

Alma Mater Studiorum  
Università di Bologna

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI  
-Campus di Cesena-

Corso di Laurea in

**Tecnologie Alimentari**

TITOLO DELLA TESI

Valutazione preliminare di un sistema smart di gestione automatizzata  
dell'irrigazione dell'actinidia

CANDIDATA:

Sofia Bartoletti

N° matricola 0000915559

RELATORE:

Prof. Moreno Toselli

CORRELATORI:

Dr. Maurizio Quartieri

Dr. Matteo Francia

Anno Accademico 2024/2025  
*Data appello di laurea 25 Giugno 2024*

# Indice

<b>Riassunto</b>	4
<b>1. Generalità dell'actinidia</b>	5
1.1 Diffusione della coltura	5
1.2 Caratteristiche generali	5
1.3 Tecnica colturale	7
1.3.1 <i>Impianto dell'actinidieta</i>	7
1.3.2 <i>Esigenze pedologiche e climatiche</i>	9
1.3.3 <i>Pratiche colturali</i>	10
1.3.4 <i>Gestione del suolo</i>	11
1.4 Irrigazione	12
1.4.1 <i>L'acqua nel terreno e il suo monitoraggio</i>	13
1.4.2 <i>Disponibilità di acqua nel suolo e qualità del frutto di kiwi</i>	16
1.4.3 <i>Modalità di irrigazione</i>	17
<b>2. Obiettivo tesi</b>	18
<b>3. Materiali e metodi</b>	19
3.1 Caratteristiche dell'actinidieta	19
3.2 Trattamenti a confronto	20
3.3 Rilievi sperimentali eseguiti in campo ed in laboratorio	22
3.3.1 <i>Monitoraggio dell'umidità del terreno</i>	22
3.3.2 <i>Determinazione del potenziale idrico dell'albero</i>	23
3.3.3 <i>Valutazione della crescita del frutto nel corso della stagione</i>	24
3.3.4 <i>Determinazione della qualità del frutto nel corso della stagione</i>	24
3.3.5 <i>Produzione e qualità del frutto alla raccolta commerciale</i>	25
3.3.6 <i>Valutazione della qualità del frutto in post raccolta</i>	26
3.3.7 <i>Analisi statistica</i>	26
<b>4. Risultati</b>	27
4.1 Bilancio irriguo	27
4.2 Effetto della gestione irrigua sul potenziale matriciale ( $\Psi_m$ ) del terreno	28
4.3 Effetto della gestione irrigua sul potenziale idrico ( $\Psi_w$ ) dell'albero	34
4.4 Effetto della gestione irrigua sul calibro e sul peso del frutto	35
4.5 Effetto della gestione irrigua sulle caratteristiche qualitative del frutto prima della raccolta	36
4.6 Effetto della gestione irrigua sulla produzione e sulle caratteristiche qualitative del frutto alla raccolta	37
4.7 Effetto della gestione irrigua sulle caratteristiche qualitative del frutto misurate al termine del periodo di conservazione in cella frigorifera	39
<b>5. Discussione</b>	46
<b>6. Conclusione</b>	49
<b>7. Bibliografia</b>	50
<b>8. Sitografia</b>	53

<b>9. Indice delle tabelle</b>	54
<b>10. Indice delle figure</b>	55
<b>11. Ringraziamenti</b>	56

## Riassunto

Il seguente elaborato aveva l'obiettivo di valutare un sistema 'intelligente' di gestione dell'irrigazione del kiwi, basato sulla determinazione 'real time' dell'umidità del suolo grazie a sonde prossimali, opportunamente collocate al fine di definire l'unità di suolo esplorata dalle radici. L'efficacia della gestione dell'irrigazione è stata valutata attraverso la determinazione del consumo di acqua, della produzione e della qualità dei frutti alla raccolta e dopo frigoconservazione. La sperimentazione è stata condotta nel 2023, presso l'azienda Dalle Fabbriche situata a Brisighella (RA), su piante di *Actinidia chinensis* var *chinensis*, della varietà Zerspri Gold 3, innestata su varietà Hayward (*A. chinensis* var *deliciosa*). Sono state confrontate 3 metodologie irrigue: 1) aziendale, basata sul bilancio irriguo determinato dell'acqua persa per evapotraspirazione al netto delle precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica aziendale, con sistema a goccia con singola ala e 2) sistema 'smart' basato dalla continua misurazione dell'umidità del suolo esplorato dalle radici, a goccia con singola ala e 3) come il precedente ma con ala doppia. Lo studio ha evidenziato come l'irrigazione condotta con metodo 'smart' a goccia con singola ala abbia ridotto i volumi irrigui del 37% rispetto al sistema aziendale, senza ridurre la produzione. Allo stesso tempo il metodo smart a goccia con ala singola ha migliorato il residuo secco rifrattometrico e la sostanza secca del frutto che per questo in frigo-conservazione è risultato meno incline alla fisiopatia nota come storage breakdown.

## 1. Generalità dell'actinidia

### 1.1 Diffusione della coltura

La produzione italiana di actinidia, se si considerano le due tipologie di frutto maggiormente coltivate (kiwi a polpa gialla e a polpa verde), risulta pari a 537.867 tonnellate nel 2022, con un aumento di 101.000 tonnellate rispetto al 2021, su una superficie dedicata di 26.341 ettari. Le produzioni maggiori sono concentrate soprattutto nelle regioni Lazio (36%), Emilia-Romagna (20%), Piemonte (13%), Veneto (11%), Calabria e Campania (circa 6% ciascuna). Di seguito sono riportati i dati di superficie del biennio 2021/2022 (Tab. 1), suddivisi tra le regioni, nonché la ripartizione della produzione nazionale relativa all'annata 2022 (<https://www.italiafruit.net/kiwi-la-mappa-della-produzione-italiana-ecco-chi-cresce-di-piu>).

Tab. 1 Superficie e produzione italiana coltivata ad actinidia nel biennio 2021-2022

Regione	Superficie (ha)			Produzione (t)		
	2021	2022	Quota regionale 2022 (%)	2021	2022	Trend 2022/21
E. Romagna	4.985	5.153	20%	60.512	88.502	46%
Lazio	9.503	9.499	36%	209.500	239.231	14%
Piemonte	3.479	3.322	13%	45.942	56.342	23%
Veneto	3.003	2.950	11%	13.523	57.785	327%
Calabria	1.579	1.586	6%	43.497	27.665	-36%
Campania	1.510	1.507	6%	33.762	36.106	7%
Altre regioni	2.300	2.324	8%	29.303	32.237	10%
<b>Italia</b>	<b>26.359</b>	<b>26.341</b>	<b>100%</b>	<b>436.037</b>	<b>537.867</b>	<b>23%</b>

Fonte: <https://www.italiafruit.net/kiwi-la-mappa-della-produzione-italiana-ecco-chi-cresce-di-piu>

### 1.2 Caratteristiche generali

L'actinidia appartiene alla famiglia delle *Actinidiaceae*, genere *Actinidia*. Le piante maggiormente coltivate appartengono alla specie *chinensis* e comprendendo *A. chinensis* var. *deliciosa* a polpa verde e *A. chinensis* var. *chinensis* a polpa gialla. Il genere actinidia è una pianta che presenta radice carnosa, ramifica e abbastanza superficiale. Questa pianta rampicante può raggiungere i 10 metri di altezza, presentando tralci lunghi con gemme a legno e miste. L'altezza della pianta varia da 1 a oltre 2 metri,

a seconda della vigoria. Le foglie sono ampie, cuoriformi, coriacee e tomentose nella pagina inferiore (<https://mauro.shop/blog/actinidia/>).

I fiori, di colore paglierino e raggruppati in infiorescenze all'ascella delle prime foglie del germoglio dell'anno, contengono da 5 a 8 petali. Alcune piante presentano solo fiori femminili, essenziali per la produzione dei frutti, mentre altre hanno solo fiori maschili, cruciali per l'impollinazione. Tale caratteristica, tipica delle piante come l'actinidia, le rende dioiche, e richiede la presenza di piante maschili nelle vicinanze di quelle femminili per garantire la produzione di polline e un'adeguata allegagione. In genere, una sola pianta maschile è sufficiente per impollinare 4-5 piante femminili.

Spesso si provvede ad aumentare le sorgenti di polline innestando marze di piante maschili sulle piante pistillifere, cercando di limitare il vigore maschile per evitare un'eccessiva competizione con le piante femminili. Tuttavia, spesso si ricorre alla distribuzione attraverso atomizzatore di polline precedentemente raccolto e conservato.

La fioritura avviene in un periodo compreso tra l'inizio di maggio e l'inizio di giugno, in funzione dell'ambiente di coltivazione; è perciò scalare e piuttosto tardiva, essendo i fiori generati dalle gemme dei nuovi germogli. Il frutto è una bacca di forma ovale, di peso variabile (60-150 g) ricoperto di peluria, con polpa verde o gialla, punteggiata di numerosi semi (fino a 1000) di piccole dimensioni, disposti intorno ad un cuore biancastro, detto columella (<https://doc.studenti.it/appunti/coltivazioni-arboree/sheda-botanica-coltivazione-actinidia.html>). Un numero basso di semi determina minori quantità di ormoni e, di conseguenza, la crescita più contenuta del frutto. La polpa contiene pochi grassi, proteine e zuccheri, ma è ricca di vitamina C. Il picciolo, di media lunghezza, collega il frutto al tralcio ed è il punto di distacco durante la raccolta.

Nelle prime fasi di sviluppo del frutto, dopo l'allegagione, la buccia è molto delicata, specialmente nelle varietà a polpa gialla; in questa fase, uno dei principali elementi dannosi è rappresentato dal vento: i frutti possono cadere o sfregare tra di loro causando lesioni superficiali che, a volte, danno origine a frutti deformi o semplici cicatrici che deprezzano commercialmente il prodotto; la presenza della rete antigrandine può limitare l'azione dannosa del vento, senza tuttavia eliminarla del tutto.

## 1.3 Tecnica colturale

### 1.3.1 Impianto dell'actinidieta

La propagazione del kiwi può avvenire attraverso i semi per ottenere portinnesti o per scopi di miglioramento genetico. A fini commerciali, la moltiplicazione avviene comunemente tramite talea o micropropagazione. Per quanto concerne la struttura della pianta, l'actinidia è un arbusto rampicante simile a una vite vigorosa, che necessita di un supporto costituito da pali di cemento o legno, collegati tra loro da fili metallici che ne assicurano il sostegno da terra; in natura la pianta tende ad attaccarsi spontaneamente ad altre piante che fungono da sostegno naturale (Spada e Marini, 2001). Le forme di allevamento più comuni per l'actinidia includono il sistema a tendone, principalmente adottato nelle zone centrali e meridionali d'Italia, e la pergoleta singola o doppia, diffusa principalmente nel nord. In alcuni impianti è stato introdotto il GDC, che consente elevate densità di piantagione.

Il sistema di allevamento a tendone è costituito da una struttura permanente data dal ceppo e dai cordoni più o meno sviluppati da cui si diramano i capi a frutto, che poggiano orizzontalmente su un reticolo di fili di ferro disposto su tutta la superficie dell'actinidieta. La doppia cortina o GDC presenta due cordoni paralleli che si sviluppano lungo il filare, anziché uno singolo come nella pergoleta. Nel sistema di allevamento a doppia pergoleta (Fig.1), la struttura della pianta si compone di un ceppo che si divide in due cordoni permanenti, diretti in opposte direzioni lungo il filare e sostenuti dal filo centrale. Tale filo è posizionato a circa 170-180 cm di altezza, sul quale appoggia il cordone permanente, e da due fili laterali distanti 80-100 cm dal filo centrale. Ogni anno, i tralci produttivi vengono fissati sui due fili laterali. La struttura portante della doppia pergoleta è costituita da pali di legno o cemento collocati sulla fila alla distanza di 5-6 metri l'uno dall'altro e da una traversa di 160-200 cm fissata su ciascun palo; i tre fili di ferro collegano le traverse passando ai due estremi e al centro delle stesse.

Per quanto riguarda le varietà, tra quelle a polpa verde la più diffusa in Italia è Hayward (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa*), ovvero il tipico kiwi a polpa verde; è stata selezionata da Hayward Wright in Nuova Zelanda negli anni '20, ma il nome gli è stato dato dopo più di trent'anni (Mouat 1958). Le caratteristiche distintive di Hayward, che hanno contribuito alla sua rapida diffusione, comprendono un elevato vigore, una produzione costante, con frutti di grandi dimensioni, buccia di colore marrone verdastro e tomentosa, polpa di colore verde chiaro, e una lunga vita di scaffale (shelf life).

Col passare del tempo, altre varietà a polpa verde come Bruno e Abbot si sono diffuse, ma senza ottenere un notevole successo. Il genotipo Bruno presenta una pianta molto vigorosa e rustica, tanto che è stata utilizzata prevalentemente come portinnesto, si differenzia da altre varietà per il rigoglio della sua vegetazione ed il verde intenso della sua chioma. Abbot è una varietà vigorosa con entrata

in produzione anticipata, viene raccolto una settimana prima di “Hayward” e ha un breve periodo di conservazione. Tra le cultivar a polpa verde, hanno suscitato interesse tra gli agricoltori anche Green Light, Top Star, Summer 3373 e BoErica. Green Light (Anonymus, 2003) è commercializzata da Vivai Co.N.VI, di Brisighella (Ra). Presenta caratteristiche del frutto simili a quelle di Hayward, ma matura 30-35 giorni prima (Spada e Spada, 2005).

Top Star è stata ottenuta nel 1985 dall'Azienda Vantini di Verona come mutazione di Hayward e si distingue da essa per essere meno vigorosa e avere internodi più corti; i frutti, inoltre, sono quasi privi di tomentosità, caratteristica che tuttavia può regredire (Costa e Testolin, 2002). La cultivar Summer 3373 è di origine italiana ed è commercializzata da Dal Pane Vivai (Ravenna). I frutti maturano circa 50 giorni prima ad Hayward, hanno una forma allungata e proporzionata, polpa dal sapore dolce e delicato (Dal Pane e Ossani, 2002). La varietà BoErica (Sansavini e Ranalli, 2012), infine, è anch'essa una mutazione di Hayward; il frutto è di grossa pezzatura, forma cilindrica e maggiore lunghezza rispetto ad Hayward. La pianta ha una vigoria ed una produttività comparabili ad Hayward e non presenta frutti laterali sull'infiorescenza, aspetto molto importante perché semplifica le operazioni di diradamento. La maturazione del frutto, la fioritura ed il germogliamento sono contemporanei ad Hayward. Il residuo secco rifrattometrico e il contenuto di sostanza secca del frutto sono mediamente più elevati rispetto ad Hayward.

Le cultivar a polpa gialla di maggiore interesse commerciale sono: Jintao e Gold 3. Jintao è stata selezionata in Cina e introdotta in Europa dal consorzio italiano Kiwi Gold nel 1998; viene commercializzata con il marchio JINGOLD™. I frutti sono allungati, rotondi in sezione trasversale e sono regolari nella forma e nella dimensione quando l'impollinazione è adeguata. La buccia del frutto è liscia, marrone e senza peli; la polpa è di un brillante giallo dorato, il nucleo piccolo e rotondo in sezione trasversale. I frutti, di calibro medio, hanno un sapore dolce, si conservano bene (Testolin e Lain, 2003). La varietà Gold 3 è stata selezionata col nome Zesy002 (Sansavini e Ranalli, 2012) in Nuova Zelanda da Zespri International Limited ed è commercializzata dalla stessa multinazionale col marchio SunGold®. Scoperta causalmente alla fine degli anni '80, si distingue per l'elevata produttività, il frutto grosso e allungato, la buccia quasi priva di tomentosità, la polpa succosa e particolarmente dolce. Come tutte le cultivar a polpa gialla, si caratterizza per la limitata conservabilità in post raccolta. Altre due cultivar a polpa gialla di un certo interesse sono Soreli e Dorì. Soreli è stata sviluppata presso l'Università di Udine (Testolin e Cipriani, 2008; Testolin e Ferguson, 2009); si distingue per la ripresa vegetativa anticipata rispetto Hayward (una settimana prima) e la maturazione precoce dei frutti. I frutti sono grandi, con polpa di colore giallo brillante. Dorì è una varietà selezionata in Italia attraverso un progetto congiunto delle Università di Udine e di Bologna, ed è stata licenziata nel 2000. Infine, è doveroso citare anche la varietà Hort16A, seppur

oggi quasi non più coltivata; sviluppata anch'essa da Zespri International Limited in Nuova Zelanda negli anni '80, si è distinta da subito per l'alta produttività anche nel nostro ambiente di coltivazione, dove tuttavia oggi non è più coltivata per la sua elevata sensibilità alla batteriosi *Pseudomonas syringae* pv *actinidiae* (PSA).

Oltre alle due specie sopra descritte, vengono coltivate altre due specie: *Actinidia arguta* caratterizzata da mesocarpo ricco di antociani e *Actinidia kolomikta*, chiamata anche “bellezza dell'Artico”, in quanto originaria dell'Artico e dell'Asia orientale e per questo resistente al freddo invernale. I frutti di queste specie sono conosciuti in tutto il mondo come “baby kiwi” per le piccole dimensioni che raramente superano i 25 g.



Fig. 1 Impianto di kiwi a polpa gialla allevato a doppia pergoletta, ubicato sulle colline romagnole

### 1.3.2 Esigenze pedologiche e climatiche

L'actinidia è una pianta originaria di zone a clima subtropicale umido ed ambiente di sottobosco. Predilige suoli fertili a pH sub-acido dove può vivere più di 40 anni. Dal suo ambiente originario è stata poi trasferita in molti areali con clima differente dove, grazie alle conoscenze agronomiche ed alla tecnologia a disposizione, si è resa possibile la coltivazione con il raggiungimento di ottimi risultati agronomici. Innanzitutto è importante valutare i fattori climatici quali fabbisogno in freddo, la ricorrenza delle gelate primaverili, le temperature estreme estive e invernali, l'umidità dell'aria, l'intensità del vento e la quantità di precipitazioni annuali. Tra questi, i più importanti sono il fabbisogno in freddo e le gelate. Il soddisfacimento del fabbisogno in freddo (600-900 ore a

temperature inferiori a 7°C) influisce notevolmente sulla carica fiorale; se non soddisfatto, porta ad una diminuzione importante della produzione. Ogni varietà è caratterizzata da un diverso fabbisogno in freddo.

