



Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE)

Dottorato di Ricerca in Scienze e Tecnologie Agrarie

XXXV Ciclo

Tesi di Dottorato Di Ricerca

**Agricoltura di precisione nella coltivazione di Actinidia
per la riduzione dei consumi idrici e il miglioramento della
qualità dei frutti
(s.s.d. AGR/03)**

Tesi di dottorato di: Dr.ssa Petra Engel

Coordinatrice del corso
Prof.ssa Roberta Bernini

Tutore
Prof. Rosario Muleo

Co-Tutore
Dott. Flavio Roberto De Salvador

A.A. 2020/22

Riassunto

L'actinidia (*Actinidia chinensis* Planch.) è una specie frutticola coltivata in modo specializzato in pochi Paesi del mondo e tra questi l'Italia, che in Europa è il leader per produzione ed esportazione. Hayward, appartenente ad *A. chinensis* var. *deliciosa*, è la principale e più diffusa varietà a polpa verde, mentre più ampio anche se di minore entità in termini di superfici e produzioni rispetto alla precedente è l'assortimento varietale a polpa gialla delle cultivar appartenenti ad *A. chinensis* var. *chinensis*, tra le quali la SunGold.

Gli effetti del cambiamento climatico, la riduzione della disponibilità delle risorse idriche e le sempre più stringenti esigenze dei mercati in termini di qualità del prodotto impongono alle aziende impegnate nella coltivazione dell'actinidia l'adozione tempestiva di interventi di razionalizzazione di alcune tecniche colturali.

In quest'ottica, tra gli interventi più importanti per il settore ci sono il controllo del carico produttivo tramite diradamento dei frutti e la razionalizzazione degli interventi irrigui che nelle attività sperimentali realizzate in tre anni ha riguardato rispettivamente Hayward e SunGold e solo SunGold.

Per ciascuno dei due aspetti di tecnica colturale, in un'azienda actinidicola in Agro Pontino collocata nell'area IGP "Kiwi Latina", sono stati posti a confronto la tecnica di diradamento e la gestione idrica considerate "normali" dell'area di coltivazione citata con delle varianti sperimentali, intese a valutare possibili miglioramenti dei risultati agronomici ed economici.

Per quanto riguarda il **diradamento**, è stato confrontato il tipo di intervento consistente nella eliminazione dei frutticini dopo l'allegazione adottato dall'azienda (100%) con analoghi interventi in cui con varie articolazioni negli anni i livelli sono stati differenziati in 70 - 75 - 85 - 115 - 120%.

Contemporaneamente, oltre l'intervento sui frutticini, si è valutato un intervento precoce denominato *Bud Thinning*, che consistente nell'eliminazione di germogli, bottoni fiorali e fiori in sovrannumero per un carico potenziale di frutti finale pari all'80% del carico aziendale.

I risultati ottenuti nel triennio evidenziano che mediamente le produzioni a pianta e a ettaro e il peso medio dei frutti, a prescindere dalla tesi di diradamento, sono più elevati in SunGold (78,6 kg, 55,6 t/ha, 130 g) rispetto a Hayward (kg 68,9, 34,5 t/ha, 105,9 g). I carichi produttivi più elevati nel diradamento dei frutti (115-120%) rispetto a quello aziendale (100%), inducono in Hayward e SunGold maggiori produzioni a pianta (85,2 kg - 89,2 kg) e a ettaro (42,6 t - 61,2 t), ma un minor peso medio dei frutti (92,2 g - 120,2 g) e una peggiore ripartizione in classi

commerciali. I carichi produttivi meno elevati nel diradamento dei frutti delle due cultivar (70 - 85%) presentano le minori produzioni a pianta (58,6 kg - 68,0 kg) e a ettaro (29,3 t - 46,9 t), ma i più elevati pesi medi dei frutti (113,8 g - 132,8 g), a cui si accompagnano anche più favorevoli ripartizioni in classi commerciali. Rispetto al diradamento dei frutti la tecnica di precoce controllo della fruttificazione, *Bud Thinning*, con un'intensità di diradamento (80%) superiore al carico aziendale, induce in Hayward produzioni a pianta e a ettaro inferiori del 20,7 %, ma pesi medi del frutto superiori del 19,7%; in SunGold, invece, le produzioni a pianta sono più elevate dell'8,5% e ancor più quelle a ettaro (20,7%), con un incremento del peso medio dei frutti del 15,7%. In entrambe le cultivar si ha uno spostamento delle classi di calibro dei frutti verso le categorie superiori, che comporta una remunerazione delle produzioni superiore a quella di tutte le altre tesi.

La diversificazione dei carichi produttivi ottenuti con il diradamento e la loro elaborazione in funzione delle cultivar e densità d'impianto (Hayward m 4,5 x 4,5, 500 p/ha; SunGold m 5 x 3, 666 p/ha) e relative classi commerciali dei frutti ha permesso di calcolare il numero ottimale di frutti da lasciare in pianta per ogni m² di chioma (*Crop Load Index*), che per Hayward è risultato 25 e per SunGold 36,4.

Considerato che, nell'ultimo decennio con il diffondersi dell'agricoltura di precisione il frutto è diventato un "elemento diagnostico" d'eccellenza nella convinzione che esaminare le sue performance di crescita costituisce il modo migliore per interpretare e valutare correttamente le tecniche colturali messe in atto in campo, le prove di diradamento sono state accompagnate da un attento monitoraggio dello sviluppo dei frutti durante la stagione, utilizzato per verificare gli effetti sugli accrescimenti delle diverse tesi, ma anche per una attività previsionale sulla dimensione finale dei frutti alla raccolta utile per decidere degli interventi colturali o attuare delle correzioni tempestive qualora si riscontrassero degli scostamenti rispetto alle aspettative. I risultati ottenuti evidenziano relazioni molto strette in termini di peso medio e pezzatura dei frutti tra livelli e modalità di diradamento, curve di accrescimento dei frutti e risultati produttivi finali.

