

● PROVE CONGIUNTE IN AUSTRALIA E SICILIA SULL'USO DI SENSORI PER LO STATO IDRICO

# Monitoraggio in tempo reale dello stress idrico del pesco

di A. Scalisi, M.G. O'Connell,  
D. Stefanelli, R. Lo Bianco

**L**a crescente attenzione verso i cambiamenti climatici mette in evidenza la necessità di una gestione sostenibile e del reimpiego delle risorse idriche in agricoltura. L'utilizzo di sensori permanenti o semi-permanenti nei frutteti permette di ottenere informazioni in tempo reale sullo stato idrico della pianta e promuove una gestione irrigua sostenibile, senza influenzare le rese produttive.

**In molte specie arboree da frutto l'indicatore più accurato dello stato idrico è il potenziale idrico del fusto a mezzogiorno. Tuttavia, la misurazione del potenziale idrico è tutt'altro che automatizzabile e ottenibile in continuo, necessitando innanzitutto di personale istruito ad hoc, di una camera a pressione (anche chiamata camera di Scholander) e di scorte di azoto. Attualmente non esiste in commercio un sensore universalmente riconosciuto per la misura diretta del potenziale idrico, seppure diverse prove sperimentali sono in atto. In alcuni casi, il deficit idrico di alberi da frutto è stato ricollegato alle dinamiche di espansione/restringimento del tronco determinate con l'utilizzo di dendrometri. Maggiori difficoltà vengono invece riscontrate nell'utilizzo e nella gestione di sensori a contatto con gli organi della pianta che scambiano acqua direttamente con l'aria: le foglie e i frutti.**

**Foglie e frutti sono da un lato collegati idraulicamente al resto della pianta attraverso i vasi floematici e xilematici, e dall'altro traspirano attraverso le aperture stomatiche. Questi scambi idrici attraverso i quali foglie e frutti assumono o perdono acqua possono mutare drasticamente in caso di siccità o ristagno idrico.**

Per monitorare l'influenza dello stato idrico della pianta sulle foglie e sui frutti esistono in commercio diversi strumenti. In questo lavoro vengono descritte due tipologie di sensori di cui

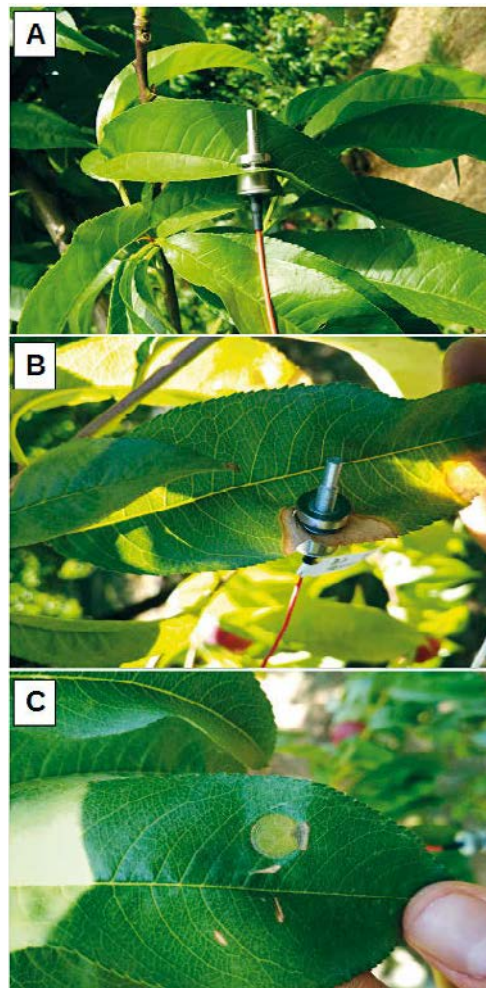
L'utilizzo di sensori nei frutteti permette di ottenere informazioni in tempo reale sullo stato idrico della pianta per promuovere una gestione irrigua sostenibile, senza influenzare le rese produttive. Tuttavia, le tecnologie in commercio devono essere perfezionate affinché si ottengano sensori meno invasivi e che forniscano dati integrabili tra di loro

sono documentate le risposte e i pro e i contro del loro utilizzo e gestione su alberi adulti di nettarine.