Il kiwi predilige un clima temperato, con inverni freddi ma non eccessivamente rigidi ed estati calde ma non troppo afose. La temperatura ottimale per la sua crescita è tra i 15 e i 25°C. Il kiwi è sensibile alle gelate tardive, alle siccità prolungate e ai venti forti. (<https://plantgest.imagelinenetwork.com/it/news/2023/02/20/actinidia-buoni-consigli-per-un-impianto-di-successo/78223>).

### **1.3.3 Pratiche colturali**

Tra le operazioni colturali, il diradamento è una delle più importanti per ottenere frutti di adeguate dimensioni e regolari. Viene normalmente eseguito sui fiori rimuovendo quelli laterali, nonché quelli che già appaiono deformati e che potrebbero dare origine ai “frutti piatti”; l’intervento in fioritura è successivamente completato dopo l’allegagione con un secondo diradamento di rifinitura finalizzato a rimuovere i frutticini laterali eventualmente sfuggiti al primo intervento (<https://www.centroverderovigo.com/it/blog/come-potare-i-kiwi-tecniche-attrezzatura-periodo-294>).

È una pratica comune, anche se di dubbia utilità, eseguire sul tronco della pianta ogni anno delle incisioni anulari (Fig. 2), fino ad incidere lo strato più esterno del legno. L’operazione, che di norma si esegue all’inizio di giugno, ha l’obiettivo di limitare l’afflusso di linfa grezza (xilematica) verso la chioma, al fine di contenerne il vigore quando il fusto è particolarmente vigoroso (<https://www.uvadatavola.com/incisione-anulare-caratteristiche-general-prima-parte/>). Per quanto riguarda il tralcio, l’incisione viene effettuata a luglio per rallentare il flusso basipeto di linfa floematica e aumentare l’accumulo di i carboidrati per i frutti.

Per quanto riguarda la potatura del kiwi, viene eseguita dal terzo anno, essendo la pianta ben sviluppata. Lo scopo principale della potatura è quello di rimuovere i tralci che hanno già prodotto, sostituendoli con nuovi tralci. La potatura invernale ha come obiettivo quello di mantenere l’equilibrio vegeto-produttivo, assicurare il rinnovo delle formazioni fruttifere e mantenere la forma di allevamento scelta (Sansavini e Ranalli, 2012). Deve essere eseguita tra la fine di gennaio e i primi di febbraio. È importante posizionare i tralci in modo tale da avere un buon arieggiamento e una quantità di luce idonea. I tralci migliori per la produzione sono quelli che hanno almeno 1 cm di diametro, non sono tomentosi, portano oltre 20 gemme. Essi devono essere cimati a 15 - 20 gemme e

legati ai fili, mentre quelli determinati o spur vanno lasciati interi e senza legature. La potatura verde del kiwi, viene invece eseguita in estate, cimando una o due volte i germogli troppo vigorosi.



*Fig. 2 Incisione anulare praticata sul fusto dell'actinidia*

#### **1.3.4 Gestione del suolo**

L'inerbimento è una pratica che consiste nel favorire lo sviluppo e il mantenimento del cotico erboso su tutta la superficie del frutteto o negli spazi tra i filari. Il suolo e la coltura da frutto traggono diversi benefici dall'inerbimento (Valenti et al., 2012): grazie all'apparato radicale dell'essenza erbacea impiegata, l'inerbimento protegge il suolo dall'erosione, agevola la movimentazione delle attrezzature, aspetto importante soprattutto nei periodi dell'anno più soggetti a piogge e con la necessità di accedere al frutteto (es. per l'esecuzione di trattamenti di agrofarmaci o delle operazioni della raccolta). Altri vantaggi riconducibili all'inerbimento sono il miglioramento delle caratteristiche strutturali del suolo, l'aumento della riserva idrica favorendo l'infiltrazione dell'acqua nel terreno, il maggiore assorbimento di alcuni nutrienti (es. i microelementi) da parte delle radici dell'actinidia, ecc. Durante la fase di allevamento è consigliabile evitare la competizione con le specie erbacee, eliminandole con lavorazioni superficiali per evitare di danneggiare l'apparato radicale. Successivamente, si consiglia di sostituire progressivamente le lavorazioni con l'inerbimento spontaneo o con specie appositamente selezionate (Mininni, 2002). In alternativa allo sfalcio lungo la fila, è possibile ricorrere a diserbanti chimici specifici.

Per quanto riguarda la concimazione, nella fase sia di allevamento sia di piena produzione è essenziale distribuire azoto (N), fosforo (P) e potassio (K) in modo equilibrato, rispettando le reali esigenze della coltura; le dosi di nutrienti vanno attentamente calibrate per evitare eccessi o carenze che potrebbero l'equilibrio vegeto-produttivo. Un recente studio condotto nell'areale romagnolo sulla cultivar Zesy002 ha evidenziato come tale coltura necessiti, in piena produzione, apporti annui di nutrienti stimati in: 130-170 kg/ha di N, 15-20 kg/ha di P, 100-150 kg/ha di K, 200-235 kg/ha di calcio (Ca) e 10-12 kg/ha di magnesio (Mg) (Quartieri et al., 2022). Nei terreni sub-alcalini è possibile intervenire con chelati di ferro (Fe) per contrastare la clorosi ferrica. L'apporto di letame bovino, o di altri ammendanti (es. il compost) prima dell'impianto del frutteto crea condizioni favorevoli al rapido accrescimento delle giovani piante; l'albero da frutto, tuttavia, trae benefici anche dall'apporto localizzato di concimi organici anche successivamente l'impianto, meglio ancora se interrati mediante una lavorazione superficiale.

La distribuzione del fertilizzante, mediante spandiconcime o attraverso la tecnica della fertirrigazione, deve avvenire nella zona circostante la pianta, dove maggiore è la densità radicale, sia durante la fase di allevamento sia quando le piante sono giunte in piena produzione.

#### **1.4 Irrigazione**

Tra le colture arboree da frutto, l'actinidia è tra quelle con maggiore esigenze idriche, infatti essa necessita di un'adeguata disponibilità di acqua nel terreno, durante tutto il ciclo vegeto-produttivo. Infatti, l'insorgenza di stress idrici, seppur limitati, in qualunque fase fenologica, comporta una riduzione del peso dei frutti. Dove le precipitazioni naturali risultano insufficienti, occorre pertanto intervenire con l'irrigazione (fino anche a 5000 m<sup>3</sup>/ettaro all'anno), pratica agronomica che quindi contribuisce in maniera consistente a definire il successo della coltivazione (Xiloyannis e Dichio, 2006).

L'actinidia ha un elevato fabbisogno idrico dovuto alla forte traspirazione esercitata dalla elevata superficie fogliare; si stima che nel periodo che va da giugno a settembre siano necessari giornalmente sino a 100 m<sup>3</sup> di acqua per ettaro (Sansavini et al., 2015), caratteristica che la espone facilmente a rischi di stress da carenza idrica. Tuttavia, è una specie molto sensibile anche a un eccesso di umidità del suolo e alla conseguente asfissia radicale, responsabile dell'insorgenza della sindrome nota come "moria del kiwi", oggi ricorrente in diversi areali di coltivazione del kiwi, in particolare in quelli del veronese, dove è diffusa l'irrigazione per scorrimento (Sorrenti et al., 2016).

L'irrigazione viene eseguita in diversi modi, ad esempio, nel settentrione è particolarmente diffuso il metodo di irrigazione localizzata, con apporti idrici giornalieri atti a restituire l'acqua evapo-

traspirata nelle 24 ore precedenti, con l'installazione di una o due ali gocciolanti a seconda delle caratteristiche pedologiche: nei terreni sabbiosi si consiglia la doppia ala gocciolante, mentre in un terreno argilloso può essere sufficiente l'ala singola (Xiloyannis e Dichio, 2006).

#### 1.4.1 L'acqua nel terreno e il suo monitoraggio

Il regime idrico del terreno è espresso dal dinamico rapporto che intercorre tra l'acqua e l'aria degli spazi vuoti interposti alle particelle solide (Baldini, 1988). Quando l'acqua occupa tutti gli spazi vuoti, il terreno si dice saturo e si trova nelle condizioni idrologiche di capacità idrica massima (Tab. 2) a cui corrisponde un potenziale matriciale ( $\Psi_m$ ) pari a 0 MPa. La quantità di acqua che il terreno contiene alla capacità idrica massima varia dal 40% in volume in condizioni di tessitura sabbiosa, al 60-65% in condizioni di prevalenza della frazione argillosa. Lo stato di saturazione è transitorio: l'acqua, infatti, percola per gravità finché il suo peso non eguaglia le forze di adsorbimento e tensione, raggiungendo l'equilibrio alla capacità idrica di campo ( $\Psi_m$  pari -0,03 MPa). L'umidità presente equivale al 20-25% in volume nei terreni a tessitura grossolana al 45-55% in quelli a tessitura fine (Tab. 2). A seguito dell'evaporazione e dell'assorbimento delle piante, la frazione di acqua del suolo diminuisce, fino a coincidere con il coefficiente di appassimento, a cui corrisponde un  $\Psi_m$  -1,5 MPa, valore limite per l'assorbimento radicale. L'acqua presente nelle condizioni idrologiche del coefficiente di appassimento varia dal 3-5% in volume nei terreni a tessitura grossolana al 15% in quelli a tessitura fine. L'acqua disponibile o riserva di umidità (RU) è la frazione costituita dal volume idrico alla capacità idrica di campo meno quello relativo al coefficiente di appassimento e rappresenta l'umidità fruibile dall'albero. Con il diminuire dell'acqua disponibile aumentano le condizioni di stress e gli effetti negativi sulla crescita e sulla produttività dell'albero.

Al fine di determinare il momento di irrigare è importante conoscere la disponibilità di acqua per le piante, in quanto il volume idrico è un parametro rilevante solo se associato alla tessitura del terreno (Tab. 2).

Tab. 2 Costanti idrologiche di tre tipi di terreno e relativo potenziale matriciale ( $\Psi_m$ ), (modificata da: Baldini, 1988)

Costante idrologica	Umidità (% in volume)			$\Psi_m$ (MPa)
	Argilloso	Medio impasto	Sabbioso	
Capacità idrica massima	60-65	50-55	40-45	0
Capacità idrica di campo	45-55	30-35	20-25	0,03

Tra gli strumenti più semplici e utili per il monitoraggio dell'acqua effettivamente disponibile per la pianta abbiamo il tensiometro e il potenziometro.

Il tensiometro, in grado di misurare direttamente il  $\Psi_m$ , è costituito da un tubo di plastica (Fig. 3), che termina con un bulbo di ceramica porosa; il tubo viene riempito di acqua e il bulbo poroso, posizionato nella zona del terreno a maggiore densità radicale, si pone in equilibrio con l'umidità del terreno, determinando una depressionione che può essere rilevata da un manometro posto alla sommità sporgente dal terreno, ma esistono anche dei modelli più avanzati gestibili da remoto. Il limite del tensiometro è la scarsa ampiezza della scala di misura, in quanto esso può rilevare una depressionione massima di -0,1 MPa (1 bar).

Il potenziometro (Fig. 3), invece, determina il  $\Psi_m$  del suolo attraverso la misura della resistenza che una corrente elettrica incontra attraversando un blocchetto di materiale igroscopico (es. il gesso) posto nel terreno alla profondità delle radici, ed in equilibrio con l'umidità del suolo (minore è lo stato di idratazione del suolo, maggiore è la resistenza elettrica del gessetto).



*Fig. 3 Tensiometro (sinistra) e potenziometro (a destra) utilizzati per la misura dell'umidità del terreno*

In assenza di sensori posti nel terreno, il volume irriguo (V) può essere determinato mediante il bilancio idrico (Dichio et al., 2008), il cui calcolo considera:

- la quantità di acqua (in mm) perduta giornalmente per evapo-traspirazione (ET), corretta mediante i coefficienti colturali (Kc) specifici per ogni frutticola e variabili in funzione della fase fenologica (Tab. 3);
- la quantità di acqua delle eventuali precipitazioni (P);
- l'efficienza del metodo irriguo (Ef).

Applicando tali informazioni alla formula:

$$V = (ET-P) / Ef$$

si ottiene il volume idrico da apportare.

*Tab. 3 L'irrigazione del kiwi: confronto tra i coefficienti colturali (Kc) impiegati nel sistema Irrinet e quelli individuati nelle prove eseguite in Emilia-Romagna (Anconelli et al., 2009)*

<b>MESE</b>	<b>Maggio</b>	<b>Giugno</b>	<b>Luglio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Settembre</b>	<b>Ottobre</b>
Kc usato in Irrinet	0,91	1,16	1,17	1,25	1,25	0.85
Kc misurato in prova	0,73	0,83	1,06	0,98	0,97	0,91
Riduzione % d'acqua	-20	-28	-9	-21	-22	+7

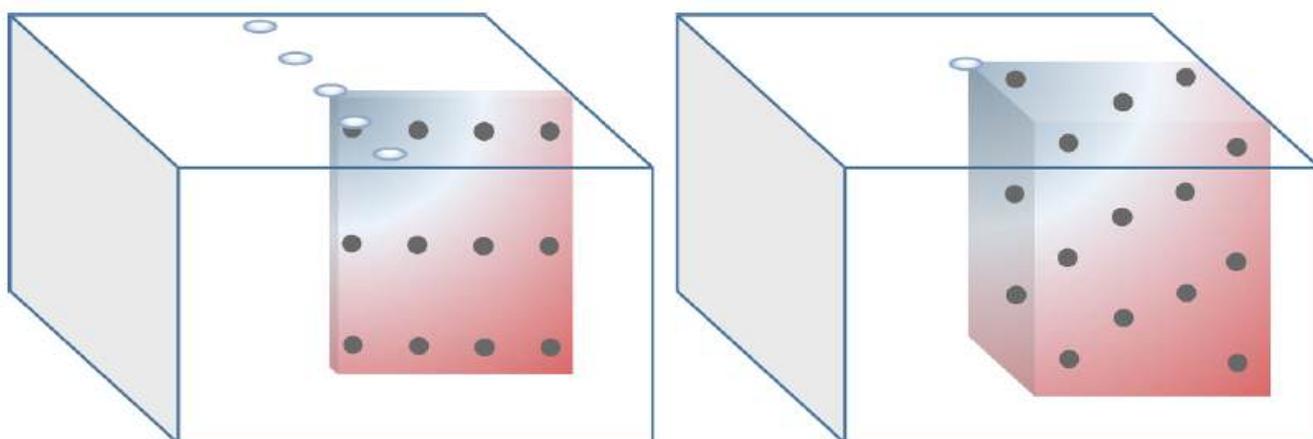
Questo approccio, svincolato dalla conoscenza diretta dell'acqua disponibile nel terreno, permette di ripristinare l'acqua evapo-traspirata e di mantenere un regime idrico del suolo costante, verosimilmente pari alla capacità idrica di campo, ma ha tra i suoi principali limiti la non stima della reale disponibilità idrica del suolo.

La possibilità di misurare contemporaneamente la disponibilità di acqua in più punti ravvicinati del terreno, a diversa profondità e distanza dal punto di erogazione dell'acqua, permette di monitorare con sufficiente precisione l'acqua presente non più in modo puntiforme ma in un volume di suolo.

Tale sistema di monitoraggio, basato su una griglia di sensori bi/tridimensionale (Fig. 4 e 5), è stato messo a punto presso l'Università di Bologna (Francia et al., 2022; Baldi et al., 2023) e coniuga la conoscenza della disponibilità di acqua nel terreno con la previsione della quantità di acqua evapotraspirata quotidianamente dalla coltura. Rappresenta un approccio innovativo nella gestione della risorsa idrica, che tiene conto di entrambe le informazioni (disponibilità idrica nel suolo e deficit idrico giornaliero della coltura), con benefici agronomici e ambientali, oltre che sociali.



*Fig. 4 Sensori installati per rilevare la bagnatura del terreno a diverse profondità e distanze dal punto di erogazione dell'acqua*



*Fig. 5 Rappresentazione schematica di una griglia multi sensore bi- (a sinistra) e tridimensionale (a destra) mediante la quale è possibile monitorare l'acqua presente in un determinato volume di suolo (Francia et al., 2022)*

#### **1.4.2 Disponibilità di acqua nel suolo e qualità del frutto di kiwi**

Il frutto di actinidia, soprattutto se a polpa gialla, presenta aspetti qualitativi eccellenti, correlati generalmente con la percentuale di sostanza secca, che alla raccolta deve essere superiore al 16%. Questo aspetto, ritenuto il principale responsabile della buona conservabilità del frutto in post

raccolta, è influenzato dalla disponibilità idrica del terreno nel corso della stagione. In generale è stato osservato che la produzione di kiwi a polpa gialla è negativamente correlata con la sostanza secca del frutto (Famiani et al., 2012); tuttavia la qualità del frutto trae beneficio dalla maggiore concentrazione di sostanza secca in termini di residuo secco rifrattometrico. Quindi, sebbene volumi irrigui elevati aumentino la pezzatura del frutto (Longman et al. 2016) essi contribuiscono a diminuire la sostanza secca e il residuo secco rifrattometrico.

È già stato sottolineato come la coltivazione dell'actinidia richieda un'elevata quantità di acqua e, quindi, una costante umidità del suolo prossima alla capacità idrica di campo, al fine di evitare che l'insorgere di condizioni di stress da carenza idrica si traduca in una minore crescita del frutto (Judd et al., 1989). Ciò giustifica il fatto che tra le colture frutticole, nell'actinidia non è consigliabile applicare tecniche di stress idrico controllato, in quanto è dimostrato come esso porti a una riduzione della pezzatura finale del frutto (Buwalda e Smith, 1990; Miller et al., 1998), seppur accompagnato da un significativo aumento del residuo secco rifrattometrico, con benefici in termini di serbevolezza dei frutti.