L'**irrigazione** è un altro aspetto della tecnica colturale dell'actinidia sulla quale esiste un'ampia letteratura che però riguarda principalmente Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*), mentre sono carenti le informazioni sulle cultivar di nuova introduzione appartenenti a *A. chinensis* var. *chinensis* alle quali, nonostante molte differenze morfologiche e fisiologiche, sono generalmente applicati gli stessi criteri irrigui della prima, con possibili inconvenienti agronomici e produttivi. Tra queste cultivar in notevole espansione c'è la cultivar SunGold di

cui si è ritenuto di studiare il comportamento fenologico, agronomico, produttivo e fisiologico in funzione di diversi volumi idrici con sistema a goccia sul filare 40 - 50 - 80% rispetto all'irrigazione aziendale 100 % basata sulla completa restituzione dell'evaporato potenziale della coltura (Etc).

I risultati ottenuti evidenziano che, mediamente, le produzioni a pianta (71,0 kg) a ettaro (48,8 t) e il peso medio dei frutti (127,0 g) sono più elevati con i volumi aziendali del 100%, ma non di molto superiori all'irrigazione 80% (56,8 kg, 40,0 t, 118,7 g) per cui in un'ottica di risparmio delle risorse idriche e considerando la diffusione della “moria del kiwi”, le cui concause sembrano essere proprio l'asfissia radicale e gli eccessi idrici, la riduzione del 20 % dell'acqua è sicuramente un'opzione ragionevole e necessaria. Tale convinzione è supportata dai rilievi sui contenuti di acqua nel terreno, che sono eccessivamente elevati in vicinanza della linea centrale di irrigazione a goccia, e dalla scarsa presenza di radici in tali zone del terreno.

Volumi idrici del 50% e 40%, nelle attuali condizioni di coltivazione e mercato, non sono agronomicamente ed economicamente validi e quindi utilizzabili. Notevoli i risultati ottenuti con la distribuzione dell'irrigazione su tre linee gocciolanti del 65% e 80% dell'acqua, che garantiscono contenuti ottimali dell'acqua nel terreno, sulla fila e tra le file e una più uniforme distribuzione delle radici incluse le aree sottostanti ai gocciolatori. Queste migliori condizioni edafiche rispetto alle altre tesi si traducono anche in più elevate produzioni a pianta (9,1 - 98,3 kg), a ettaro (39,3 - 65,5 t), pesi medi dei frutti (144,5 g - 113,8 g) e classi commerciali superiori all'irrigazione aziendale 100%, con un notevole risparmio dell'acqua (20 - 35%).

Come nel diradamento, le prove di irrigazione sono state affiancate dal monitoraggio dello sviluppo dei frutti oltre che da misurazioni degli scambi gassosi (assimilazione netta fogliare, conduttanza stomatica, traspirazione, temperatura fogliare) e del potenziale idrico fogliare.

La cultivar SunGold ha confermato almeno in parte di avere un comportamento di tipo isoidrico con valori del *Predawn Leaf Water Potential* che non si differenziano in modo significativo nei vari volumi idrici e quindi con basso valore diagnostico sullo stato idrico della pianta. Diverso è il caso del *Midday Leaf Water Potential* dove le differenze tra le tesi irrigue sono più evidenti e che quindi può rappresentare un parametro pratico in grado di monitorare lo stato idrico mediante l'uso di una camera di pressione per misurazioni di potenziale fogliare portatile.

Molto interessante e con buone prospettive di sviluppo future è l'impiego dei dendrometri, sensori che registrano le variazioni giornaliere di diametro del tronco, utilizzati già in altre specie frutticole e nella vite e che hanno trovato in questa tesi una delle prime applicazioni in *A. chinensis* var. *chinensis*.

Abstract

Kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch.) is a fruit species cultivated commercially in a few countries in the world, including Italy, which is the leader in Europe in terms of production and exports. Hayward is the most important and most widespread cultivar belonging to green-fleshed *A. chinensis* var. *deliciosa*, while the varietal assortment within the yellow-fleshed cultivars belonging to *A. chinensis* var. *chinensis*, among which is SunGold, is wider, even though smaller in terms of surfaces and production.

The effects of climate change, reduced availability of water resources and increasingly stringent market needs in terms of product quality require fruit growers to promptly implement interventions to rationalize some of the cultivation techniques adopted.

In this context, the control of crop load through fruit thinning and the rationalization of irrigation interventions are among the most important interventions for the sector and were therefore subject of a three-year (2020-2022) experimental activity involving Hayward and SunGold concerning the first aspect and only SunGold in the case of the second.

For each of the two cultivation techniques, trials were set up in an orchard of a kiwi-growing company located in the Agro Pontino area in Central Italy known as "Kiwi Latina" PGI area. Both trials were based on the thinning technique and water management adopted and considered "normal" in this cultivation area, comparing them with different variations aiming at evaluating possible improvements both of agronomic and economic results.

As regards **Thinning**, the type of intervention consisting in the elimination of small fruits after fruit set adopted by the company (100%) was compared with similar interventions in which levels of crop load were differentiated into 70 - 75 - 85 - 115 - 120%. At the same time, in addition to thinning the fruits, an early intervention called "Bud Thinning" has also been evaluated, consisting in the elimination of shoots, flower buds and flowers and resulting in a potential final fruit load equal to 80% of the company load.

The results obtained in the triennium highlight that on average the production per plant and per hectare as well as average weight, regardless of the thinning method, are higher in SunGold (78.6 kg, 55.6 t/ha, 130 g) compared to Hayward (kg 68.9, 34.5 t/ha, 105.9 g).

Higher crop loads (115-120%) compared to the farm level (100%) lead to higher production per plant (85.2 kg - 89.2 kg) and per hectare (42.6 kg – 61,2 t) in Hayward and SunGold, but to a lower average fruit weight (92.2 g - 120.2 g) and more unfavourable distribution into commercial classes.

In both cultivars, lower crop loads obtained in fruit thinning (70 - 85%) present the lowest production per plant (58.6 kg - 68.0 kg) and per hectare (29.3 t - 46.9 t), but the highest average fruit weights (113.8 g - 132.8 g), which are also accompanied by more favorable distributions into commercial classes.

