

Coniugare produttività, efficienza e qualità: una questione di precisione

INTRODUZIONE

La frutticoltura di precisione (precision horticulture) è una forma di coltivazione tecnologicamente avanzata, basata sulla conoscenza dettagliata e in tempo reale di parametri biologici, fisici e climatici relativi al frutteto che consentono di ottimizzare le operazioni colturali e gli apporti di mezzi tecnici (diradamento, applicazione di fertilizzanti, irrigazione). È opportuno parlare di frutticoltura di precisione in quanto essa presenta numerose specificità legate alla chioma tridimensionale e non omogenea nelle sue componenti delle piante da frutto, alla loro non uniforme distribuzione sul terreno, alla maggior parte delle operazioni colturali che sono scarsamente meccanizzabili, quali potatura, diradamento e raccolta. Altre caratteristiche specifiche della frutticoltura di precisione sono la necessità di effettuare raccolte ripetute per poter aumentare al massimo la qualità organolettica del prodotto e l'assoluta importanza di preservare la massima qualità a livello di singolo frutto, poiché la totale assenza di imperfezioni e difetti è un requisito indispensabile per la commercializzazione di queste derrate alimentari, che avviene appunto per singolo o pochi frutti per confezione, e non in quantità come per i cereali o anche l'uva da vino.

Gli strumenti di conoscenza dedicati alla frutticoltura di precisione devono dunque essere pensati "ad hoc", per permettere di rispettare le specificità sopra elencate, che non devono essere compromesse, pena la perdita di qualità e di valore del prodotto. Sono necessarie analisi geostatistiche sviluppate ad hoc per queste colture (Manfrini et al., 2009a), che sono disposte sul territo-

* Dipartimento di Scienze Agrarie, Università di Bologna

rio secondo distribuzioni discrete, dettate dai sestì di impianto; metodologie di campionamento e raccolta dei dati in campo che tengano conto dello sviluppo e della complessità tridimensionale della chioma, al cui interno i frutti non sono distribuiti in modo uniforme; sensori (che devono essere efficaci ma a costo contenuto) in grado di misurare i parametri desiderati (ad es. il diametro dei frutti da remoto, o il conteggio di tutti i frutti, compresi quelli situati all'interno della chioma e quindi invisibili). Infine, anche i modelli matematici che si possono utilizzare nell'analisi di questi dati devono tenere conto degli aspetti caratteristici delle singole specie: la fisiologia di crescita del frutto di mela è assai diversa da quella della pesca e i modelli che descrivono questo fenomeno sono di conseguenza assai diversi per le due specie. Infine, sono solo agli inizi le applicazioni di intelligenza artificiale e di analisi "big data" in questo campo, ma è facile prevederne una vera e propria esplosione nei prossimi anni.

IL CONTRIBUTO DELLA FISIOLOGIA

La fisiologia è in grado di contribuire in modo significativo al progresso della frutticoltura di precisione: introducendo nuove conoscenze di base, apre scenari non ancora esplorati. Gli studi di fisiologia sono caratterizzati da elevata interdisciplinarietà e prendono in considerazione un numero sempre maggiore di fattori che influenzano la produzione, anche perché essi sono sempre più facili da misurare, e verosimilmente lo saranno ancor più in futuro (es. marcatori fisiologici rilevabili con semplici kit molecolari). Sono inoltre disponibili in numero crescente modelli matematici capaci di descrivere fenomeni complessi e di effettuare previsioni circa l'andamento futuro di questi fenomeni con una solidità crescente.

Tra le criticità legate all'applicabilità delle conoscenze fisiologiche, le più importanti da annoverare sono il numero ristretto di specie studiate (melo e pesco tendono a farla da padrone) e la mancanza di soluzioni tecnologiche adeguate per un trasferimento su larga scala di acquisizioni sperimentali ormai consolidate. Si può a questo proposito citare il caso delle analisi di immagini ormai molto avanzate nella capacità di discriminare e riconoscere gli oggetti inquadrati, ma tuttavia limitate nella loro trasferibilità alla pratica di campo dal semplice fatto che le chiome nascondono le proprie parti interiori con quelle più esterne, rendendo ancora impossibili stime accurate della numerosità dei frutti per pianta attraverso questa tecnologia.

