

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-

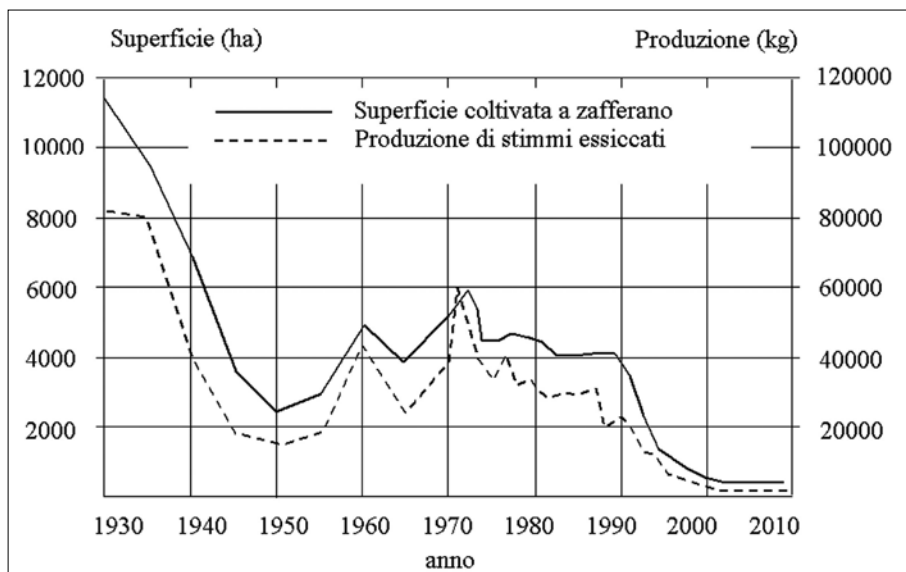


Fig. 1 *Superficie coltivata a zafferano e produzione di stimmi essiccati in Europa negli ultimi anni*

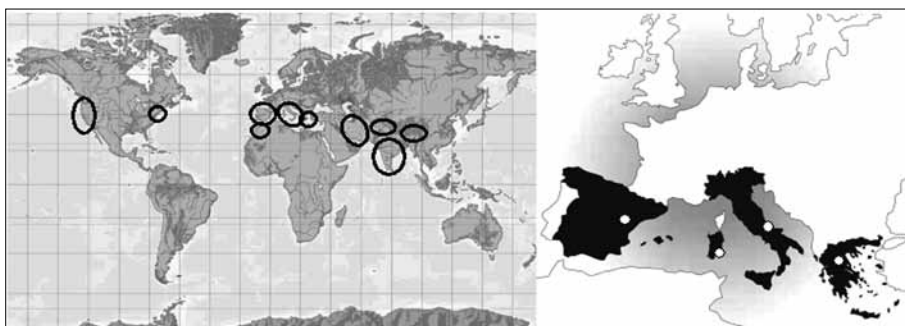


Fig. 2 *Zone di produzione dello zafferano nel mondo ed in Europa*

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.

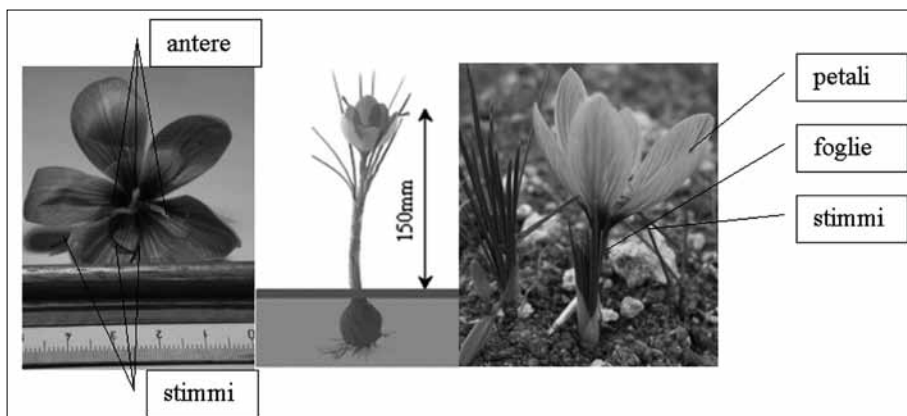


Fig. 3 *La piantina di zafferano*

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 raccolte 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 mondatrice 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 raccolte 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.

