

Giornata di studio su:

L'automazione nel comparto orto-floricolo

Firenze, 29 aprile 2010

Robotica e automazione per le colture protette

INTRODUZIONE

La robotica e l'automazione sono tecnologie che hanno contribuito a incrementare la competitività, talvolta rivoluzionandone addirittura l'organizzazione, di molti settori produttivi, specialmente nel comparto manifatturiero. La chiave di questo successo si può riassumere nella capacità di svolgere attività ripetitive con grande precisione e omogeneità di risultato, anche in contesti potenzialmente difficili o pericolosi per l'uomo (si pensi, ad esempio, alle operazioni di verniciatura e pressatura nel comparto automotive). Il tutto va unito alla possibilità di ottenere lavorazioni con tempi di esecuzione ridotti e lunghi cicli di lavoro senza interruzione.

L'introduzione di sistemi produttivi automatizzati ha permesso e stimolato l'adozione di nuovi protocolli e paradigmi organizzativi che hanno rivoluzionato, in molti casi, la pianificazione e la logistica della produzione. La flessibilità che gli impianti hanno potuto acquisire adattandosi a lavorazioni diverse, fino arrivare alla personalizzazione a livello di lotti di prodotto, se non addirittura a livello di singolo elemento, ha permesso di ridurre i costi, andando a soddisfare in maniera sempre più puntuale e completa le esigenze del mercato e dei clienti. Analogamente al settore dell'auto, dove l'introduzione di queste nuove modalità produttive è maggiormente percepibile, anche dal consumatore finale, molti sono i comparti che hanno goduto di questi nuovi strumenti.

Per una serie di fattori, che verranno discussi in dettaglio nella sezione seguente, il comparto orto-floricolo, sebbene abbia finora goduto solo marginal-

* *Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria Forestale e Ambientale*

mente delle opportunità offerte dall'automazione e dalla robotica, presenta degli ampi margini di sviluppo per la meccanizzazione attraverso l'introduzione di queste nuove tecnologie. L'introduzione di sistemi automatizzati nelle aziende agricole specializzate in colture intensive a elevato valore aggiunto potrà essere uno degli strumenti determinanti per affrontare la competizione rispetto a tradizionali concorrenti quali i paesi del nord Europa o nuove realtà emergenti quali il sud Europa o il nord e centro Africa, forti di un minore costo della manodopera e, in taluni casi, di normative meno severe per la tutela dell'ambiente.

I vantaggi derivanti dall'introduzione della robotica e dell'automazione saranno amplificati se la filiera, e tutte le fasi costituenti i processi produttivi e di distribuzione, verranno adeguate e aggiornate in maniera da asservire, integrarsi e infine godere delle nuove possibilità offerte. Particolare attenzione andrà posta anche all'integrazione con i sistemi ICT, ovvero con i sistemi informativi che sottintendono ai processi di tracciabilità di prodotto e agli aspetti commerciali e di pianificazione della produzione.

Scopo di questa memoria è tracciare un quadro relativo ai possibili contesti nei quali le nuove tecnologie stanno trovando, o potrebbero trovare nell'immediato futuro, un proficuo impiego, delineando, quando possibile, anche le ragioni che possono aver ritardato il trasferimento tecnologico in questo settore. Infine verranno presentate alcune soluzioni recentemente sviluppate dall'unità di ricerca del Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria Forestale e Ambientale dell'Università degli Studi di Torino in questo settore e, in particolare, al progetto e alla sperimentazione di celle robotizzate multifunzionali per colture in serra.

AUTOMAZIONE E ROBOTICA: CONTESTI E OPPORTUNITÀ

L'automazione per le colture protette ha già raggiunto un soddisfacente livello di maturità nelle installazioni che riguardano principalmente il controllo delle condizioni climatiche e di illuminazione nelle serre. In tale contesto è normale, infatti, trovare installati sistemi integrati, ad esempio, per il riscaldamento invernale, per la movimentazione delle tende diurne e notturne, per la gestione motorizzata delle aperture per la ventilazione e il controllo climatico nel periodo estivo. Analogamente, l'automazione ha trovato applicazione nei sistemi di controllo dell'irrigazione, della fertirrigazione e dei sistemi colturali fuori suolo in generale.