UN ESEMPIO PRATICO: GESTIONE PRECISA DELLA PRODUTTIVITÀ DELLE CHIOME

In questo settore ormai sono disponibili agli agricoltori approcci ex-ante ed ex-post. Tra i primi si può innanzitutto annoverare la possibilità di un controllo del numero dei punti di fruttificazione (e quindi del carico di frutti) a partire già dalla potatura, con la pratica della “bud-extinction” (Lauri et al., 1997), operazione della fase di allevamento dell’albero mirante a lasciare un carico di gemme miste commisurato alle dimensioni della branca e mantenere così la qualità dei frutti e la regolarità di fruttificazione. Si può già considerare come una misura di frutticoltura precisa anche l’adozione di sistemi di allevamento che prevedono un numero di punti di fruttificazione basso, perché limitato dalla forma stessa, come nel caso del sistema UFO proposto per il ciliegio, o le Y strette per consentire il passaggio di robot (Rover) con a bordo sensori che includono distanziometri laser e fotocamere multispettrali ad alta risoluzione (Hung et al., 2013). Infine, fanno parte di questo approccio anche i moderni fusetti introdotti negli ultimi 10 anni nella coltura delle drupacee, in cui ormai il carico di frutti è determinato in funzione del numero di rami a frutto che vengono lasciati con la potatura. In tutti questi casi si opera con l’obiettivo di indirizzare con il maggior anticipo possibile (nella stagione) l’attività riproduttiva dell’albero verso un numero di frutti il più vicino possibile a quello ottimale, per ridurre al massimo il peso e il costo del diradamento successivo.

Da un punto di vista “ex-post”, la verifica dell’efficacia del controllo del carico di frutti è affidata allo studio delle formazioni fruttifere da cui proviene il prodotto e all’impatto che questo ha sulla qualità organolettica del prodotto, creando un link dal frutteto al resto della catena (Noferini et al., 2009). È infine possibile disporre di mappe delle dimensioni, del grado di maturazione, del contenuto in solidi solubili e altre ancora, ancorate a riferimenti geospaziali che permettono di gestire il frutteto sulla base delle specifiche performance produttive acquisite negli anni precedenti (Manfrini et al., 2009b).

Oggi è inoltre possibile attuare un controllo preciso della fruttificazione in tempo reale. Una volta ottenuto attraverso il diradamento un carico di frutti ritenuto ottimale, è possibile verificare se ciò sia vero monitorando, con rapidi e semplici protocolli operativi, la performance di crescita del frutto (Manfrini et al., 2015). Si possono conoscere e stimare parametri quali la velocità di crescita accumulata fino al momento della misura; le dimensioni a una data di raccolta di riferimento (basata sulla media degli anni precedenti); la distribuzione in classi di pezzatura alla raccolta. Questi dati permettono di valutare in tempo reale le performances produttive dello specifico frutteto e,

se necessario, di modificarne i parametri di coltivazione (tipicamente; l'irrigazione), o di abbassarne ulteriormente il carico di frutti, per correggere eventuali situazioni problematiche (www.hkconsulting.it). Queste previsioni sono disponibili per melo e pero a livello commerciale, mentre per drupacee e kiwi la situazione è leggermente più arretrata. Occorre sottolineare che si tratta di due strumenti, rivolti a una diversa utenza: le previsioni di pezzatura media alla raccolta servono al frutticoltore per modificare la gestione del frutteto, se necessario; la previsione della distribuzione in classi di pezzatura alla raccolta è invece di grande valore per gli uffici commerciali delle cooperative, o delle strutture che vendono il prodotto. Conoscendo in anticipo la tipologia di pezzature e referenze disponibili, infatti, consente di avviare le campagne commerciali più appropriate con il maggior anticipo.