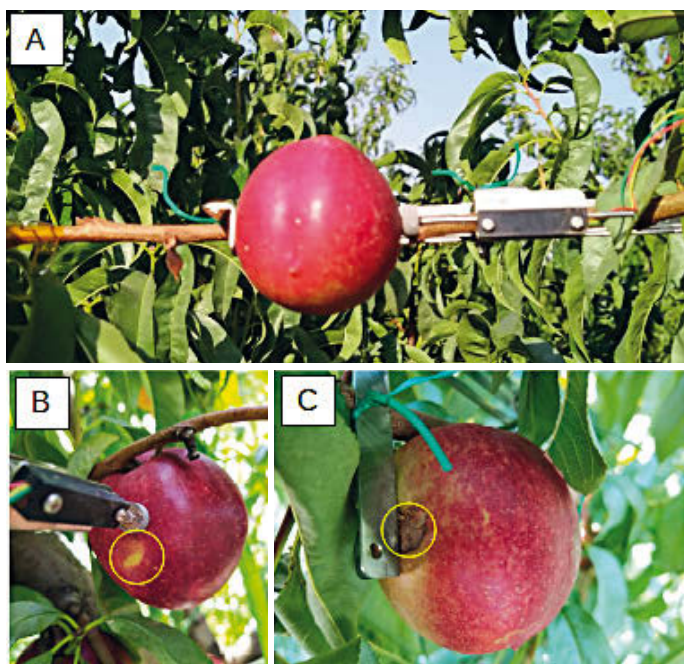
## Sensori di turgore fogliare

Recentemente è stato sviluppato un nuovo strumento per la misura del turgore fogliare, un ottimo indicatore dello stato idrico della foglia. Dapprima chiamato Leaf patch clamp pressure (LPCP) probe, è stato successivamente rinominato ZIM-probe. Per semplicità in questo articolo verrà chiamato ZIM-probe. Questo interessante strumento si basa su piccole sonde composte da due dischetti contenenti dei magneti che li tengono uniti (foto 1A). Uno dei due dischetti possiede al suo interno un sensore che permette di misurare la pressione fogliare e di inviare il segnale alla trasmittente attraverso un cavo. Ogni trasmittente, alimentata da batterie, riceve il segnale di pressione fogliare da un massimo di tre ZIM-probe e lo invia tramite segnale radio a una centralina che a sua volta comunica attraverso GPRS al server YARA. I dati vengono quindi immagazzinati dal server YARA e resi accessibili con abbonamenti annuali.

Il parametro misurato dagli ZIM-probe equivale alla pressione sulla topa fogliare attenuata dalla pressione di turgore fogliare ( $p_p$ ) e rappresenta dunque l'inverso di quest'ultimo. Per questo motivo all'aumentare del turgore fogliare si osserva una diminuzione proporzionale dei valori di  $p_p$ .



**Foto 1** Sensore ZIM-probe posizionato su una foglia di nettarina: completamente espansa (A) con possibili danni tipo necrosi (B) e schiacciamento dei tessuti con perdita di clorofilla (C) dovuti alla prolungata presenza dei sensori sulla foglia



**Foto 2** Fruttometro posizionato su una nettarina in pieno stadio di sviluppo (A) e possibili effetti come perdita di colorazione (B) e lesioni (C) dovuti alla prolungata presenza dei sensori sul frutto

Questi sensori sono relativamente semplici da installare e hanno permesso di identificare specifiche risposte di variazione di turgore fogliare su olivo, con dinamiche delle curve giornaliere invertite in caso di deficit idrico accentuato. **La loro applicazione su specie arboree con foglie più delicate risulta limitata poiché nel lungo termine gli ZIM-probe tendono a danneggiare o a strappare il tessuto fogliare, oppure causano una perdita sostanziale di clorofilla e contenuto idrico, falsando di conseguenza il dato ottenuto** (foto 1B e 1C).

### Sensori per variazioni diametriche dei frutti

I fruttometri hanno riscosso un rilevante successo per lo studio delle dinamiche di accrescimento dei frutti nelle drupacee. La crescita del frutto è influenzata da numerosi fattori, tra i quali lo stato idrico della pianta è uno dei più importanti. Nelle drupacee, e in altre specie che presentano un nocciolo interno, solitamente la crescita del frutto dall'allegazione alla piena maturazione è caratterizzata da tre fasi di sviluppo distinte.

Nello stadio I avviene la divisione cellulare e una prima crescita rapida del frutto. Successivamente, nello sta-

dio II, o fase di indurimento del nocciolo, avviene un rallentamento della crescita in termini di diametro. In questo stadio diversi studi hanno dimostrato che un deficit irriguo non influenza negativamente la pezzatura finale dei frutti ma rallenta principalmente la crescita vegetativa. Nell'ultima fase di sviluppo del frutto, o stadio III, avviene un incremento del diametro principalmente a carico dell'espansione cellulare. La lunghezza di queste tre fasi è regolata principalmente da fattori genetici che determinano la precocità o la tardività di ogni cultivar.