La meccanizzazione è, invece, un settore nel quale l'automazione ha ancora trovato solo limitate applicazioni. Riscontriamo, infatti, principalmente la

disponibilità di macchine per lo svolgimento di singole e specifiche operazioni colturali. Sebbene queste macchine abbiano oggi raggiunto un'elevata affidabilità, associata alla capacità di garantire elevati carichi di lavoro, il loro utilizzo risulta limitato a singoli e specifici interventi. Si rimarca, infatti, ancora la mancanza di macchine multifunzionali per la gestione globale delle operazioni colturali durante tutto il ciclo di accrescimento. Una soluzione aziendale basata su più macchine distinte, ognuna dedicata a una specifica operazione, potrebbe non essere ottimale in termini di costi e di spazi occupati. Alcuni componenti o servizi, quali quelli dedicati alla movimentazione e alla manipolazione dei prodotti, si troverebbero, infatti, a essere replicati su ciascuna singola macchina. Infine, vi è da rimarcare che non tutte le operazioni colturali hanno finora trovato supporto in una o più macchine dedicate. Vi sono, infatti, alcune operazioni che, richiedendo un livello di destrezza che oggi solo un operatore specializzato è in grado di fornire, non hanno ancora trovato una soluzione di tipo meccanico per la loro conduzione. Tali operazioni, quali, ad esempio, l'innesto erbaceo nel comparto vivaistico, costituiscono una delle principali e quindi maggiormente critiche fasi del processo, incidendo significativamente sul budget complessivo.

Tra i principali fattori che hanno ritardato l'introduzione dell'automazione e della robotica in agricoltura e nel comparto orto-floricolo sicuramente dobbiamo considerare l'intrinseca difficoltà dell'interazione macchina-target, seguita dalla vulnerabilità della maggior parte delle attuali soluzioni robotizzate rispetto ad ambienti difficili, in termini di polvere, umidità e agenti chimici (Kassler, 2001). L'interazione, infatti, tra organi di presa e/o utensili meccanici e prodotti agricoli, proprio per la variabilità di forma, dimensione e colore di questi ultimi, rappresenta un problema non banale, al quale si sta cercando soluzione con lo sviluppo di nuovi attuatori, sensori e tecnologie per la visione artificiale. Da rimarcare che le soluzioni adottate nei tradizionali comparti produttivi manifatturieri, già ampiamente collaudate e mature, si basano tipicamente sull'assoluta regolarità e omogeneità dei target, considerando, in molti casi, come regola di scarto, proprio il non rispetto di prefissate tolleranze di dimensione e forma.

Un altro elemento da prendere in considerazione per le applicazioni in ambiente agricolo è il basso grado di strutturazione degli ambienti produttivi, che, al contrario, sono caratterizzati da un elevato numero di variabili ambientali non direttamente controllabili. In questo ambito, le produzioni ortovivaistiche, soprattutto nel caso di colture in serra, riescono a limitare in parte il problema, forti di una certa regolarità nella disposizione delle colture, delle strutture e disponendo di diversi servizi, quali superfici di appoggio rigide

(spesso in cemento), disponibilità di alimentazione elettrica, aria compressa e acqua. Sempre in questo contesto, diverse grandezze, quali la temperatura, l'umidità e la luce, spesso sono già regolate da un sistema di controllo integrato nella serra. Tra le opportunità, infine, soprattutto per le applicazioni connesse alla tracciabilità, si ricorda la disponibilità di accesso a reti dati.

Un ultimo fattore del quale bisogna tenere conto è il costo delle soluzioni robotizzate che deve essere, in definitiva, compatibile con il contesto produttivo a cui le soluzioni stesse sono dedicate (Pedersen et al., 2006). Da questo punto di vista, le colture ortofloricole sono forse tra quelle che possono meglio giustificare investimenti tecnologici di una certa rilevanza.

Al fine di definire, invece, quali possano essere le potenzialità e le opportunità derivanti dall'impiego di sistemi robotizzati nel comparto orto-floricolo, occorre definire le specifiche e le caratteristiche tecnico-funzionali che queste macchine dovranno possedere, così come le prestazioni che dovranno essere raggiunte. Accanto alle già citate attrezzature dedicate allo svolgimento di singole operazioni specifiche, una grande potenzialità deriva dalla possibilità di introdurre macchine robotizzate flessibili, ovvero in grado di operare su colture diverse, conducendo differenti operazioni colturali sostituendo, di volta in volta, l'utensile impiegato. Rispetto ai robot normalmente utilizzati nel settore manifatturiero, queste macchine devono garantire specifiche di precisione più lasche, riducendo considerevolmente la complessità meccanica e, in definitiva, i costi. L'adattabilità rispetto ad ambienti produttivi e colture diverse permetterà il loro utilizzo durante tutto l'anno, garantendo un solido ritorno economico. Questo ultimo aspetto sarà essenziale per assicurare alle aziende la possibilità di diversificare le proprie produzioni, adattandole al meglio alle stagioni e alle richieste del mercato.

