

Giornata di studio su:

## L'automazione nel comparto orto-floricolo

Firenze, 29 aprile 2010



PAOLO GAY\*

## 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.

## Progetto e sperimentazione di un robot irroratore per fitofarmaci in ambiente confinato

### I. INTRODUZIONE

La robotica copre ormai svariati settori, compreso quello agricolo e florovivaistico, in cui i sistemi robotizzati si stanno diffondendo ampiamente, anche con applicazioni innovative e originali. La serra rappresenta un ecosistema particolare, dove la robotizzazione è richiesta su varie operazioni, quali la disinfezione del suolo, la semina, il trapianto, l'innesto, la difesa fitosanitaria, l'irrigazione, la fertirrigazione, la raccolta.

La meccanizzazione delle serre (Paice et al., 1995; Ade et al., 2000) è fortemente condizionata dalla singola coltura e dalla tipologia di serra usata. In particolare la distribuzione di fitofarmaco richiede un'automazione sicura ed ecocompatibile, al fine di preservare sia la salute dell'operatore sia l'ambiente esterno (Nuyttens et al., 2004; Paul et al., 1997). La tendenza verso la riduzione dei prodotti da impiegare nella difesa contro i parassiti e la contemporanea ricerca per assicurare comunque l'efficacia dei trattamenti, ha determinato importanti modifiche e nuove acquisizioni strumentali per la distribuzione di sostanze antiparassitarie.

Emerge, dunque, la necessità di utilizzare sistemi robotizzati in grado di ridurre le dosi impiegate, mantenendo inalterata l'efficacia della protezione antiparassitaria, consentendo una distribuzione precisa e sicura. Ciò significa non tanto ridurre la dose unitaria sulle parti da proteggere, bensì minimizzare le perdite e le dispersioni che si hanno nei trattamenti in ambiente aperto e su bersagli così complessi come la vegetazione (Bouse, 1994; Tian et al., 1999). In particolare occorre fare una netta distinzione tra l'irrorazione in campo e

\* Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Torino

quella in serra. Infatti, nel primo caso, vi sono problematiche che sono assenti nel secondo, quali l'esigenza di coprire notevoli distanze e la presenza del vento che può disperdere il prodotto.

La determinazione delle specifiche di deposizione è indispensabile per avere uno specifico riferimento per le condizioni del trattamento. Il deposito rappresenta la dose unitaria (espressa in milligrammi/cm<sup>2</sup>) interagente con coltura e patogeni e che può anche influire sulla quantità dei residui ritrovabili nei prodotti (Matthews, 2000). Fra gli elementi determinanti nella efficacia del deposito i più importanti riguardano: la concentrazione; la densità di copertura; la dimensione delle gocce; l'uniformità di copertura.

L'attuale stato dell'arte garantisce in modo sommario la distribuzione dei fitofarmaci, utilizzando dei quantitativi elevati e presentando problemi di sicurezza e di inquinamento ambientale. Per migliorare il processo è in corso di sviluppo un nuovo sistema automatico per la distribuzione dei fitofarmaci, che consente di mettere a disposizione dei florovivaisti uno strumento per ridurre l'utilizzo dei prodotti fitosanitari e per accrescere la competitività nel rispetto dell'ambiente e della sicurezza degli operatori (Ebert et al., 2003; Gil et al., 2005; Maertens et al., 2005; Nuytens et al., 2003; Belforte et al., 2009). Molti studi sono stati condotti su robot mobili utilizzabili in serra e in campo aperto, tutti dotati di bracci articolati per vari tipi di operazioni colturali e di sistemi di visione per la guida e per la manipolazione dei prodotti (Naoki et al., 1995; Piccarolo, 2008; Christensen et al., 2008; Singh et al., 2005; Mandow et al., 1996; Sammons et al., 2005; Kondo et al., 1996; Acaccia et al., 1998; Austerweil et al., 1997; Moltò et al., 2001).

In generale tutti questi studi hanno condotto alla realizzazione di robot dotati di sistemi di visione e di manipolatori per attuare varie operazioni in modo automatico.

L'efficacia di un trattamento è legata naturalmente sia alla tecnica di robotizzazione del sistema, sia alla scelta degli ugelli irroratori. In particolare la polverizzazione con ugelli a pressione ha evidenziato che gli ugelli più adatti sono quelli a fessura, distanziati di 30-35 cm sulla barra e con un angolo di 80° (Piccarolo, 2008). Questa soluzione si presta bene anche nel caso della polverizzazione centrifuga, che permette una notevole riduzione delle dosi di fitofarmaco.

Il presente lavoro si prefigge di presentare le prove sperimentali e la simulazione numerica che hanno permesso di affinare la generazione di gocce di miscela di acqua con fitofarmaco con diametro minore di 50 µm. Tale nebbia, racchiusa in un opportuno volume confinato, raggiunge ogni punto della chioma della coltura interessata, in particolare piante e fiori, senza eccessive perdite di prodotto a terra e in aria (Belforte et al., in press).



Nel caso in esame si è voluto ovviare ad alcune problematiche legate, ad esempio, all'uso di irroratrici commerciali, quali la forte perdita di prodotto a terra e nell'ambiente circostante e l'esigenza da parte dell'operatore di vestire tuta e occhiali-guanti di protezione, pensando a una macchina automatica che in un ambiente confinato irrori i vasi di fiori. Sono quindi stati testati sperimentalmente vari modelli commerciali di ugelli atomizzatori, fino a individuare la configurazione e il modello più idoneo a creare una nebbia fine e uniforme, in grado di penetrare dentro la chioma delle piante.

La macchina è stata denominata DeVoPeS (Defined Volume Pesticide Sprayer), in quanto effettua velocemente un trattamento completo su fiori disposti a terra o su bancali, utilizzando una nebbia molto fine di fitofarmaco distribuito in un ambiente confinato.

## 2. GENERAZIONE DELLE GOCCE E LORO MISURA

Un ugello atomizzatore pneumatico è un componente adatto a produrre goccioline di liquido trascinato da una corrente d'aria, dotato di due ingressi, uno per l'aria compressa e l'altro per un liquido. Ne esistono varie tipologie, in funzione delle diverse applicazioni. Gli ugelli atomizzatori esaminati hanno al loro interno una camera di turbolenza che permette la frantumazione del liquido in gocce molto fini. La caratterizzazione di un ugello atomizzatore è importante per conoscere la distribuzione delle gocce della miscela e per applicarlo nel modo più corretto su vari campi di impiego. Le dimensioni sono, infatti, diverse a seconda della geometria e dei parametri di portata e di pressione imposti sui due fluidi in ingresso al componente. Tale caratterizzazione si effettua sempre per via sperimentale. I modelli numerici che simulano i getti prodotti dall'ugello atomizzatore sono invece utili per conoscere il volume irrorato, le traiettorie e le velocità delle gocce, ma non le loro dimensioni.

Nel campo dell'agricoltura, come si è detto, le dimensioni delle gocce sono molto importanti per una distribuzione efficiente di fitofarmaci che massimizzi la penetrazione nel bersaglio, minimizzi la contaminazione dell'ambiente e realizzi un efficace deposito (Matthews, 2000).

In generale gocce di maggiori dimensioni sono più adatte a utilizzi in campo aperto anziché in serra, in quanto sono meno disperse dal vento. Nel caso in esame, l'ugello atomizzatore viene studiato come generatore di gocce comprese tra 10  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$ , utilizzando aria compressa come gas e acqua come liquido, senza aggiunta di nessun agente secondario in miscela. Questa scelta è stata fatta per effettuare le prove in modo semplice, tenendo conto del

fatto che la soluzione acquosa del fitofarmaco ha caratteristiche molto vicine a quelle dell'acqua.

Si ricorda anche che i principali fattori che influiscono sul movimento e sul comportamento delle gocce sono: la gravità, la resistenza aerodinamica, l'evaporazione.

### 3. METODI DI VALUTAZIONE

Per il controllo dell'efficienza dei dispositivi degli antiparassitari sono attualmente utilizzati diversi metodi, sostanzialmente classificabili come metodi quantitativi (analisi chimica del deposito su bersagli artificiali o naturali con traccianti di varia natura) e metodi indiretti (ad esempio l'analisi di immagini su cartine idrosensibili). Le cartine idrosensibili sono il metodo di misura delle gocce più diffuso, sono facili da utilizzare e forniscono una discreta base di verifica. Esse, per reazione chimica, cambiano il colore della superficie bagnata rispetto a quella asciutta, virando dal giallo al blu. Dalla semplice comparazione visiva della cartina che ha catturato lo spruzzo e di cartine di riferimento è possibile dare una valutazione veloce e semplice della distribuzione nelle diverse zone della vegetazione dove queste sono state poste. È importante ricordare che sulla cartina si rilevano gli impatti e di conseguenza il disco corrispondente alla goccia è ampliato dalla diffusione del liquido sul supporto: i diametri delle impronte (considerando queste di norma circolari) sono quindi superiori alle dimensioni reali delle gocce "libere".

### 4. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Dal punto di vista sperimentale, l'attività in laboratorio si è svolta effettuando ripetute prove di irrorazione su un apposito banco prova.

#### 4.1 *Descrizione del Banco Prova*

Le prove sperimentali sono state condotte con il banco prova di figura 1. In esso un ugello atomizzatore pneumatico emette un getto di finissime gocce di acqua e irrori una o più foglie sospese a una certa distanza opportuna, analoga a quella che realmente intercorre tra ugello e pianta. A valle della foglia uno schermo di fondo simula il terreno.

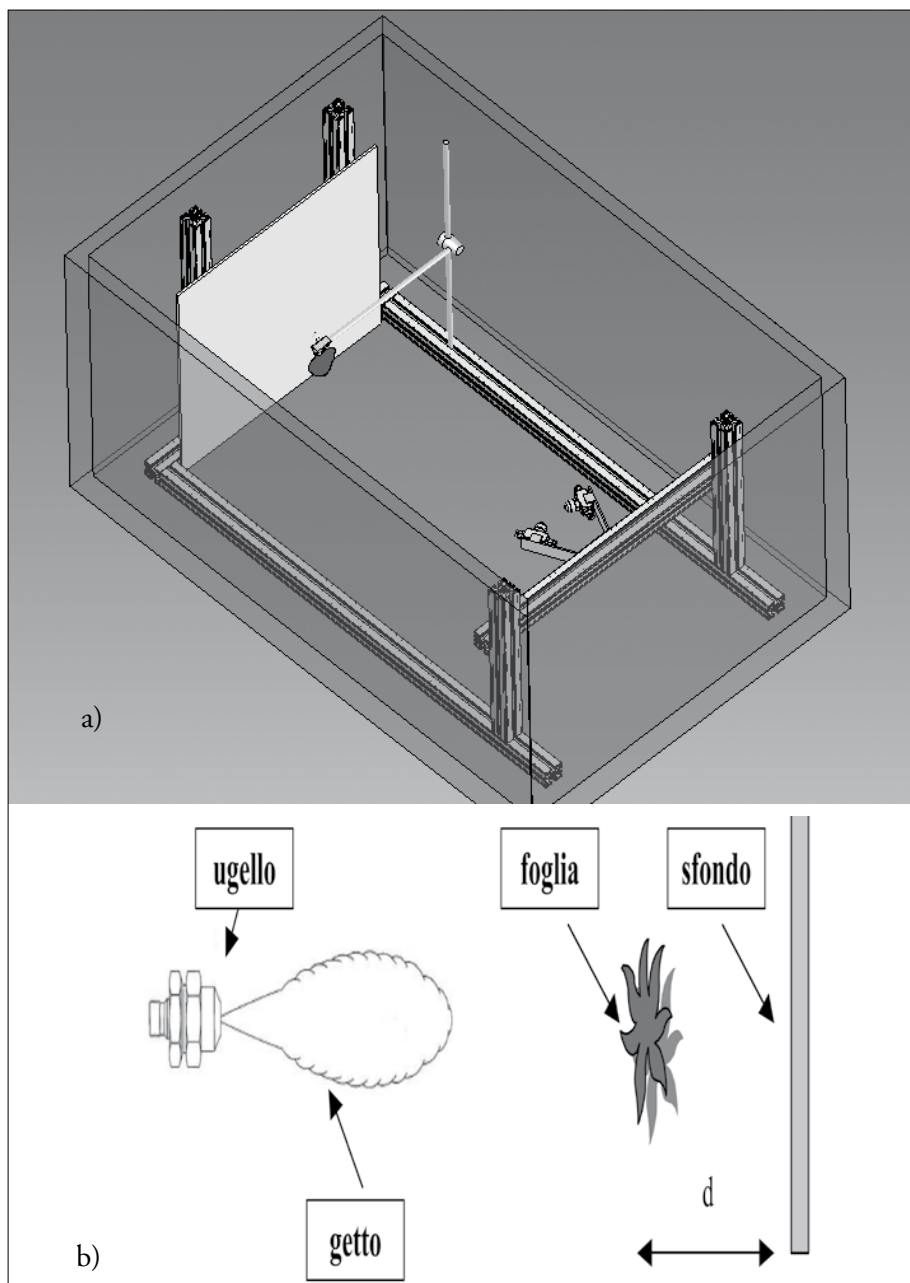


Fig. 1a e b Banco prova per la caratterizzazione degli ugelli atomizzatori

Le dimensioni del banco sono 1000 x 600 x 600 mm.

Utilizzando tale attrezzatura, è stato possibile effettuare prove variando i seguenti parametri: tipo di foglia (ciclamino, geranio, violetta); pressioni di alimentazione dell'ugello atomizzatore (0.5 bar acqua, 1.6 bar aria); tempi di esposizione della foglia al getto (5 – 10 s); materiale dello sfondo ricevente (metallo, linoleum, carta da pacchi, terriccio); distanza tra foglia e sfondo (12 – 18 – 24 mm); posizione del banco (orizzontale o verticale); presenza/assenza di getti di aria ausiliaria per trasportare le gocce alla foglia.

Gli ugelli atomizzatori esaminati sono illustrati in figura 2.

Essi comprendono due ingressi, l'uno per l'aria, l'altro per l'acqua, e un'uscita per la miscela. Lo scontro tra i due getti in pressione produce una polverizzazione del liquido creando all'uscita del componente una nebbia di particelle compresa tra 50 e 100  $\mu\text{m}$ . All'interno del componente tre fori a 120° emettono il gas, mentre un foro centrale ai precedenti tre emette il liquido (fig. 3).

Per ridurre ulteriormente le dimensioni delle gocce, sono stati montati due ugelli atomizzatori contrapposti, in modo da formare un angolo di 130° e favorire lo scontro tra i getti, producendo una polverizzazione ulteriore, fino a gocce di 10  $\mu\text{m}$ .

In particolare per evidenziare il prodotto irrorato sulla foglia è stato utilizzato anche un colorante solubile in acqua e in grado di diventare fluorescente sotto i raggi UV. La procedura di prova prevede: il settaggio e/o controllo delle pressioni di alimentazione degli ugelli atomizzatori; il posizionamento della foglia su un'asta di sostegno predisposta all'interno dell'ambiente confinato e alla distanza opportuna; l'apertura sincrona delle valvole di alimentazione di colorante e aria agli ugelli atomizzatori; il mantenimento del getto sulla foglia per il tempo di esposizione previsto; la chiusura della valvola di alimentazione dell'acqua e dell'aria; l'esposizione della foglia all'azione della nebbia; il prelievo della foglia; la rilevazione fotografica del deposito sulle due pagine della foglia esposta ai raggi UV; l'analisi e il confronto dei dati elaborati. In ogni prova, una singola foglia è stata introdotta nell'ambiente confinato, sospesa per il picciolo all'estremità di un'asta, in modo da risultare parallela alla superficie di rimbalzo e quindi sottoposta al getto degli ugelli atomizzatori.

Per l'analisi sulla foglia dopo il trattamento, la stessa è stata esposta all'azione dei raggi di una lampada UV che rende visibile la superficie raggiunta dal prodotto irrorato con una colorazione verde a fronte della colorazione viola delle zone non investite. Il risultato è stato acquisito con una fotografia in formato digitale per il successivo raffronto delle prove in relazione alle diverse condizioni operative.

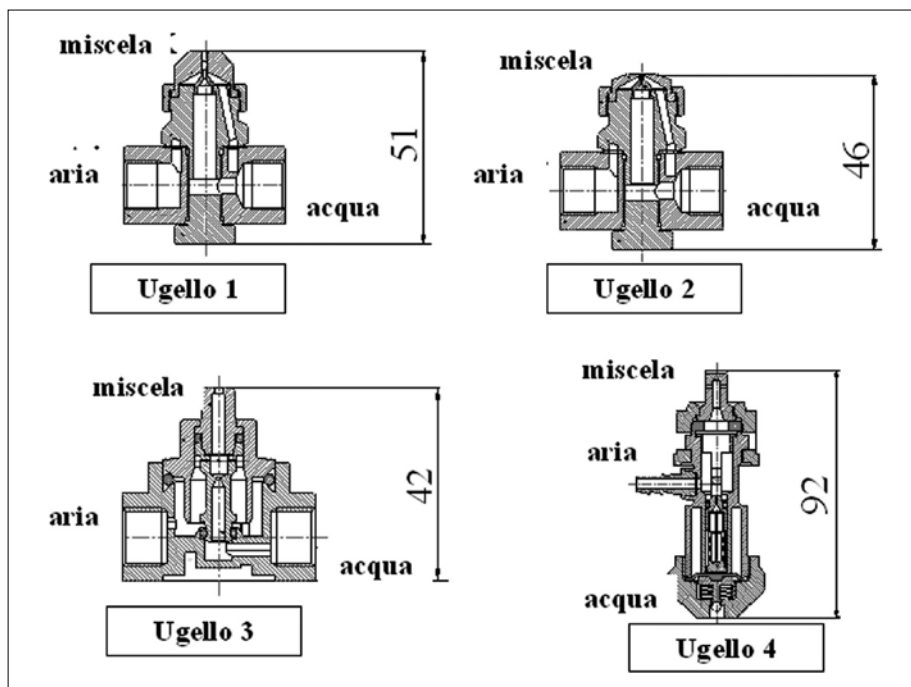


Fig. 2 Sezioni di vari ugelli atomizzatori con relativi passaggi aria-acqua-miscela

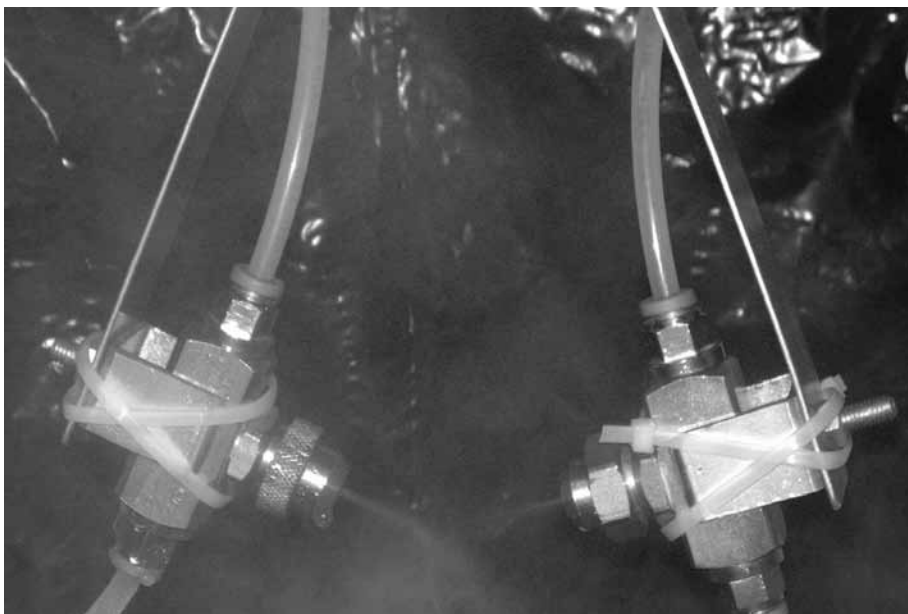


Fig. 3 Ugelli atomizzatori montati contrapposti (130°)

#### 4.2 Foglie analizzate

La scelta delle piante è stata fatta in relazione a conformazione e consistenza della superficie fogliare: *foglia di superficie piana e oleosa* (cyclamen africano – ciclaminio); *foglia di superficie irregolare e liscia* (pelargonium domesticum – geranio); *foglia di superficie piana e vellutata* (saintpaulia jonantha – violetta ). In figura 4 sono illustrati alcuni dei risultati ottenuti.