MODELLI FISIOLÓGICI A SOSTEGNO DI SISTEMI ESPERTI

Negli ultimi 20-30 anni, la potenza di calcolo a disposizione, e la disponibilità di software di programmazione sempre più performanti, ma di semplice utilizzazione, hanno permesso di mettere a punto modelli meccanicistici di previsione dello sviluppo dei frutti che sono dotati di notevole robustezza e accuratezza. Questi algoritmi sono evoluti da modelli empirici proposti in alcuni casi diverse decadi fa, di cui nel frattempo altri studi di fisiologia hanno permesso di comprendere i fondamenti scientifici. Per esempio, nel caso delle pomacee, Lakso et al. (1995) hanno proposto un modello espolineare per descrivere la crescita in termini di peso (fig. 1), che mette in evidenza l'importanza della fase di divisione cellulare (fino a circa 50-60 giorni dopo la piena fioritura) per stabilire il potenziale di crescita del frutto (basato sul numero totale di cellule presenti nel pericarpo del falso frutto), potenziale che si può poi realizzare o meno durante la successiva fase di espansione cellulare, a seconda delle condizioni di stress che si verranno a determinare. Il lavoro che propose questo modello non ne fornì una spiegazione fisiologica, anche se si metteva in evidenza il significato "fisiologico" attribuito ai tre parametri del modello, ma successivi studi hanno permesso per lo meno di fornire un'ipotesi (vedi sotto). Comunque, a dispetto del suo "empirismo", la solidità di questo modello si è rivelata tale da permettere di derivarne applicazioni per effettuare previsioni di crescita su scala commerciale nel melo e nel pero.

Per le pesche, DeJong e Goudriaan (1989) proposero il modello log-lineare della velocità di crescita relativa (RGR: g di crescita per grammo di frutto al giorno) che postula che, nella fase di espansione cellulare (fase 3-4), questo

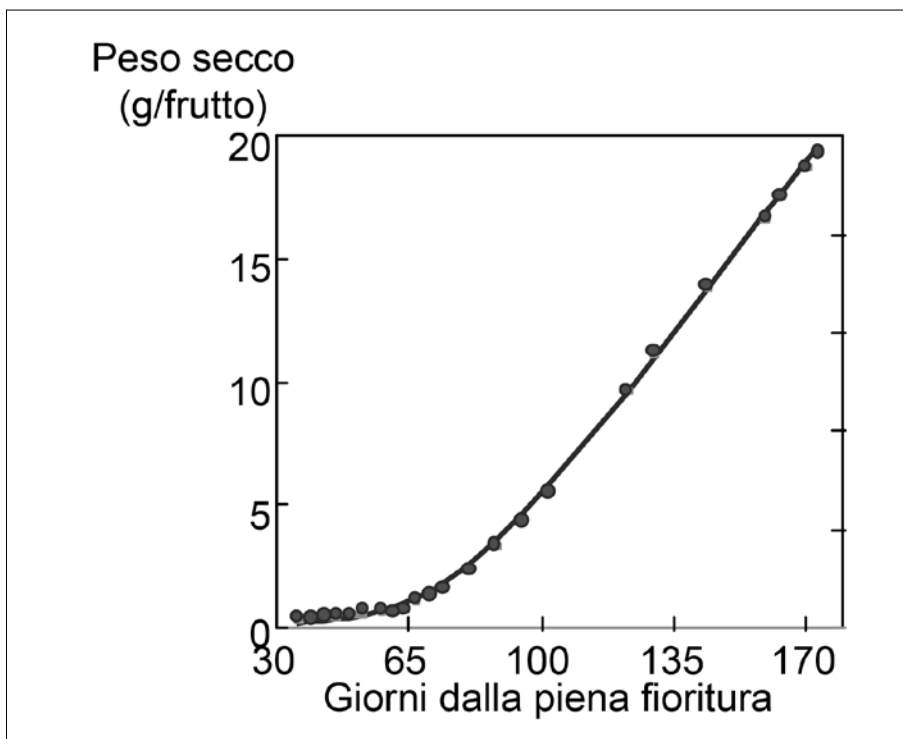


Fig. 1 *Andamento espolineare della crescita del frutto di melo espressa in termini di peso secco. Ad una prima fase di crescita esponenziale (divisione cellulare) segue una crescita lineare (espansione cellulare)*

frutto cresca con un'accelerazione costante (fig. 2). Anche qui, dalle osservazioni che permisero la formulazione di un modello empirico, attraverso gli studi di fisiologia relativi ai flussi vascolari che sostengono la crescita del frutto, si è giunti a modelli meccanicistici di previsione delle dimensioni alla raccolta che hanno una notevole solidità. Appare dunque appropriato fornire alcuni elementi di conoscenza relativi alla fisiologia dei flussi vascolari che permettono la crescita ponderale dei frutti di queste specie.