Macchine flessibili potranno condurre o asservire gli operatori in tutte le operazioni colturali. In taluni casi potrebbe essere conveniente incrementare l'interazione tra il robot principale e le macchine a elevato livello di automazione, già disponibili, per lo svolgimento di alcune operazioni specifiche quali, ad esempio, la semina, il travaso ecc., eliminando dalle singole macchine, in questa maniera, componenti e/o servizi ridondanti.

Il taluni casi, quali i trattamenti fitoiatrici, l'autonomia della macchina potrebbe aumentare il livello di sicurezza e protezione da agenti chimici agli operatori, potendo questi rimanere all'esterno delle serre durante i trattamenti (Balloni et al., 2008). Contemporaneamente, un'azione maggiormente mirata potrebbe garantire una più elevata omogeneità di trattamento, una riduzione nel consumo di fitofarmaci, con conseguente riduzione dell'inquinamento e dei costi.

LA RICERCA

La ricerca nell'ambito delle applicazioni robotizzate al comparto orto-floricolo può essere divisa in macro-settori dedicati alla ricerca di soluzioni innovative nei diversi ambiti. Seguendo l'analisi proposta in Comba et al. (2010), è possibile riassumere i diversi filoni di ricerca secondo le seguenti linee:

- robot per la conduzione di specifiche operazioni colturali, quali la raccolta, il trapianto, il controllo delle infestanti, la fertilizzazione, la cimatura ecc.; si tratta, in generale, della realizzazione di macchine autonome in grado di svolgere la specifica operazione colturale per la quale sono state progettate. Nella maggior parte dei casi l'obiettivo consiste nella realizzazione di macchine operanti a punto fisso all'interno della serra, anche se non è raro trovare prototipi che operano fuori dalle strutture protette, sia come agevolatrici che, più raramente, come macchine completamente autonome;
- utensili specifici ed end-effector per macchine robotizzate o a elevato livello di automazione: riguarda lo studio e la realizzazione di dispositivi meccanici e/o elettromeccanici in grado di svolgere operazioni non convenzionali per le quali è richiesto un particolare livello di destrezza o la sincronizzazione di più azioni elementari. Questi utensili sono concepiti per essere collegati a macchine già esistenti, migliorandone drasticamente le prestazioni. Esempi di questi dispositivi possono essere i sistemi a controllo ottico per la sarchiatura meccanica intra-fila selettiva, le pinze per l'allineamento adattativo per operazioni di innesto, i sistemi per il distacco controllato di frutti e fiori (es. fiori di zafferano);
- veicoli autonomi: si tratta di realizzare veicoli, tipicamente a trazione elettrica, in grado di muoversi agevolmente in ambienti ristretti, predisposti per poter ospitare componenti e dispositivi per la conduzione di operazioni colturali. Tra le diverse configurazioni sviluppate, si ricordano i sistemi a trazione a cingolo, a quattro ruote motorizzate individualmente, i veicoli con possibilità di sterzo indipendente per ogni ruota ecc.;
- sistemi per la localizzazione, generazione delle traiettorie e controllo della navigazione. Per quel che riguarda la localizzazione, le tecnologie dominanti sono quelle basate su GPS, D-GPS e RTK, mentre vi è molta attesa per i futuri sistemi basati su Galileo. Molto più vivace è la ricerca sulla generazione delle traiettorie e sul controllo della navigazione di flotte di veicoli autonomi, così come l'ottimizzazione dei percorsi finalizzata alla riduzione della compattazione del suolo;
- sistemi di visione artificiale e sensoristica: queste tecnologie, che si applicano a tutti i settori prima elencati, permettono alle macchine di operare

in contesti non perfettamente strutturati e deterministici, individuando e localizzando le colture, i prodotti, ma anche gli eventuali ostacoli, che si presentano in prossimità della macchina. Le soluzioni che propone la ricerca oggi si differenziano per il tipo di ripresa (nel visibile, nel vicino infrarosso o in particolari bande selezionate, come nel caso dell'hyper-spectral imaging) e per il tipo di visione (2D o 3D stereoscopica). Nel caso di visione stereoscopica, che prevede la presenza di due telecamere opportunamente calibrate, è possibile localizzare un target nello spazio, ricavandone le coordinate che possono essere utilizzate come riferimento per la generazione delle traiettorie e il controllo assi delle macchine;

- celle robotizzate multifunzionali per serre.