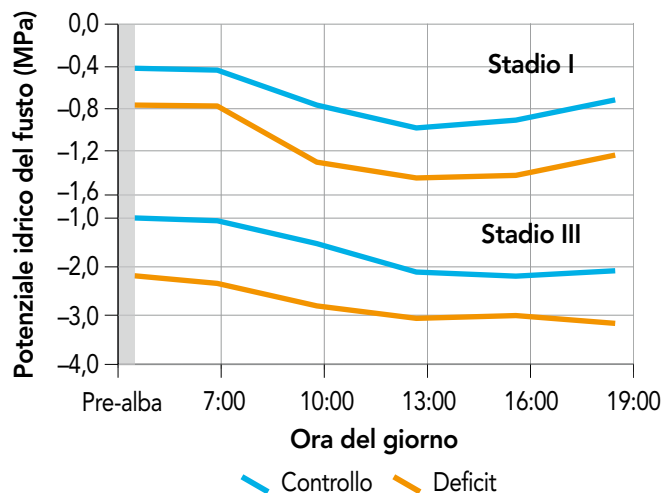
Premesso ciò, **i tassi di crescita del frutto in entrambe le fasi I e III sono largamente influenzati dalla disponibilità idrica nel suolo che, nei climi con estati siccitose come quelli mediterranei, è regolata dai volumi irrigui, dalla frequenza d'irrigazione e anche dalla fascia oraria in cui si irriga.** Il monitoraggio in continuo delle dinamiche di crescita del frutto potrebbe consentire di intervenire affinché la pezzatura finale non risenta di una carenza idrica in una specifica fase fenologica.

I fruttometri garantiscono la misurazione in termini micrometrici del diametro dei frutti a predeterminati intervalli di tempo. Questi strumenti si basano su una struttura a forma

di calibro in metallo leggero costruita attorno a un potenziometro che permette la misura di uno spostamento lineare, in questo caso il diametro dei frutti (foto 2A). I dati vengono registrati in millivolt e possono essere facilmente trasformati in variazione di diametro micrometrica partendo dal diametro iniziale del frutto. Il fruttometro viene attualmente commercializzato da Winet srl (Cesena, Italia) con un sistema di comunicazione radio a 3G alimentato da batterie e minipannelli solari, e che garantisce l'accesso dei dati in tempo reale dal server dell'azienda. Questo permette un monitoraggio continuo delle dinamiche di crescita e di intervenire in tempi brevi qualora il fruttometro dovesse spostarsi dal frutto o nel caso di presenza di altri fattori di disturbo (vento, scaricamento della batteria, danneggiamento dei sensori, ecc.).

**Di fatto, rispetto agli ZIM-probe, il fruttometro ha lo svantaggio di essere uno strumento di più difficile utilizzo in campo, in quanto la sua stabilità è influenzata dall'architettura ramo/frutti e da forti raffiche di vento.** Inoltre, specialmente nella fase di espansione cellulare, il fruttometro può essere lasciato indisturbato sui frutti per un numero limitato di giorni, in quanto la rapida crescita dei frutti induce il completamento del-

**GRAFICO 1 - Curva giornaliera del potenziale idrico del fusto su nettarine in condizioni irrigue di controllo e di deficit**