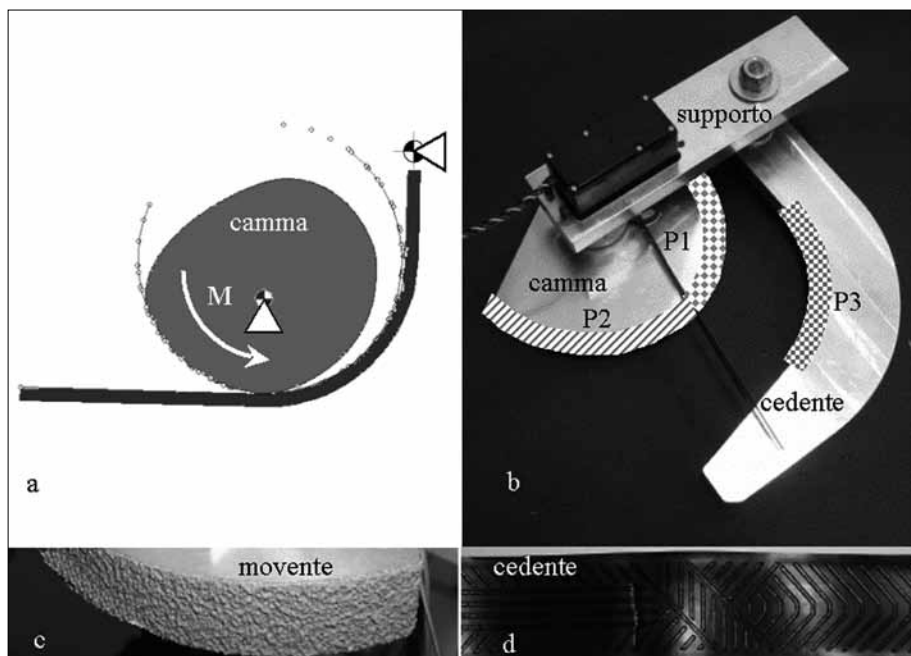


Fig. 4 Schema e prototipo dello strumento per recidere lo stelo (Ruggiu e Manuello 2006)

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.

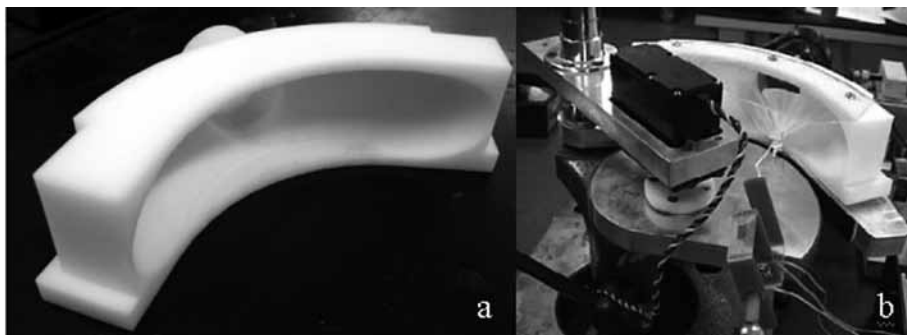


Fig. 5 *Bocca di aspirazione del sistema di raccolta del primo prototipo (Ruggiu e Manuello 2006)*

