di posizionamento, per la collocazione spaziale dell'informazione all'interno del sistema aziendale;
- tecnologie informatiche hardware, per la gestione fisica delle informazioni (registrazione, visualizzazione, modifica e trasmissione dei dati);
- tecnologie informatiche software, per la loro elaborazione e la definizione di modelli e strategie.

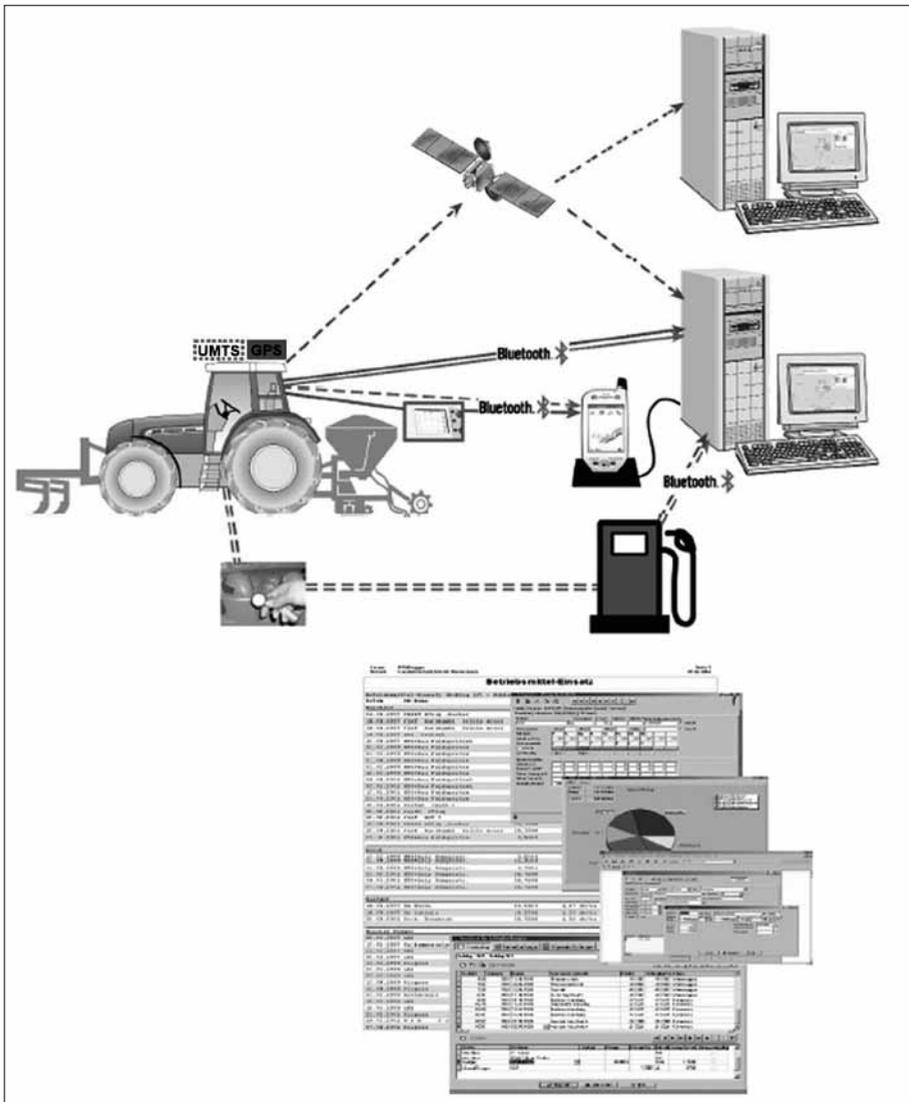


Fig. 13 Il sistema informatico aziendale consente di ottimizzare la gestione dell'azienda

Si sviluppano così i sistemi informativi aziendali nei quali è possibile:

- raccogliere i dati inerenti a ciascun singolo evento operativo;
- elaborare e archiviare i dati raccolti;
- utilizzare tali informazioni secondo le strategie aziendali definite.

Un'ulteriore applicazione dei sistemi informativi aziendali riguarda la possibilità di definire soluzioni atte a consentire la *tracciabilità dei prodotti*.