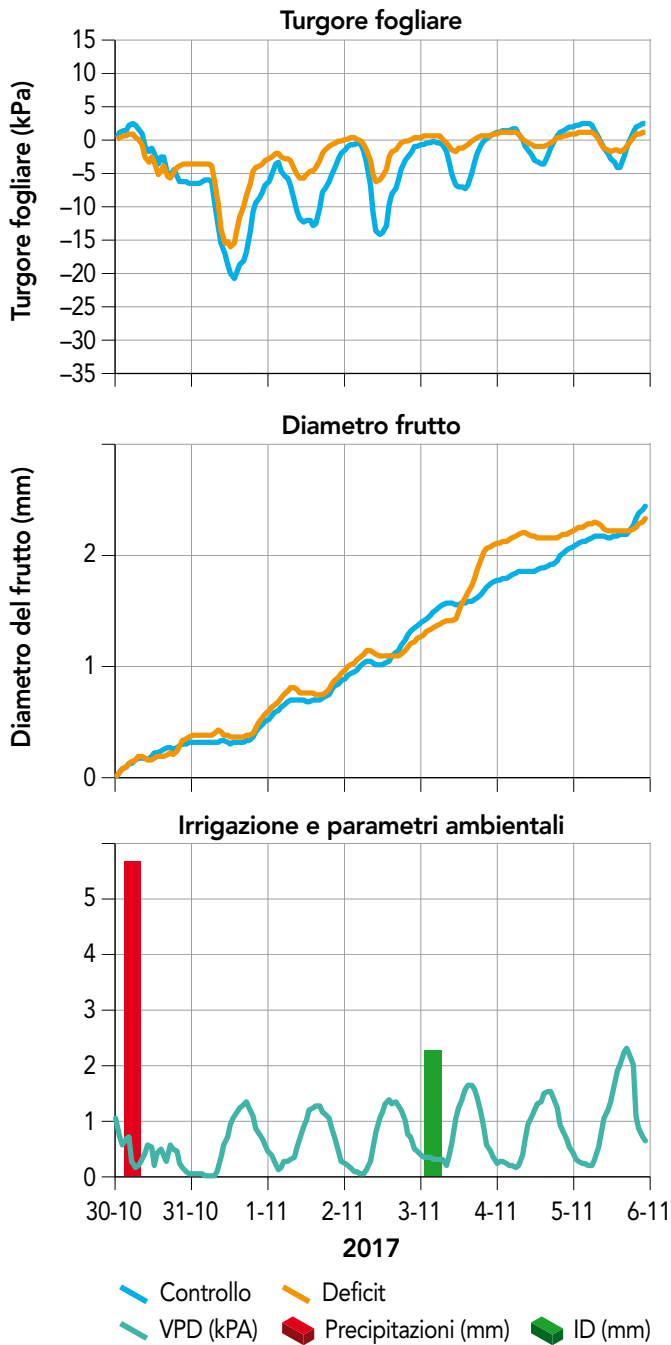


**Stadio I:** fase fenologica di iniziale accrescimento dei frutti.

**Stadio III:** incremento del diametro dei frutti dovuto all'espansione cellulare.

Il trattamento in deficit raggiunge potenziali idrici più bassi in entrambi gli stadi. Il minimo di potenziale idrico del fusto si raggiunge alle ore 13:00 (mezzogiorno solare).

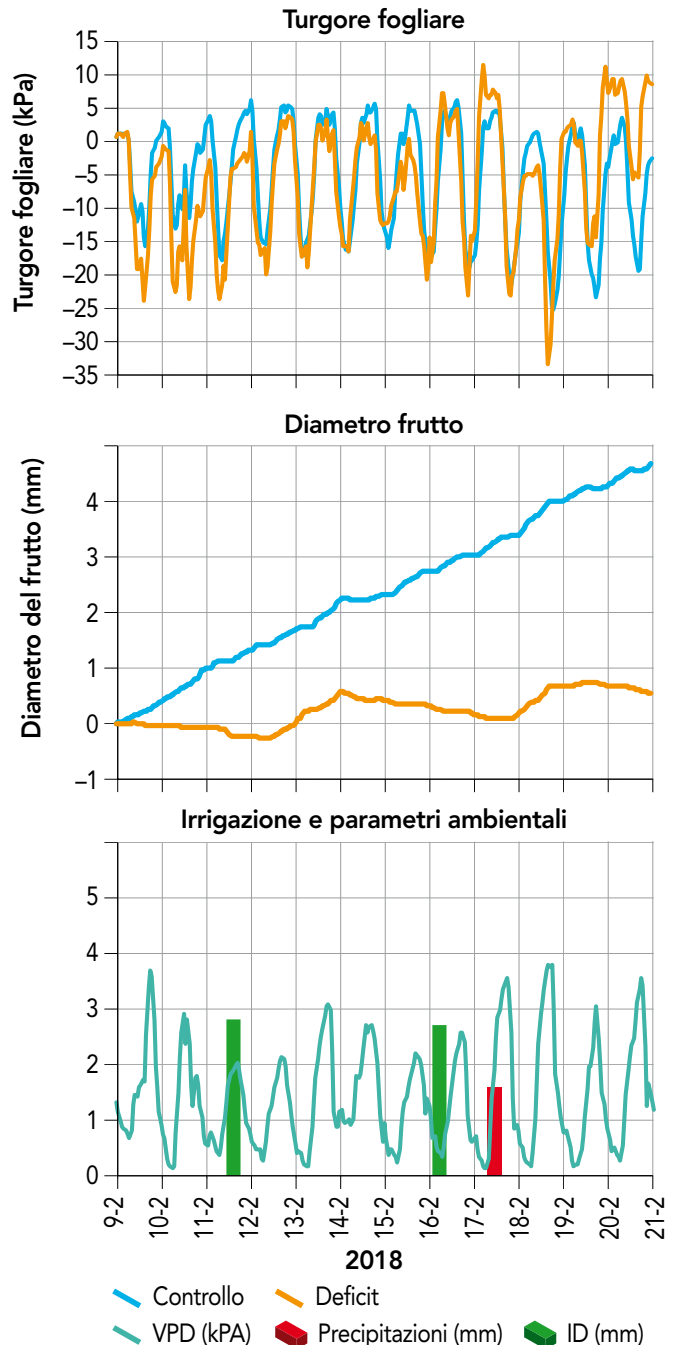
**GRAFICO 2 - Variazioni di turgore fogliare (Stadio I) e diametro del frutto in alberi di nettarine soggetti a irrigazione di controllo e di deficit**