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

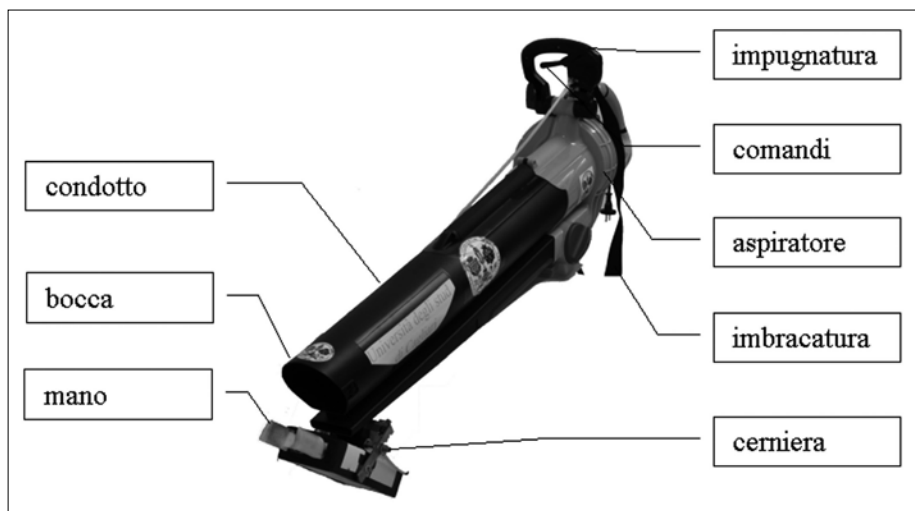


Fig. 6 Il secondo prototipo integrato e portatile sul campo

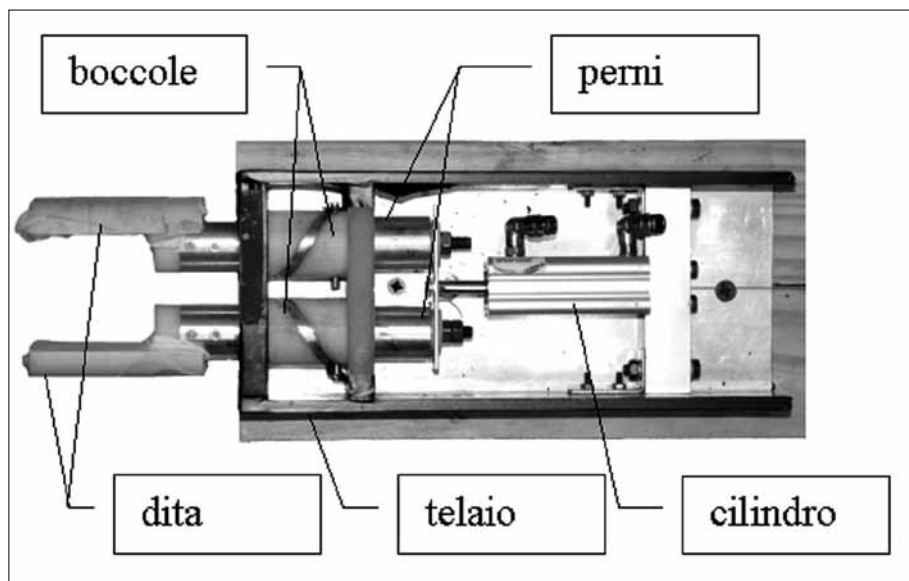


Fig. 7 La mano per il distacco

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.