### **1.4.3 Modalità di irrigazione**

Per quanto riguarda i metodi irrigui (<https://www.bonattiirrigazioni.it/it/culture/kiwi/>), quelli più impiegati per le piante arboree sono per aspersione (o a pioggia) e a micro-portata di erogazione (microirrigazione o irrigazione localizzata a bassa pressione). Con l'irrigazione per aspersione l'acqua può essere erogata sopra chioma e sotto chioma, normalmente tramite impianti fissi di bassa intensità di precipitazione (Mannini, 2008). L'irrigazione per aspersione (sopra chioma e, almeno in parte, sotto chioma) ha il vantaggio di poter utilizzare il sistema irriguo anche per la difesa antibrina, o per abbassare la temperatura dell'aria (effetto climatizzante) nelle giornate estive particolarmente calde o ventose, situazioni che per l'actinidia possono determinare disseccamenti fogliari e filloptosi.

L'irrigazione a micro-portata prevede una distribuzione dell'acqua soltanto su una parte del volume a disposizione dell'albero; diversi studi hanno infatti evidenziato come sia sufficiente che solo un terzo dell'apparato radicale possa attingere acqua dal suolo per soddisfare le esigenze dell'intera pianta. Di conseguenza, sarà limitata anche la riserva idrica del suolo rendendo necessari frequenti turni irrigui (Bravdo, 2000). I sistemi irrigui a micro-portata si dividono a seconda della portata dell'emettitore in impianti a goccia e a spruzzo o microjet.

Tra i vantaggi principali dell'irrigazione localizzata si ricordano il risparmio dell'acqua, in quanto vengono ridotte le perdite per evaporazione, per scorrimento superficiale e per percolazione, le migliori condizioni di vita delle radici per la maggior presenza di spazi vuoti occupati da aria, e quindi

di ossigeno, la possibilità di accedere al frutteto con le macchine anche quando l'impianto di irrigazione è in funzione, un migliore controllo delle infestanti, considerato che solo una parte della superficie del terreno è irrigata.

Il limitato volume di suolo interessato dall'irrigazione a goccia condiziona la fisiologia radicale; infatti, la radice reagisce alla restrizione a cui è sottoposta con una maggiore ramificazione e formazione di apici radicali, che aumentano la superficie assorbente, con effetto migliorativo sull'efficienza di assorbimento di acqua e nutrienti (Bravdo, 2000). L'irrigazione a goccia condiziona quindi lo sviluppo dell'apparato radicale, rendendo più efficiente anche l'uso del fertilizzante nel caso in cui esso sia localizzato nella striscia bagnata dai gocciolatori o distribuito mediante fertirrigazione.

## **2. Obiettivo tesi**

Il presente elaborato di tesi si inserisce in una sperimentazione pluriennale, il cui obiettivo principale è l'ottimizzazione della gestione dell'irrigazione dell'actinidia a polpa gialla.

Lo scopo del mio lavoro è stato quello di valutare l'efficacia di un sistema 'intelligente' di gestione dell'irrigazione, basato sulla determinazione 'real time' dell'umidità del suolo grazie a sonde prossimali, opportunamente collocate al fine di definire l'unità di suolo esplorata dalle radici.

### 3. Materiali e metodi

#### 3.1 Caratteristiche dell'actinidieto

La prova è stata condotta nel 2023 a Brisighella (RA) (44°13'20" N, 11°46'24" E, 116 m a.s.l.), in un actinidieto della cultivar a polpa gialla Zesy002 (conosciuta anche come G3 o Gold 3 e commercializzata col marchio Sungold™ di proprietà di Zespri International Ltd), innestata nel 2012 su piante micro propagate di Hayward (*A. chinensis* var *deliciosa*), messe a dimora nel 2010 con un sesto di 2 m sulla fila e 4,5 m tra le file (1111 piante/ha) e allevate a doppia pergoletta (Fig. 6). Il terreno è di tipo franco, caratterizzato da una combinazione equilibrata di sabbia, limo e argilla; e risulta inoltre non calcareo, con pH di 7,4 e un tenore di sostanza organica dell'1,68%.



*Fig. 6 Veduta dell'actinidieto dove si è svolta la sperimentazione*

Una specifica accortezza adottata all'impianto del frutteto, ben visibile nella figura 6, è stata la realizzazione della baulatura del terreno lungo i filari, con lo scopo principale di prevenire eventuali ristagni idrici nel volume di suolo caratterizzato dalla maggiore densità radicale, situazione particolarmente indesiderata per l'actinidia. L'attenta selezione del tipo di supporto del fusto, la scelta del terreno e la specifica cultivar adottata, riflettono la cura e l'attenzione dedicate all'actinidieto del nostro studio. Queste scelte mirano a garantire un ambiente ideale per la crescita e lo sviluppo delle piante, contribuendo così alla qualità complessiva del raccolto. La gestione della superficie del suolo ha previsto il controllo delle erbe infestanti presenti sulla fila, comunque limitato per via dell'ombreggiamento della chioma dell'actinidieto, mediante diserbo chimico, mentre nell'interfila era presente l'inerbimento spontaneo, periodicamente trinciato. La concimazione è stata gestita

mediante fertirrigazione, distribuendo le seguenti unità fertilizzanti (kg/ha): N: 96, P: 19, K: 130, Mg: 11, Fe: 1,5 e manganese: 2,3.

### 3.2 Trattamenti a confronto

Nel corso del 2023, è proseguito il confronto sia tra le diverse modalità di gestione del volume di irrigazione, sia del sistema di distribuzione dell'acqua irrigua, di seguito riepilogate:

- 1) Tesi aziendale (T0): irrigazione mediante ala gocciolante singola, con erogatori esterni al tubo distanziati 0,66 m lungo la fila e portata di 4 l/h;
- 2) Tesi "smart" (T1): irrigazione mediante ala gocciolante singola, con erogatori esterni al tubo distanziati 0,66 m lungo la fila e portata di 4 l/h;
- 3) Tesi "smart" (T2): irrigazione con doppia ala gocciolante, ciascuna distanziata lateralmente dalla fila 30 cm, con gocciolatori esterni distanziati sulla fila 50 cm e portata di 2,3 l/h.

Il calcolo del volume idrico da restituire alla tesi aziendale T0 è stato gestito in autonomia dall'agricoltore, secondo le indicazioni del servizio di assistenza fornito dall'applicativo "Irrinet" ([https://www.irriframe.it/irriframe/home/Index\\_er](https://www.irriframe.it/irriframe/home/Index_er)) del Canale Emiliano Romagnolo, che si basa sulla determinazione del bilancio idrico considerando le perdite per evapotraspirazione (Etc) al netto delle precipitazioni. Entrambe questi valori sono stati determinati dalla stazione meteorologica presente in azienda. In particolare ET0 si riferisce alla quantità di acqua evaporata da evaporimetro di classe A, mentre Etc si ottiene da ET0 moltiplicato per il coefficiente culturale Kc di 0,82.

Per le tesi "smart" T1 e T2, invece, il turno e il volume irriguo sono stati gestiti in funzione del  $\Psi_m$  del suolo, rilevato mediante sonde (gessetti) poste nel terreno a diversa profondità e distanza dalla fila, in maniera da definire l'unità di suolo esplorata dalle radici. Tali informazioni, inoltre, sono state gestite in tempo reale mediante un applicativo sperimentale prescrittivo, in grado di dialogare con la centralina irrigua che gestiva in campo le elettrovalvole di ciascuna tesi "smart", messo a punto dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Informatica – Scienza e Ingegneria dell'Università di Bologna, partner del progetto, che ha consentito la gestione completamente automatizzata dell'irrigazione (Francia et al., 2022).

Il  $\Psi_m$  del suolo è stato monitorato in tutte e tre le tesi, attraverso sonde potenziometriche del tipo a gessetto di Bouyoucos collegate a centraline (Fig. 7) che trasmettevano il dato ad una piattaforma informatica. I dati venivano elaborati per definire il consiglio irriguo. Nel caso di necessità di irrigare, veniva distribuita la quantità di acqua persa nelle 24 ore precedenti per evapotraspirazione.



Fig. 7 Centraline e sensori per il monitoraggio dell'umidità del terreno e del volume d'acqua erogato, installati nelle tesi ad ala singola (T0 e T1, foto sinistra) e ad ala doppia (foto destra)

Le sonde erano posizionate a tre profondità (20, 40 e 60 cm) e diverse distanze dalla fila: 0, 26, 52 e 80 cm verso l'interfila nel caso delle tesi con ala singola (T0 e T1); 0, 33, 66 e 100 cm dal filare nel caso della tesi con doppia ala gocciolante (T2). Le distanze di 0 cm e 33 cm corrispondevano alle sonde poste esattamente sotto il gocciolatore, rispettivamente per le tesi ad ala singola (T0 e T1) e doppia ala (T2) (Fig. 8).

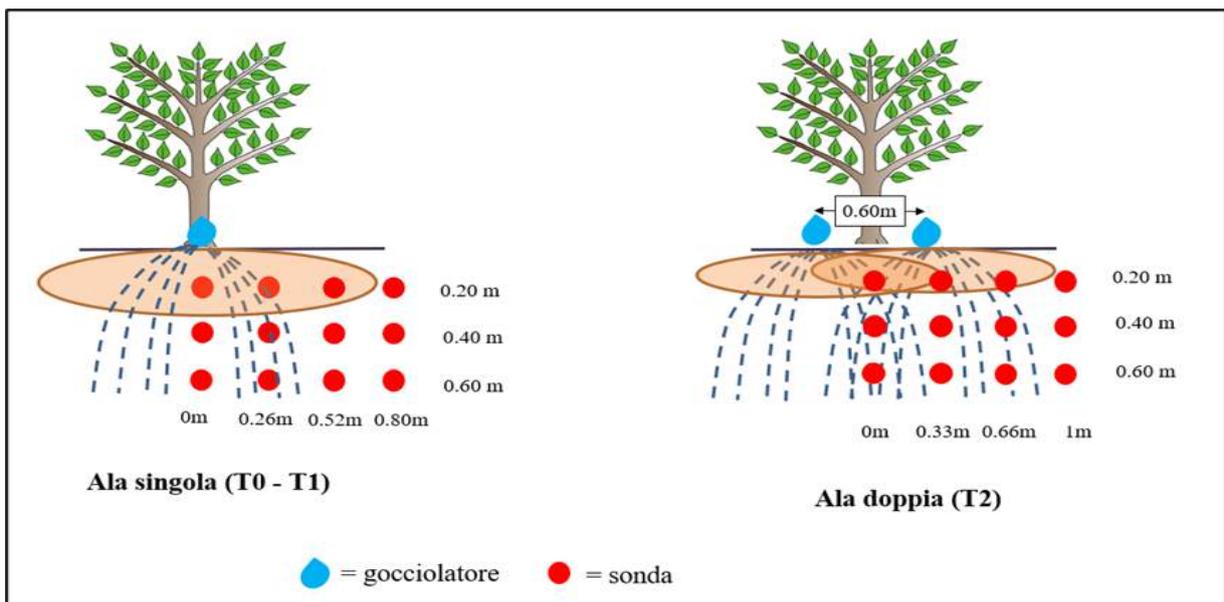


Fig. 8 Schematizzazione della disposizione dei sensori di monitoraggio del potenziale matriciale del suolo

Ciascuna stazione di monitoraggio, completata da un sensore (pluviometro) per il monitoraggio del volume di acqua erogato dal gocciolatore, era replicata due volte per ogni tesi a confronto; le centraline e i sensori sopra descritti, per la gestione da remoto dei dati del suolo e meteo sono stati forniti da Ifarming srl, azienda specializzata nel campo dell'agricoltura di precisione (<https://ifarming.srl/>).

Il disegno sperimentale prevedeva per ciascuna tesi irrigua, identificabile nell'intero filare, quattro parcelle sperimentali (repliche) di diversi alberi ciascuna, quattro dei quali utilizzati per i principali rilievi sull'albero (es. potenziale idrico del fusto, produzione, ecc.).

### **3.3 Rilievi sperimentali eseguiti in campo ed in laboratorio**

Durante i mesi di luglio, agosto e settembre, sono stati condotti vari rilievi al fine di verificare in modo oggettivo l'effetto delle diverse strategie di gestione irrigua sull'umidità del terreno e sull'albero.

#### **3.3.1 Monitoraggio dell'umidità del terreno**

L'acqua presente nel terreno e disponibile per la coltura è stata monitorata mediante la sensoristica precedentemente descritta al paragrafo 3.2. Tutti i dati acquisiti erano gestiti e visibili da remoto mediante i più comuni supporti informatici (PC, tablet e smartphone), consentendo non solo di avere sotto controllo in tempo reale la bagnatura del terreno di ciascuna tesi a confronto, ma anche di intervenire tempestivamente in caso di criticità.

I dati di  $\Psi_m$  del terreno rilevati dalle griglie dei gessetti, inoltre, venivano automaticamente elaborati per generare un'immagine raffigurante l'umidità della sezione bidimensionale del terreno, corrispondente alle diverse profondità e distanze dal punto di erogazione dell'acqua (Fig. 9). I diversi colori delle celle che compongono la figura indicano un diverso  $\Psi_m$ , come segue: blu scuro: 0 -30 kPa, azzurro: -31 -100 kPa; rosa -101 -300 kPa; rosso: -301 -1.500 kPa; rosso scuro: -1.501 -10.000 kPa (Fig. 9). L'irrigazione veniva attivata quando il numero di celle blu e azzurre era inferiore al 50% del totale.

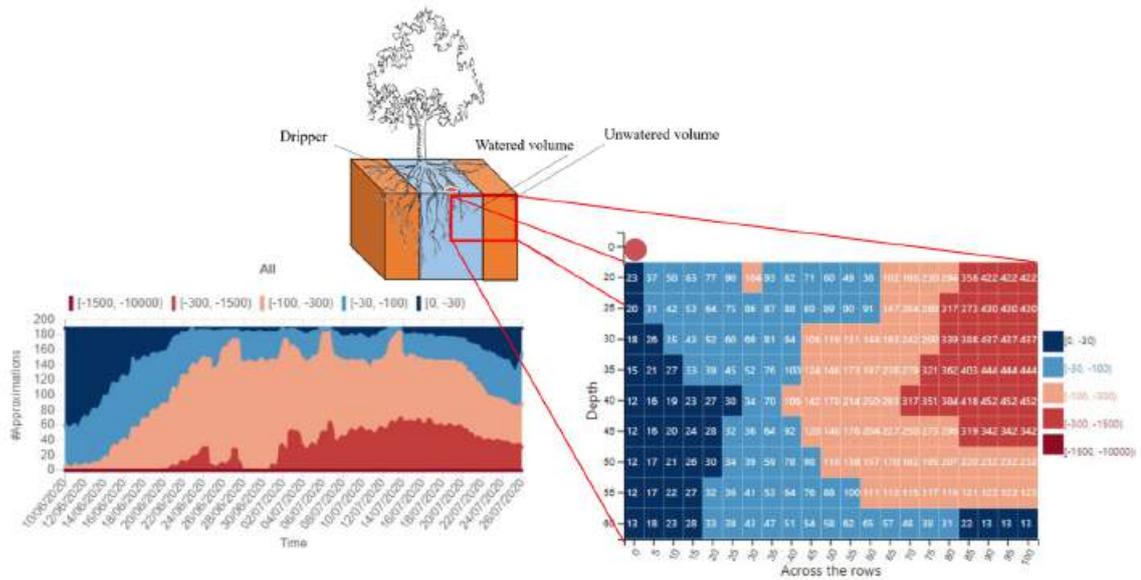


Fig. 9 Raffigurazione nel tempo (a sinistra) e nello spazio (a destra) della distribuzione dell'umidità nella sezione di terreno monitorata con le sonde potenziometriche (Francia et al., 2022)

### 3.3.2 Determinazione del potenziale idrico dell'albero

Per valutare lo stato di idratazione delle piante è stata eseguita la misurazione del potenziale idrico ( $\Psi_w$ ) del fusto. Per questa procedura, eseguita periodicamente nel corso della stagione, in ciascuna parcella sperimentale sono state isolate 3-4 foglie integre non esposte al sole. Le foglie sono state inserite in buste di plastica schermate a loro volta con della pellicola di alluminio, allo scopo di bloccarne la traspirazione e lo scambio gassoso con l'atmosfera e impedirne il surriscaldamento. Grazie a tale tecnica, si veniva a creare una sorta di equilibrio tra lo stato di idratazione della foglia e quello dell'albero, a sua volta in equilibrio con il terreno. Dopo circa un'ora di isolamento, ciascuna foglia è stata staccata dal tralcio e si è proceduto alla misura del potenziale idrico mediante una camera a pressione di Scholander, nella versione semplificata della pompa a pressione (Fig. 10).



*Fig. 10 Camera a pressione di Scholander utilizzata per la misurazione del potenziale idrico dell'albero, nel modello "Pump-Up Chamber" (PMS Instrument Company. Albany, Oregon, USA)*

### ***3.3.3 Valutazione della crescita del frutto nel corso della stagione***

Nel corso della stagione è stata valutata periodicamente l'azione delle diverse strategie irrigue sulla crescita del frutto. Il calibro è stato misurato direttamente in campo su un elevato numero di frutti per ciascuna tesi, mediante un calibro digitale di precisione che registrava i valori direttamente su supporto elettronico; in tale occasione, da ogni parcella sperimentale è stato prelevato anche un campione rappresentativo di frutti per la determinazione del peso.

### ***3.3.4 Determinazione della qualità del frutto nel corso della stagione***

Nel corso della stagione è stata valutata periodicamente l'azione delle diverse strategie irrigue sulla qualità del frutto. Nei primi rilievi (luglio e prima metà di agosto) ci si è limitati a monitorare la sostanza secca, misurata prelevando una sezione trasversale dell'intero frutto, posta a essiccare in stufa ventilata (65 °C per 48 ore), rilevandone il peso prima e dopo l'essiccazione.