Compared to fruit thinning, the technique of early control of fruiting, Bud Thinning, with a stronger thinning intensity (80%) compared to the farm crop load, leads to a 20.7% decrease in production per plant and per hectare, but in a 19.7% increase of average fruit weights in Hayward; in SunGold, however, production per plant is 8.5% higher and production per hectare is even higher (20.7%), with an increase in the average weight of the fruit of 15.7%. In both cultivars, Bud Thinning leads to a shift of fruits towards higher commercial classes, which entails a higher production remuneration than that of all the other theses.

The diversification of production loads obtained with the different thinning levels and techniques and taking account of the cultivars and their planting density (Hayward m 4.5 x 4.5, 500 p/ha; SunGold m 5 x 3, 666 p/ha) and related commercial classes of fruit has allowed to calculate the optimal number of fruits to leave on the plant for each m² of canopy (Crop Load Index), which resulted in 25 for Hayward and in 36.4 for SunGold.

Considering that, over the last decade and with the diffusion of techniques of precision agriculture, fruits have become a "diagnostic element" of excellence, in the belief that examining its growth performance is the best way to correctly interpret and evaluate the cultivation techniques adopted in the field, the above-described thinning trials were accompanied by careful monitoring of the development of the fruits during the season, with the aim to verify the effects of the different thinning levels and techniques on the fruit growth in the different trials, but also for a forecasting activity on the final size of the fruit at harvest useful for decisions of interventions or to timely implement corrections if deviations from expectations are found. The results obtained highlight very close relationships in terms of average fruit weight and size between thinning levels and methods, fruit growth curves and final production results.

Irrigation is another aspect of kiwifruit cultivation techniques on which extensive literature is available, which however mainly concerns Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*), while information on the newly introduced cultivars belonging to *A. chinensis* var *chinensis* is lacking and to which, despite many morphological and physiological differences, the same irrigation criteria are generally applied, with possible agronomic and production drawbacks. Among these cultivars in notable expansion there is SunGold of which it was decided to study the phenological, agronomic, productive and physiological behavior as a function of different water

volumes with a drip system on the row 40 - 50 - 80% compared to irrigation 100% corporate based on the complete return of the crop's potential evaporation (Etc).

The results obtained highlight that, on average, the production per plant (71.0 kg) and per hectare (48.8 t) as well as the average fruit weight (127.0 g) are higher with farm irrigation volumes (100%), but not much higher than under 80% irrigation (56.8 kg, 40.0 t, 118,7 g). Therefore, with a view to saving water resources and considering the spread of the "moria" disease, to which root asphyxiation and water excesses seem to be some of the contributing causes, the 20% reduction in water is certainly a reasonable and necessary option.

This belief is supported by findings on the water contents in the soil, which are excessively high in proximity to the central line of drip irrigation, and by the scarce presence of roots in these areas of the soil. A further reduction of irrigation volumes to 50% and 40%, however, has been found to be not agronomically and economically valid and therefore usable under the current cultivation and market conditions.

Noteworthy are the results obtained with a trial consisting in the distribution of irrigation on three drip lines with a reduction of water volumes to 65% and 80%, which guarantee optimal water contents in the soil, on the row and between the rows leading to a more uniform distribution of the roots including the areas under the drippers. These better edaphic conditions also translate into higher production per plant (9.1 - 98.3 kg), per hectare (39.3 - 65.5 t), average fruit weights (144.5 g - 113.8 g) and fruit distribution in higher commercial classes compared 100% farm irrigation, with notable savings of water (20-35%).

As has been done in the thinning trials, also the irrigation tests were accompanied by monitoring of fruit development as well as measurements of gas exchanges (net leaf assimilation, stomatal conductance, transpiration, leaf temperature) and leaf water potential. The cultivar SunGold confirmed at least in part to have an isohydric behavior, with Predawn Leaf Water Potential values that do not differ significantly in the various water volumes, and which are, therefore, of low diagnostic value on the water status of the plant. A better indication of the water status of plants is provided by measuring the Midday Leaf Water Potential, where the differences between the irrigation methods are becoming more evident and which therefore can represent a practical parameter capable of monitoring the plants' water status, using a pressure chamber for portable leaf potential measurements.

Very interesting and with good prospects for future development is the use of dendrometers, sensors recording the daily variations in trunk diameter, already used in other fruit species and grapevine and which in this experiment have found one of its first applications in *A. chinensis* var. *chinensis*.

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
1.1 Actinidia	4
1.1.1 Inquadramento botanico e storico	4
1.1.1.1 Il genere <i>Actinidia</i>	4
1.1.1.2 Caratteristiche morfologiche e qualitative dei frutti di <i>Actinidia</i>	6
1.1.1.3 La diffusione dell'actinidia nel mondo	8
1.1.2 La produzione di actinidia a livello globale e italiano	11
1.1.2.1 Actinidia nel mondo	11
1.1.2.2 Actinidia in Italia	13
1.1.3 Panorama varietale	17
1.1.4 Descrizione delle cultivar oggetto dello studio	19
1.1.4.1 SunGold (<i>Actinidia chinensis</i> var. <i>chinensis</i>)	19
1.1.4.2 Hayward (<i>Actinidia chinensis</i> var. <i>deliciosa</i>)	19
1.2 Aspetti economici e agronomici dell'actinidicoltura	21
1.2.1 Criteri di commercializzazione	21
1.2.1.1 Classi commerciali dei frutti	22
1.2.1.2 Qualità dei frutti	24
1.2.2 Diradamento	26
1.2.2.1 Controllo del carico di gemme	26
1.2.2.2 Bud Thinning	27
1.2.2.3 Diradamento dei frutti	28
1.2.2.4 Aspetti fisiologici	29
1.2.2.5 Impollinazione	33
1.2.3 Irrigazione	34
1.2.3.1 Aspetti fisiologici	35
1.2.3.2 Indicatori dello stato idrico della pianta	37
Umidità del terreno	37
Dati meteorologici	39
Potenziale idrico fogliare	39
Variazioni del diametro del tronco delle piante	41
1.2.3.3 Sviluppo del sistema radicale nel terreno	42
2. AGRICOLTURA DI PRECISIONE	45