#### 4.3 Natura del suolo

Si sono esaminati quattro tipologie di materiali che potrebbero trovare impiego come rivestimento dei bancali su cui sono appoggiati i vasi delle piante e che quindi influenzano il rimbalzo della nebbia: metallo (acciaio inox); lino-leum; carta da pacchi; terra.

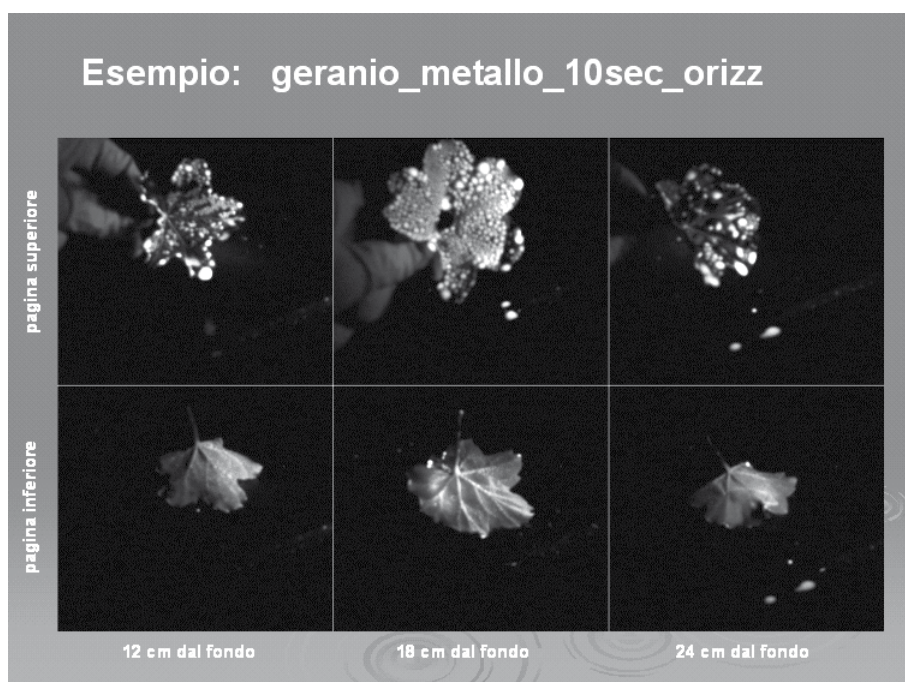


Fig. 4 Esempi di irrorazione con vari sfondi e diverse distanze (foglie di geranio, sfondo metallico, tempo di esposizione 10 s)

#### 4.4 *Distanza dal suolo*

Si è fatta variare la distanza della foglia dalla superficie di rimbalzo, mantenendo costanti le posizioni degli ugelli atomizzatori e del suolo, per simulare le condizioni reali in cui può trovarsi una foglia sulla chioma della pianta:  $h = 12 - 18 - 24$  cm.

#### 4.5 *Tempo di esposizione*

Poiché una quantità eccessiva di fitofarmaco che resti a contatto con le foglie, ha effetti negativi sulla salute e sull'estetica della pianta (presenza di macchie, essiccamento), risulta necessario contenere l'irrorazione in un tempo adeguato a evitare ristagni e gocciolamento.

I tempi impostati sono stati:  $t = 5 - 10$  s.

#### 4.6 *Direzione del getto*

Le prove sono state eseguite con il getto dell'ugello atomizzatore in posizione: orizzontale; verticale, fornendo aria a 1.6 bar e acqua a 0.5 bar.

#### 4.7 *Metodologie di prova*

L'obiettivo principale è quello di ottenere una deposizione omogenea e uniforme sulla pianta, in modo da massimizzare l'efficacia del trattamento fitosanitario e ridurre le perdite. La prima fase delle prove sperimentali è stata quella di valutare qualitativamente la deposizione tridimensionale della nebbia di fitofarmaco prodotta all'interno dell'ambiente confinato. A tal scopo sono state utilizzate cinque strutture ad albero, che hanno il compito di sorreggere delle cartine idrosensibili. Per rendere confrontabili le diverse prove, è stata assegnata una numerazione univoca sia agli alberi metallici sia alle cartine collocate su ciascuno di essi.

#### 4.8 *Risultati sperimentali sull'analisi delle gocce*

Le prove sperimentali condotte con il banco sopra descritto sono state effettuate utilizzando sia le cartine idrosensibili sia del colorante per evidenziare l'irrorazione avvenuta sulle piante.

In figura 5 sono illustrati alcuni dei risultati ottimali ottenuti con gli ugelli atomizzatori in verticale all'interno del volume confinato pari a mezzo bancale.

Per una migliore analisi dei risultati è poi stato condotto inoltre uno studio statistico volto a evidenziare e analizzare le condizioni ottimali di prova. Il primo passo compiuto è stato quello di valutare qualitativamente e quantitativamente tutte le cartine idrosensibili a disposizione. È stata stabilita una scala di giudizi a ciascuno dei quali è stato, a sua volta, associato un numero e un colore. L'operazione consente, non solo di rendere semplici e immediati i confronti tra i risultati ottenuti, ma anche di realizzare una serie di istogrammi facilmente interpretabili con una semplice chiave cromatica.

La condizione migliore si ha con quattro ugelli atomizzatori l'ambiente si satura più velocemente e si riduce il numero di passate e il tempo necessario per il trattamento. Aumentano d'altro canto i consumi di aria e acqua data la presenza di un numero maggiore di ugelli atomizzatori.

Passando poi dalle strutture ad albero a piante vere, si complica notevolmente la geometria da trattare, con conseguente parziale riduzione dell'efficacia del trattamento eseguito. Con piante vere, infatti, due ugelli atomiz-

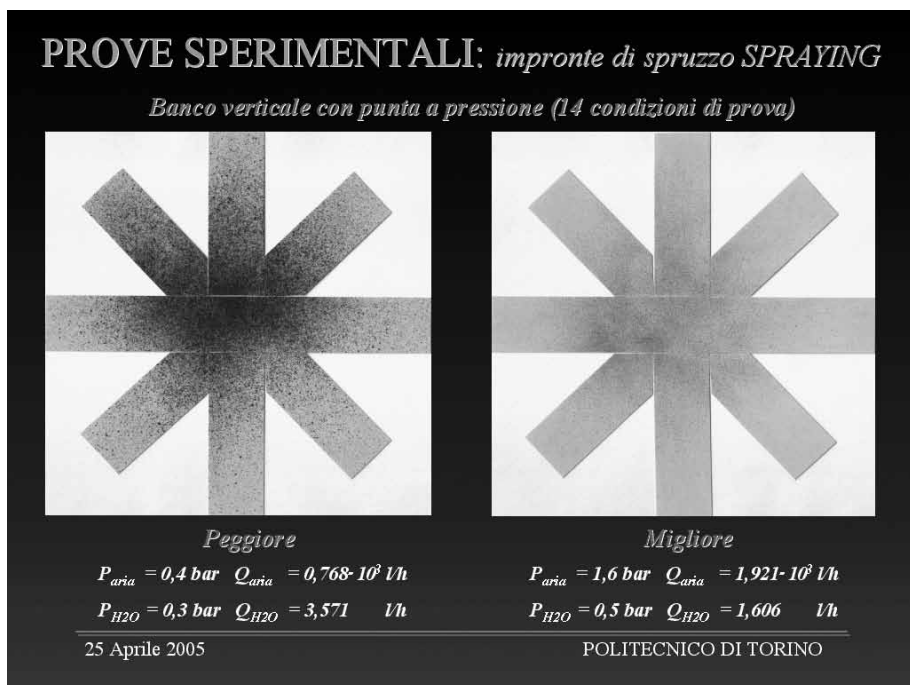


Fig. 5 Impronta di spruzzo di un ugello atomizzatore con banco verticale



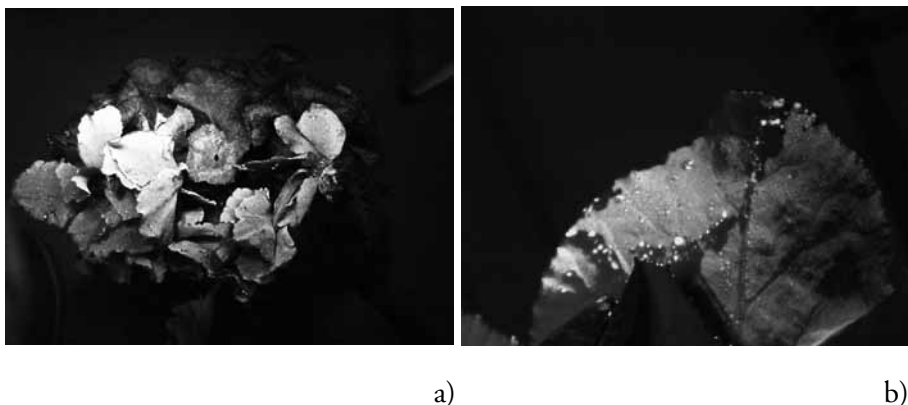


Fig. 6 a) Prova con colorante irrorato b) Particolare del sotto foglia

zatori non sono più sufficienti a garantire una buona deposizione in tutto l'ambiente. Con quattro ugelli atomizzatori, invece, anche nel caso di piante vere si ottengono risultati ottimali e tutte le piante mostrano una deposizione omogenea sia sul sopra sia sul sotto-foglia (fig. 6a e 6b).

#### 5. SIMULAZIONE NUMERICA DELL'IRRORAZIONE DI UNA FOGLIA

Al fine di valutare l'efficacia dell'irrorazione sulle piante degli ugelli atomizzatori è stata anche effettuata una simulazione numerica che permettesse lo studio delle traiettorie delle gocce in prossimità di una singola foglia, tenendo conto della forza di gravità.

Si è costruita, dunque, una geometria assialsimmetrica (fig. 7) che riproduce in scala l'ugello atomizzatore, una foglia e un volume confinato circostante che rappresenta il volume della camera in cui effettuare il trattamento.

In tal modo è stato possibile sfruttare la simmetria del sistema per generare un modello equivalente che rappresenti solo metà struttura, riducendo i tempi di calcolo.

Quest'ultima è simulata con un disco rigido di raggio 20 mm, posto frontalmente al getto, a una distanza di 280 mm. Le simulazioni sono state condotte impostando all'ingresso del sistema i valori di portata in massa e di pressione ricavati sperimentalmente dallo studio dell'ugello atomizzatore.

Tali valori sono rispettivamente 0.00018 kg/s e 1.6 bar per l'aria, 0.00066 kg/s e 0.5 bar per l'acqua, temperatura 300 K, flusso stazionario.

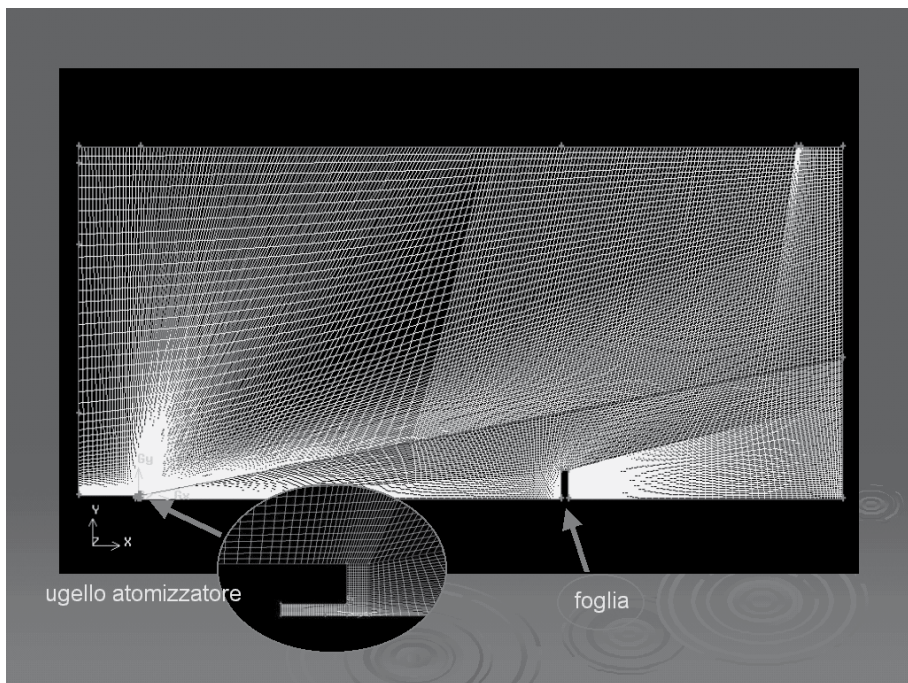


Fig. 7 Mesh per la simulazione numerica dell'irrorazione di una foglia

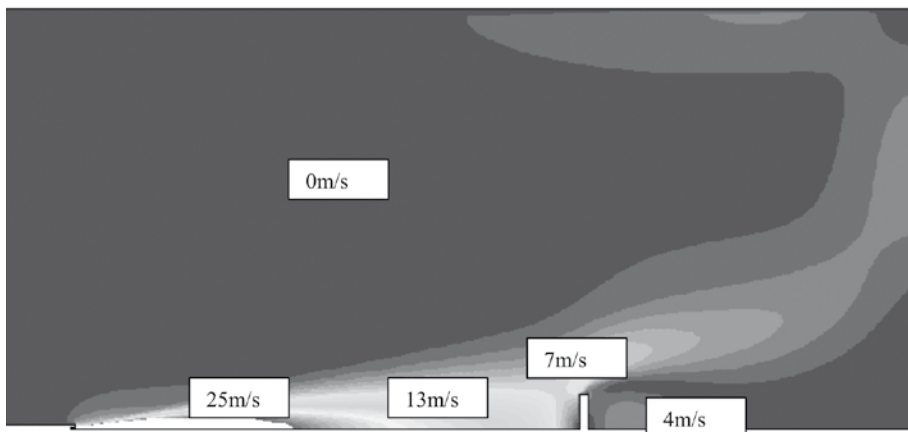


Fig. 8 Velocità delle gocce in prossimità di una foglia, con miscela bifasica (acqua-aria)



Il sistema può essere movimentato sopra i bancali tramite un robot cartesiano.

Il volume confinato ha dimensioni in pianta di 0.9 x 0.9 m, per coprire un'area di poco inferiore al mezzo bancale (1.5 x 1.5 m) (fig. 9a).

Il peso del prototipo non supera i 120 N. La collocazione di DeVoPeS (isolatore) nell'area di lavoro del robot è illustrata in figura 9b.

DeVoPeS è perfettamente isolato rispetto all'esterno, per evitare fughe di fitofarmaci, grazie a un attento studio sul tessuto di copertura. Si prevede, infatti, la presenza di operatori non protetti nella serra durante i trattamenti.

## 6.2 Descrizione di DeVoPeS

Nel disegno schematico riportato in figura 10a sono visibili: il robot cartesiano a portale (1); l'asse di traslazione verticale (2); il bancale per le colture (3); DeVoPeS (4); i tubi corrugati (5), utilizzati per la movimentazione delle pareti laterali della tenda; le tenute inferiori (6).

Come visibile più in dettaglio in figura 10b, DeVoPeS è costituito dai seguenti elementi.

- Un codolo (1) per l'aggancio alla pinza pneumatica montata sull'asse di movimentazione verticale del robot.
- Una struttura a dimensione variabile per delimitare l'ambiente da trattare coi fitofarmaci. Tale struttura comprende: un telo di copertura (non rappresentato in figura), con camere gonfiabili e tubi corrugati per la movimentazione pneumatica delle pareti laterali; un sistema a pantografo (2) per la movimentazione pneumatica del telo di copertura; una piastra fissa (3), una piastra mobile (4) e un cilindro pneumatico doppio effetto (5) per la movimentazione automatica del pantografo; delle protezioni (8) per evitare che il telo retratto si impigli negli ugelli atomizzatori.
- Un sistema di irrorazione che comprende due coppie di ugelli atomizzatori a cono pieno (6), montati a 130° gli uni rispetto agli altri (fig. 3), su una barra che li movimenta orizzontalmente grazie a un cilindro pneumatico senza stelo (7).
- Un sistema del vuoto per aspirare e recuperare il fitofarmaco non depositato sulle piante a seguito del trattamento (non visibile in figura).

In figura 11a e b sono illustrate due viste del prototipo in esame, con relative quote di ingombro.