In occasione dei rilievi condotti il 22 agosto, 6 e 20 settembre, allo scopo di controllare l'avanzamento della maturazione dei frutti nelle settimane precedenti la raccolta commerciale, oltre alla sostanza secca, sono stati determinati i seguenti altri parametri: il colore della polpa, mediante il colorimetro digitale CR-410 (Konica Minolta, Inc., Giappone) (Fig. 11); la durezza, mediante il

penetrometro digitale FTA 53220 (TR Turoni s.r.l., Forlì) (Fig. 11); il contenuto di solidi solubili, determinato con il rifrattometro digitale PAL-1 (Atago, Tokio, Giappone).



*Fig. 11 Da sinistra colorimetro digitale CR-410, penetrometro digitale FTA 53220 e rifrattometro PAL-1, strumenti utilizzati per le analisi qualitative dei frutti*

### **3.3.5 Produzione e qualità del frutto alla raccolta commerciale**

In occasione della raccolta commerciale, avvenuta il 10 ottobre 2023 (Fig. 12), è stata determinata la produzione totale di quattro piante selezionate per ciascuna tesi, suddivisa in commerciale e non.



*Fig. 12 Veduta della produzione e particolare del frutto in occasione della raccolta*

Una parte del prodotto commerciale è stato campionato (15 frutti per ogni pianta) per la determinazione della qualità alla raccolta (colore, consistenza, solidi solubili e sostanza secca della polpa, come già descritto precedentemente); inoltre, sono stati preparati i campioni (2 campioni di 24 frutti ciascuno da ogni pianta raccolta) da conservare in cella frigorifera per i controlli da effettuarsi dopo alcuni mesi di conservazione in cella frigorifera.

I frutti utilizzati per la preparazione dei suddetti campioni sono stati utilizzati anche per la determinazione del peso del frutto alla raccolta.

### **3.3.6 Valutazione della qualità del frutto in post raccolta**

Come già riportato sopra, da ogni pianta raccolta sono stati prelevati due campioni di 24 frutti ciascuno, collocati in cella in atmosfera controllata (T di 1 °C e 98% di U.R.) presso lo stabilimento di Castel Bolognese (RA) della cooperativa Agrintesa scrl, per il monitoraggio della qualità dopo 2 e 4 mesi di conservazione. Trascorso tale periodo, all'uscita dalla cella, ciascun campione è stato suddiviso in due sub campioni: metà dei frutti sono stati analizzati dopo un giorno, mentre i rimanenti dopo 3-4 giorni di shelf-life, svolta presso i laboratori del DISTAL a temperatura ambiente. In aggiunta alle analisi qualitative già descritte precedentemente, è stata rilevata anche l'incidenza di eventuali difetti, quali: la disidratazione del frutto, i danni da gelo, i sintomi della fisiopatia storage break down (SBD), i danni da agenti biotici quali marciumi (es. *Botrytis cinerea*, *Phialophora* spp, ecc.) e insetti (es. cimice asiatica).

### **3.3.7 Analisi statistica**

I dati sperimentali raccolti in campo e in laboratorio sono stati sottoposti all'analisi statistica della varianza; in caso di effetto significativo del trattamento (gestione irrigua), le medie sono state separate mediante il test SNK ( $P=0,05$ ).

I dati di qualità, misurati alla raccolta e in post raccolta, sono stati sottoposti anche ad analisi statistica multivariata, mediante l'analisi canonica discriminante (DCA) delle componenti principali. Attraverso questo approccio statistico è stato possibile valutare nel loro complesso, e non separatamente l'una dall'altra, le variabili qualitative del frutto, mettendo meglio in risalto le differenze tra i trattamenti sperimentali.

## 4. Risultati

### 4.1 Bilancio idrico

Tab. 4 Riepilogo dei dati di evapotraspirazione, precipitazione e dei volumi irrigui relativi al periodo compreso tra il 1 giugno e il 9 ottobre 2023

Gestione irrigua	Evaporazione ET <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Evapotraspirazione ET <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Pioggia (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volume irriguo (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Differenza % rispetto tesi T0 aziendale
T0 aziendale (ala singola)	4006	3275	631	3595	---
T1 smart (ala singola)	4006	3275	631	2256	-37
T2 smart (doppia ala)	4006	3275	631	4453	+24

Il valore complessivo di evaporazione da evaporimetro calcolato per il periodo compreso tra il 1°/6/23 e il 9/10/23 si è attestato a circa 4.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, ridotto a circa 3.300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (dati ET<sub>0</sub> e ET<sub>c</sub> in Tab. 4) per effetto dell'applicazione del coefficiente colturale (K<sub>c</sub>) dell'actinidia suggerito dal Canale Emiliano Romagnolo (<https://consorziocer.it/it/>). Questo fabbisogno è stato soddisfatto solo in parte dalle precipitazioni atmosferiche, pari a 631 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, mentre la maggior parte del fabbisogno è stato soddisfatto con l'irrigazione, con quantitativi d'acqua irrigua variabili in base alla strategia di gestione adottata. Per la tesi gestita direttamente dall'azienda (T0), infatti, il volume irriguo applicato è stato di circa 3.600 m<sup>3</sup>, mentre per le due tesi sperimentali "smart", il volume irriguo è stato di 2.256 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e 4.453 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, rispettivamente nelle tesi T1 e T2 (Tab. 4). Posto pari al 100% il volume irriguo apportato dall'azienda (T0), le due gestioni "smart" si sono distinte in un caso (T1) per la riduzione del quantitativo di acqua apportato (-37%), mentre la tesi irrigata con doppia ala gocciolante ha registrato un maggiore consumo di acqua (+24%; Tab. 4).

## 4.2 Effetto della gestione irrigua sul potenziale matriciale ( $\Psi_m$ ) del terreno

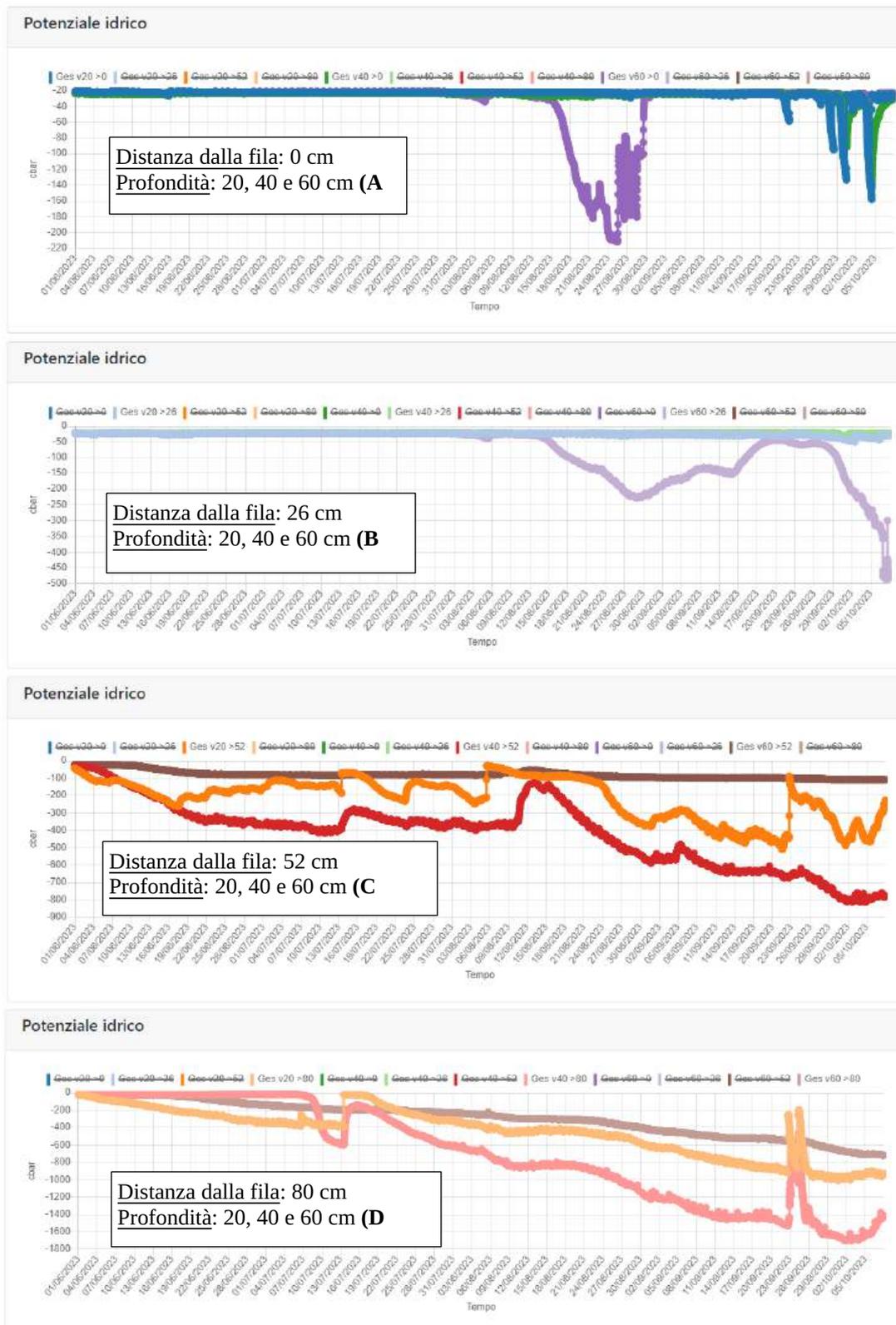


Fig. 13 Potenziale matriciale del terreno ( $\bar{c}$  = kPa) misurato a diversa distanza dalla fila nella tesi "T0 aziendale". In ciascun grafico, le tre linee colorate indicano la diversa profondità di rilevamento (20, 40 e 60 cm)

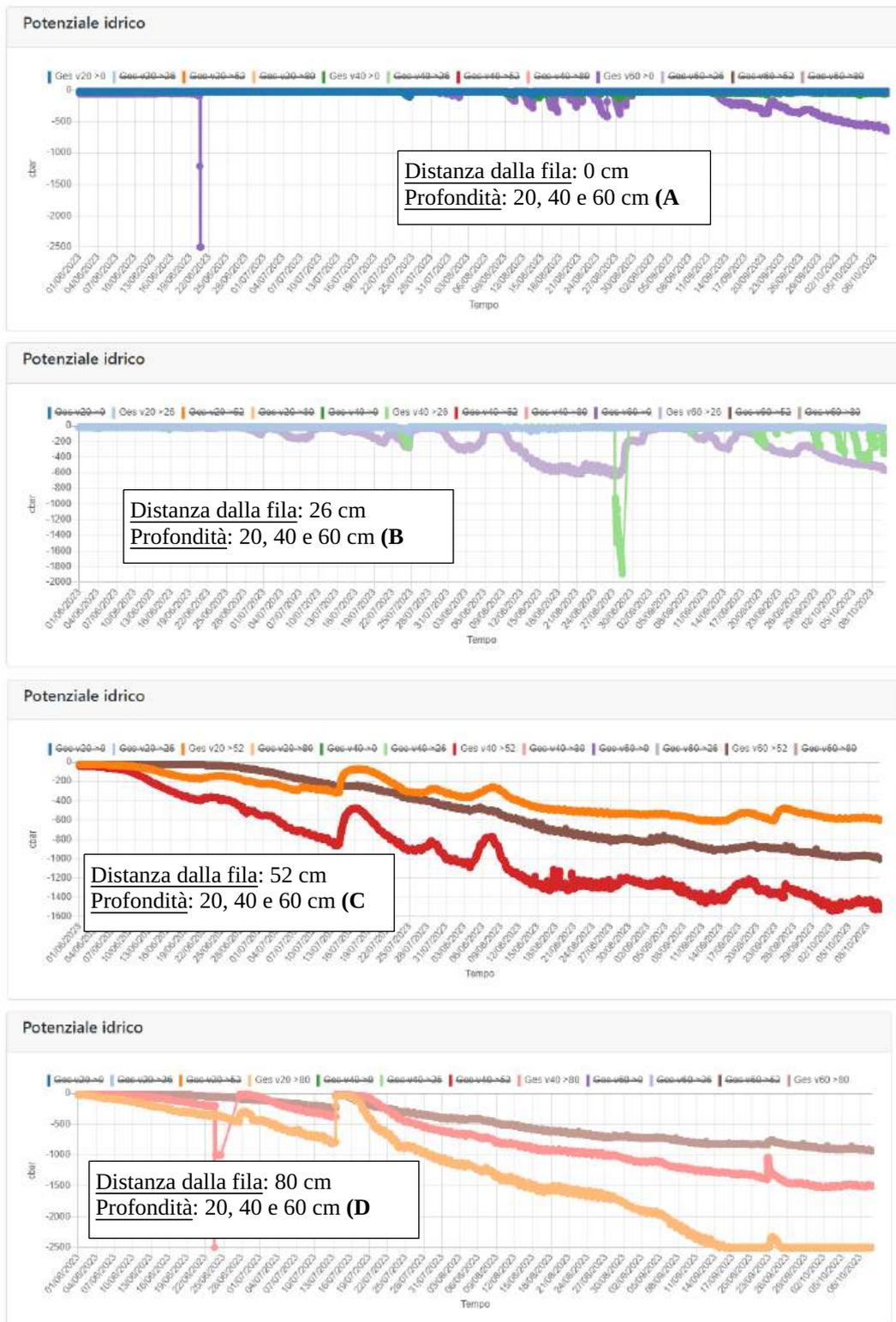


Fig. 14 Potenziale matriciale del terreno ( $c_{bar}$  = kPa) misurato a diversa distanza dalla fila nella tesi "T1 smart". In ciascun grafico, le tre linee colorate indicano la diversa profondità di rilevamento (20, 40 e 60 cm)

La figura 13 riporta l'andamento del  $\Psi_m$  del terreno della tesi in cui l'irrigazione è stata gestita dall'azienda, monitorato con i 12 gessetti a diversa profondità (20, 40 e 60 cm) e distanza dalla fila (0, 26, 52 e 80 cm). Come si può notare dal grafico, alle distanze più prossime al punto di erogazione dell'acqua (0 e 26 cm dalla fila, Fig. 13a e 13b), il  $\Psi_m$  del terreno è risultato compreso tra 0 e -50 kPa (o cbar) per gran parte del periodo monitorato a tutte e tre le profondità, ad eccezione del  $\Psi_m$  misurato dalla metà di agosto in poi a 26 cm dalla fila e 60 cm di profondità (Fig. 13b). Alla distanza di 52 cm dalla fila (Fig. 13c), il  $\Psi_m$  è risultato in generale più negativo, con valori costantemente prossimi a -100 kPa alla massima profondità misurata, mentre i sensori posti a 20 e 40 cm di profondità hanno misurato valori di  $\Psi_m$  compreso tra -100 e -400 kPa in giugno, luglio e agosto, per poi scendere ulteriormente a settembre a valori di -400, -800 kPa (Fig. 13c). I sensori posti a 80 cm dalla fila, infine, a giugno hanno mostrato valori di  $\Psi_m$ , in generale, simili a quelli descritti per lo stesso periodo per la distanza di 52 cm, evidenziando successivamente una progressiva diminuzione lungo tutto il periodo monitorato, raggiungendo a fine settembre-inizio ottobre valori compresi tra -600 e -1600 kPa (Fig. 13d).

La figura 14 riporta l'andamento del potenziale matriciale del terreno della tesi in cui l'acqua di irrigazione è stata erogata con ala gocciolante singola, ma con una gestione "smart" del consiglio irriguo. Come si può notare dai diversi grafici della figura 14, anche in questa tesi le distanze più vicine al punto di erogazione dell'acqua (Fig. 14a e 14b) si sono distinte in generale per il  $\Psi_m$  del terreno meno negativo e più prossimo alla capacità idrica di campo (-30 kPa), seppur con alcune situazioni differenti in funzione della profondità. Il sensore posto al di sotto del gocciolatore alla profondità di 60 cm, infatti, in agosto e dopo la metà di settembre ha misurato valori più negativi (< -100 kPa) (Fig. 14a); il medesimo sensore ha mostrato un andamento simile anche alla distanza di 26 cm, alla quale anche il gessetto posto a 40 cm di profondità ha mostrato valori di  $\Psi_m$  fino a -400 kPa a fine periodo (Fig. 14b). Alle distanze maggiori (52 e 80 cm dalla fila), il  $\Psi_m$  è risultato prossimo alla capacità di campo solo nelle prime due settimane di giugno; successivamente è diminuito progressivamente indipendentemente dalla profondità, raggiungendo valori  $\leq$  -200 kPa a fine luglio,  $\leq$  -500 kPa a fine agosto e ancora più negativi a fine settembre, seppur con differenze tra le tre profondità (Fig. 14c e 14d).