2.1 Frutticoltura di precisione	47
2.2 Il sistema “Perfrutto”	48
3. OBIETTIVI DEL LAVORO	50
3.1 Diradamento	50
3.2 Irrigazione	51
4. MATERIALI E METODI	54
4.1. Territorio e descrizione dell’Azienda Martella	54
4.1.1 Generalità	54
4.1.2 Clima e pedologia.....	56
4.1.2.1 Dati meteorologici.....	56
4.1.2.2 Bilancio idroclimatico	56
4.1.2.3 <i>Chilling Units (CU)</i> e <i>Growing Degree Hours (GDH)</i>	57
4.1.2.4 Caratterizzazione del terreno.....	59
<i>Analisi fisica</i>	59
<i>Analisi idrologica</i>	60
<i>Analisi chimica</i>	63
4.1.3 Prassi agronomiche	64
4.1.3.1 Piantagioni.....	64
<i>Impianti</i>	64
<i>Concimazione</i>	68
<i>Impollinazione</i>	68
4.1.3.2 Diradamento	69
4.1.3.3 Irrigazione	70
4.2 Le prove oggetto della ricerca del Dottorato	70
4.2.1 Diradamento	70
4.2.1.1 Piano sperimentale	70
4.2.1.2 Tipologie di diradamento adottate.....	71
4.2.1.3 <i>Crop Load Index</i>	72
4.2.1.4 Tasso di accrescimento dei frutti.....	73
4.2.2 Irrigazione	74
4.2.2.1 Piano sperimentale	74
4.2.2.2 Tipologie di irrigazione e parametri irrigui adottati.....	74
<i>Impianto d’irrigazione</i>	76
4.2.2.3 Monitoraggio dello stato idrico delle piante	77
<i>Umidità del terreno</i>	77
<i>Parametri fisiologici</i>	79
Scambi gassosi	79

Potenziale idrico delle foglie.....	80
<i>Dendrometria</i>	81
4.2.2.4 Sviluppo del sistema radicale nel terreno.....	82
4.2.3 Determinazione del momento della raccolta.....	84
4.2.4 Rilievi in campo	84
4.2.5 Curve di accrescimento	86
4.2.5.1 Monitoraggio dell'accrescimento dei frutti nella prova di Diradamento	86
4.2.5.2 Monitoraggio dell'accrescimento dei frutti nella prova di Irrigazione	88
4.2.6 Rilievi in laboratorio	88
5. RISULTATI	90
5.1 Fenologia	90
5.2 Diradamento	91
5.2.1 Anno 2020	91
5.2.1.1 Parametri produttivi.....	91
5.2.1.2 Curve di accrescimento	93
5.2.1.3 Tasso di accrescimento dei frutti.....	94
5.2.1.4 Previsione del peso finale dei frutti.....	98
5.2.1.5 Ripartizione dei frutti in classi commerciali	100
5.2.1.6 Parametri qualitativi	101
5.2.2 Anno 2021	102
5.2.2.1 Parametri produttivi.....	102
5.2.2.2 Curve di accrescimento	104
5.2.2.3 Tasso di accrescimento dei frutti.....	106
5.2.2.4 Previsione del peso finale dei frutti.....	109
5.2.2.5 Ripartizione dei frutti in classi commerciali	111
5.2.2.6 Parametri qualitativi	112
5.2.3 Anno 2022	113
5.2.3.1 Parametri produttivi.....	113
5.2.3.2 Curve di accrescimento	115
5.2.3.3 Tasso di accrescimento dei frutti.....	116
5.2.3.4. Ripartizione dei frutti in classi commerciali	119
5.2.3.5 Parametri qualitativi	120
5.2.4 <i>Crop Load Index</i>	122
5.3 Irrigazione	125
5.3.1 Anno 2020	125
5.3.1.1 Parametri irrigui e distribuzione dell'acqua nel terreno.....	125
5.3.1.2 Parametri fisiologici	128

<i>Scambi gassosi</i>	128
5.3.1.3 Parametri produttivi.....	131
<i>Curve di accrescimento e ripartizione dei frutti in classi commerciali</i>	132
5.3.1.4 Parametri qualitativi	133
5.3.2 Anno 2021	134
5.3.2.1 Parametri irrigui e distribuzione dell'acqua nel terreno.....	134
<i>Scambi gassosi</i>	137
<i>Potenziale idrico delle foglie</i>	139
5.3.2.3 Parametri produttivi.....	141
<i>Curve di accrescimento e ripartizione dei frutti in classi commerciali</i>	142
5.3.2.4 Parametri qualitativi	143
5.3.3 Anno 2022	144
5.3.3.1 Parametri irrigui e distribuzione dell'acqua nel terreno.....	144
5.3.3.2 Parametri fisiologici	147
<i>Scambi gassosi</i>	147
<i>Potenziale idrico delle foglie</i>	149
5.3.3.3 Dendrometria.....	150
5.3.3.4 Sviluppo del sistema radicale nel terreno.....	154
<i>Irrigazione aziendale (100%)</i>	154
<i>Irrigazione tre linee (80%)</i>	155
5.3.3.5 Parametri produttivi.....	157
<i>Curve di accrescimento e ripartizione dei frutti in classi commerciali</i>	158
5.3.3.6 Parametri qualitativi	159
6. DISCUSSIONE	161
6.1 Fenologia	161
6.2 Diradamento	162
6.2.1 Parametri produttivi.....	162
6.2.1.1 Hayward	163
<i>Produzioni a pianta ed ettaro</i>	163
<i>Peso medio dei frutti</i>	163
<i>Distribuzione in classi commerciali dei frutti</i>	164
6.2.1.2 SunGold.....	164
<i>Produzioni a pianta ed ettaro</i>	164
<i>Peso medio dei frutti</i>	165
<i>Distribuzione in classi commerciali dei frutti</i>	166
6.2.2 Crop Load Index.....	167
6.2.3 Curve e tassi di accrescimento dei frutti	168