Grazie ai sistemi informativi aziendali, integrati dai sistemi di identificazione tipo “wireless” in grado di riconoscere prodotto e/o animali, si possono costituire sistemi di tracciabilità in cui tutti i processi e le fasi produttive svolti durante il ciclo produttivo aziendale vengono monitorati e memorizzati in un opportuno *database* in grado di associare a ogni lotto di prodotto (vegetale o animale) tutte le informazioni concernenti le operazioni colturali e i trattamenti subiti dal prodotto stesso.

È possibile, ad esempio, dotare la bocca di carico delle irroratrici di una antenna di lettura RFID in grado di leggere e memorizzare le informazioni contenute in una etichetta transponder posta sul contenitore all'atto del riempimento del serbatoio. Ciò consente di registrare automaticamente, durante l'intero arco della stagione produttiva, i principi attivi utilizzati e le dosi applicate sui diversi appezzamenti, creando una etichetta virtuale che documenti la storia produttiva del relativo lotto di prodotto.

Un aspetto, infine, in cui le tecnologie elettroniche avanzate hanno portato un innovativo contributo è quello della *valutazione della qualità* con tecniche non distruttive. Qualità e salubrità costituiscono, infatti, elementi di sempre maggiore importanza per soddisfare le crescenti esigenze del consumatore e conferire valore aggiunto ai prodotti.

I recenti sviluppi della sensoristica hanno messo a punto sofisticati sistemi di misura in grado di “leggere” anche i parametri interni del prodotto quali, umidità, contenuto proteico, grado zuccherino, ecc., così da selezionare partite con caratteristiche standardizzate e garantite.

Diversi sono i fenomeni fisici utilizzati, quali la conduttività elettrica, che consente l'analisi delle caratteristiche di liquidi (cellule somatiche nel latte, contenuto di azoto nei liquami, ecc.), e le tecniche ottiche per la stima della qualità basate sul diverso assorbimento della luce in funzione della composizione del prodotto.

Circa questo ultimo punto in particolare, molto attiva è la ricerca sulle applicazioni della spettroscopia al vicino infrarosso (NIR - *Near Infra-Red*), basata sull'analisi della luce che penetra all'interno del frutto, per misurare composti organici in matrici diverse (fig. 14).

Si tratta di una tecnica non distruttiva, rapida e di facile impiego ormai largamente utilizzata sia per valutazioni di tipo qualitativo su cereali, ortofrutta, carni e prodotti lattiero-caseari, sia per individuare stati di conta-

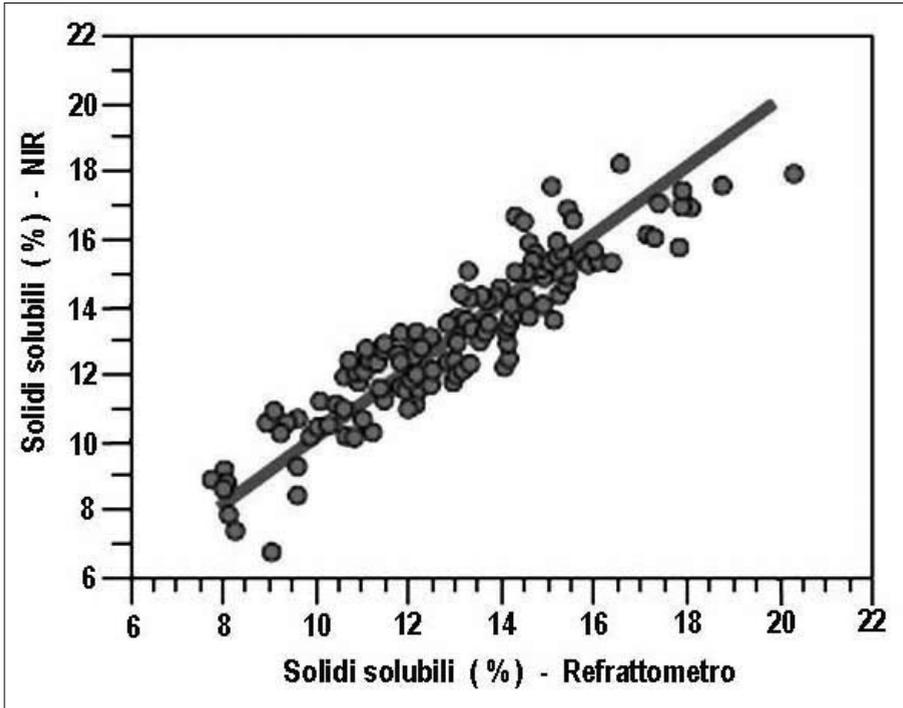


Fig. 14 *Correlazione fra valori del contenuto di zucchero rilevati su pesche con tecnologia Nir e con metodi di laboratorio*

minazione diversi quali, ad esempio, la presenza di micotossine in farine e granella.