Questi macro-settori sono orientati allo sviluppo delle tecnologie che, opportunamente combinate, permetteranno la realizzazione di macchine a elevato livello di autonomia, meccanicamente efficienti e dotate di sensori e di sistemi per la visione artificiale in grado di garantire l'operatività in ambienti scarsamente strutturati.

Esistono tuttavia dei contesti mediamente strutturati, quali le serre di ultima generazione, all'interno delle quali potrebbero operare con successo, già oggi, macchine robotizzate multifunzionali. Su questa linea sta operando da anni il Laboratorio di Meccatronica Agraria del Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria Forestale e Ambientale (D.E.I.A.F.A.) dell'Università di Torino, affrontando lo sviluppo macchine robotizzate multifunzionali per colture protette. Per dimostrare le potenzialità di questi sistemi, l'unità ha realizzato due prototipi per la sperimentazione in serra (Gay, 2003; Belforte et al., 2006). Entrambe le macchine rispondono a requisiti progettuali riconducibili a:

- necessità di realizzare strutture meccaniche il più possibili semplici, di economica e facile installazione e manutenzione, basate su componentistica tradizionale;
- prospettiva di operare, in maniera privilegiata, a punto fisso, asserviti da sistemi di bancali mobili, considerando eventualmente la possibilità di configurare la macchina in grado di potersi dislocare secondo traiettorie prestabilite;
- richiesta di poter condurre operazioni colturali diverse, mediante sostituzione automatica dell'utensile;
- possibilità di operare su colture disposte su bancale, con individuazione delle stesse e coordinamento delle operazioni mediante sistemi di visione artificiale.

Le due soluzioni sviluppate si differenziano per struttura, geometria e prestazioni e possono essere alternative una all'altra a seconda dell'organizzazione della produzione nell'azienda. Entrambe le macchine sono state testate in una serie di operazioni colturali differenti, dimostrando la versatilità di questo tipo di approccio.

Il primo prototipo, riportato in figura 1, è stato progettato per operare a punto fisso. Si presta, dunque, per essere installato in serre ove sia presente un sistema di movimentazione dei bancali o un nastro trasportatore. I prodotti, generalmente piante in vaso, vengono movimentati verso l'area di lavoro della macchina disposti su bancali. La macchina presenta un'area di lavoro approssimabile a un parallelepipedo le cui quote sono state progettate per coprire in una sola passata una superficie pari a circa un terzo di bancale (assunto con misure di 3500x1600 mm).

Il robot presenta una struttura cinematica a pantografo ed è azionato da tre motori a corrente continua indipendenti. Questa particolare struttura meccanica, oltre a consentire all'end-effector di muoversi parallelamente alla superficie di lavoro, permette di ridurre notevolmente l'ingombro della macchina quando a riposo. La generazione delle traiettorie e il controllo dei singoli assi sono coadiuvati da un sistema di visione artificiale basato su un puntatore laser e una coppia di telecamere CCD, opportunamente filtrate, in grado di riprendere la stessa immagine contemporaneamente nel dominio della luce visibile che nel vicino infrarosso (NIR). L'elaborazione congiunta di queste due riprese con specifici algoritmi consente di determinare con esattezza la posizione e la forma delle colture, separandole dallo sfondo che, riportando spesso elementi e dettagli dello stesso colore (come i teli disposti sui bancali, eventuali muffe ecc.), forma o natura (es. residui di potatura), potrebbe indurre a falsi riconoscimenti. Maggiori dettagli circa il progetto di questo robot possono essere trovati in (Belforte et al., 2006).