Lungo i bordi orizzontali inferiori sono presenti camere pneumatiche gonfiabili, usate per fare una tenuta sul limite inferiore del volume confinato. Sono

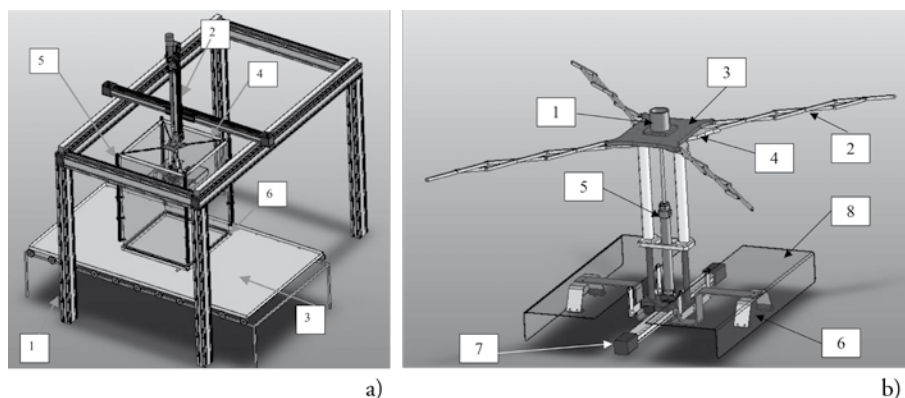


Fig. 10 a) DeVoPeS montato su un manipolatore cartesiano b) Particolari costruttivi di DeVoPeS

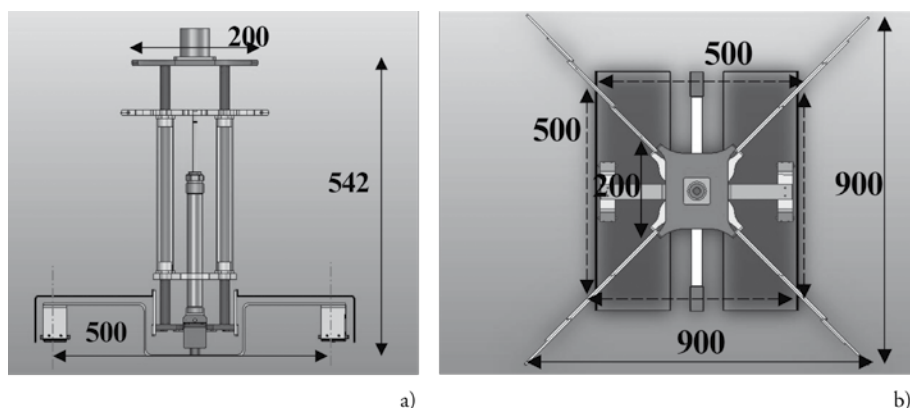


Fig. 11 Particolari e alcune quote di DeVoPeS

anche stati usati dei tubi corrugati sugli spigoli verticali della camera, che vengono collegati a una sorgente di vuoto per richiudere la camera, quando il robot di movimentazione la sposta da una posizione di lavoro alla successiva. Le varie parti di DeVoPeS sono quindi: *un sistema retraibile di copertura; un sistema di spruzzo e irrorazione del fitofarmaco; un sistema di recupero del fitofarmaco; un sistema di tenute inferiori per garantire l'ermeticità del sistema.*

#### a) Sistema di copertura

Per realizzare la tenda di copertura di DeVoPeS è stata usata una stoffa del tipo poliestere trilaminato, confezionata tramite cuciture nastrate impermeabili all'acqua e all'aria.

b) *Sistema di spruzzo*

Sono state fatte varie analisi e numerose prove sperimentali in base a quanto descritto in precedenza, per valutare in modo completo le condizioni di irrorazione del fitofarmaco. Nelle figure 12-13-14 sono riportati sia la percentuale dimensionale delle gocce generate, sia alcuni dei risultati ottenuti con DeVoPeS con cartine idrosensibili e con colorante.

c) *Sistema di recupero del fitofarmaco*

Per separare l'aria aspirata dal fitofarmaco, è stato necessario studiare vari tipi di separatori aria-liquido e vari eiettori. In particolare sono stati valutati tre tipi di separatori aria-liquido: *separatori di condensa che basano il loro funzionamento sulla forza centrifuga; separatori di gocce a lamelle; filtri a coalescenza*. Per prima cosa si è dovuto ricreare l'ambiente confinato: per fare questo è stato utilizzato un cassone in plastica, al cui all'interno sono stati montati gli ugelli atomizzatori. La struttura del cassone ci permette anche di contenere l'acqua reflua dal trattamento. Infatti, per evidenti motivi di costo e praticità, verrà utilizzata acqua e non fitofarmaco per eseguire le prove.

Il bersaglio in questo caso è una lastra di alluminio su cui vengono incollate le cartine idrosensibili, con cui si valuterà, in base alla tonalità di colore assunta dalla carta, se il filtro lavora bene oppure se non vi è stato recupero di liquido.

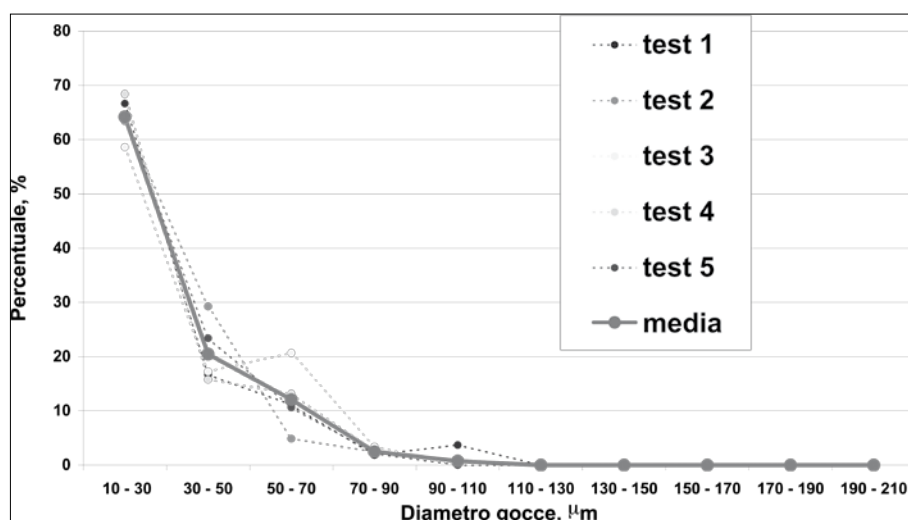


Fig. 12 *Dimensioni percentuali delle gocce in DeVoPeS*



Fig. 13 Prove sperimentali di spruzzo con cartine idrosensibili ( $h=0.8$  m;  $p_A = 1.9$  bar;  $p_W = 0.7$  bar;  $t_1 = 14.8$  s;  $t_2 = 18$  s; numero di passate = 2)

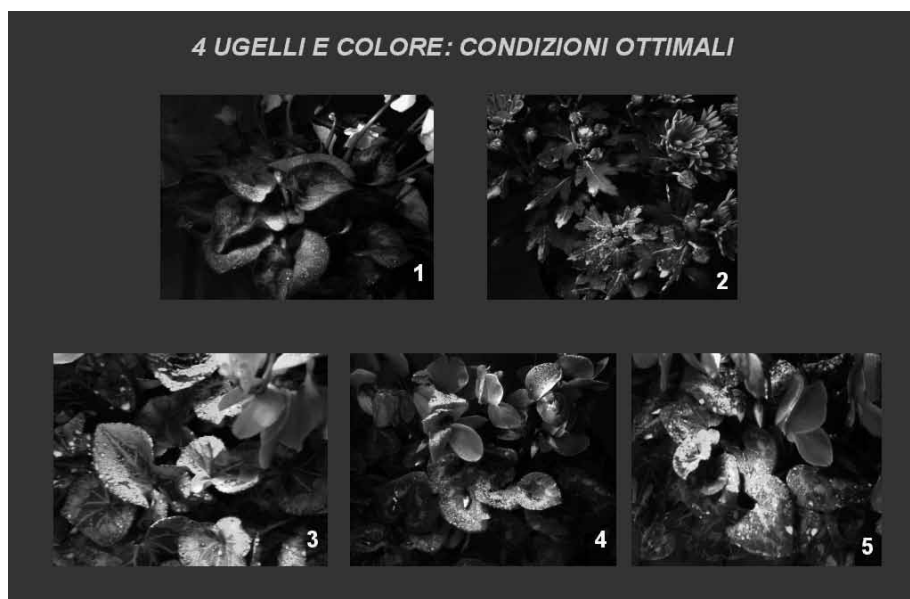


Fig. 14 Prove sperimentali di spruzzo con colorante fluorescente ( $h=0.8$  m;  $p_A = 1.9$  bar;  $p_W = 0.7$  bar;  $t_1 = 14.8$  s;  $t_2 = 18$  s; numero di passate = 2)

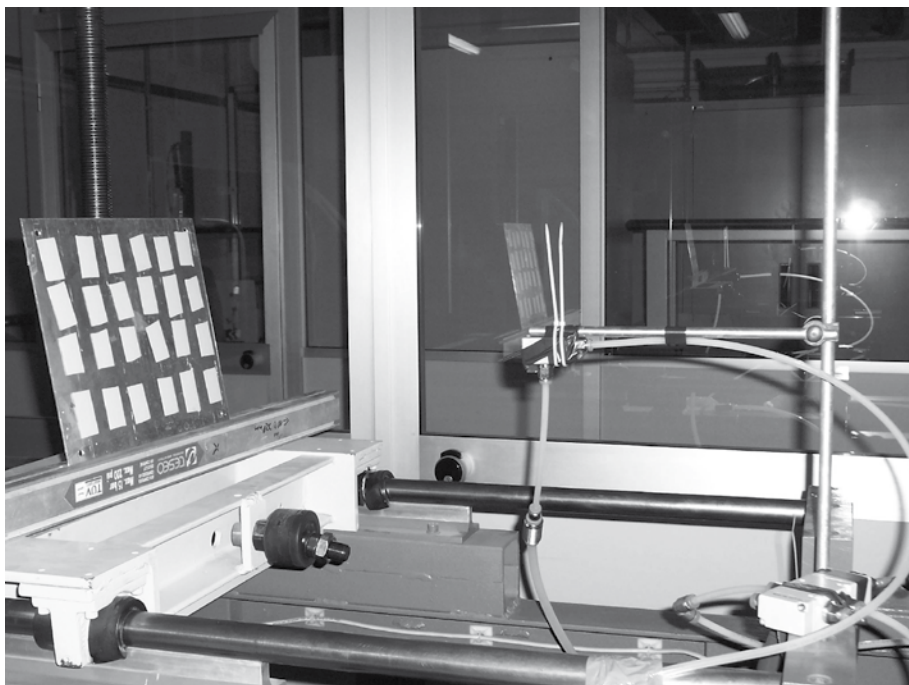


Fig. 15 Montaggio dell'eiettore e del bersaglio per prove sul recupero del fitofarmaco

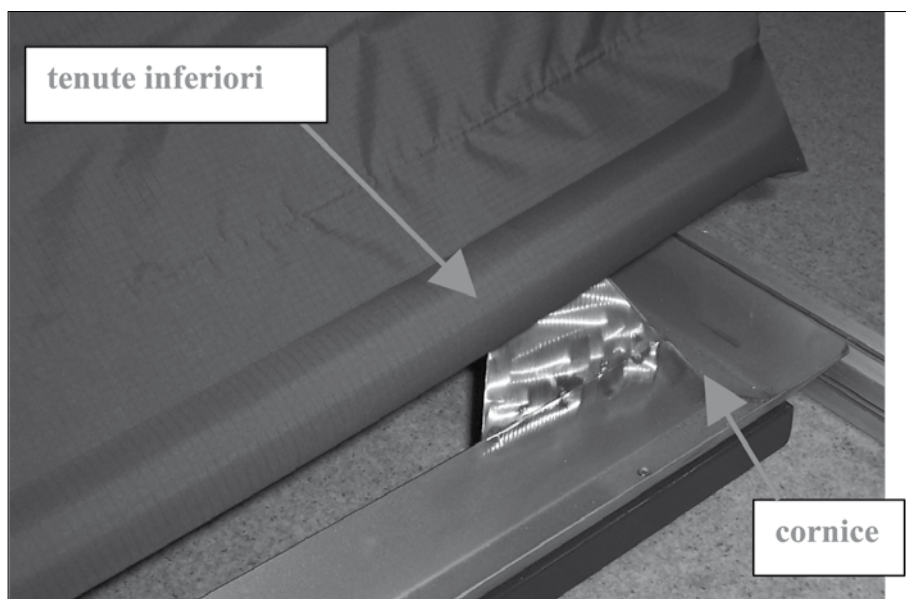


Fig. 16 Sistema di tenuta inferiore in DeVPeS



La figura 15 seguente mostra come vengono montati eiettore e relativo bersaglio. La distanza tra i due componenti è di 420 mm, scelta come ottimale dopo alcune prove preliminari. Sono inoltre stati provati vari tipi di eiettori con caratteristiche equivalenti di aspirazione ( $Q_{asp} = 700 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  a  $4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  di alimentazione).

d) *Sistema di tenute inferiori per garantire l'ermeticità del sistema*

Nell'attuale fase di sviluppo, la tenuta ermetica inferiore è realizzata tramite camere d'aria che si gonfiano all'interno di una cornice rigida collocata intorno ai fiori o, direttamente, in corrispondenza delle pareti dei pallet o dei bancali su cui sono posizionate le piante (fig. 16).

### 6.3 Ciclo di lavoro

Il ciclo di lavoro di DeVoPeS previsto è il seguente:

- posizionamento di DeVoPeS in corrispondenza della zona prevista per il trattamento;
- azionamento del cilindro del pantografo per estendere il telo di copertura;
- estensione dei tubi corrugati per l'abbassamento delle pareti laterali;
- messa in pressione delle camere pneumatiche gonfiabili superiori, per irrigidire, e inferiori, per irrigidire e per effettuare la tenuta;
- azionamento dell'aria e del fitofarmaco per alimentare gli ugelli atomizzatori;
- movimentazione degli ugelli atomizzatori tramite il cilindro senza stelo, per distribuire uniformemente il fitofarmaco sulle piante;
- chiusura degli ugelli atomizzatori al termine di un certo numero di passate sulle piante;
- arresto del cilindro senza stelo;
- azionamento del sistema di aspirazione della nebbia di fitofarmaco non depositata, con svuotamento delle camere di tenuta inferiori;
- contrazione dei tubi corrugati, per ritrarre le pareti laterali;
- chiusura del pantografo con conseguente messa a riposo del sistema o sua predisposizione per un altro ciclo su altre colture.

In figura 17 è illustrato il circuito pneumatico di comando che realizza quanto descritto e in figura 18 il flow-chart delle varie operazioni.

L'intero ciclo di lavoro è compiuto in meno di 1.5 minuti. La figura 19 illustra l'andamento dei consumi di aria in DeVoPeS all'interno di un ciclo di lavoro. Si nota che il consumo maggiore si ha a causa degli eiettori, che però

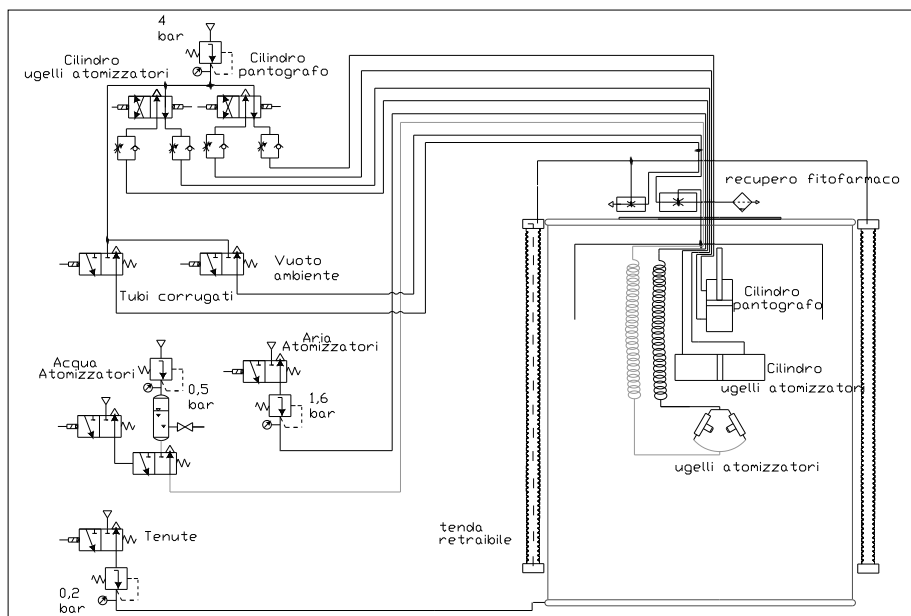


Fig. 17 Schema del circuito pneumatico di comando di DeVoPeS

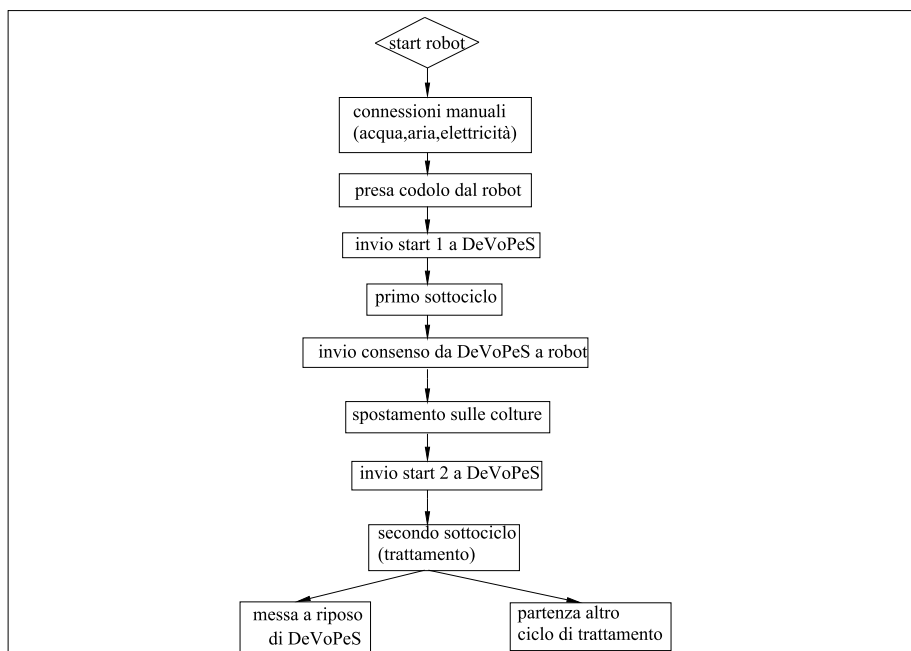


Fig. 18 Flow-chart di funzionamento di DeVoPeS connesso a un manipolatore cartesiano

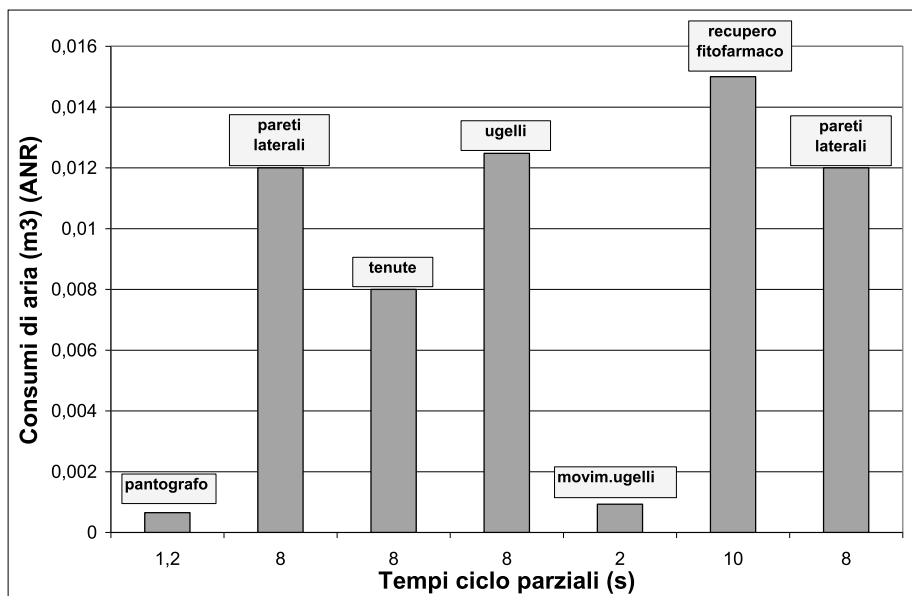


Fig. 19 Consumi totali di DeVoPeS

non funzionano mai contemporaneamente agli altri componenti. Tali eiettori generano un depressione di circa  $-0.6 \cdot 10^5$  Pa quando alimentati a  $4 \cdot 10^5$  Pa, nel qual caso la portata del getto primario è di circa  $0.0015 \text{ m}^3/\text{s}$  (ANR).