Il suo impiego è ormai consolidato a livello di laboratorio, ma trova anche applicazione in strumenti portatili per l'analisi in campo e su linee continue di cernita.

CONCLUSIONI

L'evoluzione dello sviluppo delle tecnologie meccaniche ha subito una radicale trasformazione per effetto dell'integrazione fra elettronica e informatica che ne ha enormemente ampliato le possibilità e le prospettive.

La prima ha grandemente aumentato la capacità di acquisizione dei dati, sia relativi ai parametri operativi delle macchine, sia per quanto riguarda le colture e l'ambiente esterno. Il rapidissimo sviluppo delle seconde, poi, ha portato alla realizzazione di sistemi di gestione delle informazioni sempre più

evoluti, in grado di interfacciarsi con le colture e ottimizzare gli aspetti funzionali e operativi delle macchine.

Una evoluzione così profonda e radicale, tuttavia, richiede da parte degli utilizzatori e del mondo dell'università e della ricerca un altrettanto profondo rinnovamento per adeguarsi al nuovo modo di gestire le tecnologie e i processi al fine di sfruttare integralmente e al meglio il grande potenziale offerto.

Emerge, quindi, con molta evidenza come lo sviluppo delle tecnologie sia associato, da un lato, a una adeguata formazione al fine di fornire agli utenti quelle capacità tecniche che sono indispensabili per sfruttare pienamente strumenti operativi di così elevata complessità e, dall'altro, a una attenta sperimentazione che consenta di valutare gli effettivi benefici economici e funzionali connessi all'impiego di tali strumenti.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1999): *Diesel-engine management*, Ed. Bosch, SAE.
- ADAMCHUK V.I., LUND E.D. ET AL. (2007): *Evaluation of an on-the-go technology for soil pH mapping*, «Precision Agriculture», vol. 8, pp. 139-149.
- AL-MAHASNEH M.A., COLVIN T.S. (2000): *Verification of yield monitor performance for on-the-go measurement of yield with an in-board electronic scale*, «Transactions of the ASAE», vol. 43, pp. 801-807.
- BASSO B., SARTORI L., BERTOCCO M. (2005): *Agricoltura di precisione: concetti teorici e applicazioni pratiche*, Edizioni L'Informatore Agrario, Verona, pp. 156.
- BEAL J.P., TIAN L.F. (2001): *Time shift evaluation on to improve yield map quality*, «Applied Engineering in Agriculture», vol. 17, pp. 385-390.
- BEGIEBING S., BACH H., WEHRHAN M., MAUSER W. (2006): *Derivation of canopy parameters of wheat using hyperspectral, directional remote sensing data and the canopy reflectance model SLC*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 317-318.
- BENNEWIS R.K. (2006): *Facilitating agriculture automation using standards*, Atti 17th Meeting Club of Bologna, Bonn, 3 settembre 2006, pp. 59-72.
- BERTOCCO M. (2007): *Sistemi informativi elettronici di bordo*, «L'Informatore Agrario», Supplemento al n. 26, pp. 33-36.
- BERTOCCO M. (2007): *Attuatori per dosaggio variabile*, «L'Informatore Agrario», Supplemento al n. 26, pp. 38-41.
- BODRIA L. (1988): *L'elettronica per il controllo delle macchine agricole e degli impianti aziendali*, Atti IV Convegno Nazionale di Genio Rurale, Quaderno n. 10, «Rivista di Ingegneria Agraria», Edagricole, pp. 664-675.
- BODRIA L. (2002): *L'elettronica nelle macchine agricole*, «Progettare», vol. 261, pp. 53-57.
- BONGIOVANNI R., LOWENBERG-DEBOER J. (2004): *Precision agriculture and sustainability*, «Precision Agriculture», vol. 5.
- CALCANTE A., MAZZETTO F., OBERTI R., BRANCADORO L. (2006): *Ultrasonic canopy sensing for precision viticulture practice*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on

- Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 339-340.
- CATALANO P., GIAMETTA F., SIMONI A. (2006): *Traceability in beef cattle breeding farms*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 775-776.
- CHANET J.P., BOFFETY D., ANDRÉ G., VIGIER F. (2006): *Ad hoc network for agriculture: irrigation management*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 273-274.
- CHENG X., TAO Y., CHEN Y.R., LUO Y. (2003): *Nir/Mir dual-sensor machine vision system for online apple stem-end/calyx recognition*, «Transaction of the ASAE», vol. 46, pp. 551-558.
- CHUNG S.O., SUDDUTH K.A., DRUMMOND S.T. (2002): *Determining yield monitoring system delay time with geostatistical and data segmentation approaches*, «Transactions of the ASAE», vol. 45, pp. 915-926.
- COATES W. (2002): *Performance evaluation of three-point hitch guidance systems*, «Applied Engineering in Agriculture», vol. 18, pp. 657-660.
- DOMSCH H., HEISIG M., WITZKE K. (2007): *Estimation of yield maps using yield data from a few tracks of a combine harvester and aerial images*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 289-296.
- DUNN P.K., POWIERSKI A.P., HILL R. (2006): *Statistical evaluation of data from tractor guidance systems*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 179-192.
- EHLERT D., DAMMER K.H. (2006): *Widescale testing of the crop-meter for site-specific farming*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 10-115.
- EISELE E.L., GUGEL R., REINARDS M., SCHÄFER H., TARASINSKI N. (2006): *Power assisted transmission shift unit*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 113-114.
- FENDER F., HANNEKEN M., IN DER STROTH S., KIELHORN A., LINZ A., RUCKELSHAUSEN A. (2006): *Ad hoc network for agriculture: irrigation management*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 279-280.
- FOUNTANS S., BLACKMORE S., ESS D., HAWKINS S., BLUMHOFF G., LOWENBERG-DEBOER J., SORENSEN C.G. (2005): *Farmer experience with precision agriculture in Denmark and the US Eastern Corn Belt*, «Precision Agriculture», vol. 6, pp. 121-141.
- GEYER S., WORMANN G., JACOBS A. (2006): *Electronic image catalogue of food defects assessing fruit and vegetable quality*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 627-628.
- GILES D.K., SLAUGHTER D.C. (1997): *Precision band spraying with machine-vision guidance and adjustable yaw nozzles*, «Transactions of the ASAE», vol. 40, pp. 29-36.
- GIL-SIERRA J., ORTIZ-CAÑAVATE J., GIL-QUIRÓS V., CASANOVA J. (2006): *Energy efficiency in agricultural tractors. A methodology for their classification*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 111-112.
- GÓMEZ SANCHIS J., BLASCO J., ALEIXOS N., JUSTE F., MOLTÓ E. (2006): *Hyperspectral computer vision systems for the detection of *Penicillium digitatum* in citrus packinglines*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 241-242.
- GRIEPENTROG H.W., NØRREMARK M., NIELSEN J. (2006): *Autonomous intra-row rotor*