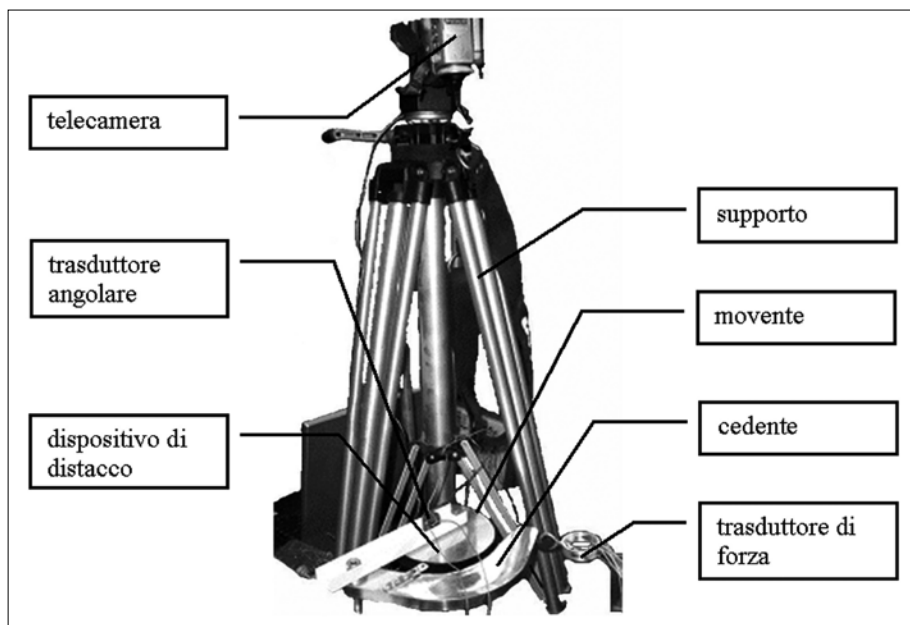


Fig. 8 Il prototipo, ripreso da una fotocamera, sensorizzato con trasduttore di forza e di spostamento angolare

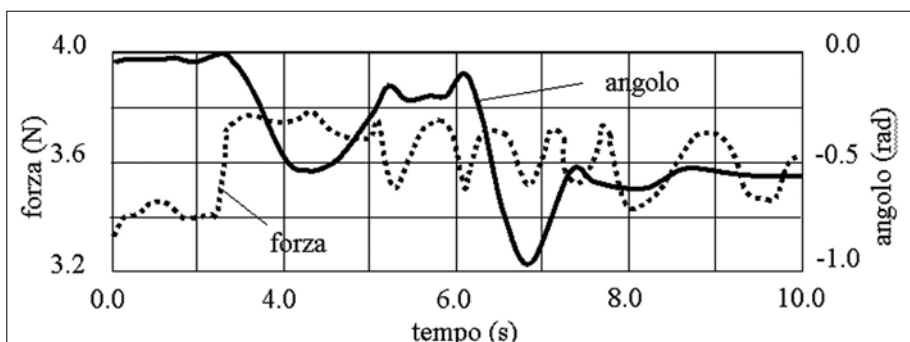


Fig. 9 Andamento della forza scambiata tra movente e cedente e dell'angolo di rotazione del movente, nel tempo, durante l'azionamento

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-

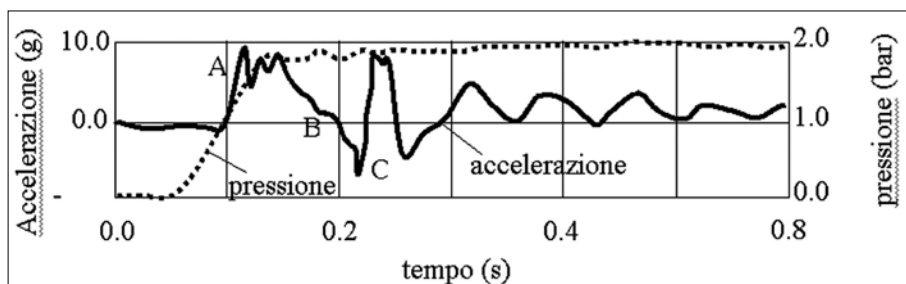


Fig. 10 Andamento nel tempo della pressione di alimentazione del cilindro pneumatico attuatore e dell'accelerazione dello stantuffo espressa in multipli della accelerazione di gravità g