LA CRESCITA È IL RISULTATO DI UN BILANCIO DI FLUSSI VERSO E DAL FRUTTO

Pur senza negare l'importanza dei meccanismi ormonali e di competizione tra organi in attiva crescita che determinano la durata e l'intensità della crescita dei frutti, da un punto di vista ponderale, tutti i frutti crescono

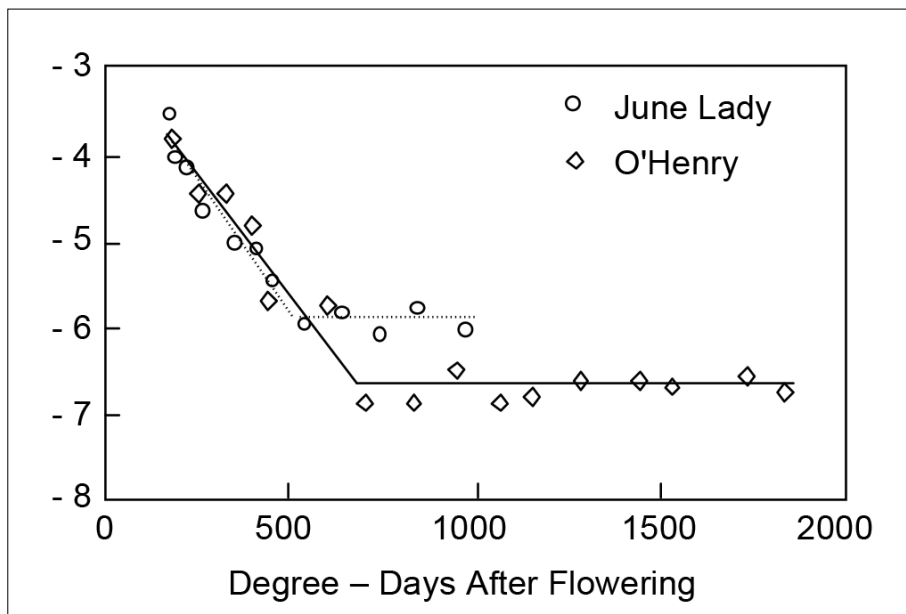


Fig. 2 Andamento del “Relative Growth Rate” di pesche a diversa epoca di maturazione in funzione del tempo, espresso come sommatoria termica. (Da DeJong e Goudriaan, 1989)

grazie a un bilancio di flussi in entrata e in uscita dal frutto stesso (Fishman e Génard, 1998). In prima approssimazione si può dire che, per crescere, i frutti devono traspirare, ossia perdere acqua attraverso l’epidermide, con processi di scambio gassoso riconducibili alla traspirazione fogliare. Questo permette un abbassamento del potenziale di pressione del frutto che facilita influssi attraverso il sistema floematico e xilematico (Morandi et al., 2010). La traspirazione dipende da fattori genetici legati alla specie, quali le caratteristiche anatomiche dell’epidermide del frutto, e da fattori ambientali, come il grado di secchezza dell’aria, che ne determina la capacità di richiedere acqua ai frutti (Jones and Higgs, 1982). Il flusso xilematico è legato alle caratteristiche di conducibilità dei vasi xilematici (determinate geneticamente e che possono variare durante la stagione), nonché alle condizioni di idratazione della pianta e al momento della giornata (che dipendono dall’ambiente). Nelle ore più calde del giorno infatti, può accadere che la domanda d’acqua da parte delle foglie sia così alta da richiamare acqua dai frutti attraverso lo xilema (Lang, 1990). Il floema infine, contribuisce all’aumento in peso e diametro del frutto sia in termini di acqua che di carboidrati, che permettono alle cellule di accrescersi con la produzione di nuove componenti cellulari (parete, organelli, ecc.), e di richiamare altra

acqua dallo xilema, grazie ai carboidrati solubili importati che rendono più negativo il potenziale di pressione del frutto. I meccanismi di trasporto di carboidrati dal floema al frutto (scaricamento floematico) sono essenzialmente due: uno passivo, che avviene grazie a un gradiente di concentrazione o di potenziale idrico e per questo non richiede energia metabolica (dunque passivo); uno mediato da trasportatori di membrana che scaricano carboidrati dal floema nelle cellule del parenchima del frutto consumando energia metabolica (per questo si definisce attivo) (Patrick, 1997).