- weeding based on GPS*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 325-326.
- GRIEPENTROG H.W., NØRREMARK M., SORIANO J.F. (2006): *Close-to-crop thermal weed control using a CO₂ laser*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 327-328.
- GRIFFIN T.W., DOBBINS C.L., LOWENBERG-DEBOER J. (2007): *Case study of on-farm trials, spatial analysis and farm management decision making*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 745-752.
- GUTIERREZ A., CHUECA P., MOLTÓ E. (2006): *Automatic machine for foliar application of bait insecticides*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 239-240.
- HOFMANN R. (2006): *Software in tractors: aspects of development, maintenance and support*, Atti 17th Meeting Club of Bologna, Bonn, 3 settembre 2006, pp- 17-28.
- IRMAK A., JONES J.W., BATCHELOR W.D., PAZ J.O. (2002): *Linking multiple layers of information for diagnosing causes of spatial yield variability in soybean*, «Transactions of the ASAE», vol. 45, pp. 839-849.
- JAFARI L., MOHTASEBI S.S., EGHBALI H., OMID M. (2006): *Using artificial neural networks in color image segmentation for weed detection*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany, pp. 209-214.
- JØRGENSEN J.R., JØRGENSEN R.N. (2007): *Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen*, «Precision Agriculture», vol. 8, pp. 63-73.
- KHOSLA R., IMMAN D., WESTFALL D.G. (2007): *Site-specific management zones: seven years of research in the irrigated Western Great Plains of the US*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 607-614.
- KORSAETH A., RILEY H. (2006): *Estimation of economic and environmental potentials of variable rate versus uniform N fertilizer application to spring barley on morainic soils in SE Norway*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 265-279.
- KUCKENBERG J., TARTACHNYK I., SCHMITZ-EIBERGER M., NOGA G. (2007): *Early detection of leaf rust and powdery mildew infections on wheat leaves by PAM fluorescence imaging*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 515-522.
- KUNAVUT J., SCHUELLER J.K., MASON P.A.C. (2000): *Continuous control of a sprayer pinch valve*, «Transactions of the ASAE», vol. 43, pp. 829-837.
- LANGNER H.R., EHLERT D., FALKE A., DUSCHER G. (2006): *Application potentials of fieldscouts*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany, pp. 23-32.
- LARSOLLE A., HAMID MUHAMMED H. (2007): *Measuring crop status using multivariate analysis of hyperspectral field reflectance with application to disease severity and plant density*, «Precision Agriculture», vol. 8, pp. 37-47.
- LENTHE J.H., OERKE E.C., DEHNE H.W. (2007): *Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat*, «Precision Agriculture», vol. 8, pp. 15-26.
- LENZ J., LANDMAN R. (2006): *Software quality in distributed embedded systems*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany, pp. 303-308.
- MALEKI M.R., MOUAZEN A.M., RAMON H., DE BAERDEMAEKER J. (2006): *Optimisation of variable rate application systems of soil phosphorus using on-line VIS-NIR sensor*,

- Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 295-296.
- MARTENSEN K. (2005): *Progress in typical materials for agricultural machinery*, Atti 16th Meeting Club of Bologna, Bologna, 13-14 novembre 2005, pp. 161-169.
- MCBRATNEY A., WHELAN B., ANCEV T. (2005): *Future directions of precision agriculture*, «Precision Agriculture», vol. 6, pp. 7-23.
- MCCANN I.R., KING B.A., STARK J.C. (1997): *Variable rate water and chemical application for continuous-move sprinkler irrigation systems*, «Transactions of the ASAE», vol. 13, pp. 609-615.
- MIETTINEN M., OKSANEN T., ÖHMAN M., SUOMI P., VISALA A. (2006): *Fault diagnostics in agricultural machines*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany, pp. 191-200.
- MIETTINEN M., OKSANEN T., ÖHMAN M., VISALA A. (2006): *Implementation of ISO 11783 compatible task controller*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 275-276.
- MOSHOU D., BRAVO C., WAHLEN S., WEST J., MCCARTNEY A., BAERDEMAEKER J., RAMON H. (2006): *Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops using proximal optical sensing and self-organising maps*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 149-164.
- MOUAZEN A.M., KAROUY R., DE BAERDEMAEKER J., RAMON H. (2007): *Classification of soil texture classes for on-the-go management of soil VIS-NIR spectra*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 109-116.
- NI B., PAULSEN M.R., REID J.F. (1998): *Size grading of corn kernels with machine vision*, «Applied Engineering in Agriculture», vol. 15, pp. 567-571.
- NIENABER G., DIEKHANS N. (2006): *Accuracy analysis of GPS based autoguidance systems*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 329-330.
- OSTERMEIER R., ROGGE H.I., AUERNHAMMER H. (2006): *Multisensor data fusion implementation for a sensor based fertilizer application system*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany, pp. 215-225.
- PEETS S., GASPARIN C.P., BLACKBURN D.W.K., GODWIN R.J. (2007): *RFID tags for identifying and verifying agrochemicals in traceability systems*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 801-808.
- PERSSON D.A., EKLUNDH L., ALGERBO P.A. (2004): *Evaluation of an optical sensor for tuber yield monitoring*, «Transactions of the ASAE», vol. 47, pp. 1851-1856.
- PETTERSSON C.-G., SÖDERSTRÖM M., ECKERSTEN H. (2006): *Canopy reflectance, thermal stress, and apparent soil electrical conductivity as predictors of within-field variability in grain yield and grain protein of malting barley*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 343-359.
- REID J.F. (2006): *Perception-based autonomy for a tree-fruit production system*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany (oral).
- REID J.F., NORRIS W.R., SCHUELLER J. (2003): *How to reduce manufacturing and management costs of tractors and agricultural equipment*, Atti 14th Meeting Club of Bologna, Bologna, 16-17 novembre 2003, pp. 17-25.