#### 6.4 Dimensionamenti

DeVoPeS è stato progettato per lavorare con una pressione di ingresso di  $4 \cdot 10^5$  Pa, pensando che in serra non sempre sono disponibili alte pressioni. Tutte le parti sono poi facilmente accessibili, smontabili e lavabili.

#### 6.5 Sistema di controllo

Per il controllo e la movimentazione di DeVoPeS è stato usato un PLC a 23 ingressi e 15 uscite.

La stesura del listato è stata effettuata in linguaggio Ladder tramite l'utilizzo di quattro finecorsa magnetici montati sui cilindri del pantografo e degli ugelli atomizzatori, e di una serie di temporizzatori che hanno permesso la corretta esecuzione del ciclo.

Il robot cartesiano dal suo canto è gestito tramite un apposito software di controllo in posizione con opportune schede NI PXI e ha una accelerazione massima di movimentazione di  $4 \text{ m/s}^2$ .

## 7. SPERIMENTAZIONE SU DEVOPES

### 7.1 *Prove iniziali*

Le prove sperimentali sono state condotte sia tramite le cartine idrosensibili sia tramite colorante direttamente spruzzato sulle piante.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con una prova effettuata in serra tramite una irroratrice pneumatica commerciale. Da essa appare evidente come gli attuali metodi di irrorazione siano disuniformi e in alcuni punti eccessivi, rispetto a quanto ottenibile con DeVPeS.

### 7.2 *Prove in laboratorio e in serra*

DeVoPeS è stato inizialmente testato in laboratorio e poi in serra. La sperimentazione è stata condotta per gradi: prima con comandi manuali e poi con

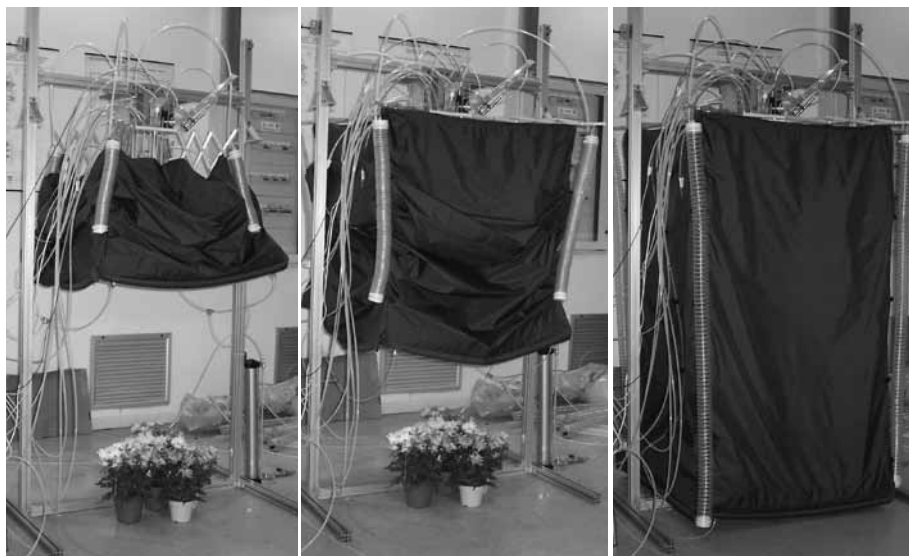


Fig. 20 *Prove di laboratorio su DeVPeS*

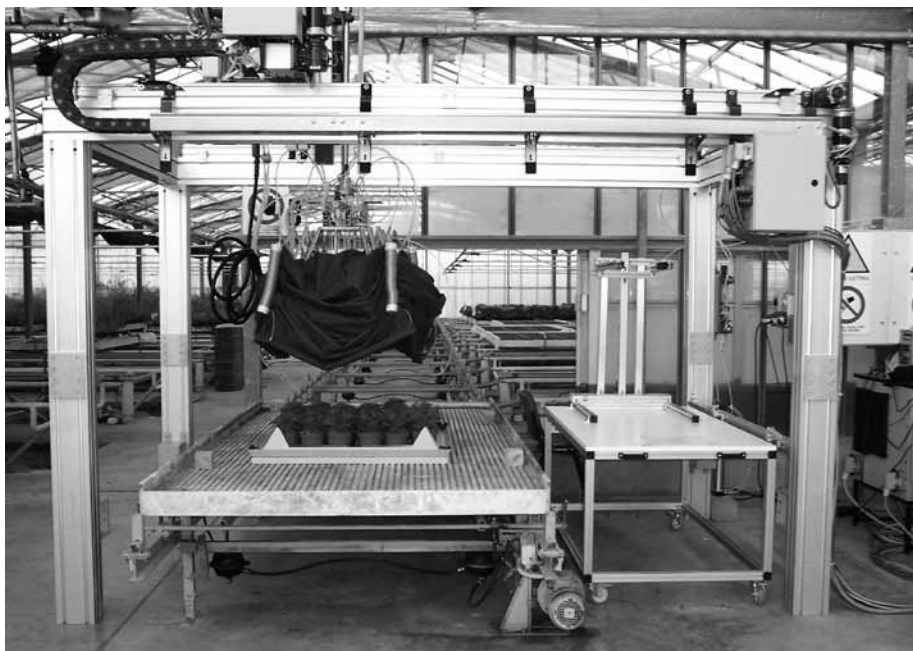


Fig. 21 *DeVoPeS pronto per il trattamento in serra (CeRSAA – Albenga - SV)*

PLC, ma senza collegamento con il robot cartesiano (fig. 20).

Infine si è collegato DeVoPeS al robot e si è affinato l'intero ciclo.

La sperimentazione in serra (presso il CeRSAA di Albenga – Italy) ha permesso di valutare l'efficacia del trattamento automatico così realizzato, la sua velocità e l'agevole manovrabilità della macchina (fig. 21).

## 8. CONCLUSIONI

È stata messa a punto una metodologia sperimentale di prova che consente di valutare il grado di irrorazione di una foglia in base alle condizioni iniziali impostate.

Lo studio, condotto per via sia sperimentale sia numerica, ha portato a buoni risultati, permettendo di conoscere il fenomeno dell'interazione tra fitofarmaco e foglia e di visualizzare con chiarezza la distribuzione di fitofarmaco sulla pianta. Le prove sperimentali effettuate con gli ugelli atomizzatori contrapposti hanno messo in evidenza che è indispensabile movimentare gli ugelli atomizzatori per ottenere una buona deposizione su tutta la zona irrorata. Lo studio in esame ha portato, infine, alla progettazione, alla realizzazio-

ne e alla sperimentazione di DeVoPeS, macchina innovativa per l'irrorazione di fitofarmaco in ambiente confinato. I vantaggi del nuovo prototipo sono:

- l'isolamento totale dall'ambiente esterno, con possibilità per l'operatore di rimanere in serra contemporaneamente al trattamento, velocizzando quindi la varie operazioni sulle colture;
- la forte riduzione di perdite di fitofarmaco, con vantaggi per l'ambiente e con riscontri economici;
- la possibilità di recuperare e riutilizzare parte del fitofarmaco non depositato.

Attualmente DeVoPeS è stato costruito in scala ridotta per motivi dimostrativi, ma le sue dimensioni potrebbero tranquillamente essere tali da coprire un intero bancale.

#### RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata finanziata con fondi ministeriali MIUR sul progetto "*Sistemi meccatronici e pneumatici per una automazione sicura, ecocompatibile e competitiva nel florovivaismo*". Si ringrazia il Centro Regionale CeRSAA di Albenga (Savona, Italy) per la collaborazione prestata. Si ringraziano la Società MetalWork e la Società Rockwell per la collaborazione prestata e per il materiale fornito.

#### RIASSUNTO

Il presente lavoro si prefigge di presentare il progetto, la costruzione e la relativa sperimentazione, in laboratorio e in serra, di un robot a comando elettropneumatico per l'irrorazione di fitofarmaci in ambiente confinato.

Il prototipo realizzato è in grado di produrre, tramite quattro ugelli atomizzatori, una nebbia di gocce molto fini (max 50  $\mu\text{m}$ ) che si deposita sulle foglie e penetra nella chioma, in modo da distribuire uniformemente l'agrofarmaco irrorato. Lo studio si è concentrato non solo sulla generazione della nebbia, ma anche sulla tipologia di copertura, in grado di trattenere le gocce di fitofarmaco. La scelta per tale costruzione è, infatti, caduta su un tessuto impermeabile all'acqua e all'aria, realizzato tramite cuciture nastrate per evitare fughe di prodotto verso l'esterno. Il tempo ciclo complessivo è di circa 1.5 min per l'intero trattamento ed è gestito in modo automatico tramite un PLC.

#### ABSTRACT

This research would like to illustrate the design, the construction and the experimentation, both in laboratory and in greenhouse, of a new electropneumatic robot, useful to spray pesticide in a defined volume.

The prototype is made up of four atomizers, capable of generating fine droplets (less than 50  $\mu\text{m}$ ). This pesticide fog is able to penetrate into the crops canopy, giving a uniform distribution of product on leaves.

The study was also about the retractable cover of the robot. This is a textile construction, completely tightness for air and water.

The full treatment is carried on in 1.5 minute and a PLC offers a completely automatic procedure.

## BIBLIOGRAFIA

- ACACCIA G.M., CALLEGARI M., MICHELINI R.C., MOLFINO R.M., RAZZOLI R.P. (1998): *Greenhouse's Automation: Produce Tillage and Phytopatologies Treatments*, Proc. of the 4th ECPD Intl. Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems, Moscow, pp. 339-343.
- ADE G., FABBRI A. (2000): *Theoretical analisys on bonds between covering plants, numerosness and distribution of droplets on hydro-sensible cards* (in italian), «Riv. di Ing. Agr.», 2, pp. 104-108.
- AUSTERWEIL M., GRINSTEIN A. (1997): *Automatic pesticide application in greenhouses*, «Phytoparasitica», pp. 718-808.
- BELFORTE G., EULA G., RAPARELLI T. (2009): *Analysis of pneumatic techniques for pesticide spraying in greenhouses*, «Experimental Techniques», 33, vi, pp. 21-29.
- BELFORTE G., EULA G., RAPARELLI T. (in press): *DeVoPeS: Defined Volume Pesticide Sprayer design and testing*, «Experimental Techniques».
- BOUSE L.F. (1994): *Effect of nozzle type and operation on spray droplet size*, «Transaction of Asac», 37, pp. 1389-1400.
- CHRISTENSEN S., LUND I., JOLSEN H. (2008): *Spraying Robots*, «Aspects of Applied Biology 84 – Int. Advances in Pesticide Application», pp. 167-170.
- EBERT T.A., DERKSEN R.C., DOWNER R.A., KRAUSE C.R. (2003): *Comparing greenhouse sprayers: the dose-transfer process*, «Pest Management Science», 60, v, pp. 507-513.
- GIL Y., SINFORT C. (2005): *Emission of pesticides to the air during sprayer application: a bibliographic review*, «Atmospheric Environment», 39, pp. 5183-5193.
- KONDO N., MONTA M., FUJIURA T. (1996): *Basic constitution of a robot for agricultural use*, «Advanced Robotics», 10, iv, pp. 339-353.
- MAERTENS W., NUYTTENS D., SONCK B. (2005): *Optimisation of sequence and orientation for used nozzles based on few, full boom distribution measurements*, «Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.», 70, iv, pp. 989-995.
- MANDOW A., GOMEZ DE GABRIEL J.M., M. RODRIGUEZ J.L., MUNOZ V.F., OLLERO A., GARCIA-CEREZO A. (1996): *The autonomous mobile robot AURORA for greenhouse operation*, «IEEE Robotics & Automation Magazine», pp. 18-28.
- MATTHEWS G.A. (2000): *Pesticide application methods*, ed. Longman Scientific & Technical, New York.
- MOLTÒ E., MARTIN B., GUTIERREZ A. (2001): *Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees*, «J. Agric. Engng Res», 78, i, pp. 35-41.
- NAOKI S., YUKIO O., JUNICHI A., NORI H. (1995): *Fully-automatic spraying system employing spray car*, U.S. Patent 5397056.

- NUYTTENS D., WINDEY S., BRAEKMAN P., DE MORR A., SONCK B. (2003): *Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spraying applications*, «Comm. Agric. Appl. Biol. Sci.», 68, iv, pp. 905-921.
- NUYTTENS D., WIDEY S., SONCK B. (2004): *Comparison of operator exposure for five different greenhouse spraying applications*, «J. of Agricultural Safety and Health», 10, iii, pp. 187-195.
- PAICE M.E.R., MILLER P.C., BODLE J.D. (1995): *An experimental sprayer for the spatially selective application of herbicides*, «J. agric. Eng. Res.», 60, pp. 107-116.
- PAUL H., ILLING A. (1997): *The management of pesticide exposure in greenhouses*, «Indoor and Built Environment», 6, v, pp. 254-263.
- PICCAROLO P. (2008): *Machinery for protected crops*, «Machinery World», ed. Unacoma Service, 6, pp. 64-73.
- SAMMONS P.J., FURUKAWA T., BULGIN A. (2005): *Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse*, Australasian Conference on Robotics and Automation 2005, pp. 1-9.
- SINGH S., BURKS T.F., LEE W.S. (2005): *Autonomous robotic vehicle development for greenhouse spraying*, «Trans. of the ASAE», 48, vi, pp. 2355-2361.
- TIAN L., REID J.F., HUMMEL J.W. (1999): *Development of a precision sprayer for site-specific weed management*, «Transaction of Asae», 42, pp. 893-900.



## Tracciabilità nella filiera floricola

### I. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la globalizzazione e l'affermazione di paesi produttori emergenti hanno comportato evidenti cambiamenti nel mercato florovivaistico. L'Italia si connota come un Paese produttore: il valore della produzione – ai prezzi base – del settore piante e fiori nel 2008 è stato di circa 1,65 miliardi di euro, pari al 6% sull'intera produzione agricola nazionale e al 16% della produzione florovivaistica europea (l'Italia è al secondo posto solo dopo l'Olanda – fonte INEA, 2009). L'import/export intraeuropeo di piante fiorite in vaso ha un valore di circa un miliardo di euro, ed è dominato dalle esportazioni olandesi che sono pari al 65% delle esportazioni totali intraeuropee. Come per i fiori recisi, anche nel settore delle piante in vaso si è affermata la concorrenza internazionale che è costituita soprattutto dai Paesi asiatici (Taiwan, Tailandia, Cina) i quali importano in Europa piante per circa 25 milioni di euro. L'affermazione dei mercati nordeuropei è dovuta anche a un forte sviluppo delle ICT (*Information and Communication Technologies*) che hanno favorito l'integrazione orizzontale e verticale degli attori delle *supply chain* floricole, la cui *governance* si è spostata dal produttore alle aste, a cui i commercianti possono partecipare anche *on-line* da postazioni remote. Più recentemente, le preferenze riguardo al punto vendita anche dei prodotti floricoli vedono una crescita della quota distribuita presso i centri commerciali. Questa realtà rende il consumatore stesso in grado di influenzare direttamente l'offerta del prodotto floricolo il cui acquisto, dati i grossi volumi delle forniture, avviene sempre più a monte della filiera senza intermediazione delle grandi aste (Cheng et al., 2010).

\* Università degli Studi di Torino, DEIAFA

Un efficiente *supply chain management* in floricoltura deve essere in grado di garantire una ottimale reperibilità del prodotto (consegne rapide anche di piccole partite – *real time*) con gamme merceologiche che debbono rispondere a tendenze legate alla moda, alle festività, alla garanzia del rispetto delle condizioni etiche di lavoro, ecc.

Le aziende nazionali, di ridotte dimensioni, per fronteggiare questa rapida e dinamica evoluzione del mercato devono incrementare l'efficienza delle reti commerciali e logistiche per poter affrontare i mercati internazionali (Bellusi, 2008).

A tal scopo, si è assistito allo sviluppo di grandi mercati floricoli a livello nazionale e sono stati creati i Distretti Floricoli: quello del Ponente Ligure (fiori e fronde recise, piante in vaso e materiale vivaistico), quello del Lago Maggiore (piante arbustive acidofile), quello interprovinciale di Lucca e Pistoia (fiori e fronde recisi e piante da fiore in vaso) e quello Siciliano (piante in vaso e agrumi ornamentali).

La definizione di obiettivi comuni e la gestione sullo scambio di informazioni tra le diverse entità aziendali consentono l'organizzazione della produzione e degli scambi lungo la filiera nonché la condivisione delle reciproche problematiche produttive e di mercato dei Distretti o dei gruppi di produttori. Tale risultato è ottenibile mediante la creazione di *network virtuali* in cui le aziende, pur rimanendo entità distinte, creano una rete informativa tramite tecnologie ICT avanzate raggiungendo il risultato di potersi confrontare anche con le grandi aziende.