Pur senza entrare in eccessivo dettaglio, si può dire che la mela è un frutto dotato di un meccanismo di scaricamento attivo durante tutta la sua crescita (Zangh et al., 2004), che poggia sulla capacità delle cellule parenchimatiche del frutto di scaricare carboidrati contro gradiente, consumando ATP. La mela è caratterizzata durante la stagione da un'attività traspiratoria progressivamente decrescente, che arriva a valori molto bassi in prossimità della raccolta, mentre la connessione xilematica tra albero e frutto viene persa assai presto nella vita del frutto, che resta così dipendente dall'albero solo attraverso il floema (Lang, 1990). Queste conoscenze permettono di capire come mai la mela sia un frutto che cresce linearmente in peso durante la fase di distensione cellulare. Infatti, poiché il numero di cellule parenchimatiche in questa fase è fissato (la citochinesi è cessata), se si assume che il numero di trasportatori per cellula sia fissato, e che la loro attività sia relativamente costante, laddove i livelli di carboidrati nel floema non siano eccessivamente variabili, si potrebbe descrivere la crescita come:

$$\text{Crescita} = N.\text{Cell.} \times N.\text{Trasp./Cell.} \times \text{Attività Trasp.}$$

Le conoscenze relative ai flussi vascolari del pesco (Morandi et al., 2007; 2010) hanno messo invece in evidenza che questa specie dipende fortemente dalla traspirazione epidermica per il proprio sviluppo, e che la funzionalità xilematica non è mai compromessa durante la stagione di crescita. Queste informazioni permettono di formulare ipotesi meccanicistiche della crescita del frutto di questa drupacea, che è caratterizzato da una accelerazione costante (come indicato nel 1989 da DeJong e Goudriaan) e quindi da una velocità di crescita in costante aumento. Uno dei fattori che guida la crescita è rappresentato dalla traspirazione dell'epidermide; poiché la superficie dell'epidermide aumenta in funzione del quadrato del raggio, ogni giorno la superficie aumenta di un valore superiore a quello del giorno prima. Poiché però il peso del frutto è funzione della terza potenza del raggio, il suo incremento è ancora maggiore, e ogni giorno la crescita supera quella del giorno precedente (fig.

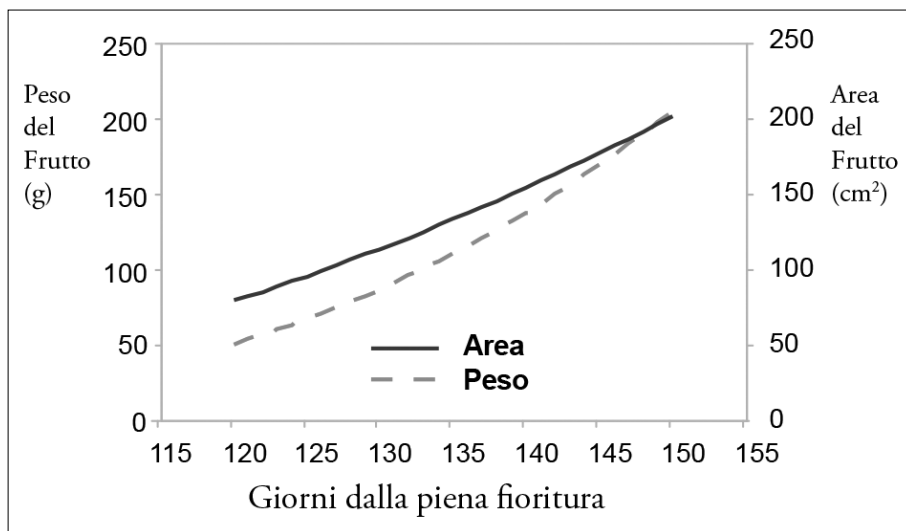


Fig. 3 Superficie e volume di un frutto di 50 mm di diametro che cresce 1mm al giorno durante la fase di espansione cellulare. La progressione del peso è più rapida perchè funzione della terza potenza del raggio del frutto stesso

3). Il vantaggio è tanto maggiore quanto più è tardiva la varietà considerata. Per massimizzare la produttività di questa specie diventa quindi alquanto importante una definizione corretta e accurata della data di raccolta, in quanto per una cultivar di media maturazione con una produttività di 30 t/ha un giorno in più sulla pianta può corrispondere a oltre mezza tonnellata per ettaro di maggiore produzione.