**VPD:** deficit di pressione di vapore. **ID:** volumi di irrigazione di deficit.  
**Stadio I:** fase fenologica di iniziale accrescimento dei frutti dovuta a divisione cellulare.

Nello stadio I il turgore fogliare mostra minori fluttuazioni giornaliere (massimo/minimo) in condizioni di deficit idrico rispetto alla piena irrigazione. Questo perché in presenza di deficit idrico l'apertura stomatica viene ridotta per preservare il contenuto idrico della foglia.

**GRAFICO 3 - Variazioni di turgore fogliare (Stadio III) e diametro del frutto in alberi di nettarine soggetti a irrigazione di controllo e di deficit**



**VPD:** deficit di pressione di vapore. **ID:** volumi di irrigazione di deficit.  
**Stadio III:** fase fenologica in cui l'incremento del diametro dei frutti è dovuto all'espansione cellulare.

L'irrigazione di deficit in questa fase (stadio III) ha avuto effetti deleteri sulla crescita dei frutti che, tra il 9 e il 21 febbraio, aumentano solo minimamente di dimensione rispetto ai frutti controllo.

la corsa del pistoncino del potenziometro e talvolta discolorazione della parte interessata o piccole ferite (foto 2B e 2C). Per cui nello stadio III diventa indispensabile pianificare controlli regolari e frequenti dei fruttometri.

## Caso studio

L'utilizzo combinato di ZIM-probe e fruttometri è stato oggetto di esperimenti di ricerca, in parte ancora in atto, presso i campi sperimentali

dell'Università degli studi di Palermo e nel centro di ricerca di Agriculture Victoria (Tatura, Australia). Le condizioni particolarmente siccitose e a bassa umidità della Goulburn Valley, nello stato australiano di Victoria,

permettono di studiare il comportamento fisiologico delle drupacee in risposta a condizioni di temperature e deficit di pressione di vapore (VPD) molto elevati.

In particolare, sono stati oggetto di studio alcuni alberi di nettarine della cultivar September Bright allevati su Open Tatura, un sistema di allevamento a «V» (foto 3) che permette di ottimizzare l'intercettazione luminosa. September Bright è una cultivar tardiva che nell'emisfero meridionale viene raccolta a inizio marzo. **Uno degli obiettivi degli studi condotti nel 2017-2018 è stato quello di monitorare le risposte di frutti e foglie a un trattamento irriguo di controllo pari al 100% dell'evapotraspirazione colturale (ETc) e a un trattamento di deficit pari al 20% del volume irriguo utilizzato per il controllo.** Gli alberi soggetti all'irrigazione di controllo sono stati irrigati quotidianamente, mentre gli alberi sottoposti a deficit mediamente una volta ogni 5 giorni. Nel grafico 1 si può notare come il trattamento di deficit raggiunga sempre potenziali idrici più bassi; inoltre, nello stadio III temperature e VPD più elevati determinano un livello di deficit idrico più estremo in entrambi i trattamenti. Il minimo di potenziale idrico del fusto si raggiunge alle ore 13:00 (mezzogiorno solare).