L'identificazione della singola pianta o delle partite permette di gestire le informazioni sulle movimentazioni lungo la filiera, facilita la gestione aziendale e dei consorzi, favorisce la logistica e l'e-business, contribuendo a contrastare il fenomeno della contraffazione, garantendo l'originalità del marchio e la preservazione del materiale genetico originale.

I sistemi RFID (acronimo di *Radio Frequency IDentification*) stanno già interessando il mercato floricolo. In alcune aste nordeuropee, le cui strutture sono di enormi dimensioni (di superficie pari a centinaia di campi da calcio), si deve gestire, infatti, un'elevatissima quantità di merce altamente deperibile che deve essere smistata e commercializzata in poche ore. I carrelli che movimentano i lotti sono dotati di un *microchip* la cui lettura avviene mediante antenne collocate nel pavimento nelle aree dove il prodotto è caricato, bandito, trasportato e scaricato. Questo sistema consente di ottenere continue informazioni riguardanti la localizzazione dei diversi lotti di fiori e piante all'interno del mercato. Nella zona di carico, poi, la lettura del codice del carrello mediante dispositivi palmari

consente al conducente di acquisire le informazioni sull'esatta tipologia e quantità della merce trasportata.

Questo sistema è utilizzato anche da alcune aziende di servizi che noleggiavano i carrelli utilizzati in floricoltura al fine di gestire la flotta e di ottenere un risparmio sulla manutenzione, evitando di ritirare e riparare erroneamente carrelli non appartenenti alla propria flotta e tipicamente di bassa qualità. L'introduzione dei carrelli dotati di identificatore RFID ha tuttavia creato una forte reazione negativa da parte dei produttori di fiori in quanto, a fronte di un incremento dei costi legati all'acquisto di dispositivi palmari per la lettura, non è stato intravisto un vantaggio se non per i fornitori dei carrelli.

Pur essendo pienamente comprensibili le ragioni del rifiuto nell'utilizzo della tecnologia RFID nei termini in cui è avvenuta l'imposizione, dovrebbero essere valutati i vantaggi conseguibili mediante l'identificazione a radiofrequenza dei carrelli in situazioni dove, ad esempio, sia possibile gestire le informazioni sui lotti mediante l'abbinamento del codice del *microchip* ai lotti di prodotto caricati sui pianali.

L'identificazione *item-level*, cioè a livello della singola pianta eviterebbe però il manifestarsi di errori dovuti alla gestione erranea della movimentazione dei lotti. Inoltre in alcune realtà (presenza di *royalties* sulle varietà), l'apposizione di un identificatore elettronico permetterebbe di contribuire a contrastare il fenomeno della contraffazione.

Il presente lavoro ha lo scopo di presentare le opportunità tecnologiche per l'automazione della tracciabilità nel settore florovivaistico. In particolare si riportano i risultati di un progetto volto alla valutazione delle potenzialità dell'introduzione di sistemi RFID per l'identificazione della singola pianta nel settore floricolo al fine di ottimizzarne il *management* delle informazioni sia all'interno della serra di propagazione del materiale genetico, sia nelle fasi successive della filiera produttiva. Il progetto di ricerca, finanziato dalla Regione Piemonte in collaborazione con il Consorzio dei Fiori Tipici del Lago Maggiore, ha riguardato l'identificazione elettronica di varietà di *Camelia* e *Azalea*. L'attività sperimentale è stata svolta presso l'azienda Tecnoverde (Verbania), dove viene effettuata la radicazione di talee per la propagazione delle diverse varietà. Le piantine prodotte vengono portate quindi allo stadio di accrescimento finale presso le aziende del Consorzio.

Nel caso specifico, oltre alla acquisizione automatizzata dei dati di tracciabilità delle piante lungo la filiera, era richiesta anche una soluzione anti-contraffazione per la protezione dell'originalità del marchio dei Fiori Tipici del Lago Maggiore e delle singole varietà.

## 2. VALUTAZIONE DI SISTEMI RFID OPERANTI A DIVERSE FREQUENZE

L'integrazione dei sistemi RFID per la tracciabilità dei processi nel settore agrario e agroalimentare è spesso problematica per le caratteristiche degli oggetti che si devono identificare e per gli ambienti in cui si opera. I sistemi RFID attualmente utilizzati e rispondenti agli standard internazionali operano a bassa frequenza (*Low Frequency*, da 125 a 134 kHz), alta frequenza (*High Frequency*, 13.56 MHz), e, più recentemente, ultra alta frequenza (*Ultra High Frequency* o UHF, 868 ÷ 915 MHz).

La messa a punto di un sistema di tracciabilità richiede, innanzitutto, la valutazione preliminare dei punti, lungo il flusso produttivo, ove vi sia la necessità di identificare il prodotto.

Una volta individuate le esigenze di registrazione delle operazioni, la ricerca consiste quindi nella risoluzione dei problemi tecnologici che si possono verificare nell'identificazione degli oggetti considerati mediante i dispositivi a punto fisso o i terminali mobili, ai fini di individuare sistemi adeguati per campo di lettura, capacità di operare nell'ambiente considerato ed efficienza nella lettura singola o multipla.

La scelta della banda di frequenza deve quindi considerare le potenzialità nello specifico contesto in cui si opera. Infatti, se si adotta un sistema a ultra alta frequenza, è possibile effettuare la lettura dei dati di tracciabilità anche a notevole distanza (fino ad alcuni metri tra antenna e oggetto identificato) ma si ha una maggior interferenza in presenza di acqua e metalli che rendono il sistema inefficiente (elementi portanti della serra, bancali e dei carrelli metallici, elevata umidità ambientale e del suolo, stress meccanici e chimici provocati dalle movimentazioni, dai rinvasi, dall'irrigazione e dai trattamenti).

I sistemi a bassa frequenza riescono invece a comunicare con l'antenna anche attraverso materiali ad alto contenuto in acqua (sono utilizzati anche dispositivi posti sottocute o nel ruminale degli animali), ma lo svantaggio dei sistemi LF risiede nel fatto che, per la corretta identificazione, l'antenna deve essere a distanza ravvicinata con l'oggetto da identificare. Inoltre, nei sistemi a bassa frequenza, data la minor velocità di trasmissione tra antenna e transponder, la possibilità di lettura contemporanea di più transponder nell'area di lettura, che attualmente viene risolta mediante interrogazioni successive applicando algoritmi che escludono la lettura degli oggetti già identificati, è assai inefficiente.

Un aspetto da non sottovalutare è il costo del sistema, in termini di costi fissi legati alle antenne, apparati di controllo e *software* e di costi variabili legati principalmente al costo del singolo identificatore elettronico. Attual-

mente gli identificatori più economici sono quelli che operano in ultra alta frequenza (costo unitario al di sotto dei dieci centesimi).

## 2.1 Gli identificatori elettronici

L'identificatore elettronico (comunemente detto *microchip* o, più tecnicamente, *transponder*), una volta applicato, assegna all'oggetto identificato un codice univoco standardizzato secondo specifiche normative internazionali. Il codice, che viene associato in un database alle diverse informazioni relative all'oggetto identificato, viene trasmesso a distanza a un apparato di lettura che presiede all'attivazione del *transponder* e alla decodifica del segnale mediante un *reader*.

Riguardo alla modalità di apposizione del *transponder* alla pianta in vaso, sono state valutate due ipotesi di utilizzo della RFID in floricoltura in base agli obiettivi del progetto. Un'ipotesi prevedeva di nascondere il *microchip* interrandolo in modo che non potesse essere in seguito visto, manipolato o estratto; l'interramento potrebbe essere una soluzione valida nel caso in cui il *microchip* sia utilizzato come dispositivo anticontraffazione. L'altra ipotesi prevedeva l'integrazione del *transponder* in un'etichetta che potesse anche essere stampata riportando barcode, Q-code e altre informazioni. Tale etichetta doveva essere solidamente collegata alla pianta e difficilmente rimovibile in quanto le fascette, le etichette e i cartellini attualmente in commercio possono essere facilmente rimossi e sostituiti. Il materiale di rivestimento del *transponder* deve essere compatibile con le condizioni di umidità, temperatura, shock meccanico, utilizzo di agenti chimici, caratteristici dei due ambienti (suolo e intorno della parte aerea della pianta).

La sperimentazione presso l'azienda Tecnoverde ha riguardato l'identificazione elettronica di varietà di *Camelia* e *Azalea*. Al fine di poter identificare la pianta dall'inizio del ciclo produttivo, l'apposizione del *transponder* è stata effettuata in occasione del primo rinvaso, quando la talea radicata in terriccio disposto in vassoi alveolati viene trasferita da operatrici in vasi di 10 cm di diametro.

Sono stati sperimentati diversi modelli di *transponder* RFID operanti in banda LF, HF o UHF, collocandoli in posizioni diverse all'interno del vaso.

Tra i *transponder* a bassa frequenza, che sono stati collocati all'interno del pane di terra, sono stati scelti dispositivi operanti a 125 kHz di forma circolare (diametro 30 mm, in resina poliammidica), e un tipo operante a 134 kHz commercializzato come auricolare per l'identificazione degli animali. Questi identificatori,

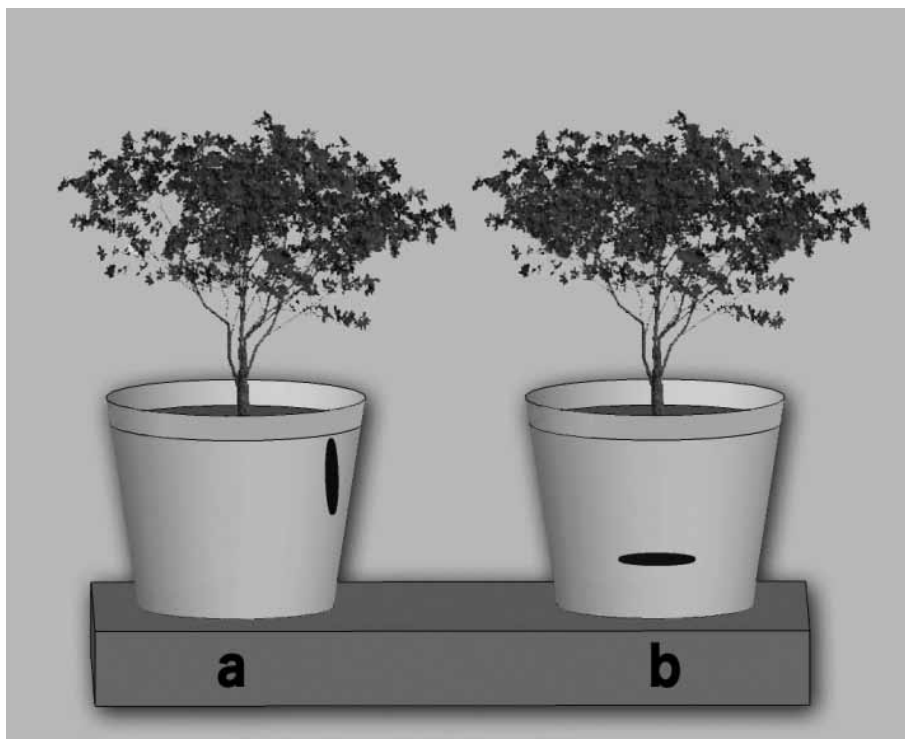


Fig. 1 *Posizione dei transponder LF all'interno del vaso: a) posizione verticale; b) posizione orizzontale*

ideati per altri usi, hanno un costo assai elevato per gli obiettivi del progetto, ma sono stati comunque utilizzati al fine di verificare la rispondenza del tipo di *microchip* più che del materiale di rivestimento che costituisce gran parte del costo dell'intero *tag*. Sono stati considerati due orientamenti del *transponder* interrato: orientamento orizzontale e verticale, come descritto in figura 1.

Nel caso dell'alta e dell'ultra alta frequenza, sono state progettate e realizzate etichette in PVC composte da due parti distinte: una superiore (85 x 55 mm) che contiene il transponder e una forata inferiore (80 x 25 mm) da inserire nella terra contenuta nel vaso (fig. 2). I fori presenti nella parte inferiore permettono alle radici della pianta, durante la fase di crescita, di penetrarvi circondando l'etichetta che viene così ancorata fortemente alla pianta.

Questa realizzazione evita il contatto della parte elettronica con la terra e con l'acqua contenute nel vaso e orienta verticalmente l'etichetta rendendone più agevole la lettura. L'etichetta è stata coperta da brevetto italiano (Barge et al., 2010).

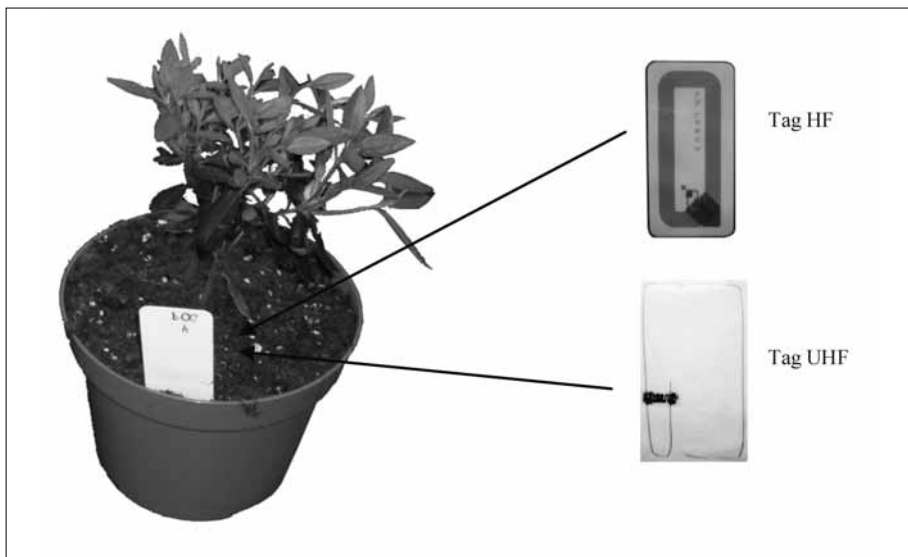


Fig. 2 Etichetta elettronica in PVC contenente il transponder (HF o UHF). La parte inferiore dell'etichetta, inserita nel pane di terra, è forata e permette l'ancoraggio del tag alla pianta

L'etichetta contenente il transponder UHF consente di ridurre la parte aerea a soli 85 x 35 mm, il che potrebbe rispondere maggiormente alle esigenze richieste nel settore floricolo.

Durante la sperimentazione, durata otto mesi, la funzionalità dei tag è stata periodicamente verificata per rilevare eventuali danneggiamenti ed è stato rilevato lo sviluppo dell'apparato radicale intorno al dispositivo.

## 2.2 Dispositivi di lettura

Sono state ipotizzate diverse modalità di rilevamento dei *transponder*: identificazione da parte di un operatore con lettore portatile o lettura a punto fisso in varchi opportunamente predisposti per la lettura su bancale mobile o sui carrelli su cui vengono movimentate le piante.

Mediante dispositivi portatili opportunamente configurati con *software* sincronizzati con il database aziendale, possono essere registrate le diverse operazioni effettuate in serra. Tali dispositivi, già utilizzati in logistica per il carico e scarico merci, sono modulari e consentono all'operatore di inserire

i dati manualmente operando sulla tastiera, di acquisire il bar code tramite scanner o identificare uno o più oggetti contemporaneamente mediante lettura RFID.

Durante la sperimentazione è stato utilizzato un palmare PDA Psion Teklogix – Workabout PRO dotato di moduli di lettura alle diverse frequenze (LF, HF e UHF). Per agevolare la lettura di *transponder* più distanti dall'operatore sono disponibili anche antenne brandeggiabili (*wand*) che possono essere indipendenti o collegate al palmare tramite connessione *wireless*. Nella ricerca è stata utilizzata un'antenna *wand* 815 x 35 mm per la lettura dei transponder a bassa frequenza secondo lo standard dell'identificazione animale (protocollo di comunicazione FDX-B in conformità con le ISO 11784 e 11785).

Le prove dinamiche invece sono state effettuate utilizzando antenne di tipo statico, nel cui campo di lettura vengono movimentate le piante identificate.

A bassa frequenza sono stati utilizzati un sistema statico a 125 kHz collegato a un'antenna a pannello di piccole dimensioni e un sistema di lettura utilizzato nel settore zootecnico la cui antenna a pannello è di dimensioni adatte per l'identificazione dei bovini. L'area di lettura generata dai due sistemi è analoga per conformazione nei diversi orientamenti antenna/transponder, ma più ampia nel caso dell'antenna per l'identificazione animale (Gay et al., 2008; Barge et al., 2009). Le antenne sono state posizionate di fianco, nel caso di interrimento in posizione verticale, o al di sotto, nel caso di interrimento in posizione orizzontale, a un nastro trasportatore utilizzato in serra per movimentare i vasi subito dopo il primo trapianto.

Ad alta frequenza (13.56 MHz), sono state svolte prove di lettura multiple e dinamiche predisponendo un varco le cui due antenne sono state posizionate parallelamente e frontalmente tra loro a una distanza di circa un metro. Le antenne sono sincronizzate (in configurazione Helmutz) e collegate a un *reader* che acquisisce da entrambe applicando un algoritmo anticollisione. Su due piani di un carrello del tipo utilizzato nella serra, sono state poste piante identificate mediante etichette HF posizionate con orientamento dapprima parallelo rispetto alle antenne (fig. 3) e quindi con orientamenti casuali. Il carrello è stato movimentato manualmente attraverso il varco. L'efficienza del sistema è calcolata mediante il rapporto tra il numero di *tag* rilevati sul totale dei *tag* presenti.

A ultra alta frequenza, i varchi sono stati creati mediante combinazioni di diverse antenne per verificare la massima efficienza di lettura multipla delle piante identificate sia su banchale che su carrello.





Fig. 3 *Identificazione in lettura dinamica attraverso un varco RFID ad alta frequenza di piante in vaso con transponder in etichette*



Fig. 4 *Identificazione di 80 piante movimentate su un bancale mediante antenne UHF*

Questi *gate* di lettura sono stati realizzati mediante una struttura che permetteva il posizionamento di combinazioni di più antenne a polarizzazione lineare o circolare.

Nella serra considerata, i lotti di vasetti sono movimentati mediante bancali mobili metallici movimentati su rotaie. È stata ipotizzata la lettura a punto fisso, collocando due antenne lineari lateralmente al bancale in movimento. Sul bancale sono state disposte le piante identificate elettronicamente mediante etichette UHF orientate casualmente. L'efficienza di lettura è stata confrontata con quella ottenuta aggiungendo al sistema una terza antenna a polarizzazione circolare montata su un supporto di legno sopra il bancale (fig. 4).