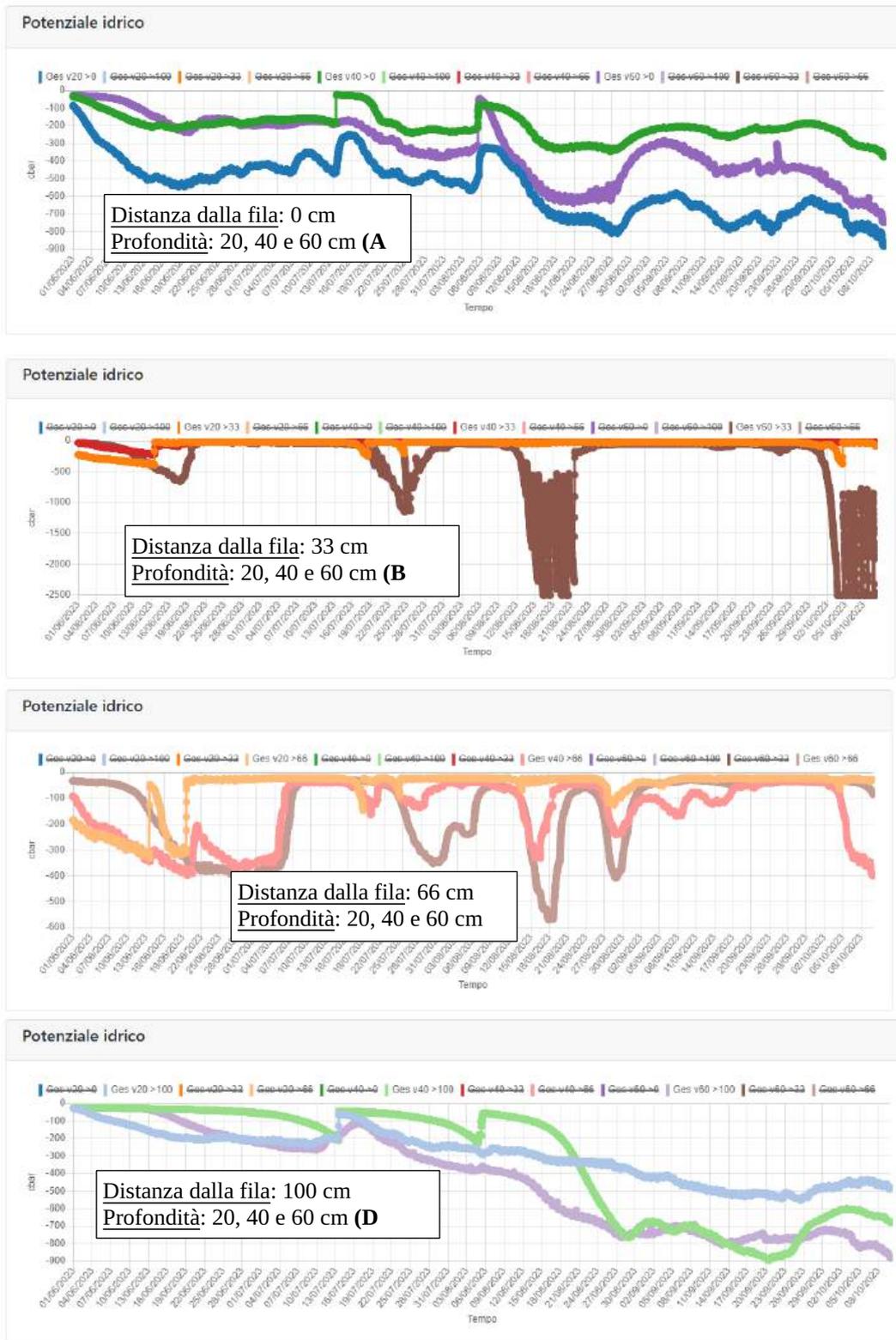


Fig. 15 Potenziale matriciale del terreno ( $c_{bar}$  = kPa) misurato a diversa distanza dalla fila nella tesi "T2 smart" irrigata con doppia ala gocciolante. In ciascun grafico, le tre linee colorate indicano la diversa profondità di rilevamento (20, 40 e 60 cm)

In figura 15 è riportato l'andamento del  $\Psi_m$  del terreno della tesi in cui l'acqua d'irrigazione è stata distribuita mediante 2 ali gocciolanti distanziate di 66 cm, con una gestione "smart" del consiglio irriguo; di conseguenza, il posizionamento dei sensori era a diversa distanza dalla fila rispetto alle tesi T0 e T1. Come si può notare dalla figura 15, i sensori posti sulla fila, cioè equidistanti dalle due ali gocciolanti circa 33 cm, hanno mostrato già dopo 7-10 giorni valori di  $\Psi_m$  del terreno  $< -100$  kPa; a 20 cm di profondità, il  $\Psi_m$  è risultato di circa -500 kPa fino a metà agosto, per poi scendere a -600, -800 kPa successivamente (Fig. 15a). Alla profondità maggiore (60 cm) sono stati misurati valori di  $\Psi_m$  di circa -200, -300 kPa per l'intero periodo, mentre alla profondità intermedia (40 cm) gli stessi valori negativi sono stati misurati in giugno e luglio, mentre ad agosto e settembre il  $\Psi_m$  è sceso fino a -700 kPa (Fig. 15a).

Alla distanza di 33 cm dalla fila, i sensori posti sotto il gocciolatore hanno mostrato valori di  $\Psi_m$  in generale di poco negativi o comunque prossimi alla capacità idrica di campo per buona parte del periodo monitorato; il sensore a 60 cm di profondità, tuttavia, in alcuni momenti della stagione (es. seconda metà di luglio, 12-21 agosto e inizio ottobre) ha registrato valori nettamente più negativi (Fig. 15 b). Per quanto riguarda l'umidità del terreno misurata a 66 cm dalla fila, in giugno, soprattutto nella seconda metà del mese, i valori sono risultati in generale  $< -100$  kPa; successivamente, il sensore a 20 cm di profondità ha registrato un  $\Psi_m$  quasi sempre compreso tra 0 e -100 kPa, mentre alle profondità maggiori sono state osservate maggiori oscillazioni del  $\Psi_m$ , che hanno raggiunto anche valori di -400 e -600 kPa in alcune date (Fig. 15c). Alla maggiore distanza dalla fila (1 m), infine, in giugno e luglio il  $\Psi_m$  è risultato tra 0 e -100 kPa a 40 cm di profondità, e tra -100 e -400 kPa nelle restanti due profondità (Fig. 15d). Dal mese di agosto, il  $\Psi_m$  è diminuito progressivamente indipendentemente dalla profondità, raggiungendo valori di -500 e -800 kPa a fine settembre – inizio ottobre (Fig. 15d).

I dati rilevati giornalmente da giugno a inizio ottobre 2023 dalle sonde potenziometriche sono stati utilizzati anche per produrre la matrice dell'umidità del terreno, suddivisa in sei classi in rappresentanza di altrettanti intervalli di  $\Psi_m$  (0, -30; -30, -100; -100, -200; -200, -300; -300, -1500;  $< -1500$  kPa), e rappresentati in figura 16 da diversi colori. Per la tesi T0 aziendale sono ben individuabili due periodi: da inizio giugno alla metà di agosto emerge l'elevata bagnatura del terreno (area di colore blu scuro) in circa un terzo della sezione monitorata dai sensori; successivamente, e fino a fine periodo, la parte di terreno con un  $\Psi_m$  compreso tra 0 e -30 kPa si è ridotta a vantaggio di zone di terreno con valori di  $\Psi_m$  molto più negativi, con una porzione di sezione di terreno caratterizzata da valori  $< -300$  kPa pari a circa la metà (Fig. 16).

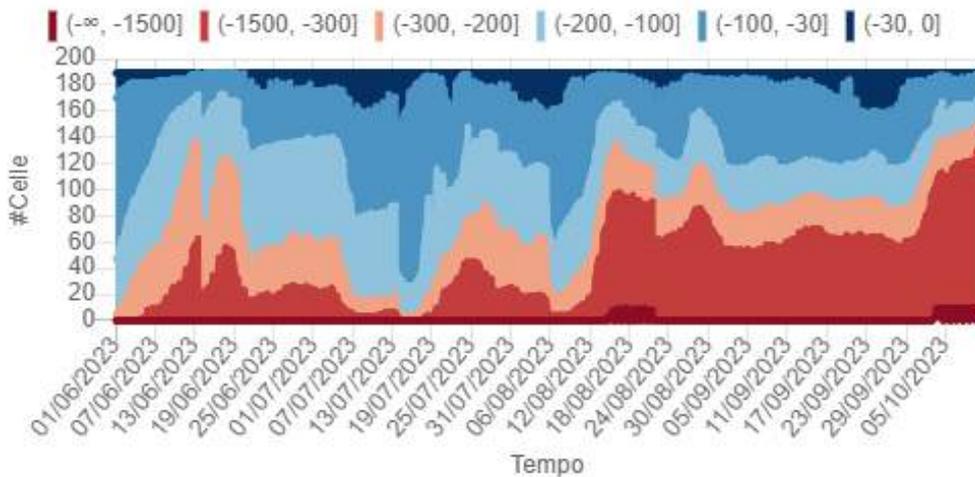
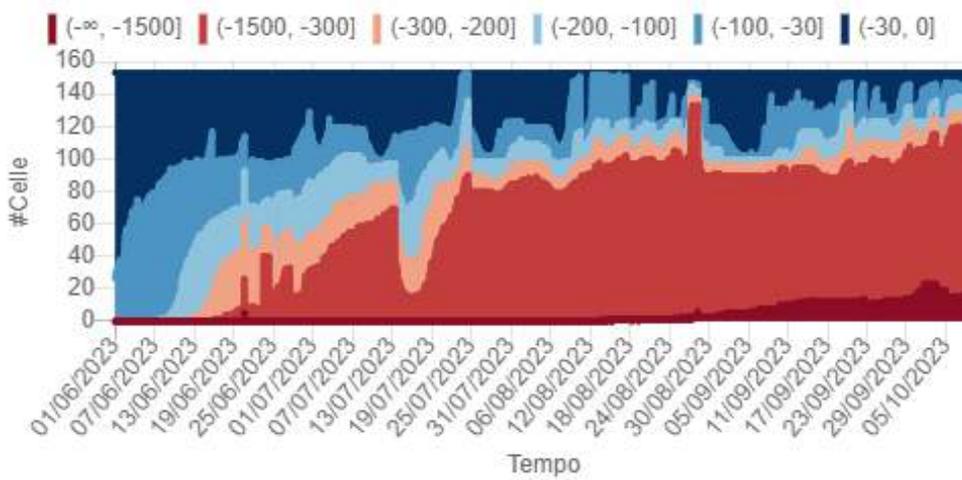
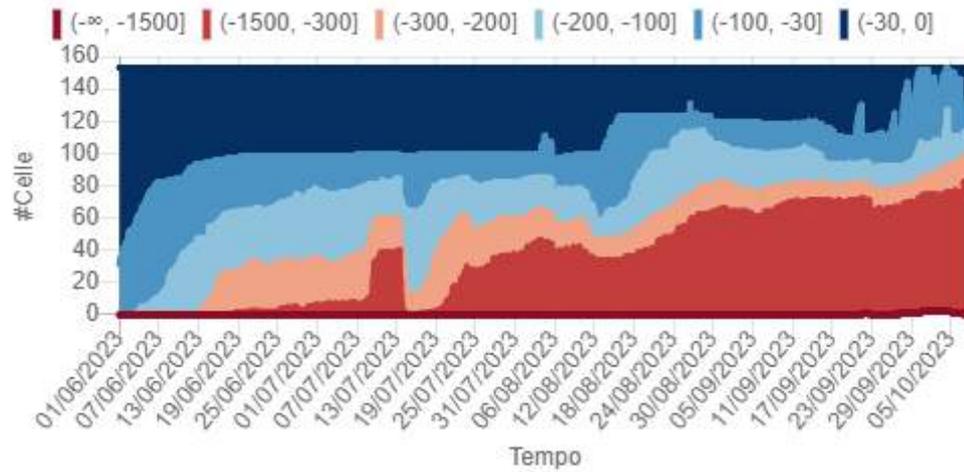


Fig. 16 Andamento dell'umidità del terreno per classi di potenziale idrico, in funzione della gestione irrigua: T0 aziendale (in alto), T1 "smart" (al centro) e T2 "smart" (in basso)

Per la tesi T1 “smart”, il grafico mostra una situazione nel complesso simile a quella descritta per la tesi T0, ma con alcune differenze sostanziali: da giugno a metà agosto è evidente un’elevata bagnatura del terreno (area di colore blu scuro), ma di una sua porzione inferiore rispetto a quanto osservato in T0, e con valori meno costanti per effetto di giorni contraddistinti da valori di  $\Psi_m$  compreso tra -30 e -100 kPa (colore blu chiaro); nella seconda parte della stagione prevale invece la porzione di terreno con un  $\Psi_m$  compreso tra -300 e -1.500 kPa, mentre la frazione di terreno con valori prossimi a 0 kPa è ridotta e molto irregolare, per via della frequente oscillazione del  $\Psi_m$  tra 0 e -100 kPa (Fig. 16).

Nella tesi T2 “smart”, infine, è emersa una situazione nettamente diversa dalle precedenti: nella prima parte della stagione (giugno-metà agosto) è stata evidente la prevalenza di porzioni di terreno con un  $\Psi_m$  riconducibile prevalentemente alle classi “-30, -100” kPa e “-100, -200” kPa; successivamente, è aumentata la porzione di terreno con valori di  $\Psi_m$  compreso tra -300 e -1.500 kPa, che insieme al terreno con  $\Psi_m$  di -200, -300 kPa rappresenta circa la metà della sezione monitorata (Fig. 16). Per la tesi T2 “smart”, infine, è emersa chiaramente anche la scarsa presenza per tutto il periodo monitorato di zone di terreno con un potenziale idrico prossimo alla capacità idrica massima (classe “0, -30” kPa, Fig. 16).

#### 4.3 Effetto della gestione irrigua sul potenziale idrico ( $\Psi_w$ ) dell’albero

Per quanto riguarda il potenziale idrico dell’albero, non sono emerse differenze significative tra le diverse modalità d’irrigazione nei rilievi condotti in luglio, agosto e settembre (Tab. 5). La gestione irrigua ha condizionato lo stato di idratazione dell’albero solo in data 11 agosto: le piante delle tesi T0 aziendale e T2 “smart” hanno mostrato un  $\Psi_w$  significativamente meno negativo rispetto a T1 “smart” (Tab. 5). In generale, i valori del  $\Psi_w$  sono risultati compresi tra -300 e -500 kPa in luglio e agosto, mentre a settembre sono risultati meno negativi e compresi tra -200 e -300 kPa (Tab.5).

Tab. 5 Potenziale idrico (-kPa) del fusto misurato nel corso della stagione 2023

Gestione irrigua	14 luglio	28 luglio	11 agosto	22 agosto	6 settembre	20 settembre
T0 aziendale (ala singola)	425	478	407 a	325	250	272
T1 smart (ala singola)	433	437	483 b	362	207	287
T2 smart (ala doppia)	447	447	392 a	375	225	253
Significatività	ns	ns	***	ns	ns	ns

ns e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,001$ , rispettivamente

#### 4.4 Effetto della gestione irrigua sul calibro e sul peso del frutto

I rilievi di monitoraggio della crescita del frutto sono iniziati a metà luglio; in occasione del primo rilievo del calibro, i frutti significativamente più grandi sono risultati quelli della tesi T2 “smart” (53 mm, contro il calibro medio di 52 mm delle restanti due tesi); tale differenziazione ha trovato conferma anche nei rilievi eseguiti in agosto, con i frutti di maggior calibro appartenenti sempre alle piante della tesi T2 “smart” (Tab. 6). Nelle altre date, invece, non sono emerse differenze significative riconducibili alla gestione irrigua. In generale, il calibro del frutto è risultato pari a 51-54 mm in luglio, 53-55 mm in agosto, dimensione quest’ultima mantenuta fino al momento della raccolta (10 ottobre; Tab. 6).

Tab. 6 Calibro del frutto (mm) misurato nel corso della stagione 2023

Gestione irrigua	14 luglio	28 luglio	11 agosto	22 agosto	6 settembre	20 settembre	10 ottobre
T0 aziendale (ala singola)	51,6 b	53,5	53,5 b	54,1 b	54,4	54,6	55,0
T1 smart (ala singola)	52,1 b	52,7	53,2 b	54,1 b	54,6	54,9	55,3
T2 smart (ala doppia)	53,3 a	53,3	54,3 a	54,6 a	54,8	54,8	55,3
Significatività	**	ns	***	**	ns	ns	ns

ns, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente

Per ciò che riguarda il peso del frutto, nella maggior parte dei rilievi non sono emerse differenze significative tra le diverse modalità di irrigazione (Tab. 7). In data 22 agosto, i frutti della tesi T1 “smart” sono risultati statisticamente più pesanti (140 g) di quelli prelevati nelle tesi T0 aziendale e T2 “smart”, simili tra loro (134 g in media). Alla raccolta commerciale del 10 ottobre, invece, i frutti con il maggior peso sono stati quelli della tesi T2 “smart” (155 g), significativamente superiore a quelli delle altre due tesi (143 g), simili tra loro (Tab.7).

Tab. 7 Peso del frutto (g) misurato nel corso della stagione 2023

Gestione irrigua	14 luglio	28 luglio	11 agosto	22 agosto	6 settembre	20 settembre	10 ottobre
T0 aziendale (ala singola)	108	126	128	132 b	135	136	143 b
T1 smart (ala singola)	109	124	130	140 a	141	142	143 b
T2 smart (ala doppia)	114	125	128	136 b	140	142	155 a
Significatività	ns	ns	ns	**	ns	ns	*

ns, \* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$  e  $P \leq 0,01$ , rispettivamente.

#### 4.5 Effetto della gestione irrigua sulle caratteristiche qualitative del frutto prima della raccolta

La sostanza secca del frutto è stata condizionata dalla gestione irrigua in tutte le date ad eccezione del 28 luglio; i frutti raccolti dalle piante della tesi T1 “smart” hanno registrato sempre il valore più elevato di sostanza secca, statisticamente superiore a quello dei frutti provenienti dalle tesi T0 aziendale e T2 “smart”, risultati invece simili tra di loro (Tab. 8). Nella prima metà di luglio la sostanza secca era pari al 9%, per poi crescere al 14-16% a inizio settembre ed al 17-18% alla raccolta (Tab. 8).

Tab. 8 Sostanza secca del frutto (%) misurata nel corso della stagione 2023

Gestione irrigua	14 luglio	28 luglio	11 agosto	22 agosto	6 settembre	20 settembre	10 ottobre
T0 aziendale (ala singola)	9,1 ab	10,7	12,8 b	13,3 b	14,8 b	16,0 b	17,4 b
T1 smart (ala singola)	9,4 a	10,7	14,0 a	14,7 a	15,6 a	16,7 a	18,2 a
T2 smart (ala doppia)	8,8 b	10,7	12,7 b	12,9 b	14,4 b	16,0 b	17,2 b
Significatività	*	ns	***	***	***	**	***

ns, \*, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente.