6.2.4 Previsione del peso finale dei frutti.....	171
6.2.5 Parametri qualitativi	173
6.2.5.1 Hayward	173
<i>Durezza al penetrometro</i>	173
<i>Solidi solubili</i>	174
<i>Sostanza secca</i>	174
<i>Acidità totale</i>	175
6.2.5.2 SunGold.....	175
<i>Durezza al penetrometro</i>	175
<i>Solidi solubili</i>	175
<i>Sostanza secca</i>	176
<i>Acidità totale</i>	177
6.2.6 Aspetti economici del diradamento a livello aziendale.....	177
6.3 Irrigazione	181
6.3.1 Volumi irrigui, risultati produttivi e relativi aspetti economici	181
6.3.2 Parametri fisiologici	189
6.3.2.1 Scambi gassosi	189
6.3.2.2 Potenziale idrico.....	192
6.3.2.3 Dendrometria.....	194
6.3.4 Monitoraggio dello stato idrico delle piante	195
7. CONCLUSIONI	199
RIFERIMENTI	203
1. Bibliografia	203
2. Sitografia	227
RINGRAZIAMENTI	230

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1. Caratteristiche morfologiche e qualitative osservate in 55 specie di Actinidia presenti nel database dell'Actinidia Research Center del Wuhan Botanical Garden, CAS, Cina	7
Tabella 2. Paesi produttori di actinidia nel mondo: Area coltivata (ha), produzione (t) e quantità esportata (t): 2010 e 2021 a confronto.....	11
Tabella 3. Maggiori Paesi importatori di actinidia, quantità importate e percentuale sull'importazione totale globale: 2010 e 2021 a confronto	13
Tabella 4. Coltivazione di actinidia nelle Regioni italiane: Area coltivata (ha) e quantità prodotte (t).....	15
Tabella 5. Area coltivata (ha) di alcune delle più importanti specie frutticole in Italia.	16
Tabella 6. Produzione (t) di alcune delle più importanti specie frutticole in Italia.	17
Tabella 7. Calendario dell'epoca di maturazione delle principali cultivar di actinidia nell'emisfero nord	18
Tabella 8. Prezzi di liquidazione di Hayward e SunGold, espressi in centesimi di euro per kg di prodotto per ciascuna classe commerciale (Anno commerciale 2021).....	23
Tabella 9. Conversione di temperatura in <i>Chilling Units</i>	58
Tabella 10. Analisi del terreno dell'Azienda Martella: Caratteristiche fisiche	60
Tabella 11. Analisi del terreno dell'Azienda Martella: Caratteristiche idrologiche	60
Tabella 12. Analisi del terreno dell'Azienda Martella: Caratteristiche chimiche	63
Tabella 13. Caratteristiche tecniche dell'impianto per le due varietà osservate	64
Tabella 14. Numero medio di tralci e gemme a pianta e a ettaro nelle piante di Hayward e SunGold nell'azienda Martella	67
Tabella 15. Parametri fenologici osservati nei tre anni nelle due cultivar	90
Tabella 16. 2020: Principali parametri produttivi osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento	92
Tabella 17. Hayward (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.	96
Tabella 18. SunGold (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.	98
Tabella 19. Hayward (2020): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema "Perfrutto"	99
Tabella 20. SunGold (2020): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema "Perfrutto"	99
Tabella 21. 2020: Principali parametri qualitativi dei frutti osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento.....	101
Tabella 22. 2021: Principali parametri produttivi osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento	104
Tabella 23. Hayward (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale Fase 1, parziale Fase 2, % fase 1 su totale.....	107
Tabella 24. SunGold (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.	108
Tabella 25. Hayward (2021): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema "Perfrutto"	109

Tabella 26. SunGold (2021): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema “Perfrutto”	110
Tabella 27. 2021: Principali parametri qualitativi dei frutti osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento.....	112
Tabella 28. 2022: Principali parametri produttivi osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento	114
Tabella 29. Hayward (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.	117
Tabella 30. SunGold (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.	119
Tabella 31. 2022: Principali parametri qualitativi dei frutti osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento.....	121
Tabella 32. SunGold (2020): Parametri irrigui e apporti idrici applicati dall’azienda.....	126
Tabella 33. SunGold (2020): Principali parametri produttivi osservati, in funzione dell’irrigazione	132
Tabella 34. SunGold (2020): Principali parametri qualitativi dei frutti osservati, in funzione dell’irrigazione	134
Tabella 35. SunGold (2021): Parametri irrigui e apporti idrici applicati dall’azienda.....	135
Tabella 36. SunGold (2021): Principali parametri produttivi osservati, in funzione dell’irrigazione	142
Tabella 37. SunGold (2021): Principali parametri qualitativi dei frutti osservati, in funzione dell’irrigazione	144
Tabella 38. SunGold (2022): Parametri irrigui e apporti idrici applicati dall’azienda.....	145
Tabella 39. SunGold (2022): <i>Midday Leaf Water Potential</i> (MLWP) di diversi volumi irrigui e relativi <i>Maximum Daily Shrinkage</i> (MDS)	153
Tabella 40. SunGold (2022): Principali parametri produttivi osservati, in funzione dell’irrigazione	157
Tabella 41. SunGold (2022): Principali parametri qualitativi dei frutti osservati, in funzione dell’irrigazione	160
Tabella 42. Hayward e SunGold (2020-2022). Tassi cumulati annuali e medi di crescita dei frutti (grammi/giorno) per tesi.....	169
Tabella 43. Hayward: Remunerazione del prodotto (€/ha) in funzione del diradamento	178
Tabella 44. SunGold: Remunerazione del prodotto (€/ha) in funzione del diradamento.	179
Tabella 45. SunGold: remunerazione (€/ha) dei frutti in funzione dell’irrigazione (listino prezzi 2021).....	182