### Turgore fogliare e crescita del frutto

In condizioni di stato idrico ottimale della pianta, la pressione di turgore fogliare diminuisce quando gli stomi cominciano ad aprirsi alle prime luci dell'alba e finché questi ultimi rimangono aperti. Quando gli stomi cominciano a chiudersi, per differenza di potenziale idrico, le foglie riacquistano lentamente acqua e il turgore fogliare aumenta fino a quando la foglia non raggiunge un equilibrio con il resto della pianta. Il grafico 2 mostra come nello stadio I di sviluppo del frutto (ottobre-novembre a Tatura) il turgore fogliare (inverso di  $p_p$ ) abbia minori fluttuazioni giornaliere (massimo-minimo) in condizioni di deficit idrico rispetto alla piena irrigazione. Questo perché in presenza di deficit idrico l'apertura stomatica viene ridotta per preservare il contenuto idrico della foglia. Inoltre, non sembra esserci una risposta netta e istantanea all'evento di irrigazione



Foto 3 Sistema di allevamento a «V» che ottimizza l'intercettazione luminosa

in deficit dovuto al fatto che gli alberi in quei giorni non hanno raggiunto uno stress idrico accentuato probabilmente a causa delle precipitazioni del giorno 30 ottobre. Anche i frutti nello stadio I crescono con dinamiche simili sia in condizioni di deficit che in condizioni di controllo, seppur l'irrigazione del 3 novembre abbia stimolato una rapida crescita dei frutti soggetti a deficit, i quali dopo un paio di giorni di mancata irrigazione sono ritornati a valori simili a quelli degli alberi pienamente irrigati.

Nello stadio III (grafico 3), quando le condizioni di stress idrico sono state più severe e il VPD più elevato, l'apertura stomatica delle foglie è stata influenzata meno dal trattamento di deficit irriguo, in quanto la pressione di turgore di queste ultime non ha avuto fluttuazioni significativamente diverse dalle foglie controllo. Tuttavia, il turgore medio giornaliero ha manifestato una risposta istantanea a irrigazione e precipitazioni, con un aumento rapido in seguito all'irrigazione del giorno 12 febbraio e all'irrigazione e alle precipitazioni che si sono succedute tra il 17 e il 18 febbraio. Inoltre, appare evidente **come un'irrigazione di deficit in questa fase abbia avuto effetti deleteri sulla crescita dei frutti (grafico 3), i quali, tra il 9 e il 21 febbraio, aumentano solo minimamente di dimensione rispetto ai frutti controllo. Gli incrementi di diametro degni di nota si verificano soltanto a seguito degli eventi irrigui.**

In entrambi gli stadi I e III, il turgore fogliare in condizioni di piena irrigazione è inversamente proporzionale alla domanda evapotraspirativa e al VPD.

### Monitoraggio in continuo

L'utilizzo congiunto dei tassi di variazione di pressione fogliare e diametro dei frutti è stato utilizzato con successo in diversi studi su nettarine e olivo per la formulazione di modelli per la stima del potenziale idrico del fusto a mezzogiorno, e rappresenta un innovativo approccio che garantisce di gestire lo stato idrico della pianta attraverso il monitoraggio in continuo di foglie e frutti. Inoltre, **tenere sotto controllo i tassi di crescita dei frutti permette di sperimentare l'utilizzo di volumi irrigui ridotti senza compromettere la produzione e la pezzatura finale dei frutti.** Tuttavia, le tecnologie attualmente in commercio devono essere perfezionate affinché si ottengano sensori meno invasivi, più stabili nel tempo, e che forniscano dati integrabili tra di loro in piattaforme digitali alla portata di utenti meno esperti.

Per questo motivo, l'avvento dell'IoT (Internet of Things) nel mondo dell'agricoltura digitale e di tutte le tecnologie che si basano su molteplici protocolli di comunicazione (ad esempio Bluetooth, LoRaWan, WiFi, 5G, ecc.) marcano una linea di evoluzione futura dell'intero comparto della frutticoltura che rappresenta un'importantissima opportunità per l'imprenditoria italiana.

Alessio Scalisi  
Mark G. O'Connell  
Dario Stefanelli

Agriculture Victoria  
Tatura (Australia)

Riccardo Lo Bianco

Dipartimento di scienze agrarie,  
alimentari e forestali  
Università degli studi di Palermo

# L'INFORMATORE AGRARIO

[www.informatoreagrario.it](http://www.informatoreagrario.it)



Edizioni L'Informatore Agrario

Tutti i diritti riservati, a norma della Legge sul Diritto d'Autore e le sue successive modificazioni. Ogni utilizzo di quest'opera per usi diversi da quello personale e privato è tassativamente vietato. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l. non potrà comunque essere ritenuta responsabile per eventuali malfunzionamenti e/o danni di qualsiasi natura connessi all'uso dell'opera.