Il secondo manipolatore, riportato in figura 2, è stato progettato per garantire un maggior carico dinamico al polso e prestazioni dinamiche più elevate rispetto a quelle del primo prototipo (Belforte et al., 2007; Gay et al., 2008). Nel progetto si sono suddivise le funzionalità della macchina in due parti principali: un sottosistema dedicato alla movimentazione dell'utensile all'interno dell'area di lavoro e un sistema dedicato al sostegno e alla eventuale movimentazione del robot. Il primo modulo, di tipo cartesiano, è stato realizzato utilizzando attuatori lineari attivi al fine di ottenere una struttura meccanica semplice e al contempo affidabile e flessibile nella duttilità di progetto e utilizzo. Il loro impiego, infatti, permette di realizzare celle robotizzate le cui dimensioni possono essere facilmente adattate alla tipologia di serra e



Fig. 1 *Il primo prototipo di cella robotizzata realizzata dal D.E.I.A.F.A. basato su struttura cinematica a pantografo*



Fig. 2 *Il secondo prototipo realizzato dal D.E.I.A.F.A., cartesiano con struttura a portale*



Fig. 3 Pinza pneumatica per la movimentazione dei vasi connessa al mandrino del polso del secondo prototipo di cella robotizzata realizzata dal D.E.I.A.F.A.

alla varietà di coltura su cui operare, rispondendo in maniera puntuale alle specifiche esigenze dell'azienda. Inoltre, le prestazioni ottenibili in termini di accelerazione e velocità di lavoro possono essere scalate attraverso un'opportuna scelta del gruppo motore e riduttore, al fine di ottenere il rapporto prestazioni-prezzo desiderato.

Oltre ai tre assi asserviti dalle guide lineari, il prototipo è stato dotato di un quarto grado aggiuntivo di libertà che consente la rotazione del polso e dell'utensile attorno al proprio asse. Questo asservimento, unito a una struttura meccanica sufficientemente rigida, consente anche l'esecuzione di leggere lavorazioni meccaniche del suolo come la sarchiatura. Il modulo cartesiano e la struttura portante a portale sono state dimensionate in modo da ottenere un'area di lavoro complessiva pari alla superficie di un comune bancale da serra, al fine di minimizzare il numero di movimentazioni, relativamente lente, dei bancali o della macchina stessa. Il prototipo testato operava in posizione fissa, come riportato in figura 2, ma potrebbe essere attrezzato per muoversi su rotaia o su ruote, lungo una traiettoria rettilinea. Anche questa macchina è in grado di utilizzare utensili diversi, innestabili attraverso un apposito mandrino a controllo pneumatico. In figura 3 è rappresentato il quarto asse della macchina connesso a una pinza autocentrante pneumatica per la manipolazione di vasi.

Tra le operazioni testate vi sono la movimentazione dei vasi (carico e scarico da carrello, ricollocazione su bancale secondo schemi fissi), la fertilizzazione in grani, l'irrorazione sotto-chioma e l'irrorazione sull'apparato fogliare. Il robot può anche essere utilizzato per asservire ad altre macchine automatizzate, gestendo le operazioni di manipolazione e movimentazione dei prodotti. A titolo d'esempio, il prototipo è stato testato accanto a una macchina realizzata da Raparelli et al. (2009) per la produzione e la messa a dimora di talee. In tale applicazione, al robot era demandato il compito di accogliere la talea appena preparata dalla macchina e di porla a dimora nei contenitori alveolati posti sul bancale. Sempre lo stesso robot è stato utilizzato per l'asservimento del sistema DeVPeS (Belforte et al., 2010), un sistema integrato per l'irrorazione sulle colture in ambiente confinato. In tale applicazione il robot aveva il compito di movimentare la struttura di protezione comprensiva degli ugelli sopra i bancali.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Come riscontrabile dalla notevole produzione scientifica di questi ultimi anni, lo sviluppo di tecnologie affidabili per l'applicazione della robotica e dell'automazione al mondo dell'agricoltura, e, prioritariamente, al comparto orto-floricolo, è un tema di notevole interesse e ricco di prospettive.

La disponibilità di nuove soluzioni e, ancor di più di prototipi, costituisce, attraverso il costante confronto con gli operatori di settore, una solida base

di partenza per la condivisione e la ricerca di linee progettuali comuni tra il mondo della ricerca, quello dei costruttori di macchine e quello degli imprenditori agricoli del comparto orto-floricolo.

L'introduzione di nuove tecnologie per l'automazione delle macchine utilizzate in questo comparto consentirà non solo l'abbattimento dei costi di produzione, ma anche l'affinamento di nuove pratiche colturali mirate all'incremento della qualità delle produzioni, alla riduzione dell'impatto ambientale e alla maggiore tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori.