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Areale di origine di <i>Actinidia chinensis</i> nella Cina sud-orientale	4
Figura 2. Variabilità morfologica dei frutti e del colore della polpa in <i>Actinidia</i>	6
Figura 3. Principali dati climatici delle città di Yichang e Wuhan, situate nella valle del fiume Yangtze, nella Cina sud-orientale	10
Figura 4. Andamento della coltivazione commerciale dell'actinidia in Italia	14
Figura 5. Relazione tra la produzione e il numero dei frutti a pianta in una produzione totale o in una produzione destinata all'esportazione.	22
Figura 6. SunGold: Numero eccessivo di gemme, graduale diradamento	26
Figura 7. <i>Bud Thinning</i> . Eliminazione delle gemme fiorali in sovrannumero; Intervento correttivo sul numero di fiori	28
Figura 8. SunGold: intervento di controllo del carico dei frutti (prima e dopo)	29
Figura 9. Sviluppo dei frutti (doppia sigmoide) e dei semi nella cv. 'Monty' (<i>A. deliciosa</i>).	32
Figura 10. Riduzione della crescita del frutto a causa di stress idrico	36
Figura 11. Diversi sensori e sistemi per la misurazione del contenuto in acqua del terreno	38
Figura 12. Indici ricavati dalla fluttuazione giornaliera del tronco (TDF)	41
Figura 13. Posizione dell'Azienda Martella nell'Agro Pontino, tra Velletri e Cisterna di Latina.....	54
Figura 14. Locandina del Comitato Promotore del marchio IGP «Kiwi Latina»	55
Figura 15. Parametri idroclimatici dell'Azienda Martella negli anni 2019, 2020, 2021 e 2022	57
Figura 16. Ore di freddo e di caldo accumulate nella località dell'Azienda Martella, nei periodi 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022	59
Figura 17. Curva di ritenzione idrica del terreno nell'Azienda Martella.....	61
Figura 18. Classificazione dell'acqua nel terreno.	61
Figura 19. Contenuto di acqua nel terreno dalla saturazione al secco.	62
Figura 20. Struttura del sistema di allevamento Tendone.....	65
Figura 21. Rappresentazione tridimensionale del sistema di allevamento Tendone	66
Figura 22. Il sistema di allevamento Tendone negli impianti di Hayward e SunGold adottato nell'Azienda Martella.....	66
Figura 23. Sensore per misurazione della radiazione luminosa PAR lineare LI-COR LI-191R	67
Figura 24 Macchine usate nell'impollinazione dell'actinidia. Soffiatori per impollinazione "a secco"; Raccolta del polline nell'Azienda Martella	68
Figura 25. Particolari del sistema d'irrigazione aziendale e di gocciolatore in una delle tesi irrigue diverse da quella aziendale	76
Figura 26. Sensore (ECHO EC-5) per la determinazione volumetrica del contenuto dell'acqua nel terreno basato sulla tecnologia Frequency Domain Reflectometry (FDR) e lettore digitale dei dati (METER Group)	78
Figura 27. Schema operativo per la determinazione del contenuto d'acqua del terreno con metodo gravimetrico.	79

Figura 28. Prelievo del <i>Midday Leaf Water Potential</i> con camera a pressione portatile «PMS»	80
Figura 29. Strumentazione per dendrometria in campo	81
Figura 30. Carotaggio a diverse distanze dalla fila e a diverse profondità per studiare lo sviluppo del sistema radicale nel terreno	82
Figura 31. Campionamento delle radici presenti a una distanza di 120 cm dal filare a diverse profondità.....	83
Figura 32. Preparazione dei campioni di radici per la pesatura	84
Figura 33. Calibro “Mitutoyo” collegato con datalogger “Calibit”	86
Figura 34. Determinazione di volume e peso dei frutti in base al loro diametro.....	87
Figura 35. Rilevamento dei parametri qualitativi dei frutti (esempio: Hayward).....	89
Figura 36. 2020: Curve di accrescimento dei frutti (in mm di lunghezza) di Hayward e SunGold in funzione del diradamento.....	93
Figura 37. Hayward (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo.....	95
Figura 38. SunGold (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo.....	97
Figura 39. 2020: Hayward e SunGold: Distribuzione dei frutti in classi commerciali....	101
Figura 40. 2021: Curve di accrescimento dei frutti (in mm di lunghezza) di Hayward e SunGold in funzione del diradamento.....	105
Figura 41. Hayward (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo.....	106
Figura 42. SunGold (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo.....	107
Figura 43. 2021: Distribuzione dei frutti in classi commerciali per Hayward (A) e SunGold (B), in funzione del diradamento	111
Figura 44. 2022 - Curve di accrescimento dei frutti (in mm di lunghezza) in Hayward e SunGold in funzione del diradamento.....	115
Figura 45. Hayward (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo.....	116
Figura 46. SunGold (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo.....	118
Figura 47. 2022: Distribuzione dei frutti in classi commerciali in Hayward e SunGold.	120
Figura 48. <i>Crop Load Index</i> , Classi commerciali e produzione a ettaro nei tre anni di osservazione. A: Hayward, B: SunGold.....	123
Figura 49. Hayward - Regressione lineare tra <i>Crop Load Index</i> e peso medio dei frutti ($p \leq 0,05$)	123
Figura 50. SunGold - Regressione lineare tra <i>Crop Load Index</i> e peso medio dei frutti ($p \leq 0,05$)	124
Figura 51. 2020: Effetto dei quantitativi irrigui sulla disponibilità d’acqua nel terreno, a diverse distanze dal filare e a diverse profondità. Cc = capacità di campo; Pa = Punto di appassimento	127
Figura 52. SunGold (2020): Parametri fisiologici rilevati nel corso del giorno in funzione del regime d’irrigazione	129