Per l'identificazione multipla e contemporanea delle piante caricate su carrello è stato realizzato un varco UHF intorno a una piattaforma rotante comunemente usata in serra per il confezionamento con film plastico dei carrelli prima della spedizione. Su tale varco sono state montate di 4 antenne a polarizzazione lineare e/o circolare in diverse combinazioni. Il varco è stato utilizzato per la lettura dinamica e multipla di vasi contenenti le etichette UHF in orientamento casuale (fig. 5). La lettura avveniva durante la rotazione del carrello per il tempo necessario per applicare il film plastico.



Fig. 5 *Lettura dinamica di 129 piante in vaso identificate con etichette UHF durante la fasciatura prima della spedizione*

### 3. RISULTATI

Al termine della sperimentazione tutti i transponder utilizzati, operanti alle diverse frequenze, sono risultati in buono stato e funzionanti.

I transponder LF interrati sono rimasti inglobati nell'apparato radicale per cui al successivo rinvaso sono stati trasferiti dagli operatori senza incorrere in rischio di eventuali perdite.

Le etichette non presentavano rotture e l'ancoraggio del dispositivo alla pianta è risultato stabile: la pianta poteva essere sollevata afferrandola dall'etichetta senza provocarne il distacco (fig. 6). L'accrescimento della pianta non è stato ostacolato dalla presenza dell'etichetta. La funzionalità delle etichette non è mai stata compromessa dalla presenza del terriccio ricco o di acqua. Per quel che concerne i dispositivi mobili a bassa frequenza, la lettura mediante il solo modulo del PDA, data la bassa potenza di lettura, è stata possibile solo a contatto del vaso il che rende l'identificazione difficoltosa e impraticabile nel caso di rinvaso in diametri maggiori. L'antenna brandeggiabile LF permette la lettura di tutte le piante sul bancale della serra. Tuttavia, siccome la lettura riguarda la singola pianta, nel caso in cui si debba identificare un intero lotto di piante sul bancale, la manodopera richiesta risulterebbe troppo elevata. Tale sistema potrebbe essere utilizzato, ad esempio, per identificare singole piante oggetto di studio in vivai dove è importante gestire piante madri per la selezione genetica.

Operando mediante dispositivi mobili in banda HF si possono ottenere piccoli miglioramenti nell'efficienza e nella distanza di lettura, che, purtroppo, non comportano una sostanziale differenza nell'operatività richiesta.

Mediante i dispositivi mobili in banda UHF, invece, è possibile compiere la lettura contemporanea di un centinaio di piante. Dato l'ampio campo di lettura, si potrebbe presentare il problema opposto, ovvero l'identificazione involontaria di piante che si trovano nelle vicinanze di quelle considerate. Tale problema può essere risolto regolando opportunamente la potenza del modulo UHF.

La prova di lettura dinamica effettuata mediante l'antenna a pannello a bassa frequenza di minori dimensioni posizionata a fianco al nastro trasportatore non ha fornito risultati soddisfacenti; infatti, le ridotte dimensioni dell'antenna non consentono di generare un campo sufficientemente ampio per ottenere un'adeguata efficienza di lettura. Buoni risultati sono stati invece ottenuti utilizzando l'antenna LF per identificazione animale, sia posizionata al lato sia al di sotto del nastro trasportatore. Come già precedentemente constatato (Gay et al., 2008), la presenza di più *transponder* nell'area di lettura in assenza di



Fig. 6 *Ancoraggio dell'etichetta elettronica al suolo*

protocolli anticollisione provoca la mancata identificazione di parte dei vasetti. È stato perciò necessario ridurre la larghezza del campo di lettura applicando una parziale schermatura del campo con pannelli metallici. Mediante questo accorgimento è possibile leggere tutti i tag contenuti nei vasi disposti sul nastro in movimento distanziati tra loro di 300 mm. L'identificazione delle piante su carrello mediante varco HF hanno dato buoni risultati di lettura solo nel caso in cui i tag erano disposti parallelamente rispetto all'antenna e il carrello era movimentato a una velocità ridotta (0,2-0,3 m/s). A velocità del carrello più elevate (0,5 m/s), solo l'85% dei tag è stato correttamente rilevato. Con le etichette disposte casualmente sul carrello è stata ottenuta una lettura incompleta (circa 80% di tag rilevati/tag presenti). Inoltre, deve essere considerato che, per ottenere la lettura di tutte le piante, l'altezza delle singole antenne dovrebbe essere portata a un valore all'incirca pari a quella del carrello.

I sistemi UHF possono essere facilmente impiegati in serra sia per l'identificazione della singola pianta sia per la lettura dinamica di più tag contemporaneamente.

L'identificazione dinamica delle piante di Azalea e Camelia su bancale mobile mediante due antenne poste a fianco del bancale ha fornito buoni risultati (96% di letture corrette), ma ai fini dell'applicazione pratica l'efficienza dovrà essere migliorata. L'aggiunta di un'ulteriore antenna circolare non ha comportato cambiamenti significativi dell'efficienza di lettura. Dato che la movimentazione delle piante in questa serra viene effettuata su questo tipo di bancale, la predisposizione di portali RFID all'entrata delle diverse serre permetterebbe la localizzazione di ogni lotto. Eventualmente anche il bancale potrebbe essere equipaggiato con un dispositivo RFID eventualmente di tipo attivo e in grado di rilevare alcuni parametri ambientali (umidità relativa, temperatura, ecc.).

Mediante i varchi a ultra alta frequenza costituiti da quattro antenne, è possibile effettuare correttamente l'identificazione automatica contemporanea di ogni singola pianta caricata su un carrello a pieno carico (più di 100 vasi). Tale risultato è stato raggiunto effettuando la lettura per circa un minuto che corrisponde al ciclo di apposizione del film plastico. Questa soluzione permetterebbe, ad esempio, l'automazione delle registrazioni di carico/scarico dei prodotti e la compilazione dei documenti di accompagnamento.

In conclusione, l'identificazione in radiofrequenza può essere validamente implementata per l'automazione dei sistemi di tracciabilità e di gestione delle informazioni nel settore floricolo. I sistemi UHF sono risultati i più promettenti in quanto permettono l'identificazione multipla e contemporanea dei singoli vasi movimentati mediante le normali attrezzature di serra. Ai fini di un'eventuale applicazione pratica, sono tuttavia necessari ulteriori approfondimenti tecnologici nonché attente valutazioni economiche sui costi-benefici relativi a ciascuna specie coltivata.

#### RINGRAZIAMENTI

Progetto finanziato dalla Regione Piemonte. Si ringrazia per la collaborazione l'azienda Tecnoverde di Verbania.

#### RIASSUNTO

L'articolo analizza soluzioni tecnologiche per l'implementazione di un sistema RFID per la tracciabilità della singola pianta di *Camellia* e *Azalea* in vaso. Sono stati valutati sistemi

RFID a bassa, alta e ultra alta frequenza in una serra per la propagazione delle piante da talea. L'ancoraggio dei diversi tipi di *transponder* già presenti in commercio o appositamente progettati e sviluppati, è avvenuto mediante interrimento (LF) o ancoraggio radicale di un'etichetta elettronica (HF e UHF). L'efficienza di lettura è stata sia in condizioni statiche che dinamiche, con antenne fisse e mobili. Mediante i sistemi HF e UHF è stata determinata anche la precisione ottenibile nella lettura multipla di piante caricate sui bancali o sui carrelli normalmente impiegati nella serra.

#### ABSTRACT

This paper describes how a RFID based traceability system for single potted plant tracking in greenhouse during the whole production process of *Camellia* and *Azalea* can be implemented. RFID systems operating at three frequencies were evaluated: LF systems were tested in the case of tag insertion in the soil, while HF and UHF systems were adopted using tags embedded in plastic label strongly anchored to the plant roots. Different combinations of mobile and fixed antennas, readers and transponders were evaluated. Reading tests were performed on single or multiple plants, both in dynamic and static conditions. Multiple identification in HF and UHF combination of linear and circular polarization antennas.

#### BIBLIOGRAFIA

- BARGE P., GAY P., MERLINO V., TORTIA C. (2009): *Tracciabilità per ogni vaso*, «Colture Protette – Orticoltura e Florovivaismo», 11, pp. 56-58.
- BARGE P., GAY P., TORTIA C. (2010): *Etichetta elettronica con sistema di ancoraggio radicale per l'identificazione a radiofrequenza delle piante in vaso*, brevetto numero TO2010A000472.
- BELLUSSI D., DE PASCALE S. (2008): *Il florovivaismo marsalese*, «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili», serie VIII, 5, II, pp. 377-384.
- CHENG H.C., CHEN M.C., MAO C.K. (2010): *The evolutionary process and collaboration in supply chains*, «Industrial Management and Data Systems», 110, 3.
- GAY P., PICCAROLO P., RICAUDA AIMONINO D., TORTIA C. (2008): *Livestock identification and farm management by RFID systems*, AgEng – International Conference on Agricultural Engineering, Hersonissos, Crete, 23-25 giugno 2008.
- INEA (2008): *I numeri del settore florovivaistico internazionale nel 2008*, pubblicazione del 1/10/09 sul sito [www.inea.it](http://www.inea.it).

## Raccolta meccanizzata dello zafferano

### INTRODUZIONE

Autori classici, tra cui Omero, Virgilio, Plinio e Ovidio citano, nelle loro opere, lo zafferano, vantandone le virtù che meglio si esprimono nell'arte culinaria e nella tintoria di tessuti pregiati.

Questa piantina, della famiglia delle iridacee, è originaria; dall'Asia la coltivazione si diffuse ben presto nell'Africa settentrionale e in Europa (Hill, 2004).

Lo zafferano, *Crocus Sativus*, appartiene alla famiglia delle iridacee e ha circa 60 specie, quasi tutte presenti nella regione mediterranea. Le prime notizie di questa coltura risalgono al periodo cretese, al terzo millennio prima di Cristo. Regioni d'origine si stima siano quelle dell'odierno Afghanistan e dell'attuale Pakistan. Da secoli l'Europa ricopre un ruolo preminente nella produzione e nella commercializzazione dello zafferano a livello mondiale. Alcuni resti archeologici rammentano che si tratta di una coltura radicata da millenni nel bacino del mediterraneo. Importanti estensioni di coltivazione e produzioni, notevolissime per qualità, si trovano in Sardegna nella zona del Medio Campidano.

La parola Zafferano ha radice antica: trae origine dal persiano *zaa-fran* poi latino *Safranum* e arabo *asfar* che significa giallo (Kumar, 2006) La coltura dello zafferano si estese nel Caucaso e nella regione irano-turca al tempo di Alessandro Magno, nel quarto secolo avanti Cristo, e giunse nel bacino del Mediterraneo in epoca classica diffondendosi durante tutto il periodo imperiale.

\* Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Cagliari



La produzione di zafferano nella regione europea si è andata contraendo in quantità, come si vede dal grafico in figura 1, ma è viva nelle tradizioni e tutte le genti che la hanno praticata in passato o che la praticano tuttora sono tradizionalmente legati a questa coltura e la proteggono con forza.

La modalità di coltivazione dello zafferano è rimasta pressoché immutata negli ultimi secoli. Tale coltura necessita ancora di notevoli costi per una manodopera qualificata, a causa del suo indice di meccanizzazione pressoché nullo.

Il miglioramento del costo della vita e il conseguente aumento del costo della manodopera hanno comportato una diminuzione della produzione di zafferano nei paesi del Mediterraneo, tuttavia, la profonda conoscenza della spezia e la perizia nel suo trattamento accurato e qualificato da parte degli europei, contribuiscono a rendere lo zafferano di produzione europea e sardo in particolare, un prodotto di qualità decisamente superiore a quella di qualsiasi altra zafferano. Le zone di produzione di zafferano nel mondo e in Europa sono indicate in figura 2.

Malgrado il crollo della produzione europea di zafferano, il controllo del mercato mondiale di questo settore resta nelle mani delle aziende europee, che sono depositarie della conoscenza per la coltivazione e il trattamento dello zafferano di qualità. Le piccole e medie imprese europee del settore controllano quasi la totalità del mercato mondiale, in un regime di forte concorrenza. Lo zafferano di Sardegna, al quale, in primis, si rivolge la ricerca qui descritta, è annoverato tra i migliori al mondo.

Il fiore di zafferano, rappresentato in figura 3, è di dimensioni minute, ha un'altezza da terra di non più di un paio di decine di centimetri e ha petali di un delicato colore rosa violetto. Lo stelo del fiore è delicato e fragile, le foglie, che spesso circondano il fiore, sono lanceolate e ben più tenaci rispetto allo stelo. Il calice porta cinque foglie, all'interno ci sono tre antere di colore giallo vivo e gli stimmi di un rosso intenso e vivace; da questi ultimi si ricava la preziosa spezia.

Lo zafferano è classificato, con prove in laboratorio, in base al contenuto di crocina, che è responsabile del colore, di pirocrocina, che dà il gusto, e safranale, in grado di rendere inconfondibile il profumo della spezia (ISO 3632), (McGee, 2004).

Si annoverano anche applicazioni medicali per questa preziosa spezia (Castillo et al., 2005; Hosseinzadeh et al., 2007).

La produzione di stimmi freschi per ettaro varia da alcuni chilogrammi a poco più di dieci, per ricavare un chilogrammo di stimmi freschi occorre circa mezzo quintale di fiori. Gli stimmi, dopo il processo di essiccamento, si ridu-

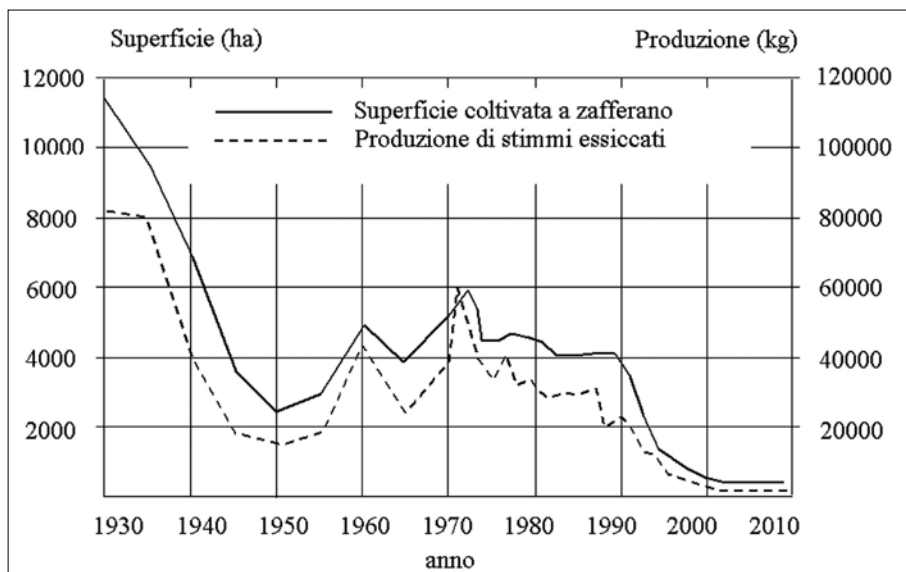


Fig. 1 *Superficie coltivata a zafferano e produzione di stimmi essiccati in Europa negli ultimi anni*

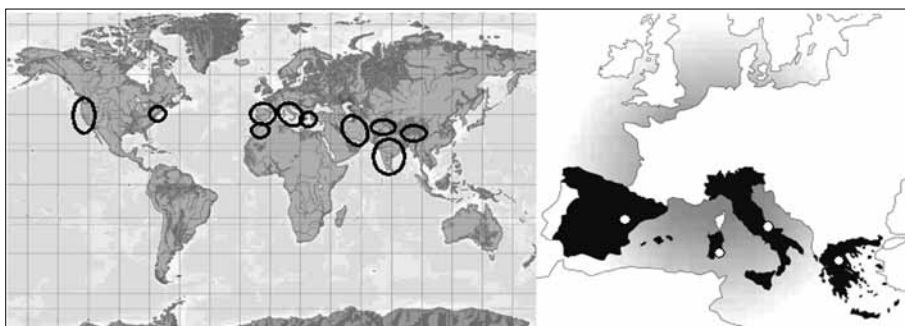


Fig. 2 *Zone di produzione dello zafferano nel mondo ed in Europa*

cono ulteriormente da un chilogrammo a due ettogrammi. Un chilogrammo di stimmi di zafferano essiccato richiede circa duecentomila fiori e conta circa mezzo milione filamenti. La produzione mondiale di zafferano è stimata in 300 tonnellate.

La raccolta, la successiva mondatura e l'essiccazione sono effettuate manualmente, con grande dispendio di fatica e costi elevati, soprattutto nella fase di raccolta, a dispetto di quanto avviene in moltissimi campi dell'agricoltura, dove la meccanizzazione è largamente diffusa.

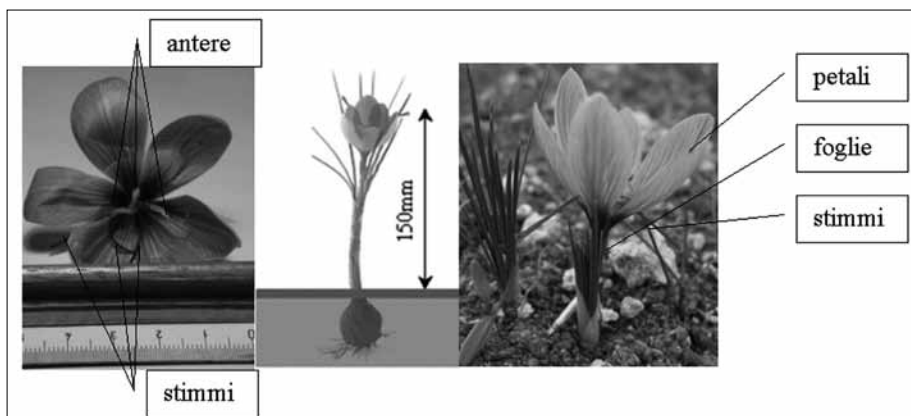


Fig. 3 *La piantina di zafferano*

La fioritura inizia verso la fine di ottobre, per concludersi nelle prime due settimane di novembre e la raccolta inizia quando i fiori incominciano a spuntare, verso la metà o la fine di ottobre, e si protrae per un paio di settimane. Poiché la coltivazione è in campo aperto, la raccolta viene fatta non appena si ha la fioritura: il prodotto sarebbe gravemente danneggiato da eventuali piogge, frequenti nei mesi di ottobre e novembre. Si noti che un chilogrammo di stimmi essiccati è prodotto con la raccolta di circa duecentomila fiori, oggi raccolti manualmente uno per uno. Inoltre, si deve considerare che lo zafferano fiorisce, in una certa zona, nell'arco ristretto di un paio di settimane, in una certa regione, provocando, in questo modo, un forte aumento dei costi della mano d'opera di raccolta, che è richiesta tutta in un arco di tempo ristretto, rendendo molto difficoltosa una pianificazione territoriale della campagna di raccolta. Gli stimmi essiccati sono la spezia di maggiore valore specifico massico al mondo. Con una efficace meccanizzazione delle fasi di posa, raccolta, mondatura ed essiccazione si otterrebbe, da questa coltivazione, un alto valore aggiunto (Ruggiu e Manuello 2006), (Gracia et al., 2009).