UNO SGUARDO AL FUTURO

Da alcuni anni ormai si registrano sviluppi molto interessanti verso l'introduzione di sistemi di coltivazione automatizzata, e sistemi di rilevazione precisa di parametri necessari per l'implementazione di protocolli di frutticoltura di precisione quali quelli più sopra accennati. Questi progressi sono resi possibili dall'aumento esponenziale del potere di calcolo dei computer e dei linguaggi di programmazione, che consentono applicazioni, soprattutto nel settore di analisi delle immagini, a dir poco mirabolanti. A titolo di esempio, si citano studi in cui sono implementati algoritmi in grado di capire se siano stati inquadrati due o più frutti parzialmente sovrapposti, e ancora caratterizzati da un colore verde su sfondo verde del fogliame (Hung, 2013).

Nel primo caso si tratta di macchine o sistemi di coltivazione altamente automatizzati, per riuscire a coltivare terreni marginali o con problematiche fisico-chimiche come scarsa fertilità o addirittura contaminazione radioattiva, come nel caso di molte zone interessate dal fall-out della centrale di Fukushima nel 2011, che ha reso inutilizzabili decine di migliaia di ettari di terreno, sui quali stanno sorgendo serre in coltura idroponica di ortaggi e piccoli frutti completamente automatizzate. Un altro esempio è il recupero di cave e altre realtà con terreni marginali, in cui robot si sostituiscono all'uomo in fasi particolarmente difficili o faticose della coltivazione di piante da frutto o ornamentali in vaso. In queste applicazioni prevale un approccio di controllo "totale" del processo di produzione, con sensori che monitorano lo stato delle piante e guidano di conseguenza gli impianti di fertirrigazione, l'intensità dell'illuminazione, ecc.

L'altra grande rivoluzione tecnologica riguarda l'implementazione di sistemi automatici di rilevazione del numero e posizione nel frutteto e nell'albero di fiori e frutti, o di altri parametri, come le dimensioni del tronco a un'altezza dal terreno predefinita. Questi sistemi sono generalmente di due tipi: rover e droni. I primi sono veicoli terrestri semoventi, in grado di trasportare un numero elevato di sensori delle caratteristiche degli alberi e del suolo. I rover sono in genere completamente indipendenti, non avendo bisogno di presenza umana alla guida, anche da remoto, perché si muovono seguendo un "piano di volo" precaricato sui dispositivi di guida automatica. Lo stesso si può dire per i "droni" o UAV (unmanned aerial vehicles), che sono velivoli ad ala fissa o rotante, di dimensioni variabili, fino a oltre un metro, capaci di trasportare un carico utile di alcuni chilogrammi. Qualunque sia il vettore prescelto, questi veicoli sono in grado di fornire mappe georeferenziate dei parametri misurati, permettendo di conoscere le potenzialità produttive del frutteto nelle sue diverse parti, e fornendone anche la spiegazione, grazie alla messe di parametri che possono venire misurati. Anche se potenzialmente in grado di promuovere un grande progresso nella conoscenza delle caratteristiche del frutteto, tuttavia, questi sistemi sono ancora in una fase di sviluppo, e mancano ancora buoni esempi di interazione tra ingegneri e sistemisti da una parte, e fisiologi e "coltivatori" dall'altra. È però facile prevedere sviluppi positivi di queste tecnologie nel prossimo futuro. Reti "wireless" sono già implementate, almeno a livello sperimentale, costituite da una serie di nodi di rete collegati tra loro, e ai quali si possono collegare sensori provvisti di cavi, come per esempio fruttometri. Normalmente, uno dei nodi è dotato di un modulo di comunicazione

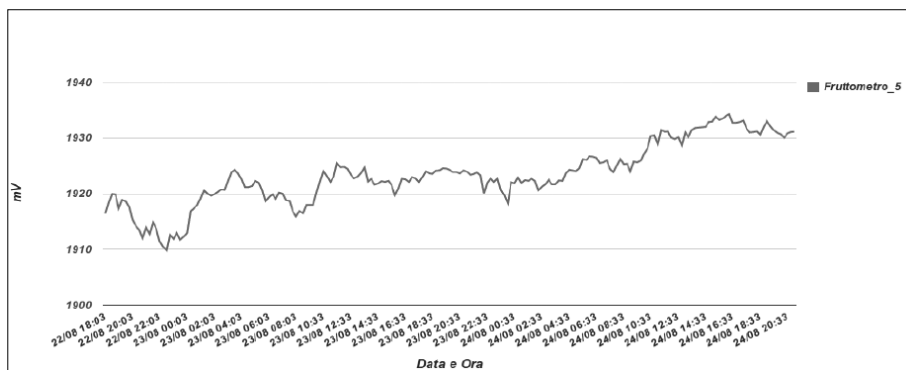


Fig. 4 *Andamento della crescita di un frutto costantemente monitorata grazie a un fruttometro connesso ad Internet grazie ad una rete wi-fi da campo, interrogabile da remoto*

fonia-dati (SIM) che ne consente il controllo e il recupero dati attraverso Internet. La figura 4 riporta appunto un esempio di monitoraggio della crescita di un frutto attraverso un fruttometro, controllato e interrogato attraverso la rete.