Figura 53. SunGold (2020): Potenziali idrici fogliari rilevati in diversi momenti del giorno, durante il periodo di agosto in funzione dell'irrigazione.....	131
Figura 54. SunGold 2020: Curve di accrescimento dei frutti in mm di lunghezza, e distribuzione dei frutti in classi commerciali, in funzione dei volumi idrici somministrati	133
Figura 55. 2021: Effetto di diversi regimi d'irrigazione sulla disponibilità d'acqua nel terreno, a diverse distanze dal filare e a diverse profondità..	135
Figura 56. Zone bagnate sotto irrigazione a goccia su linea singola e su tre linee	137
Figura 57. SunGold (2021): Parametri fisiologici rilevati nel corso del giorno in funzione del regime d'irrigazione	139
Figura 58. SunGold (2021): Potenziali idrici in diversi momenti del giorno durante il periodo di agosto in funzione dell'irrigazione	140
Figura 59. SunGold (2021): Curve di accrescimento dei frutti, in mm di lunghezza, e distribuzione dei frutti in classi commerciali, in funzione dell'irrigazione.	143
Figura 60. 2022: Effetto di diversi regimi d'irrigazione sulla disponibilità d'acqua nel terreno, a diverse distanze dal filare e a diverse profondità.	146
Figura 61. SunGold (2022): Parametri fisiologici rilevati nel corso del giorno in funzione del regime d'irrigazione	147
Figura 62. SunGold (2022): Potenziale idrico fogliare (MLWP) a mezzogiorno in funzione dell'irrigazione, tra giugno e settembre.....	149
Figura 63. SunGold (2022): Variazioni giornaliere di MDS nei diversi regimi di irrigazione (100% e 40%) e andamento giornaliero del <i>Vapor Pressure Deficit</i>	151
Figura 64. SunGold (2022): Variazioni giornaliere di MDS nei diversi regimi di irrigazione (65% e 50%) e andamento giornaliero del <i>Vapor Pressure Deficit</i>	151
Figura 65. SunGold (2022): Modelli di regressione del MDS sul VPD in funzione delle diverse tipologie d'irrigazione	153
Figura 66. 2022 - Modello di regressione di MDS sul MLWP.....	154
Figura 67 Irrigazione aziendale (100%): Distribuzione delle radici di SunGold sulla fila e nell'interfilare, a diverse distanze dalla pianta e a diverse profondità.	155
Figura 68 Irrigazione tre linee (80%): Distribuzione delle radici di SunGold sulla fila e nell'interfilare, a diverse distanze dalla pianta e a diverse profondità..	156
Figura 69. SunGold (2022): Curve di accrescimento dei frutti, in mm di lunghezza, e distribuzione dei frutti in classi commerciali, in funzione dell'irrigazione.	158
Figura 70. Variazione delle curve di crescita di Hayward (<i>A. deliciosa</i>) in 6 diverse località della Nuova Zelanda e tre anni, a partire da 20 giorni DAFB.....	172
Figura 71. SunGold: Evidente differenza nella pezzatura dei frutti tra irrigazione 3 linee e irrigazione aziendale	188
Figura 72. Contenuti di acqua nel terreno (% volume) a diverse profondità sotto il regime dell'irrigazione aziendale (100%)	195
Figura 73. SunGold: Eccessi di acqua percolati dallo strato di 20 cm di profondità a profondità più basse	196
Figura 74. Contenuti di acqua nel terreno (% volume) a diverse profondità sotto il regime dell'irrigazione ridotta (80/50%%)	197
Figura 75. Contenuti di acqua nel terreno (% volume) a diverse profondità sotto il regime dell'irrigazione ridotta (50/40%).....	197

1. INTRODUZIONE

L'agricoltura è un'attività primaria che, coinvolgendo risorse naturali e organismi viventi, ha accompagnato l'evoluzione del genere umano da oltre 11.000 anni determinando effetti di tipo ambientale, sociale ed economico.

È praticata ovunque, interessa ben il 37% delle terre emerse, fornisce i prodotti essenziali per la vita di ogni essere umano e, interagendo con i processi di sviluppo e con le risorse naturali, contribuisce a determinare direttamente o indirettamente le caratteristiche ambientali di ogni territorio.

In quest'ottica, l'agricoltura può essere considerata un elemento chiave su cui basare il concetto di sostenibilità inteso nella sua accezione multidimensionale.

Le attività agricole devono essere praticate in modo da assicurare il miglior compromesso possibile tra le diverse esigenze umane e la necessità di salvaguardare le risorse naturali necessarie al loro soddisfacimento.

L'agricoltura, forse più di altre attività umane, risente dei cambiamenti climatici indotti dagli incrementi nell'atmosfera di anidride carbonica e altri gas in grado di causare "l'effetto serra" con aumenti delle temperature dell'aria (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC 2023) e gravi problemi di disponibilità dell'acqua.

Questo sarà particolarmente vero nell'area mediterranea, dove già da anni si è assistito a notevoli cambiamenti del clima e dove per il futuro si prevedono incrementi di temperatura superiori a quelli medi globali, specialmente in estate con ondate di caldo e periodi di siccità (Olesen and Bindi 2002; Giorgi and Lionello 2008). Per il bacino mediterraneo si prevede, infatti, che le temperature medie nel periodo 2021-2050 potrebbero aumentare di 2,5°C (IPCC 2023). Un tale aumento avrà un impatto diretto sul ciclo dell'acqua e in particolare sull'evapotraspirazione, che rappresenta il processo di trasferimento simultaneo dell'acqua dal sistema pianta all'atmosfera (Allen et al. 1998). Uno studio condotto in Emilia-Romagna nel 2021 ha messo in evidenza come, nel periodo 1981-2005, l'incremento di temperatura media dell'aria di 1,0 - 1,5°C abbia comportato un incremento medio dell'evapotraspirazione del 4,0 - 5,4% (Ben Hamouda et al. 2021).