RINGRAZIAMENTI

L'autore intende ringraziare tutti coloro che hanno collaborato al progetto e alla realizzazione dei prototipi di robot descritti nella memoria, in particolare il prof. P. Piccarolo, il prof. G. Belforte e gli ing. D. Ricauda Aimonino, L. Comba e R. Deboli.

RIASSUNTO

L'automazione e la robotica possono concorrere a incrementare la competitività del settore ortofloricolo, come già successo in altri comparti, primo tra tutti quello manifatturiero. La parziale strutturazione, così come la disponibilità di impianti fissi per la movimentazione dei prodotti e la distribuzione di energia, aria compressa e acqua, rendono l'ambiente serra un sito produttivo idoneo ad accogliere le nuove tecnologie. Tuttavia, affinché il trasferimento tecnologico produca i risultati attesi, è necessario sviluppare nuove conoscenze e affinare le tecnologie esistenti per operare su prodotti agricoli, caratterizzati da un'elevata variabilità in termini di forma, dimensione e colore, così come mettere a punto strumenti che permettano alle macchine di operare in contesti poco strutturati.

Obiettivo di questa memoria è tracciare un quadro circa lo stato di avanzamento della ricerca nello sviluppo di macchine robotizzate destinate alle aziende ortofloricole. Particolare attenzione è rivolta allo sviluppo di macchine polifunzionali in grado di condurre più operazioni su colture diverse.

ABSTRACT

Robotics and automation could contribute to improve the competitiveness in the horticulture, as already happened in other sectors, first of all in the manufacturing. Its partially structured environment, the availability of facilities, such as energy, water and compressed air supply, make greenhouses a production site suited to host and benefit new automation technologies. However, in order to make the technological transfer effective, the

base of knowledge has to be improved and the already existing technologies updated to allow the machines to operate in environment affected by uncertainty.

The objective of this paper is to report and discuss the recent research results about the development of robotics and automated machines in horticulture. Particular attention is devoted to the implementation of multipurpose robots able to perform several operations on different crops.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BALLONI S., CARUSO L., CONTI A., SCHILLACI G., LONGO D., MUSCATO G. (2008): *Preliminary Study for the Development of an Electrical Autonomous Vehicle for Safe Agricultural Chemicals Distribution Inside Greenhouses*, International Conference: "Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems", September 15-17, Ragusa, Italy.
- BELFORTE G., DEBOLI R., GAY P., PICCAROLO P., RICAUDA AIMONINO D. (2006): *Robot Design and Testing for Greenhouse Applications*, «Biosystems Engineering», 95, pp. 309-321.
- BELFORTE G., EULA G., RAPARELLI T. (2010): "DeVoPeS": *Defined Volume Pesticide Sprayer design and testing*, «Experimental Techniques», pp. 1-13.
- BELFORTE G., GAY P., RICAUDA AIMONINO D. (2007): *Robotics for improving quality, safety and productivity in intensive agriculture: challenges and opportunities*, in *Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applications*, Low Kin Huat, Advanced Robotic Systems, Vienna, Austria.
- COMBA L., GAY P., PICCAROLO P., RICAUDA AIMONINO D. (2010): *Robotics and Automation for Crop Management: Trends and Perspective*, International Conference Ragusa SHWA2010 - September 16-18, 2010 Ragusa IblaCampus- Italy "Work safety and risk prevention in agro-food and forest systems".
- GAY P. (2003): *Trattamenti robotizzati in serra*, «Informatore Fitopatologico», 11, pp. 13-16, Novembre 2003.
- GAY P., PICCAROLO P., RICAUDA AIMONINO D. (2008): *Robotics for work and environment safety in greenhouse*, in proceedings of the Inten. Conf. on "Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems", on cd.
- KASSLER M. (2001): *Agricultural automation in the new millennium*, «Computers and Electronics in Agriculture», 30, pp. 237-240.
- PEDERSEN S.M., FOUNTAS S., HAVE H., BLAKMORE B.S. (2006): *Agricultural robots – system analysis and economic feasibility*, «Precision Agriculture», 7, pp. 295-308.
- RAPARELLI T., BEOMONTE ZOBEL P., ANTONELLI M., COLABIANCHI L. (2009): *Un sistema per la riproduzione di piante per talea*, «Oleodinamica Pneumatica», pp. 64-68.