In occasione dei campionamenti del frutto eseguiti a fine agosto e a settembre, sono stati misurati il colore della polpa, il contenuto di solidi solubili e la consistenza della polpa con l’obiettivo di monitorare l’andamento della maturazione e il possibile effetto su di essa della gestione irrigua. In data 22 agosto, il colore della polpa non è risultato condizionato dalla gestione irrigua; il contenuto di solidi solubili (residuo secco rifrattometrico) e la consistenza della polpa, invece, sono risultati significativamente più alti per la tesi T1 “smart” rispetto alle altre due tesi, simili tra loro (Tab. 9)

Tab. 9 Colore, residuo secco rifrattometrico (RSR) e consistenza del frutto misurati il 22 agosto 2023

Gestione irrigua	Colore (H angle)	RSR (° brix)	Consistenza (kg)
T0 aziendale (ala singola)	115,2	4,84 b	5,60 b
T1 smart (ala singola)	115,2	5,32 a	6,35 a
T2 smart (ala doppia)	115,5	4,87 b	5,55 b
Significatività	ns	***	***

ns e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,001$ , rispettivamente.

In data 6 settembre, le analisi dei frutti provenienti dalle piante della tesi T1 “smart” hanno confermato i valori superiori sia di RSR (5,7 °brix), sia di consistenza della polpa (6,5 kg), statisticamente maggiori alle altre due tesi, risultate simili tra loro (Tab. 10).

Tab. 10 Contenuto di solidi solubili (RSR) e consistenza del frutto misurati il 6 settembre 2023

Gestione irrigua	RSR (° brix)	Consistenza (kg)
T0 aziendale (ala singola)	5,56 ab	6,16 b
T1 smart (ala singola)	5,71 a	6,48 a
T2 smart (ala doppia)	5,43 b	6,05 b
Significatività	*	*

\*= effetto dei trattamenti significativo per  $P \leq 0,05$ .

L'ultimo controllo qualitativo prima della raccolta è stato condotto il 20 settembre, in occasione del quale il colore della polpa si è distinto per il maggiore valore di H angle nei frutti della tesi T0 aziendale, statisticamente più alto di quello dei frutti della tesi T1 "smart". Il contenuto di solidi solubili (RSR) è risultato maggiore nelle tesi "smart" T1 e T2, simili tra loro (5,9 °brix in media) ma entrambe statisticamente superiori a T0 aziendale (Tab. 11). La consistenza della polpa, infine, non è stata condizionata dalla gestione irrigua (Tab. 11).

Tab. 11 Colore, residuo secco rifrattometrico (RSR) e consistenza del frutto misurati il 20 settembre 2023

Gestione irrigua	Colore (H angle)	RSR (° brix)	Consistenza (kg)
T0 aziendale (ala singola)	111,8 a	5,58 b	6,08
T1 smart (ala singola)	110,6 b	5,88 a	6,08
T2 smart (ala doppia)	111,5 ab	5,91 a	6,19
Significatività	*	*	ns

ns e \*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ , rispettivamente.

#### 4.6 Effetto della gestione irrigua sulla produzione e sulle caratteristiche qualitative del frutto alla raccolta

La raccolta finale dei frutti è avvenuta il 10 ottobre 2023 (Fig. 17), determinando il peso della produzione totale di ciascuna pianta, suddivisa in prodotto commerciale e non commerciale (Tab. 12). La produzione totale è risultata statisticamente maggiore nella tesi T2 "smart" (45 kg pianta<sup>-1</sup>, pari a circa 48 t/ha<sup>-1</sup>) rispetto a quella misurata in T0 aziendale (37 kg pianta<sup>-1</sup>, pari a circa 40 t/ha<sup>-1</sup>) e T1 "smart" (34 kg pianta<sup>-1</sup>, pari a circa 35 t/ha<sup>-1</sup>), risultate invece simili tra loro (Tab. 12). L'effetto della gestione irrigua sopra descritta ha trovato conferma anche nella ripartizione tra prodotto commerciale

e non: la tesi T2 “smart” si è distinta per il maggior peso per pianta di prodotto commerciale, statisticamente superiore alle altre tesi a confronto. Il peso del prodotto con caratteristiche non commerciali, infine, è risultato in generale basso e simile nelle tre tesi (<2 kg pianta<sup>-1</sup>); ciononostante, l’analisi statistica ha evidenziato la minore incidenza percentuale nella tesi T2 “smart” (3%) rispetto le restanti due tesi, simili tra loro (5,5% in media; Tab. 12).

Tab. 12 Principali parametri produttivi rilevati alla raccolta commerciale del 10 ottobre 2023

Gestione irrigua	Produzione totale		Produzione commerciale		Produzione non commerciale	
	(kg pianta <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg pianta <sup>-1</sup> )	% del totale	(kg pianta <sup>-1</sup> )	% del totale
T0 aziendale (ala singola)	37,5 b	39,7 b	35,7 b	85 b	1,74	5 a
T1 smart (ala singola)	33,7 b	35,4 b	31,8 b	84 b	1,88	6 a
T2 smart (ala doppia)	44,9 a	48,4 a	43,5 a	87 a	1,42	3 b
Significatività	*	*	*	*	ns	*

ns e \*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P ≤0,05, rispettivamente.



Fig. 17 Veduta della produzione e particolare dei frutti raccolti il 10 ottobre 2023

Tab. 13 Colore, residuo secco rifrattometrico (RSR) e consistenza del frutto alla raccolta commerciale

Gestione irrigua	Colore (H angle)	RSR (° brix)	Consistenza (kg)	Sostanza secca (%)
T0 aziendale (ala singola)	104,6 a	10,1 b	5,50 a	17,4 b
T1 smart (ala singola)	102,9 b	11,6 a	5,20 b	18,2 a
T2 smart (ala doppia)	104,9 a	8,8 b	5,61 a	17,2 b
Significatività	***	***	***	***

\*\*\*= effetto dei trattamenti significativo per P≤0,001.

Le analisi eseguite alla raccolta hanno evidenziato, per tutti i parametri rilevati, differenze significative riconducibili alla gestione irrigua (Tab. 13). Il colore della polpa (indice H angle) è risultato minore nella tesi T1 “smart”, che si è distinta anche per la minore consistenza della polpa; i frutti provenienti dalla stessa tesi, inoltre, hanno mostrato anche i valori statisticamente maggiori di solidi solubili e sostanza secca (Tab. 13). I frutti delle tesi T0 aziendale e T2 “smart”, invece, sono risultati simili tra loro per tutti i parametri qualitativi rilevati (Tab. 13).

#### ***4.7 Effetto della gestione irrigua sulle caratteristiche qualitative del frutto al termine del periodo di frigo-conservazione***

Durante la fase di post raccolta, sono stati eseguiti controlli dopo due e quattro mesi per valutare la serbevolezza dei frutti. Dopo due mesi di conservazione e 24 ore dall’uscita dalla cella frigorifera, i frutti delle tre tesi a confronto presentavano una consistenza simile (0,7-0,8 kg) e la maggior parte di essi ( $\geq 75\%$ ) è stata classificata “soft”, cioè con consistenza uguale o inferiore a 0,8 kg, ma superiore a 0,2 kg; in nessuna delle tesi a confronto, infine, sono stati trovati frutti sovra maturi (Tab. 14). Per quanto riguarda gli altri parametri, il giorno dopo l’uscita dalla cella sono state osservate differenze significative per il contenuto di solidi solubili e la sostanza secca; entrambi i parametri hanno mostrato i valori più alti nei frutti della tesi T1 “smart” (15,9 °Brix e 19%, reispettivamente), significativamente diversa da T0 aziendale, i cui frutti a loro volta hanno mostrato valori di RSR e sostanza secca statisticamente più alti di quelli della tesi T2 “smart” (Tab. 14). Dopo tre giorni dall’uscita dalla cella, sono emerse differenze significative di durezza della polpa; i frutti con la consistenza più alta (0,4 kg) sono risultati quelli della tesi T1 “smart”, statisticamente differenti da T0 aziendale (0,35 kg), a sua volta diversa da T2 “smart” (0,29 kg; Tab. 15). Indipendentemente dalla gestione irrigua, al termine della shelf-life, tutti i frutti sono risultati di consistenza soft o sovra maturi (durezza  $< 0,8$  kg). La classe “soft” ha prevalso per il 92-98% nelle tesi T0 aziendale e T1 “smart”, nelle quali quindi l’incidenza di frutti sovra maturi non ha superato il 10%, mentre si è attestata al 68% in T2 “smart”, i cui frutti sono risultati invece per il 32% sovra maturi (Tab. 15).

Per quanto riguarda i difetti riscontrati dopo due mesi di conservazione, la presenza di frutti disidratati è risultata in generale bassa e simile nelle tre tesi, mentre i sintomi riconducibili al danno da gelo e alla fisiopatìa SBD (Fig. 18) sono risultati molto più diffusi in T2 “smart” (31-33%) rispetto le altre due tesi (4-6%), differenza tuttavia non evidenziata dall’analisi statistica a causa dell’elevata variabilità riscontrata tra le repliche (Tab. 16).

Tab. 14 Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto all'uscita dalla cella frigo dopo due mesi di conservazione

Gestione irrigua	Consistenza del frutto (kg) e ripartizione in classi di durezza <sup>1</sup>				RSR	Sostanza secca
	kg	Normale (%)	Soft (%)	Sovra maturo (%)	(°brix)	(%)
T0 aziendale (ala singola)	0,69	17	83	0	15,2 b	18,2 b
T1 smart (ala singola)	0,68	25	75	0	15,9 a	19,0 a
T2 smart (ala doppia)	0,76	15	85	0	14,7 c	17,5 c
Significatività	ns	ns	ns	ns	***	***

<sup>1</sup> “Normale”: durezza  $\geq 0,8$  kg; “Soft”: durezza  $< 0,8 \geq 0,2$  kg; “Sovra maturo”: durezza  $< 0,2$  kg. ns e \*\*\*= effetto della gestione irrigua non significativo e significativo per  $P \leq 0,001$ , rispettivamente.

Tab. 15 Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto dopo due mesi di conservazione e 3 giorni di shelf-life

Gestione irrigua	Consistenza del frutto (kg) e ripartizione in classi di durezza <sup>1</sup>				RSR	Sostanza secca
	kg	Normale (%)	Soft (%)	Sovra maturo (%)	(°brix)	(%)
T0 aziendale (ala singola)	0,35 b	0	92	8	15,6 b	15,9 b
T1 smart (ala singola)	0,40 a	0	98	2	16,4 a	16,6 a
T2 smart (ala doppia)	0,29 c	0	68	32	14,9 c	16,2 b
Significatività	***	ns	*	*	***	**

<sup>1</sup> “Normale”: durezza  $\geq 0,8$  kg; “Soft”: durezza  $< 0,8 \geq 0,2$  kg; “Sovra maturo”: durezza  $< 0,2$  kg. ns, \*, \*\* e \*\*\*= effetto della gestione irrigua non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ .

Tab. 16 Principali difetti del frutto riscontrati dopo due mesi di frigoconservazione

Gestione irrigua	Frutti disidratati	Frutti con sintomi di danno da gelo	Frutti con sintomi di SBD <sup>1</sup>
	(%)	(%)	(%)
T0 aziendale (ala singola)	3,1	6,2	6,3
T1 smart (ala singola)	1,1	4,2	4,2
T2 smart (ala doppia)	1,1	31,2	33,3
Significatività	ns	ns	ns

<sup>1</sup> SBD: storage breakdown. ns= effetto della gestione irrigua non significativo.



*Fig. 18 Sezioni trasversali dei frutti delle tesi T0 aziendale (sinistra), T1e T2 “smart” (al centro e a destra) analizzati dopo due mesi di conservazione e tre giorni di shelf-life, in cui sono visibili i sintomi della fisiopatía storage breakdown (SBD)*

Le tabelle 17, 18 e 19 riportano i risultati degli stessi rilievi di post raccolta sopra descritti, eseguiti dopo quattro mesi di conservazione in cella frigorifera. Il giorno successivo l’uscita dalla cella frigorifera, la consistenza della polpa è risultata maggiore nei frutti delle tesi “smart”, simili tra loro (0,5 kg in media) e statisticamente superiori a T0 aziendale (0,4 kg). I frutti di quest’ultima, inoltre, sono stati classificati per l’81% in classe “soft” e il restante 19% sovra maturo, mentre quelli di entrambe le tesi “smart” erano per il 100% “soft” (Tab. 17). Il contenuto di solidi solubili e la sostanza secca si sono confermate più alte nei frutti della tesi T1 “smart” (15,7 °brix e 17,7%), significativamente maggiore di T2 “smart”, che a sua volta si è distinta statisticamente da T0 aziendale, i cui frutti quindi si sono distinti per i valori in assoluto più bassi (Tab. 17).

Dopo quattro mesi di conservazione e quattro giorni di shelf-life, la consistenza è in generale diminuita, risultando tuttavia ancora più alta nelle due tesi “smart”, risultate simili tra loro (0,35 kg in media) ed entrambe statisticamente maggiore di T0 aziendale (0,28 kg). La maggior parte dei frutti è stata classificata “soft” e l’incidenza di frutti sovra maturi è aumentata ulteriormente in T0 aziendale (29%), mentre nelle due tesi “smart” è stata del 10-12% (Tab. 18). I frutti delle tesi “smart” si sono distinti per il più alto contenuto di solidi solubili (16 °Brix in media), significativamente maggiore del valore della tesi T0 aziendale (14,5 °Brix); la sostanza secca, infine, è risultata statisticamente maggiore nei frutti di T1 “smart” rispetto a T0 aziendale (16,7 e 15,7 %, rispettivamente), mentre è risultata intermedia in T2 “smart” (Tab. 18).

Infine, per quanto riguarda i difetti riscontrati dopo quattro mesi, i sintomi prevalenti sono risultati quelli riconducibili alla fisiopatia SBD, la cui incidenza è risultata nettamente più alta nei frutti delle tesi T0 aziendale e T2 “smart” (31-50%), rispetto la tesi T1 “smart” (<17%), differenza tuttavia non evidenziata dalla statistica a causa dell’elevata variabilità tra le repliche (Fig. 19 e Tab. 19).

Tab. 17 Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto all’uscita dalla cella frigo dopo quattro mesi di conservazione

Gestione irrigua	Consistenza (kg) del frutto e ripartizione (%) in classi di durezza <sup>1</sup>			RSR (°brix)	Sostanza secca (%)
	kg	Soft (%)	Sovra maturo (%)		
T0 aziendale (ala singola)	0,39 b	81 b	19 a	14,5 c	16,4 c
T1 smart (ala singola)	0,49 a	100 a	0 b	15,7 a	17,7 a
T2 smart (ala doppia)	0,52 a	100 a	0 b	15,2 b	16,9 b
Significatività	***	*	*	***	***

<sup>1</sup> “Soft”: durezza <0,8≥0,2 kg; “Sovra maturo”: durezza <0,2 kg.

\* e \*\*\*= effetto della gestione irrigua significativo per P ≤0,05 e P ≤0,001, rispettivamente.

Tab. 18 Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto dopo quattro mesi di conservazione e 4 giorni di shelf-life

Gestione irrigua	Consistenza (kg) del frutto e ripartizione (%) in classi di durezza <sup>1</sup>			RSR (°brix)	Sostanza secca (%)
	kg	Soft (%)	Sovra maturo (%)		
T0 aziendale (ala singola)	0,28 b	70,8	29,2	14,5 b	15,7 b
T1 smart (ala singola)	0,34 a	89,6	10,4	16,2 a	16,7 a
T2 smart (ala doppia)	0,37 a	87,5	12,5	15,8 a	16,2 ab
Significatività	**	ns	ns	***	**

<sup>1</sup> “Normale”: durezza ≥0,8 kg; “Soft”: durezza <0,8≥0,2 kg; “Sovra maturo”: durezza <0,2 kg.

ns, \*\* e \*\*\*= effetto della gestione irrigua non significativo e significativo per P ≤0,01 e P ≤0,001.

Tab. 19 Principali difetti del frutto riscontrati dopo quattro mesi di frigoconservazione, all’uscita dalla cella frigo e dopo 4 giorni di shelf-life

Gestione irrigua	Frutti con sintomi di SBD dopo 1 giorno dall’uscita dalla cella <sup>1</sup>	Frutti con sintomi di SBD dopo 4 giorni di shelf life
	(%)	(%)
T0 aziendale (ala singola)	47,9	50,0
T1 smart (ala singola)	0,0	16,7
T2 smart (ala doppia)	31,3	31,3
Significatività	ns	ns

<sup>1</sup> SBD: fisiopatia storage breakdown. ns= effetto della gestione irrigua non significativo



Fig. 19 Sezioni trasversali dei frutti delle tesi T0 aziendale (sinistra), T1e T2 “smart” (al centro e a destra) analizzati all’uscita dalla cella frigo dopo quattro mesi di conservazione, in cui sono visibili i sintomi della fisiopatologia storage breakdown (SBD)

L’analisi statistica ha evidenziato anche la relazione tra alcuni parametri qualitativi misurati alla raccolta e la comparsa di sintomi riconducibili alla fisiopatologia “storage breakdown” in post raccolta. In particolare, l’incidenza dei sintomi di SBD durante la fase di post raccolta è risultata statisticamente correlata negativamente ( $R=-0,64$ ; \*) alla sostanza secca, e positivamente al fattore H del colore della polpa del frutto ( $R=0,79$ ; \*\*) (Fig. 20).