Il lavoro di raccolta dello zafferano è faticoso e impegnativo per una resa, però, di alto valore. Per lo zafferano di elevata qualità, come quello eccellente coltivato in Sardegna, si arriva a costi al dettaglio del prodotto essiccato, di oltre una decina di migliaia di Euro, per un chilogrammo di prodotto essiccato; si noti, però che per ottenere un chilogrammo di prodotto è necessario raccogliere quasi duecentomila fiori. Inoltre si deve considerare che lo zafferano è coltivato in campo aperto e fiorisce, in una certa zona, nell'arco ristretto di una settimana, in una certa regione. La raccolta deve essere prontamente eseguita, allo scopo di evitare danni al raccolto per improvvise intemperie, che

sarebbero fatali al fiore ormai sbocciato. La necessità di un rapido raccolto, concentrato in un arco di tempo limitato, nell'intera regione di coltivazione, obbliga a un impegno pesante da parte degli addetti alla raccolta, che, come detto, avviene manualmente. La raccolta, a causa delle dimensioni limitate e della delicatezza del fiore, costringe chi raccoglie a chinarsi fino quasi a terra per ogni fiore; una volta separato dalle foglie il fiore è reciso con un movimento delle dita, pollice e indice, che recidono lo stelo delicato e fragile, alla base del calice.

La raccolta dei fiori non trova, attualmente, automatizzazione soddisfacente, soprattutto per coltivazioni in fondi di piccola estensione, a dispetto delle raccolta di prodotti ortofrutticoli per i quali i sistemi automatici e robotizzati hanno permesso innovazioni a vantaggio della produttività e della qualità del lavoro degli addetti. Una serie di sistemi e dispositivi sono proposti e commercializzati per la fase di raccolta di prodotti (Petrucci et al., 1983; Pilarski et al., 2002; Manfredi, 1990; Giametta, 1992; Kondo e Monta, 1999a). A dispetto del grande numero di realizzazioni meccaniche e robotiche in campo agricolo, la raccolta di fiori non è così largamente automatizzata, e tanto meno esistono dispositivi per la raccolta delle delicate iridacee, a cui appartiene lo zafferano (Kondo e Monta, 1999b; Williams G.A., 1986; Savoia G., 1985; Valk e Vos Marinus, 2003; Melidis e Vatterott, 1986; Erriu et al., 2006).

Gli Obiettivi di questa ricerca, condotta presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università degli Studi di Cagliari dal gruppo del Professor Manuello, ormai da alcuni anni, riguardano l'ideazione e la realizzazione di dispositivi per l'agevolazione della raccolta del fiore dello zafferano di Sardegna e per la mondata automatica degli stimmi. La realizzazione di tali macchine agevolatrici è finalizzata a una produzione della spezia che preservi l'attuale alta qualità, evitando l'elevato onere delle fasi di produzione attualmente realizzate a mano.

#### I PROTOTIPI DI DISPOSITIVI PER IL DISTACCO DEL FIORE

Nell'attività rivolta alla ricerca per la meccanizzazione della raccolta dello zafferano, svolta dal gruppo del prof. Manuello, presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università degli Studi di Cagliari, sono stati realizzati diversi prototipi per la raccolta del fiore dello zafferano. La raccolta dei fiori non trova, attualmente, automatizzazione soddisfacente, soprattutto per coltivazioni in fondi di piccola estensione, a dispetto delle raccolta di prodotti ortofrutticoli per i quali i sistemi automatici e robotizzati hanno

permesso innovazioni a vantaggio della produttività e della qualità del lavoro degli addetti. In collaborazione con gli operatori del settore si è individuato una strategia di distacco del fiore alla base del calice, che si rifà alla esperienza sul campo e alla perizia degli operatori. Tale strategia dovrà considerare le problematiche legate alla meccanizzazione di un tale movimento meccanico, anche risolvendo il problema legato alla presenza delle foglie e alla necessità di evitare il loro danneggiamento nella fase di raccolta del fiore.

Questo movimento, che prevede l'accostamento di elementi meccanici a cedevolezza controllata, coinvolge foglie e stelo operando un sfregamento con il distacco del solo fiore e la salvaguardia dell'integrità delle foglie, in virtù della maggiore tenacia delle foglie rispetto allo stelo del fiore.

In base alle considerazioni e alle conclusioni raggiunte in seguito alla partecipazione alle fasi della campagna di raccolta sul campo, si è individuato uno primo schema di dispositivo. In questo schema si ha un profilo coniugato in grado di riprodurre, con una sola attuazione, il movimento che permette di recidere il fiore (Ruggiu e Manuello 2006).

In figura 4a si vede uno schema di una camma movente che si impegna su un cedente. I due profili coniugati, strisciando uno sull'altro, impegnano foglie e stelo del fiore. Il distacco del fiore avviene per azione dei profili coniugati e delle foglie stesse, lanceolate e a bordi affilati, che lacerano lo stelo, rispetto a esse è molto più cedevole e carnoso. In questo modo, si ha un distacco del fiore senza in alcun modo danneggiare le foglie e, inoltre, si evita un taglio vero e proprio.

I risultati delle analisi, sia cinematiche sia dinamiche, condotte con codici di simulazione multi-corpo, sono stati utilizzati per la definizione di primi prototipi. Uno di questi, rappresentato in figura 4b, ha permesso di verificare la possibilità di impegnare foglie e stelo del fiore nella zona di distacco e l'efficacia della fase stessa. Il prototipo è costruito in lega leggera, dotato di attuazione elettromeccanica, di opportuni riscontri meccanici e di fine corsa. Questo dispositivo è progettato per il montaggio su una imbracatura, come dispositivo spalleggiabile, portabile sul campo.

Il prototipo, rappresentato in figura 4b, è stato realizzato in lega leggera. Esso ha un supporto sul quale sono fissati la camma, il cedente e il servomotore. La parte di profilo P1 evidenziata è coinvolta nella fase di accostamento e imbocco del fiore, questo tratto di curva è una spirale di Archimede che ben si adatta a svolgere la funzione di accostamento; la parti di profilo P1 e P2, invece, strisciano l'una sull'altra macerando lo stelo nello sfregamento, queste curve sono archi di circonferenza. Movente e cedente sono mantenuti a contatto con il fiore da una forza elastica controllata.

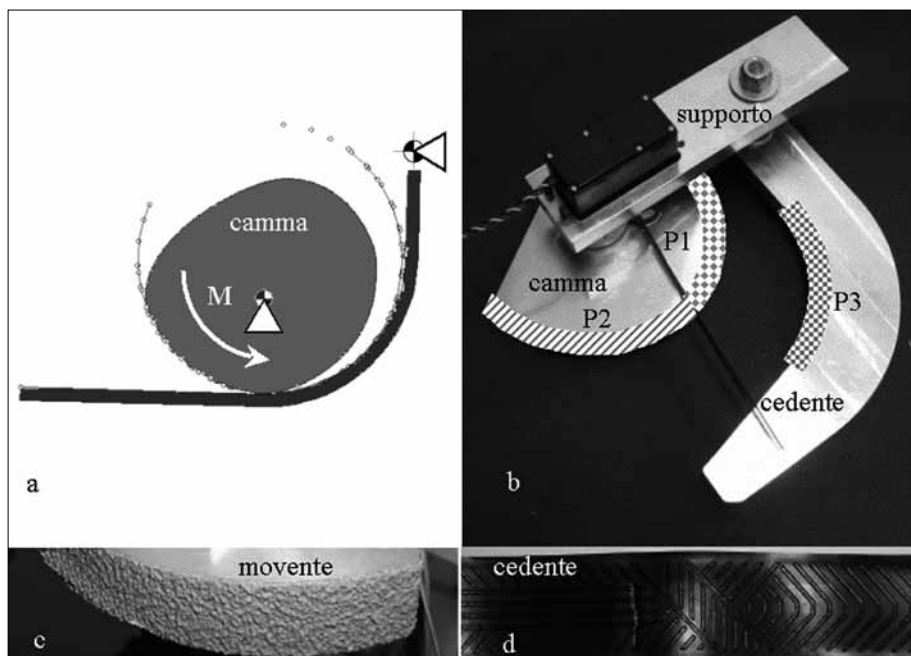


Fig. 4 Schema e prototipo dello strumento per recidere lo stelo (Ruggiu e Manuello 2006)

Particolare attenzione è stata dedicata alla zona di contatto tra movente e cedente. Si è verificato, infatti, come in questa zona si verifichi la presenza e il ristagno di acqua, residui umidi del taglio, residui umidi di fango provenienti dal campo. Al fine di mantenere il più possibile l'efficienza del dispositivo, che fa affidamento sull'attrito tra camma movente, stelo del fiore, foglie e cedente, si è utilizzato un materiale antiscivolo applicato sulle superfici coniugate, come si vede nelle figure 4c e 4d. Sulla superficie della camma e su quella del cedente che a lei si affaccia, sono stati applicati degli speciali rivestimenti con diverse finalità: ottenere un elevato coefficiente di attrito, garantire l'efficacia dell'operazione di imbocco e di schiacciamento e strisciamento dello stelo e per garantire un efficace drenaggio della zona di taglio, soggetta a residui umidi del taglio dello stelo e a eventuali residui fangosi che provengono dal campo.

Questi rivestimenti sono diversi su camma movente e cedente: dalla parte del movente si ha una superficie drenante antiscivolo rigida e scabra, dall'altra, sul cedente, si ha una superficie morbida, porosa e drenante con elevate proprietà antiusura. In questo modo, si è in grado di drenare il materiale umido che, inevitabilmente, è coinvolto nell'operazione di distacco del fiore.

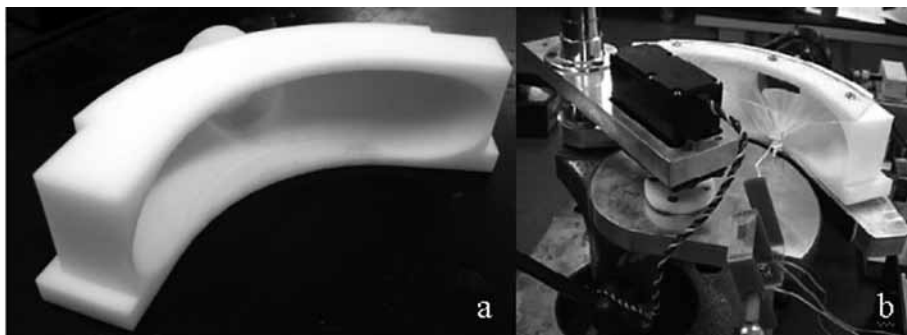


Fig. 5 *Bocca di aspirazione del sistema di raccolta del primo prototipo (Ruggiu e Manuello 2006)*

Nell'accoppiamento dei due materiali si ha un coefficiente di primo distacco maggiore dell'unità. Il dispositivo di taglio è stato quindi montato su un sistema portatile dotato di un aspiratore per la raccolta del fiore reciso. Particolare cura è stata posta nel disegno della bocca di aspirazione, rappresentata in figura 5a, alla quale è affidato il compito di accogliere il fiore evitando ogni danno al prodotto. La bocca di aspirazione è stata quindi montata a fianco del dispositivo di distacco, come in figura 5b.

Questo dispositivo è stato caratterizzato in laboratorio e utilizzato sul campo. I risultati delle prove sperimentali, unitamente ai dati ricavati dalle simulazioni dei modelli multi-corpo, hanno permesso una radicale evoluzione del dispositivo di distacco del fiore dello zafferano.

In base alle considerazioni e alle informazioni ricavate si è ideato, progettato e realizzato un nuovo dispositivo di distacco del fiore a massa contenuta e portatile. Anche questo ultimo si rifà alla tecnica di distacco utilizzata dagli operatori sul campo. Come si vede in figura 6, il sistema è un dispositivo integrato, spalleggiabile e portatile sul campo. Si ha una mano per il distacco del fiore che sfrutta, a tale scopo, la forte differenza strutturale tra stelo e foglie, una bocca di aspirazione, che raccoglie il fiore reciso, aspirato e immagazzinato nella parte alta del sistema. L'attuazione della mano è realizzata con aria compressa controllata da una valvola pneumatica montata nel gruppo comandi del sistema.

La mano per il distacco del fiore è rappresentata in figura 7. Nella fotografia la mano è stata ripresa senza protezioni e coperture, al fine di consentire l'osservazione degli organi interni. Si vede il telaio che porta le boccole di guida in cui si muovono i perni solidali alle dita per il distacco del fiore. Le dita si muovono di moto elicoidale, spinte dal cilindro pneumatico alloggiato

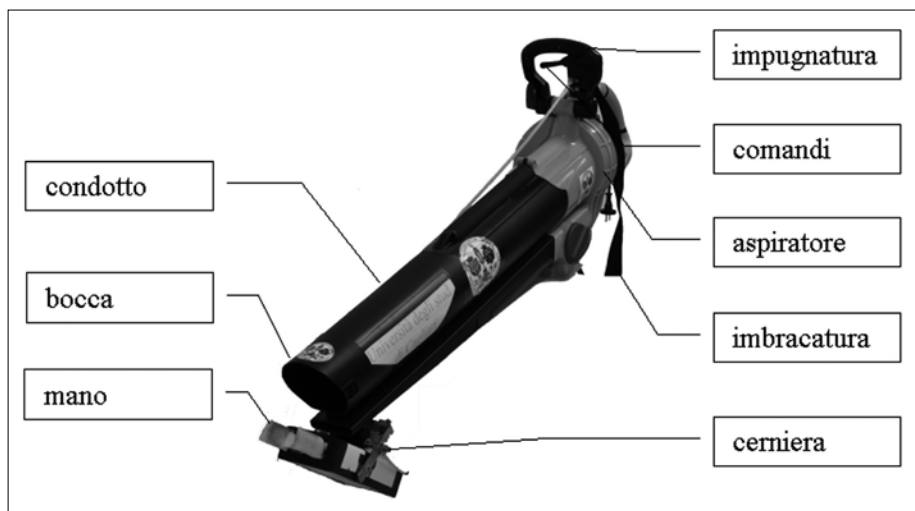


Fig. 6 Il secondo prototipo integrato e portatile sul campo

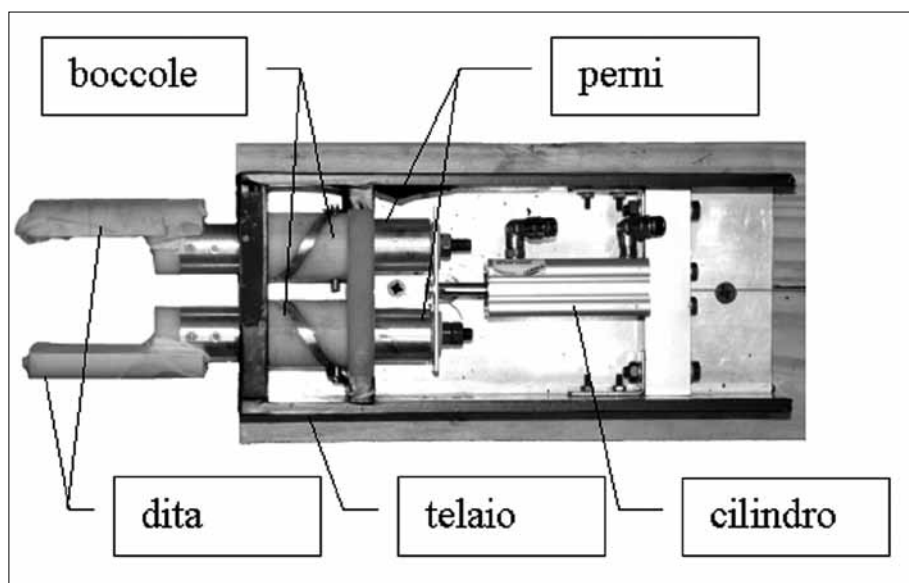


Fig. 7 La mano per il distacco



a bordo della mano. L'intero corpo della mano è montato su una cerniera ad asse orizzontale collegata al corpo principale del dispositivo. Questa cerniera è dotata di un ritorno elastico tarabile, per consentire alla mano un moto di rapida rotazione a cabrare una volta distaccato il fiore. L'elemento elastico della cerniera è caricato di energia potenziale elastica in seguito all'urto, controllato, che si verifica a fine corsa del moto del cilindro.

#### PROVE SPERIMENTALI IN LABORATORIO E SUL CAMPO

Entrambi i dispositivi descritti sono stati provati sia in laboratorio sia sul campo.

Il primo sistema è stato montato su un banco prova in grado di riprendere, in modo fotografico, la fase di taglio. Inoltre si è in grado di rilevare posizione angolare del tagliente e la forza scambiata tra camma e riscontro, durante il distacco del fiore. I trasduttori utilizzati sono un potenziometro rotativo, montato sull'asse della camma, e un trasduttore di forza che rileva la forza con cui si accosta la camma movente al riscontro cedente.

In figura 8 si vede il banco prova attrezzato: si ha il dispositivo di distacco, una telecamera per rilevare il moto di movente e cedente, i trasduttori di spostamento angolare e di forza; il primo rileva l'angolo del movente durante il moto di distacco, il secondo rileva la forza scambiata tra movente e cedente. Questa forza è anche la forza di schiacciamento impressa allo stelo, per il distacco.

Nella fotografia di figura 8 si vedono il dispositivo di distacco, costituito da movente e cedente, il trasduttore di forza, il potenziometro rotativo, la videocamera e l'acquisitore dati.

Questi rivestimenti sono diversi su camma e cedente: dalla parte del movente (camma) si ha una superficie drenante antiscivolo rigida e scabra, dall'altra (cedente) si ha una superficie morbida, porosa e drenante con proprietà antiusura. In questo modo si è in grado di drenare il materiale umido che, inevitabilmente, è coinvolto nell'operazione di distacco del fiore. Nell'accoppiamento dei due materiali si ha un coefficiente di primo distacco maggiore dell'unità.