CONCLUSIONI

La frutticoltura di precisione è ormai una realtà praticata da aziende commerciali in tutto il mondo. In alcuni paesi (Nuova Zelanda, Stati Uniti) ha già raggiunto un grado di diffusione maggiore, mentre nel nostro paese questo modo di coltivare sta lentamente prendendo piede. A fianco di soluzioni basate su macchine (rover; droni) dal costo relativamente elevato sono disponibili soluzioni altrettanto efficaci, ma dal costo più basso e fondate su protocolli di monitoraggio semplificati, che consentono di raccogliere le informazioni necessarie all'implementazione di modelli matematici che stanno ricevendo sempre maggiore corroborazione da studi assai avanzati di fisiologia dei flussi vascolari e dei meccanismi con cui i frutti acquisiscono acqua e carboidrati. Non c'è dubbio che sistemi complessi di sensori capaci di rilevare in un solo passaggio molti parametri fisiologici diverranno disponibili nel prossimo futuro, così come è certo che questi sistemi cambieranno profondamente le modalità e le strategie di conduzione dei frutteti. Tutto ciò però non potrà avvenire senza un continuo processo di avanzamento delle conoscenze di fisiologia, sempre più caratterizzate da alta multidisciplinarietà.

RIASSUNTO

La frutticoltura di precisione è un nuovo modo di coltivare, basato sull'uso delle minime quantità di fattori di produzione necessarie ad assicurare la massima produttività in termini di qualità e quantità del prodotto. Questo modo di coltivare è caratterizzato da flussi di informazioni che vengono raccolte dal frutteto e analizzate da algoritmi matematici che forniscono previsioni circa aspetti produttivi sia qualitativi che quantitativi, permettendo di verificare la bontà delle tecniche di coltivazione implementate, o suggerendo modifiche alle tecniche di coltivazione per migliorare gli attributi della produzione. Queste tecniche di coltivazione sono basate su modelli matematici di cui è sempre più profonda la conoscenza delle basi fisiologiche e che, pur avendo spesso origini empiriche, esibiscono una solidità applicativa notevole. La conoscenza della fisiologia dei flussi vascolari che sostengono la crescita ponderale dei frutti, per esempio, è basilare per la messa a punto di modelli predittivi delle dimensioni alla raccolta di specie come kiwi e pesco, oltre che melo e pero. L'automatizzazione completa della coltivazione, ad esempio in serra o in vaso, o del rilevamento di parametri funzionali in frutteto consente di svincolare queste attività dalla disponibilità di personale, il che può essere utile in caso di coltivazione di aree marginali, o per la misura metodica e accurata di numerosi parametri funzionali. La disponibilità di sempre maggiore potere di calcolo a parità di costo, e di software di programmazione sempre più performante, mettono a portata di mano quantitativi di dati impensabili fino a pochi anni fa, permettendo di prevedere l'ingresso dell'intelligenza artificiale e di tecniche di analisi basate su approcci "big data".

ABSTRACT

Precision horticulture is a method of fruit growing aiming to use the smallest possible amounts of production factors ensuring the highest productivity in terms of quality and quantity. This approach is made possible by a wide flow of data that can be gathered in the orchard and fed to mathematical algorithms capable of forecasting both quantitative and qualitative aspects of production. This in turn allows to verify whether the growing techniques adopted are suitable for the conditions, or if changes need be made to improve the outcomes. These growing techniques are based on mathematical algorithms that are acquiring deeper foundations from advanced physiological studies, which are dispelling some of the empirical attributes of the models from which they are derived, and conferring them strong solidity in practical implementations. As an example, the physiology of vascular flows in and out of fruit, which is a rather current topic of research in several labs around the world, has helped clarify and streamline predictive models for kiwifruit and peach, in addition to apple and pear. Complete automation of hydroponic or vase growing of fruit trees and vegetables is making it possible to exploit marginal areas, or to remove the need for human intervention where labor is scarce, or in physically demanding activities. Similarly, rovers or UAVs are providing an ever increasing amount of data allowing to assess the efficacy of growing techniques. These changes are made possible by the ever increasing computational power available to us for very little money, and to programming software whose capacities seem endless. Artificial intelligence is looming big on the horizon, and so do "big data" analytical approaches.