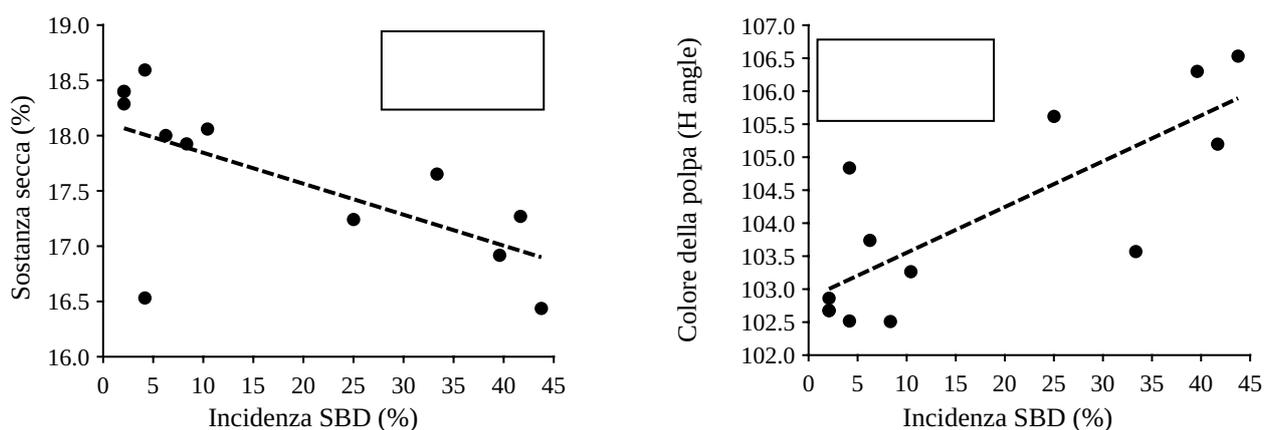
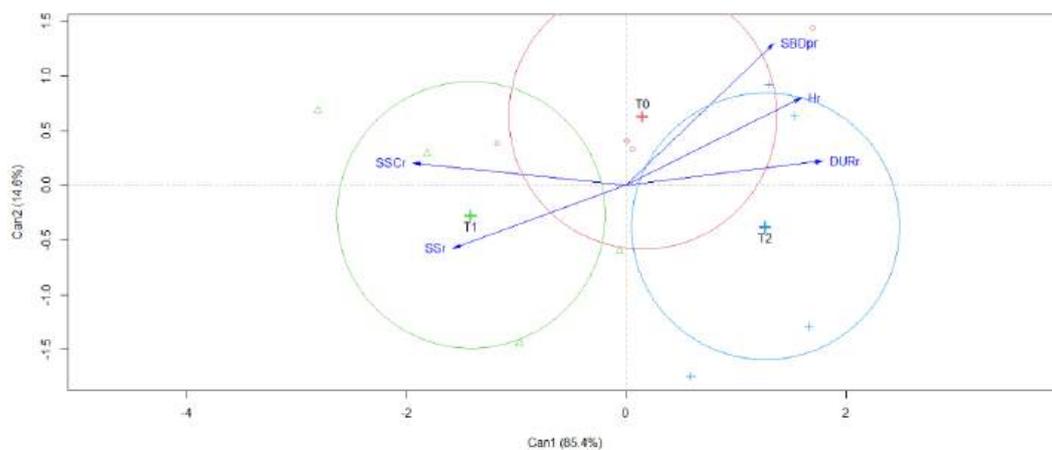


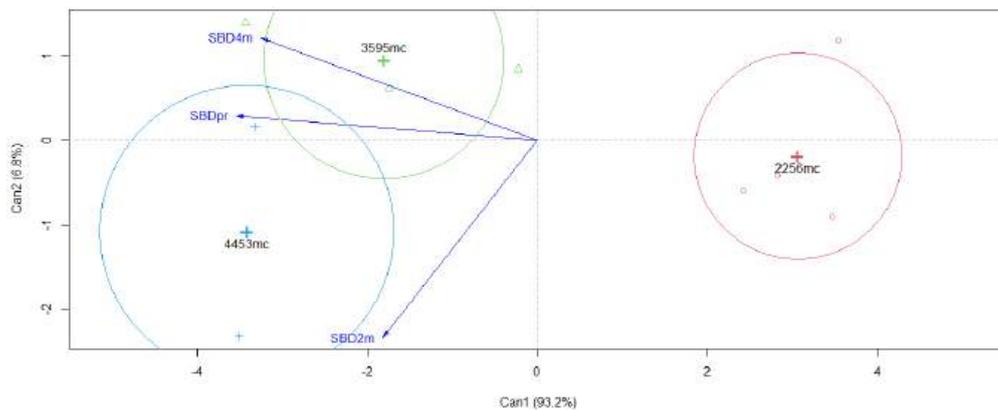
Fig. 20 Relazione tra la sostanza secca del frutto (sinistra,  $R=-0,64$ ; \*), il colore della polpa (destra,  $R=0,79$ ; \*\*), misurati alla raccolta, e l’incidenza della fisiopatologia “storage break down” (SBD) in post raccolta

I risultati dell'analisi multivariata delle componenti principali dei parametri qualitativi misurati alla raccolta e in post raccolta sono sintetizzati nelle figure 21 e 22. La funzione discriminante CAN1 spiega l'85% della varianza dei dati qualitativi elementari raggruppati nelle rispettive componenti principali (Fig. 21), mettendo ben in risalto le differenze tra le diverse gestioni irrigue: T0 e T2 sono associate alla presenza in post raccolta della fisiopatia “*storage breakdown*” (SBDpr), così come al colore e alla durezza della polpa alla raccolta (Hr e DURr, rispettivamente), mentre la gestione irrigua T1 è associata a parametri quali la sostanza secca (SSr) e il contenuto di solidi solubili (SSCr) alla raccolta (Fig. 21).



*Fig. 21 Analisi canonica discriminante (DCA) che descrive il comportamento dei trattamenti sperimentali (T0, T1 e T2) per l'incidenza in post raccolta della fisiopatia “storage breakdown” (SBDpr) del kiwi giallo, in relazione ad alcuni parametri qualitativi misurati alla raccolta (Hr=colore; DURr=durezza; SSCr=contenuto di solidi solubili; SSr=sostanza secca)*

Sempre per ciò che riguarda la fisiopatia SBD, l'analisi multivariata ha permesso di discriminare nettamente anche l'influenza del volume irriguo stagionale associato alla gestione irrigua (Fig. 22).



*Fig. 22 Analisi canonica discriminante (DCA) che descrive il comportamento del volume irriguo stagionale (3595mc per T0; 2256mc per T1; 4453mc per T2) per l'incidenza in post raccolta della fisiopatia "storage breakdown" (SBDpr) del kiwi giallo*

La funzione discriminante CAN1 riportata in figura 22 spiega il 93% della varianza dei dati qualitativi elementari raggruppati nelle rispettive componenti principali; in occasione dei controlli dell'SBD eseguiti dopo 2 e 4 mesi di frigoconservazione (SBD2m e SBD4m), così come anche il dato complessivo (SBDpr), è emersa chiaramente l'influenza del maggior volume irriguo (3545mc, 4453mc; Fig. 22).

## 5. Discussione

Il presente elaborato ha valutato l'effetto di modalità differenti di gestione dell'irrigazione dell'actinidia a polpa gialla, sulla disponibilità di acqua nel terreno, sulla produzione e sulla qualità dei frutti nel corso della stagione e in post-raccolta.

L'actinidia è una pianta originaria della Cina meridionale, un ambiente contraddistinto da elevate precipitazioni e umidità relativa, condizioni che hanno contribuito a plasmare alcuni aspetti morfologici della pianta, come ad es. la presenza di foglie grandi, l'elevata conducibilità xilematica e un apparato radicale superficiale (Dichio et al., 2013). Le suddette caratteristiche fanno dell'actinidia coltivata in ambiente mediterraneo una coltura frutticola molto esigente dal punto di vista idrico (Morandi et al., 2018); l'elevato fabbisogno di acqua espone la coltura a maggiori rischi di stress da carenza e eccesso di acqua. Se da un lato la carenza di acqua si ripercuote negativamente innanzitutto sul prodotto finale (minor resa e frutti più piccoli), altrettanto deleterio risulta l'eccesso di acqua; il kiwi infatti è molto sensibile al ristagno idrico, una delle cause della complessa sindrome nota come "moria del kiwi" (Mejia et al., 2014; Sorrenti et al., 2016; Savian et al., 2020). Una gestione irrazionale dell'acqua d'irrigazione, infine, ha risvolti negativi in generale anche sulla qualità del frutto; nel caso del kiwi a polpa gialla, ad esempio, l'eccesso di acqua determina un minor accumulo di sostanza secca nel frutto, situazione che può comprometterne la conservazione in post raccolta (Morandi et al., 2018; Quartieri et al., 2022).

L'anno 2023 è stato caratterizzato in Emilia Romagna da precipitazioni straordinarie nel mese di maggio, che hanno interessato in particolare il territorio della Romagna; successivamente, e fino alla raccolta dei frutti avvenuta a inizio ottobre, le precipitazioni sono state molto scarse (63 mm), rendendo quindi necessario sopperire a tale carenza con la somministrazione di acqua irrigua. Il volume irriguo erogato nel corso della stagione vegetativa è stato pari a circa 2260 m<sup>3</sup>/ha, un quantitativo paragonabile a quello utilizzato nell'ambito dello stesso studio pluriennale nella stagione 2021 (Sasso, 2021) e, quindi, un po' inferiore al volume di 3000-4000 m<sup>3</sup>/ha riportato per tale coltura da Morandi et al. (2018). L'aspetto che emerge dallo studio, tuttavia, è la netta riduzione del quantitativo di acqua irrigua erogata con il supporto delle tecnologie sperimentate rispetto alla gestione aziendale (-37%) e il medesimo sistema irriguo (ala singola).

L'impiego di sistemi di supporto decisionale (DSS) nella gestione dell'irrigazione di precisione dell'actinidia, quindi, si conferma una strategia efficace nell'assicurare un uso razionale e sostenibile della risorsa idrica, a conferma di quanto evidenziato da precedenti studi (Morandi et al., 2018; Dichio et al., 2020; Buono et al., 2022). Nel presente studio, tuttavia, un risultato opposto è stato ottenuto abbinando la stessa tecnologia di precisione all'impianto irriguo con doppia ala gocciolante; il maggior apporto di acqua (+24%) deciso dal sistema di monitoraggio denominato PLUTO (Francia

et al., 2022) è innanzitutto la conseguenza diretta dell'obiettivo di bagnare un volume di terreno maggiore con la doppia ala gocciolante, ma non va nemmeno trascurato il fatto che l'ala gocciolante in oggetto era caratterizzata da una minore portata del singolo erogatore (2,3 l/h) rispetto quella dell'ala singola (4 l/h), che di fatto rendeva più difficoltosa la bagnatura degli strati monitorati dai sensori in profondità e, di conseguenza, inducendo quindi il sistema prescrittivo PLUTO sopra citato a erogare un maggior quantitativo di acqua nel tentativo di mantenere l'umidità del terreno su livelli ottimali per la pianta. Indipendentemente dalla tipologia di impianto irriguo, l'irrigazione di precisione ha comunque consentito di mantenere con maggior frequenza il potenziale idrico del terreno intorno a valori ottimali per la coltura, cioè prossimi alla capacità idrica di campo (Dichio et al., 2020), limitando i periodi e la durata degli stessi caratterizzati da una disponibilità di acqua compresa tra la capacità idrica massima e quella di campo, una situazione che può favorire l'insorgenza di ristagno idrico, di anossia, con possibili danni all'apparato radicale (Sorrenti et al., 2016).

Una prima conferma della sostenibilità della tecnologia "smart" sperimentata con questo studio è data dallo stato di idratazione dell'albero. Le misure di potenziale idrico del fusto eseguite durante la stagione vegetativa 2023, infatti, hanno evidenziato valori simili nelle tre strategie irrigue a confronto; tale risultato sottolinea come l'albero non abbia tratto benefici significativi dalla maggiore quantità di acqua apportata con la gestione aziendale. I valori misurati, inoltre, sono risultati in linea con quelli riportati in precedenti prove svolte nel medesimo territorio (Morandi et al., 2010; Torres-Ruiz et al., 2016) e ritenuti ottimali per l'actinidia, nonché con i valori di potenziale idrico del fusto rilevati negli anni precedenti nell'ambito dello stesso studio (Baldi et al., 2023). La possibilità di mantenere durante l'intera stagione vegetativa un'ottimale idratazione dell'albero di actinidia è importante per assicurare un corretto equilibrio vegeto-produttivo in ciascuna fase fenologica della coltura (Xylogiannis et al., 2007), e rappresenta il presupposto fondamentale per avere frutti di kiwi di grosso calibro e di elevata qualità, soprattutto con un elevato tenore di sostanza secca (Famiani et al., 2012; Morandi et al., 2018).

Tale parametro qualitativo, infatti, assume particolare importanza per il kiwi a polpa gialla; da esso infatti dipende l'esito e la durata della fase di post raccolta dei frutti. Lo sviluppo del frutto è influenzato da diversi fattori, tra cui un'adeguata impollinazione (Reggidori, 2009), le condizioni pedoclimatiche e le pratiche agronomiche adottate. Diversi studi hanno evidenziato come la crescita del frutto di kiwi sia caratterizzata da due fasi (Morandi et al., 2010; 2018), che hanno trovato conferma anche nei rilievi condotti in questo studio: le prime 6-8 settimane dopo l'allegagione sono caratterizzate da un rapido aumento di peso e dimensione del frutto, fase durante la quale la disponibilità di acqua nel terreno svolge un ruolo cruciale; successivamente, e fino alla raccolta, la

dimensione del frutto cambia di poco, mentre continua ad aumentare il peso grazie soprattutto all'accumulo di sostanza secca. In questa fase, quindi, diventa importante gestire in modo oculato l'irrigazione, evitando situazioni di eccessiva disponibilità di acqua nel terreno. Con il medesimo sistema irriguo (ala singola), la riduzione del volume irriguo ottenuta in questo studio grazie alla gestione "smart" dell'irrigazione ha prodotto frutti caratterizzati da un più alto contenuto di sostanza secca già dalla metà di luglio, condizione che si è mantenuta fino alla raccolta commerciale, creando quindi il presupposto sia per un'elevata qualità del prodotto alla raccolta sia per una ottimale conservazione in cella frigorifera.

La riduzione del volume irriguo non ha penalizzato la resa produttiva rispetto la gestione aziendale, confermando i risultati ottenuti nel medesimo sito sperimentale negli anni precedenti (Quartieri et al., 2022); tale risultato, inoltre, è in linea con le evidenze sperimentali ottenute in uno studio analogo condotto da Buono et al. (2022), da cui tuttavia emerge una produzione nel complesso inferiore a quella del nostro studio. La resa produttiva è stata sensibilmente migliorata dall'uso della doppia ala gocciolante e, quindi, dall'apporto di un maggior volume stagionale di acqua d'irrigazione, un risultato che tuttavia è stato ottenuto a scapito della qualità del frutto, risultata inferiore a quella ottenuta con la gestione "smart" con singola ala gocciolante. Tale risultato è un'ulteriore conferma di come sia possibile raggiungere i migliori standard qualitativi attraverso un'efficiente gestione dell'acqua irrigua, che necessariamente deve prevedere anche il controllo dell'umidità del terreno (Morandi et al., 2018; Dichio et al., 2020; Buono et al., 2022).

Le differenze qualitative emerse in occasione della raccolta commerciale hanno condizionato anche la fase di post raccolta, come già descritto nel capitolo precedente. Infatti, sebbene la raccolta dei frutti sia avvenuta per tutte le tesi a confronto al raggiungimento dei parametri qualitativi minimi previsti dal protocollo definito da Zespri International, questo non è risultato sufficiente a garantire il mantenimento di un elevato standard qualitativo dopo il periodo di frigoconservazione dei frutti. La gestione "smart" dell'irrigazione mediante l'uso della singola ala gocciolante si è confermata la strategia migliore per garantire anche durante la fase di post raccolta quelle caratteristiche intrinseche del frutto (es. il maggior contenuto di solidi solubili e di sostanza secca) favorevoli alla sua conservazione, confermando i risultati di precedenti ricerche condotte su kiwi a polpa gialla (Quartieri et al., 2022; Baldi et al., 2023). Il diverso livello qualitativo che ha contraddistinto i frutti durante il periodo di frigoconservazione ha inciso in modo significativo sulla comparsa di difetti sui frutti, in particolare quelli riconducibili a fisiopatie quali i danni da freddo e la sindrome nota come "storage breakdown" (SBD). L'incidenza di quest'ultima, in particolare, in occasione dei controlli eseguiti dopo due mesi di conservazione, così come a fine prova, è risultata maggiore nei frutti provenienti da alberi irrigati con il maggior volume irriguo, a prescindere dalla gestione (aziendale o "smart"), frutti

che, come già sottolineato precedentemente, avevano il più basso contenuto di sostanza secca. Tale risultato è probabilmente da ricondurre all'elevata disponibilità di acqua nel terreno, come dimostrato anche dai risultati di altri studi condotti su actinidia (Miller et al., 1998; Clark et al., 2004; Baldi et al., 2023), disponibilità idrica che invece è stata gestita in modo ottimale dal sistema prescrittivo completamente automatizzato denominato PLUTO (Francia et al., 2022) quando abbinato al sistema irriguo ad ala singola.

## **6. Conclusioni**

I risultati ottenuti con il presente studio sottolineano l'importanza del monitoraggio dell'umidità del terreno, a supporto della definizione del consiglio irriguo. Lo studio ha permesso di validare con successo il sistema prescrittivo PLUTO, che permette di gestire in modo completamente automatizzato l'irrigazione. Tale possibilità assume grande importanza per il kiwi a polpa gialla, una coltura che per le sue caratteristiche si distingue per l'elevato fabbisogno idrico, ma anche per la sensibilità agli stress idrici da eccesso che possono ridurre e/o compromettere la qualità del frutto, limitandone la sua serbevolezza.