In figura 9 si ha l'andamento della forza scambiata tra movente e cedente e dell'angolo di rotazione del movente, nel tempo, durante l'azionamento. La forza scambiata ha un valore iniziale non nullo essendovi un precarico dovuto all'interazione dei profili coniugati. La forza, durante l'azionamento, si incrementa di circa il 20%. L'angolo è imposto, invece, dalla legge di controllo dell'azionamento.

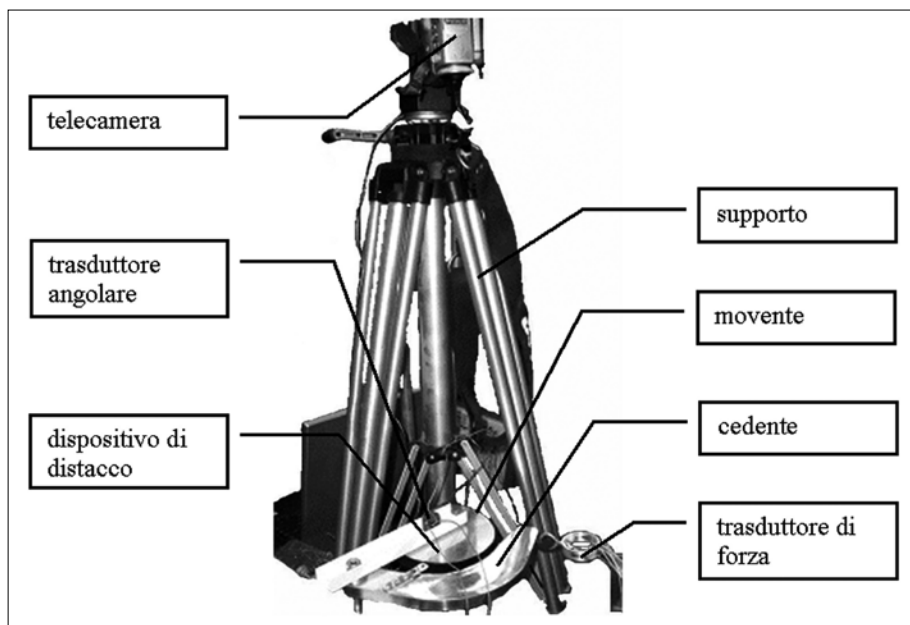


Fig. 8 Il prototipo, ripreso da una fotocamera, sensorizzato con trasduttore di forza e di spostamento angolare

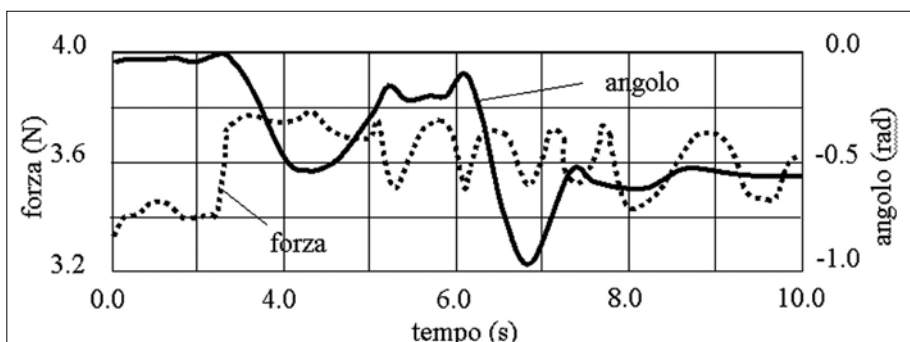


Fig. 9 Andamento della forza scambiata tra movente e cedente e dell'angolo di rotazione del movente, nel tempo, durante l'azionamento

Anche il secondo prototipo è stato provato in laboratorio, dopo essere stato dotato di una serie di sensori. In particolare, esso prevede il montaggio su una struttura integrata e portatile da parte dell'operatore (fig. 6). Il collegamento, alla struttura dell'intero sistema, della mano per il distacco del

fiore è realizzato con una cerniera ad asse orizzontale; questo allo scopo di sfruttare la rapida decelerazione dello stantuffo dell'attuatore pneumatico, giunto a fine corsa, per ottenere un momento cabrante dell'intera mano rispetto alla struttura. In questo modo, si ha un movimento verso l'alto del fiore ormai staccato, questo movimento agevola la sua raccolta, che avverrà anche qui per aspirazione. Al di sotto del dispositivo di distacco vero e proprio è posta una sospensione elastica di fine corsa alla quale si attribuisce il compito di assorbire l'energia cinetica del gruppo mano di distacco, al suo ritorno dopo la rotazione cabrante, e il compito di sospensione statica del gruppo mano.

In figura 10 si riportano gli andamenti di due grandezze, pressione di alimentazione della camera motrice del cilindro e accelerazione dello stantuffo del cilindro, nel tempo. Queste grandezze sono relative alla manovra di movimentazione delle dita, in fase di distacco del fiore, per una pressione di alimentazione dell'aria compressa di 2 bar relativi. La prima grandezza è la pressione relativa dell'aria compressa nella camera motrice del cilindro pneumatico attuatore, la seconda è l'accelerazione dello stantuffo che trascina le dita nel moto elicoidale, quest'ultima è espressa come multiplo della accelerazione di gravità  $g$ .

Si possono individuare alcuni istanti in particolare. In A si ha il massimo valore dell'accelerazione; in B si ha l'urto a fine corsa nel moto, con l'inversione del segno della accelerazione e il raggiungimento del punto C. Iniziano, poi, delle oscillazioni smorzate, fino al raggiungimento dell'equilibrio statico in posizione angolare più picchiata rispetto alla condizione di partenza: infatti, con la fuoriuscita dei diti il baricentro si trova, rispetto alla cerniera, in posizione più avanzata in confronto a quella di partenza.

Il successo della fase di distacco del fiore dipende fortemente dalla dinamica del sistema. Si è quindi condotta una serie di prove a pressione di alimentazione diversa per rilevare l'efficacia di una dinamica più rapida della movimentazione delle dita. Oltre alle prove descritte con la mano montata sul dispositivo portatile e vincolata a questo con una cerniera orizzontale, si sono condotte prove al banco con mano a telaio vincolato. In figura 11 si vede la mano sensorizzata priva di protezione e coperchi: si vedono il telaio, le dita, i sensori di pressione relativa, montati sulle due camere del cilindro, e il trasduttore di posizione a filo per la misura dello spostamento dello stelo del cilindro che comanda le dita nel loro moto elicoidale.

Nel grafico di figura 12, a titolo di esempio, si ha l'andamento dello spostamento dello stelo del cilindro per due diverse pressioni di alimentazione  $P_a$ , riferito al trascorrere del tempo. A pressione più elevata si ha un più ra-

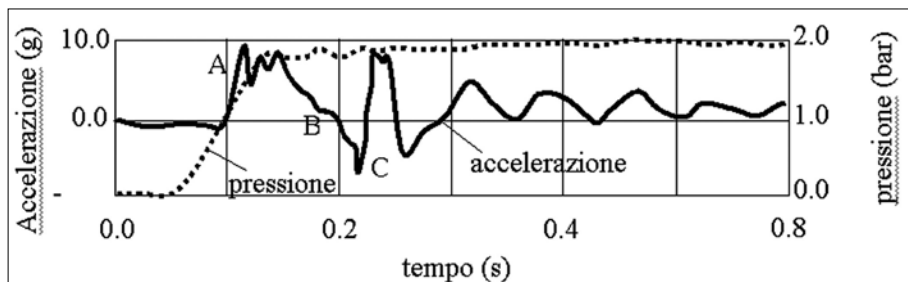


Fig. 10 Andamento nel tempo della pressione di alimentazione del cilindro pneumatico attuatore e dell'accelerazione dello stantuffo espressa in multipli della accelerazione di gravità  $g$

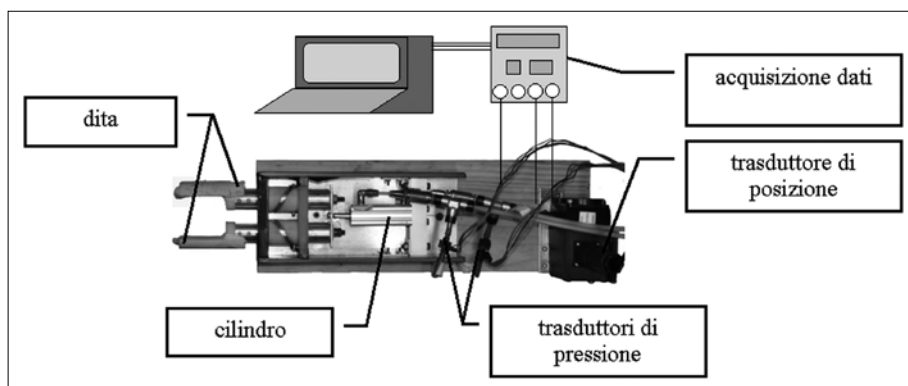


Fig. 11 La mano sensorizzata in pressione e spostamento

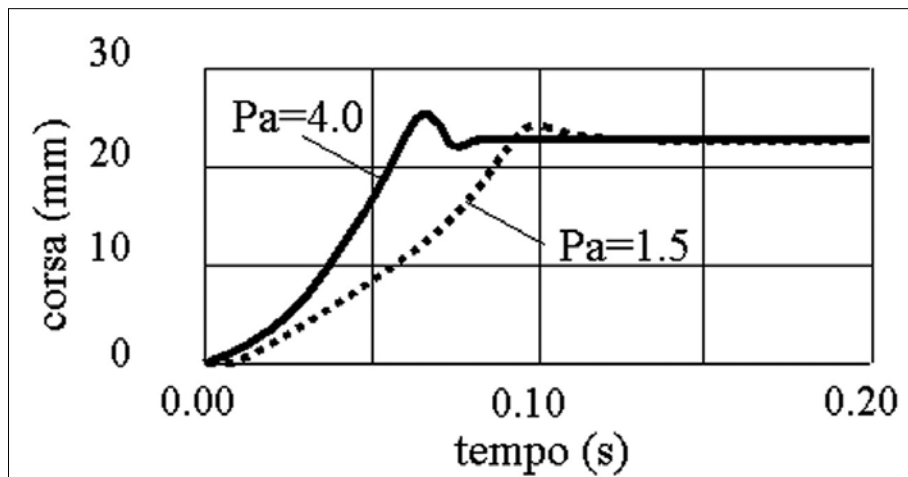


Fig. 12 Andamento nel tempo della pressione di alimentazione del cilindro pneumatico attuatore e dell'accelerazione dello stantuffo, espressa in multipli della accelerazione di gravitazionale terrestre  $g$

pido completamente della corsa del cilindro e una maggiore percentuale di successo della fase di distacco.

Oltre all'attività sperimentale in laboratorio, svolta per la caratterizzazione di entrambi i prototipi realizzati, si sono svolte prove di funzionalità sul campo con l'assistenza dei coltivatori di zafferano del comune di S. Gavino Monreale, nel Medio Campidano.

Le prove sul campo sono state svolte, per il primo prototipo, attrezzato con dispositivo per la portabilità, ma senza attrezzatura di aspirazione, allo scopo di caratterizzare la delicata fase di distacco del fiore e di verificare la funzionalità dell'attrezzatura, in presenza di un ambiente reale in cui sono presenti umidità fango, esposizione agli agenti atmosferici.

L'operatore agisce con il dispositivo dotato di imbracatura di sospensione, spalleggiabile, e con prolunga per evitare la faticosa e poco salutare conseguenza della necessità di piegarsi a ogni operazione di raccolta. Il peso del dispositivo insiste sull'operatore nella condizione di ergonomia ottimale per quanto riguarda la distribuzione del peso: postura eretta con imbracatura a spalla.

Alcune immagini fotografiche, riprese in particolare, delle fasi di prova sul campo, sono riportate in figura 13. In queste fotografie si vede il dispositivo di distacco, in opera, a contatto col fiore. La prima fase è quella di imbocco del fiore, durante la quale il fiore è portato nella zona di lavoro. In questa fase movente (camma) e cedente (riscontro) si avvicinano fino al contatto; la seconda fase è quella di distacco vero e proprio, quando i due profili co-



Fig. 13 *Il primo prototipo durante le prove sul campo*



Fig. 14 *Il secondo prototipo sul campo*

niugati di movente e cedente strisciano l'uno sull'altro con forza di contatto controllata, macerando lo stelo carnoso, ma non danneggiando le foglie eventualmente presenti.

In figura 14 si ha l'attrezzatura utilizzata sul campo per le prove con il secondo prototipo: si vede il dispositivo integrato per distacco del fiore e la sua aspirazione, l'elettro-generatore, il compressore. Nella stessa figura si vede un particolare della fase di distacco del fiore e una serie di fiori recisi.

## CONCLUSIONI

I prototipi realizzati hanno dimostrato la loro efficacia e la possibilità di meccanizzare la gravosa fase di coltivazione dello zafferano relativa alla raccolta.

Per il secondo prototipo, in particolare, si è verificata sul campo l'efficienza e l'applicabilità, anche grazie all'avanzato stato di ingegnerizzazione del prototipo che lo rende utilizzabile in modo semi-operativo.

#### RINGRAZIAMENTI

Questa attività è stata finanziata dal Ministero Italiano della Ricerca e da Sardegna Ricerche. Un contributo è stato offerto dall'Università degli Studi di Cagliari e dalla Provincia del Medio Campidano, in Sardegna.

Si desidera ringraziare i coltivatori di zafferano di San Gavino Monreale per la generosa disponibilità prestata per le prove sul campo.

#### RIASSUNTO

La coltura dello zafferano offre opportunità eccellenti per la valorizzazione di una tradizione millenaria che affonda le sue radici nelle migliori tradizioni millenarie delle terre che si affacciano sul Mediterraneo. Questa mirabile ricchezza di tradizione e di cultura ha le caratteristiche per divenire anche una ottima fonte di sostentamento e di reddito: la spezia dello zafferano è la più costosa al mondo. Solo attraverso l'abbattimento dei costi elevatissimi di produzione, tale coltura può offrire tutta la sua redditività.

La ricerca che si presenta in questo lavoro descrive gli sforzi che sono stati spesi per una meccanizzazione efficace della fase di raccolta, che oggi è svolta a mano e impegnando duramente gli operatori del settore sia economicamente sia fisicamente. Nel lavoro sono descritti diversi prototipi di macchine agevolatrici, sviluppate e realizzate presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica dell'Università di Cagliari, e sono descritte le prove sperimentali in laboratorio e sul campo che hanno permesso la valutazione delle prestazioni.

#### ABSTRACT

The Saffron spice is one of the most ancient agricultural growing in the Mediterranean region. In addition, this spice is surely the most expensive in the world. This fact allows to have a strong profit, on condition that the high production be pulled down.

The research activity, referred in this paper, concerns some prototypes to help in the expensive activity of the Saffron flowers harvesting. These portables machines have the aim to minimize the human effort and to pull down the high economical costs of the Saffron harvesting activity.

In the paper the machines conceived, designed, developed and built at the Department of Mechanical Engineering in the University of Cagliari, are described and the experimental tests in laboratory and on field are referred.

## BIBLIOGRAFIA

- CASTILLO R., FERNANDEZ J.A., GOMEZ G.L. (2005): *Implications of carotenoid biosynthetic genes in apocarotenoid formation during the stigma development of Crocus sativus and its closer relatives*, «Plant Physiology», 139, pp. 674-689.
- ERRIU N., MANUELLO BERTETTO A. AND RUGGIU M. (2006): *A Two Fingers Device for Saffron Flowers Harvesting*, Applied Mathematics and Mechanics series, «Acta Technica Napocensis», 49 (2), pp. 45-50.
- GIAMETTA G. (1992): *Mechanical Harvesting of Olives: Present Situation and Prospects*, «Acta Horticulturae», 321, pp. 510-517.
- GRACIA L., PEREZ-VIDAL C. AND GARCIA-LOPEZ C. (2009): *Automated cutting system to obtain the stigmas of the saffron flower*, «Biosystems Engineering», 104, pp. 8-17.
- HILL T. (2004): *The Contemporary Encyclopedia of Herbs and Spices: Seasonings for the Global Kitchen*, Wiley, USA.
- HOSSEINZADEH H., MODAGHEGH M.H., SAFFARI Z. (2007): *Crocus Sativus L. (saffron) extract and its active constituents (crocin and safranal) on ischemia-reperfusion in rat skeletal muscle*, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. eCAM 2009, 6 (3), pp. 343-350.
- ISO 3632, *Saffron (Crocus sativus Linnaeus)*.
- KONDO N. AND MONTA M. (1999a): *Fruit Harvesting Robotics*, «Journal of Robotics and Mechatronics», 11 (4), pp. 321-325.
- KONDO N. AND MONTA M. (1999b): *Chrysanthemum Cutting Sticking Robot System*, «Journal of Robotics and Mechatronics», 11 (3), pp. 220-224.
- KUMAR V. (2006): *The Secret Benefits of Spices and Condiments*, Sterling, New Dehli.
- MANFREDI E. (1990): *Mechanical Harvesting Tomatoes for Processing*, «Acta Horticulturae», 277, pp. 63-68.
- MCGEE H. (2004): *On Food and Cooking: the Science and Lore of the Kitchen*, Scribner, New York.
- MELIDIS P., VATTEROTT K.H. (1986): *Method and apparatus for harvesting bloom parts of crocus flowers*, D.E. Patent No. 3407517.
- PETRUCCI V.E., CLARY C. D. AND O'BRIEN M. (1983): *Grape harvesting systems*, Principles and Practices for Harvesting and Handling Fruits and Nuts, AVI Publishing, Westport, CN, pp. 525-574.
- PILARSKI T., HAPPOLD M., PANGELS H., OLLIS M., FITZPATRICK K. AND STENTZ A. (2002): *The Demeter System for Automated Harvesting*, «Autonomous Robots», 13 (1), pp. 9-20.
- RUGGIU M. E MANUELLO BERTETTO A. (2006): *A mechanical device for harvesting Crocus sativus (Saffron) flowers*, Applied Engineering in Agriculture, American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), 22 (4), pp. 491-498.
- SAVOIA G. (1985): *Camomile flower picking or harvesting machine*, G.B. Patent No. 2153197.
- VALK J., VOS MARINUS D. (2003): *Flower harvesting, transport and singling method, by transporting flowers in rake shaped holders and transferring them to fork shaped holders in singling device*, N.L. Patent No. 1020432C.
- WILLIAMES G.A. (1986): *Flower Harvesters*, U.S. Patent No. 4761942.