BIBLIOGRAFIA

- DEJONG T.M., GOUDRIAAN J. (1989): *Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: reevaluation of the double-sigmoid growth pattern*, «J. Amer. Soc. Hort. Sci.», 114 (5), pp. 800-804.
- FISHMAN S., GÉNARD M. (1998): *A biophysical model of fruit growth: simulation of seasonal and diurnal dynamics of mass*, «Plant Cell and Environment», 21, pp. 739-752.
- HUNG C., UNDERWOOD J., NIETO J., SUKKARIEH S. (2013): *A Feature Learning Based Approach for Automated Fruit Yield Estimation*, 9th Conference on Field and Service Robotics (FSR), Brisbane, Australia.
- LANG A. (1990): *Xylem, Phloem and Transpiration flows in developing apple fruits*, «J. Exp. Bot.», 41, 227, pp. 645-651.
- LAURI P.E., TEROUANNE E. AND LESPINASSE J.M. (1997): *Relationship between the early development of apple fruiting branches and the regularity of bearing – An approach to the strategies of various cultivars*, «J. Hort. Sci.», 72 (4), pp. 519-530.
- LAKSO A.N., CORELLI GRAPPADELLI L., BARNARD J., AND M.C. GOFFINET (1995): *An expolinear model of the growth pattern of the apple fruit*, «J. Hort. Sci.», 70 (4), pp. 389-394.
- JONES H.G., HIGGS K.H. (1982): *Surface conductance and water balance of developing apple (Malus Pumila Mill.) fruits*, «J. Exp. Bot.», 33, pp. 67-77.
- MANFRINI L., TAYLOR J.A. AND CORELLI GRAPPADELLI L. (2009a): *Spatial Analysis of the Effect of Fruit Thinning on Apple Crop Load*, «European J. Hort. Sci.», 74 (2), S. 54-60.
- MANFRINI L., CORELLI GRAPPADELLI L., TAYLOR J.A. (2009b): *Options for precision horticulture in Gala orchards based on site-specific relationships between environmental factors and harvest production parameters*, JIAC2009 - Book of abstracts, edited by C. Lokhorst, J.F.M. Huijsmans, R.P.M. de Louw, Wageningen Academic Publishers, NL, p. 381.
- MANFRINI L., PIERPAOLI E., ZIBORDI M., MORANDI B., MUZZI E., LOSCIALE P. AND LUCA L. CORELLI GRAPPADELLI (2015): *Monitoring strategies for precise production of high quality fruit and yield in apple in Emilia-Romagna*, «Chem. Engin. Transactions», vol. 44, pp. 301-307 DOI: 10.3303/CET1544051.
- MORANDI B., RIEGER M. AND CORELLI GRAPPADELLI L. (2007): *Vascular flows and transpiration affect peach (Prunus Persica Batsch.) fruit daily growth*, «J. Exp. Bot.», 58 (14), pp. 3941-3947.
- MORANDI B. AND CORELLI GRAPPADELLI L. (2010): *The positive effect of skin transpiration in peach fruit growth*, «J. Plant Physiology», 167 (13), pp. 1033-1037.
- NOFERINI M., FIORI G., CIOUS V., GOTTARDI F., BRASINA M., MAZZINI C. AND COSTA G. (2009): *DA-Meter. easier control of fruit quality from farm to distribution*, «J. Fruit and Hort.», vol. 71 (4), pp. 74-80.
- PATRICK J.W. (1997): *PHLOEM UNLOADING: Sieve Element Unloading and Post-Sieve Element Transport*, «Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology», 48, pp. 191-222.
- ZHANG L.Y., PENG Y.B., PELLESCI-TRAVIER S., FAN Y., LU Y.F., LU Y.M., GAO X.P., SHEN Y.Y., DELROT S., ZANGH D.P. (2004): *Evidence for apoplasmic phloem unloading in developing apple fruit*, «Plant Physiol.», 135, pp. 574-586.