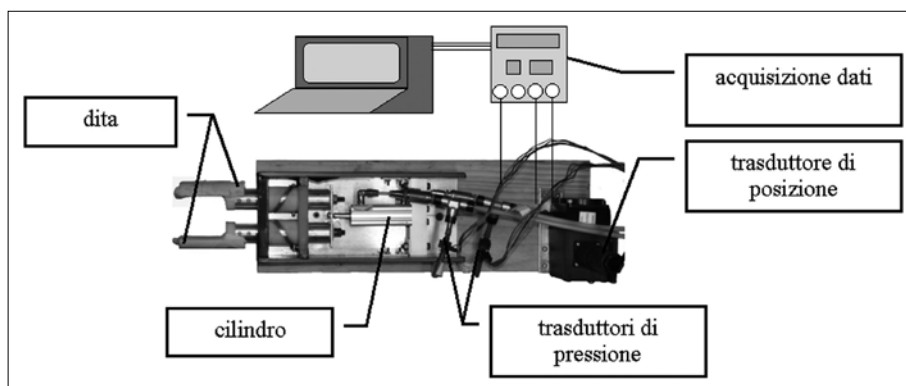


Fig. 11 La mano sensorizzata in pressione e spostamento

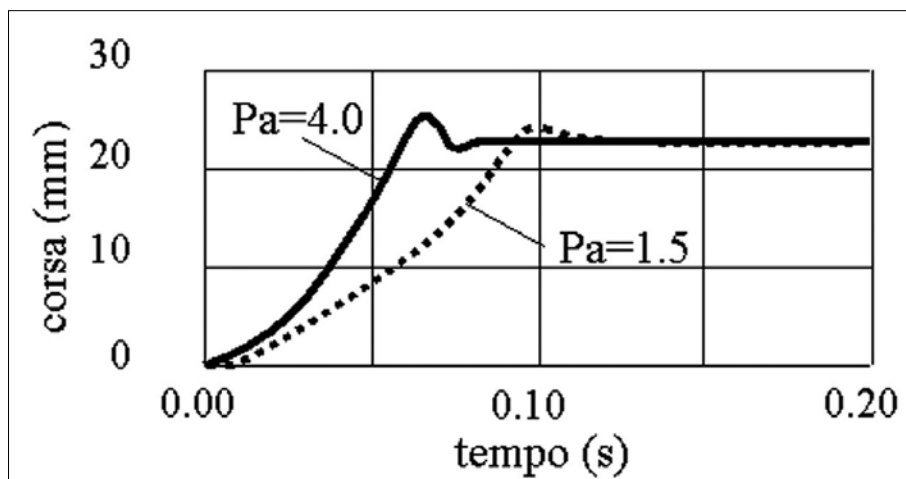


Fig. 12 Andamento nel tempo della pressione di alimentazione del cilindro pneumatico attuatore e dell'accelerazione dello stantuffo, espressa in multipli della accelerazione di gravitazionale terrestre g

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-

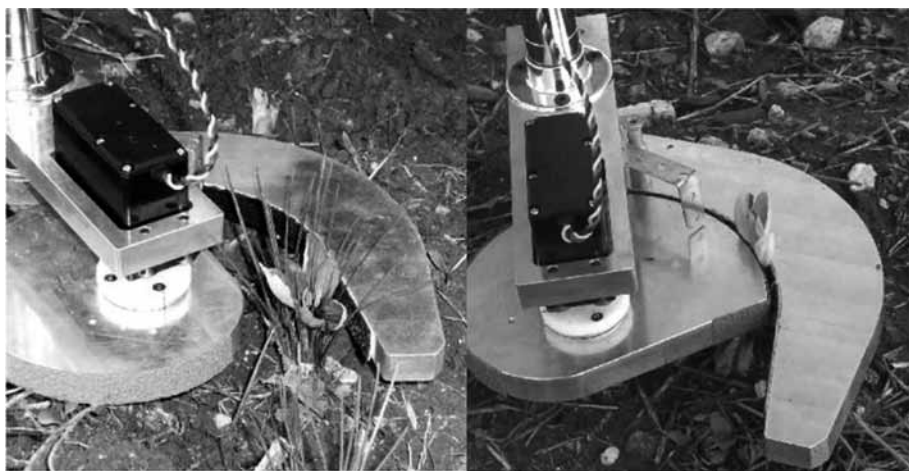


Fig. 13 *Il primo prototipo durante le prove sul campo*



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.