## 7. Bibliografia

- **Anconelli S., Mannini P., Rossi F., Facini O., 2009.** Speciale kiwi. In Agricoltura. A cura del Centro Ricerche Produzioni Vegetali, Cesena, p. 36.
- **Anonymus. 2003.** Green Light. L'Informatore Agrario 59(39): 73-74.
- **Baldini E., 1988.** Arboricoltura Generale, Clueb, Bologna.
- **Baldi E., Quartieri M., Laroocca G.N., Golfarelli M., Francia M., Giovanelli J., Toselli M. 2023.** Smart Irrigation System for Precision Water Management: Effect on Yield and Fruit Quality of Yellow Flashed Kiwifruit in Northern Italy. In: 14th European Conference on Precision Agriculture (ACPA23), Bologna, Italy, pp. 1-8, 2023.
- **Bravdo B. A., 2000.** Aspetti fisiologici legati all'irrigazione a goccia. Frutticoltura, 7/8: 18-20.
- **Buono V., Lucchi C., Mastroleo M., Manfrini L., Morandi B., 2022.** DSS e sensori suolo-pianta riducono l'uso dell'acqua mantenendo la produttività. Speciale irrigazione, p. 14-18.
- **Buwalda J.G., Smith G.S., 1990.** Acquisition of carbon, mineral nutrients, and water by the kiwifruit vine. Horticultural Reviews 12: 307-347.
- **Clark C.J., McGlonea V.A., De Silva H.N., Manning A., Burdon J. e Mowatc A.D. 2004.** Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. Postharvest Biology and Technology, 32 (2): 147-158.
- **Costa, G., Testolin, R., 2002.** Le nuove varietà di actinidia coltivate in Italia. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura 64: 7-11.
- **Dal Pane Vivai, Ossani V. 2002.** Summer 3373. L'Informatore Agrario 58(18): 53-54.
- **Dichio B., Tataranni G., Savino A. e Montanaro G., 2008.** Innovazioni nella gestione sostenibile dell'irrigazione del pesco. Frutticoltura, 7-8: 36-43.
- **Dichio B., Montanaro G., Sofo A., Xylogiannis C., 2013.** Stem and whole-plant hydraulics in olive (*Olea europaea*) and kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). Original paper. 27: 183-191.
- **Dichio B., Mininni N. A., Xylogiannis E., Tuzio C. A., Xylogiannis C., 2020.** Gestire la risorsa idrica in modo efficiente, serve un cambio di passo. Dossier irrigazione, p. 32-42.
- **Famiani F., Baldicchi A., Farinelli D., Cruz-Castillo J.G., Marocchi F., Mastroleo M., Moscatello S., Proietti S., Battistelli A., 2012.** Yield affects qualitative kiwifruit characteristics and dry matter content may be an indicator of both quality and storability. Scientia Horticulturae 146 (2012) 124-130.
- **Francia M., Giovanelli J., Golfarelli M. 2022.** Multi-sensor profiling for precision soil-moisture monitoring. Computers and Electronics in Agriculture, 197: 106924.
- **Judd M.J., McAneney K.J., Wilson K.S., 1989.** Influence of water stress on kiwifruit growth. Irrigation Science 10: 303-311.

- **Longman K., Fritchley R., Jochem R., Fraser L., Headley S., Bengé J., Chamberlain J., Max S., Stokes C., Richardson C., Cook S., Malley D., Harrison L., Courtney D., Parlane L., Collett T., Mayston T., McKoy K., Van der Werff K., 2016.** New Zealand Kiwifruit Book. A resource for New Zealand secondary school teachers and growers new to the kiwifruit industry, p. 1-34.
- **Mannini P., 2008.** I fabbisogni idrici della frutticoltura emiliano-romagnola nel piano regionale di tutela delle acque. *Frutticoltura*, 5:24- 31. Sansavini S. e Ranalli P., 2012. Manuale di ortofrutticoltura. Il sole 24ore, Milano, p. 667.
- **Miller S. A., Smith G. S., Bolding H. L., Johansson A., 1998.** Effects of water stress on fruit quality attributes. *Annals of Botany*, 581: 73-81.
- **Mininni A. M., Tuzio A. C., Laterza D., Di Biase R., Calabritto M. 2002.** L'importanza delle caratteristiche del suolo per la scelta del sito, impiantistica e gestione del suolo.
- **Mejia J.F., Fuentealba S. P., Bertaccini A., Tosi L., Giacomini A., Mazzucchi T., 2014.** Vine decline in kiwifruit: climate change and effect on waterlogging and phytophthora in North Italy. *Acta Horticulturae* 1096: 93-97.
- **Morandi B., Manfrini L., Losciale P., Zibordi M., Grappadelli C. L., 2010.** Changes in vascular and transpiration flows affect the seasonal and daily growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) berry. *Annals of Botany*, Bologna, 105: 913–923.
- **Morandi B., Anconelli S., Manfrini L., Solimando D., Grappadelli C. L., 2018.** Migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua *Actinidia*, migliorare la qualità con l'irrigazione di precisione. *Speciale Actinidia*, p. 38-40.
- **Mouat, H.M., 1958.** New Zealand varieties of yang-tao or Chinese gooseberry. *N. Z. J. Agric.* 97, 161–165.
- **Quartieri M., Toselli M., Sorrenti G., Baldi E., Polidori G., Germani M.A, Xylogiannis E., 2022.** Dynamic of nutrient uptake and partitioning within yellow-fleshed kiwifruit (*Actinidia chinensis* var. *chinensis*) organs. *Acta Hort.* 1333: 203-208.
- **Reggidori G., 2009.** *Speciale kiwi*, p. 1-12.
- **Sansavini S., Costa G., Neri D., Pirazzoli C., Palmieri A., Palara U., Sorrenti G., Brunelli A., Pollini A., 2015.** *Actinidia – Focus sulle singole colture frutticole.* In *Manuale di Ortofrutticoltura.* A cura di Sansavini S e Ranalli P. Edagricole, Bologna, p. 211-222.
- **Sansavini S., Ranalli P., 2012.** *Manuale di ortofrutticoltura.*
- **Sasso S., 2021.** Ottimizzazione della gestione dell'irrigazione dell'*actinidia* Zespri Gold 3 (*Actinidia chinensis*) per migliorare la qualità e la serbevolezza dei frutti. Tesi di laurea. Università di Bologna, p. 43-45.

- **Savian F., Ginaldi F., Musetti R., Sandrin N., Tarquini G., Pagliari L., Firrao G., Martini M., Ermacora P., 2020.** Studies on the aetiology of kiwifruit decline: interaction between soil-borne pathogens and waterlogging. *Plant and Soil*, 456 (1), 113-128.
- **Sorrenti G., Toselli M., Reggidori G., Spinelli F., Tosli L., Giacomini A., Tacconi G., 2016.** Implicazioni della gestione idrica nella “moria del kiwi” del veronese. In *Frutticoltura n.3. Edagricole, Bologna*, p. 45-51.
- **Spada G., Marini F., 2001.** Guida illustrata alla coltivazione dell’actinidia, p. 1-23.
- **Spada, R., Spada, G., 2005.** *Green Light. Kiwi Informa* 1, 30.
- **Testolin, R., Lain, O., 2003.** Le nuove varietà di actinidia introdotte in Italia e le attese dal miglioramento genetico, in: *Proceedings National Meeting, Actinidia: la novità frutticola del XX secolo. Società Orticola Italiana. Verona*, pp. 69–78.
- **Testolin, R., Cipriani, G., 2008.** “Soreli”: nuova varietà di kiwi a polpa gialla ottenuta e diffusa dall’Università di Udine. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 70, 54–56.
- **Testolin, R., Ferguson, A.R., 2009.** Kiwifruit (*Actinidia* spp.) production and marketing in Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 37, 1–32.
- **Torres-Ruiz M. J., Perulli D. G., Manfrini L., Zibordi M., Velasco L. G., Anconelli S., Pierpaoli E., Grappadelli C. L., Morandi B., 2016.** Time of irrigation affects vine water relations and the daily patterns of leaf gas exchanges and vascular flows to kiwifruit (*Actinidia deliciosa* Chev.). *Agricultural Water Management* 166 (2016) 101–110.
- **Valenti L., Ghiglieno I., Bravi M., Tonni M., Mescalchin E., Zanzotti R., Secchi M., Pecetti L. 2012.** Dalle lavorazioni all’inerbimento, vecchie certezze e nuove tendenze in vigneto. *L’Informatore Agrario*, 26: 36-45.
- **Xiloyannis C. e Dichio B. 2006.** L’irrigazione sostenibile in frutticoltura. *Italian Journal of Agronomy*, 1: 507-517.
- **Xiloyannis C., Dichio B. e Mannini P. 2007.** L’acqua, grande risorsa per il sud e per un’arboricoltura di qualità. In: *Nuove frontiere dell’arboricoltura italiana. A cura di Sansavini S. e Scaramuzzi F. Gruppo Perdisa Editore. Pp.:* 421-441.

## 8. Sitografia

- Pattuelli F., 2022. Analisi Monitor Ortofrutta Agroter su dati Istat.  
<https://www.italiafruit.net/kiwi-la-mappa-della-produzione-italiana-ecco-chi-cresce-di-piu>
- Scheda botanica e di coltivazione.  
<https://doc.studenti.it/appunti/coltivazioni-arboree/sheda-botanica-coltivazione-actinidia.html>
- Panzarola M., 2020. Actinidia: I frutti della terra.  
<https://mauro.shop/blog/actinidia/>
- La Redazione, 2022. Incisione anulare: caratteristiche generali.  
<https://www.uvadatavola.com/incisione-anulare-caratteristiche-general-prim-a-parte/>
- Bonatti irrigazioni, 2019. Irrigazione e fertirrigazione kiwi.  
<https://www.bonattiirrigazioni.it/it/colture/kiwi/>
- Plantgest, 2023. Actinidia: buoni consigli per un impianto di successo.  
<https://plantgest.imaginenetwork.com/it/news/2023/02/20/actinidia-buoni-consigli-per-un-impianto-di-successo/78223>
- Centro verde s.r.l. 2020. Come potare i kiwi: tecniche, attrezzatura e periodo migliore.  
<https://www.centroverderovigo.com/it/blog/come-potare-i-kiwi-tecniche-attrezzatura-periodo-294>
- Irriframe, 2023. Servizio di irrigazione.  
[https://www.irriframe.it/irriframe/home/Index\\_er](https://www.irriframe.it/irriframe/home/Index_er)
- IFarming, 2018. Tecnologia per l'agricoltura.  
<https://ifarming.srl/>

## 9. Indice delle tabelle

**Tab. 1** Superficie e produzione italiana coltivata ad actinidia nel biennio 2021-2022 (pag. 5)

**Tab. 2** Costanti idrologiche di tre tipi di terreno e relativo potenziale matriciale (pag. 13)

**Tab. 3** L'irrigazione del kiwi: confronto tra i coefficienti colturali (Kc) impiegati nel sistema Irrinet e quelli individuati nelle prove eseguite in Emilia-Romagna (pag. 15)

**Tab. 4** Riepilogo dei dati di evapotraspirazione, precipitazione e dei volumi irrigui relativi al periodo compreso tra il 1 giugno e il 9 ottobre 2023 (pag. 27)

**Tab. 5** Potenziale idrico (-kPa) del fusto misurato nel corso della stagione 2023 (pag. 34)

**Tab. 6** Calibro del frutto (mm) misurato nel corso della stagione 2023 (pag. 35)

**Tab. 7** Peso del frutto (g) misurato nel corso della stagione 2023 (pag. 35)

**Tab. 8** Sostanza secca del frutto (%) misurata nel corso della stagione 2023 (pag. 36)

**Tab. 9** Colore, residuo secco rifrattometrico (RSR) e consistenza del frutto misurati il 22 agosto 2023 (pag. 36)

**Tab. 10** Contenuto di solidi solubili (RSR) e consistenza del frutto misurati il 6 settembre 2023 (pag. 37)

**Tab. 11** Colore, residuo secco rifrattometrico (RSR) e consistenza del frutto misurati il 20 settembre 2023 (pag. 37)

**Tab. 12** Principali parametri produttivi rilevati alla raccolta commerciale del 10 ottobre 2023 (pag. 38)

**Tab. 13** Colore, residuo secco rifrattometrico (RSR) e consistenza del frutto alla raccolta commerciale (pag. 38)

**Tab. 14** Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto all'uscita dalla cella frigo dopo due mesi di conservazione (pag. 40)

**Tab. 15** Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto dopo due mesi di conservazione e 3 giorni di shelf-life (pag. 40)

**Tab. 16** Principali difetti del frutto riscontrati dopo due mesi di frigoconservazione (pag. 40)

**Tab. 17** Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto all'uscita dalla cella frigo dopo quattro mesi di conservazione (pag. 42)

**Tab. 18** Consistenza, residuo secco rifrattometrico (RSR) e sostanza secca del frutto dopo quattro mesi di conservazione e 4 giorni di shelf-life (pag. 42)

**Tab. 19** Principali difetti del frutto riscontrati dopo quattro mesi di frigoconservazione, all'uscita dalla cella frigo e dopo 4 giorni di shelf-life (pag. 42)

## 10. Indice delle figure

- Fig. 1** Impianto di kiwi a polpa gialla allevato a doppia pergoletta, ubicato sulle colline romagnole (pag. 9)
- Fig. 2** Incisione anulare praticata sul fusto dell'actinidia (pag. 11)
- Fig. 3** Tensiometro e potenziometro utilizzati per la misura dell'umidità del terreno (pag. 14)
- Fig. 4** Sensori installati per rilevare la bagnatura del terreno a diverse profondità e distanze dal punto di erogazione dell'acqua (pag. 16)
- Fig. 5** Rappresentazione schematica di una griglia multi sensore bi- e tridimensionale mediante la quale è possibile monitorare l'acqua presente in un determinato volume di suolo (pag. 16)
- Fig. 6** Veduta dell'actinidieta dove si è svolta la sperimentazione (pag. 19)
- Fig. 7** Centraline e sensori per il monitoraggio dell'umidità del terreno e del volume d'acqua erogato, installati nelle tesi ad ala singola e ala doppia (pag. 21)
- Fig. 8** Schematizzazione della disposizione dei sensori di monitoraggio del potenziale matriciale del suolo (pag. 21)
- Fig. 9** Raffigurazione nel tempo e nello spazio della distribuzione dell'umidità nella sezione di terreno monitorata con le sonde potenziometriche (pag. 23)
- Fig. 10** Camera a pressione di Scholander utilizzata per la misurazione del potenziale idrico dell'albero, nel modello "Pump-Up Chamber" (pag. 24)
- Fig. 11** Da sinistra colorimetro digitale CR-410, penetrometro digitale FTA 53220 e rifrattometro PAL-1, strumenti utilizzati per le analisi qualitative dei frutti (pag. 25)
- Fig. 12** Veduta della produzione e particolare del frutto in occasione della raccolta (pag. 25)
- Fig. 13** Potenziale matriciale del terreno (kPa = cbar) misurato a diversa distanza dalla fila nella tesi "T0 aziendale". In ciascun grafico, le tre linee colorate indicano la diversa profondità di rilevamento (20, 40 e 60 cm) (pag. 28)
- Fig. 14** Potenziale matriciale del terreno (kPa = cbar) misurato a diversa distanza dalla fila nella tesi "T1 smart". In ciascun grafico, le tre linee colorate indicano la diversa profondità di rilevamento (20, 40 e 60 cm) (pag. 29)
- Fig. 15** Potenziale matriciale del terreno (kPa = cbar) misurato a diversa distanza dalla fila nella tesi "T2 smart" irrigata con doppia ala gocciolante. In ciascun grafico, le tre linee colorate indicano la diversa profondità di rilevamento (20, 40 e 60 cm) (pag. 31)
- Fig. 16** Andamento dell'umidità del terreno per classi di potenziale idrico, in funzione della gestione irrigua: T0 aziendale, T1 "smart" e T2 "smart" (pag. 33)
- Fig. 17** Veduta della produzione e particolare dei frutti raccolti il 10 ottobre 2023 (pag. 38)

**Fig. 18** Sezioni trasversali dei frutti delle tesi T0 aziendale (sinistra), T1e T2 “smart” (al centro e a destra) analizzati dopo due mesi di conservazione e tre giorni di shelf-life, in cui sono visibili i sintomi della fisiopatía storage breakdown (SBD) (pag. 41)

**Fig. 19** Sezioni trasversali dei frutti delle tesi T0 aziendale (sinistra), T1e T2 “smart” (al centro e a destra) analizzati all’uscita dalla cella frigo dopo quattro mesi di conservazione, in cui sono visibili i sintomi della fisiopatía storage breakdown (SBD) (pag. 43)

**Fig. 20** Relazione tra la sostanza secca del frutto (sinistra,  $R=-0,64$ ; \*), il colore della polpa (destra,  $R=0,79$ ; \*\*), misurati alla raccolta, e l’incidenza della fisiopatía “storage break down” (SBD) in post raccolta (pag. 43)

**Fig. 21** Analisi canonica discriminante (DCA) che descrive il comportamento dei trattamenti sperimentali (T0, T1 e T2) per l’incidenza in post raccolta della fisiopatía “storage breakdown” (SBDpr) del kiwi giallo, in relazione ad alcuni parametri qualitativi misurati alla raccolta (Hr=colore; DURr=durezza; SSCr=contenuto di solidi solubili; SSr=sostanza secca) (pag. 44)

**Fig. 22** Analisi canonica discriminante (DCA) che descrive il comportamento del volume irriguo stagionale (3595mc per T0; 2256mc per T1; 4453mc per T2) per l’incidenza in post raccolta della fisiopatía “storage breakdown” (SBDpr) del kiwi giallo (pag. 45)

## 11. Ringraziamenti

Si ringraziano Agrintesa Soc. Coop. Agricola, Faenza (RA) per aver finanziato la sperimentazione; l’Az. Agr. A. Dalle Fabbriche di Brisighella (RA) per aver ospitato la prova e ZESPRI GROUP Ltd (Mount Maunganui, NZ).

Ringrazio infine la mia famiglia ed il mio ragazzo per avermi sostenuto durante questo percorso.