- REYNS P., MISSOTTEN B., RAMON H., DE BAERDEMAEKER J. (2002): *A review of combine sensors for precision farming*, «Precision Agriculture», vol. 3, pp. 169-182.
- RIDER T.W., VOGEL J.W., DILLE J.A. ET AL. (2006): *An economic evaluation of site-specific herbicide application*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 379-392.
- RUFFO M.L., BOLLERO G.A., BULLOCK D.S. ET AL. (2006): *Site-specific production functions for variable rate corn nitrogen fertilization*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 327-342.
- SIMONE G., WILHELM C. (2006): *Sensor based estimation of grain protein content in wheat*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 285-286.
- STEINBERGER G., ROTHMUND M., AUERNHAMMER H. (2006): *Agricultural process data service (APDS)*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 271-272.
- SUOMI P., OKSANEN T., PESONEN L., KAIVOSOJA J., HAAPALA H., VISALA A. (2006): *Ad hoc network for agriculture: irrigation management*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 277-278.
- SZENTE M. (2006): *Slip calculation and analysis for four-wheel drive tractors*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 109-110.
- TARTACHNYK I.L., RADEMACHER I., KÜHBAUCH W. (2006): *Distinguishing nitrogen deficiency and fungal infection of winter wheat by laser-induced fluorescence*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 281-293.
- THÖLE H., RICHTER C., KROSCHEWSKI B., EHLERT D. (2007): *Evaluation of site-specific N-fertilization strip trials in cereals taking account of spatial correlation of yield data*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 309-314.
- THOMAS R.S., BUCKMASTER D.R. (2005): *Development of a computer-controlled, hydraulic, power take-off (pto) system*, «Transactions of the ASAE», vol. 48, pp. 1669-1675.
- THOMASSON J.A., GE Y., SUI R. (2007): *Information integration between farm and processing facility*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 381-388.
- VIROLAINEN V., PESONEN L., KAIVOSOJA J., OITTINEN J., KIVIPELTO J. (2006): *Remote assisted task management for ISOBUS equipped tractor-implement combination*, Proceedings of the International Conference on Automation technology for off-road equipment, 1-2 September, Bonn, Germany, pp. 145-150.
- VONDRICKA J., HLOBEN P., SCHULZE LAMMERS P. (2006): *Study on the mixing process in direct injection systems for site-specific herbicide application*, Abstract of the XVI CIGR World Congress on Agricultural Engineering for a better world, 3-7 September, Bonn, Germany, pp. 321-322.
- WAGNER P., SCHNEIDER M. (2007): *Economic benefits of neural network-generated site-specific decision rules for nitrogen fertilization*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 775-782.
- WALKLATE P.J., CROSS J.V., RICHARDSON G.M., HARRIS A.L. (2007): *Modelling the variability of spray deposit on orchard structures*, Proceeding of the 6th European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos, Greece, pp. 589-596.
- WELLS L.G., STOMBAUGH T.S., SHEARER S.A. (2005): *Crop yield response to precision deep tillage*, «Transactions of the ASAE», vol. 48, pp. 895-901.

- WONG M.T.F., ASSENG S., ZHANG H. (2006): *A flexible approach to managing variability in grain yield and nitrate leaching at within-field to farm scales*, «Precision Agriculture», vol. 7, pp. 405-417.
- YANG C., EVERITT J.H., BRADFORD J.M., ESCOBAR D.E. (2000): *Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery*, «Transactions of the ASAE», vol. 43, pp. 1927-1938.
- ZAMAN Q.U., SCHUMANN A.W., HOSTLER H.K. (2006): *Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size*, «Applied Engineering in Agriculture», vol. 22, pp. 39-44.
- ZHANG N., TAYLOR R.K. (2001): *Applications of a field-level geographic information systems (gis) in precision agriculture*, «Applied Engineering in Agriculture», vol. 17, pp. 885-892.

Finito di stampare in Firenze
presso la tipografia editrice Polistampa
nel mese di ottobre 2010