Il cambiamento climatico, pertanto, ha notevoli conseguenze su uno sviluppo sostenibile dell'agricoltura e delle attività connesse, già considerate ad alto consumo di risorse naturali rispetto all'uso industriale e civile ma minacciate anche da molti eventi negativi quali la distruzione accelerata di queste risorse; ad esempio, 2/3 dei terreni coltivati sono stati colpiti da degrado negli ultimi 50 anni (Scarascia Mugnozza 2001), aumento dell'inquinamento di terreno, acqua e atmosfera e declino evidente dell'agro-biodiversità. Per la fine del secolo,

si stima che i livelli attuali del consumo di acqua per l'irrigazione aumenteranno di 2-3 volte (Huang et al. 2019), sia per compensare i più elevati livelli di evapotraspirazione (Beringer et al. 2020) sia per l'effetto combinato dell'aumento della popolazione e dell'uso dei terreni. Il sesto rapporto dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2023) evidenzia che il 93% delle conseguenze del cambiamento climatico riguarderà il settore dell'acqua. Tale cambiamento sta già alterando la distribuzione delle precipitazioni a livello regionale e stagionale con inondazioni sempre più frequenti e periodi di aridità.

Le risorse idriche sono in fase di rapida diminuzione a fronte di una rapida crescita demografica che, oltre a ridurre la disponibilità di acqua per persona, ha conseguenze negative sull'intero ambiente, determinando insieme ai cambiamenti climatici un peggioramento generale della qualità delle acque per diversi fattori concomitanti quali l'inquinamento, l'aumento dei sedimenti dovuti a precipitazioni intense e il danneggiamento delle infrastrutture e del territorio legati a eventi meteorologici eccezionali.

In molte aree del pianeta si esaspera la competizione per l'acqua tra l'industria, gli insediamenti umani e l'agricoltura, che usa molte più risorse idriche di ogni altra attività umana raggiungendo l'87% di quella consumata globalmente (Falkenmark 1989).

In Europa, mediamente, l'acqua disponibile è utilizzata per il 46% per gli usi energetici, il 30% dall'agricoltura, 14% per usi civili e per il 10% per l'industria (*European Environment Agency*, EEA 2014). L'Italia si discosta sostanzialmente dalla media europea con un 49% di acqua utilizzata dall'agricoltura, il 21% dall'industria, il 19% per usi civili e infine l'11% per la produzione di energia idroelettrica e per il raffreddamento delle centrali (Istituto Nazionale di Statistica, ISTAT 2019).

La disponibilità di acqua (agricoltura, industria e civile) in molti Paesi del bacino mediterraneo, compresa l'Italia centro-meridionale, è già ora critica ed è prevedibile che le difficoltà aumenteranno per il futuro (ISMEA-IAMB 2009).

Il clima mediterraneo è caratterizzato da elevata radiazione luminosa, alte temperature primaverili ed estive dell'aria e alta domanda evapo-traspirativa, per cui nel passato l'orientamento in frutticoltura era la scelta di specie tolleranti all'aridità quali ad esempio olive o mandorlo, ma negli anni '60 si è assistito a un'estensione delle coltivazioni di specie frutticole che necessitano regolarmente di irrigazione, con conseguenti problemi di gestione dell'acqua e più in generale delle piante dal punto di vista agronomico e fisiologico (Xiloyannis et al. 2012a).

In queste condizioni, è sempre più urgente adottare misure di razionalizzazione dell'irrigazione in agricoltura al fine di ridurre i volumi impiegati e ancor più aumentarne l'efficienza, con l'obiettivo contemporaneo di migliorare la qualità del prodotto.

In frutticoltura, l'actinidia - specie originaria dalla Cina ma diffusa in diverse aree geografiche del mondo - è una coltura a elevato consumo idrico. In Italia, soprattutto nelle regioni centro-meridionali con clima semi-arido e condizioni di scarse precipitazioni (attorno ai 500 mm) durante la stagione vegetativa, l'irrigazione è indispensabile per una crescita ottimale dei frutti e per fornire buone produzioni per ettaro, con consumi di volumi irrigui annuali che possono raggiungere i 10.000 - 12.000 m³ a ettaro (Buono et al. 2022, Holzapfel et al. 2000), rispetto ad altre specie come albicocco e pesco che in cultivar a maturazione precoce raggiungono rispettivamente i 5.700 m³ e 6.100 m³ (Dichio et al. 2020). Si tratta di volumi estremamente elevati che, in una situazione di generale riduzione delle disponibilità idriche, dovrebbero essere ove possibile contenuti o comunque razionalizzati, anche perché gli eccessi idrici possono essere una concausa di una situazione di deperimento della coltura nota come la “moria del kiwi”. Questo fenomeno, caratterizzato da un improvviso ed esteso appassimento delle piante, è stato segnalato in Italia per la prima volta nel 2012 (Tacconi et al. 2014, Tosi et al. 2015) ed è molto diffuso per ora soprattutto nel Nord Italia (Rigo 2023).

Come in tutte le colture frutticole, anche per l'actinidia accanto all'irrigazione ci sono numerosi altri importanti fattori colturali coinvolti nella produzione: potatura, impollinazione, diradamento, concimazione e difesa fitosanitaria. Tra questi assume un ruolo molto importante il diradamento, in quanto influisce direttamente sulla produzione dal punto di vista quantitativo e qualitativo e in quanto essendo un'operazione prevalentemente manuale richiede scelte di tipo tecnico sul periodo e sulle modalità di effettuazione.

Nell'ambito della razionalizzazione degli interventi colturali, l'agricoltura di precisione offre gli strumenti e le tecniche non solo per aumentare l'efficienza di fattori della produzione costosi e disponibili in quantità limitata, ma anche per migliorare la crescita delle piante e dei frutti rendendoli meno suscettibili a patogeni e parassiti, per contenere e rendere più efficiente l'uso della manodopera nel frutteto, evitare lussureggiamenti e crescite disformi e infine migliorare l'allocazione del carbonio verso i frutti e l'accumulo negli organi di riserva e riproduttivi.

1.1 Actinidia

1.1.1 Inquadramento botanico e storico

1.1.1.1 Il genere *Actinidia*

Il genere *Actinidia*, comunemente conosciuto come “kiwi”, o “kiwifruit”, appartiene alla famiglia delle *Actinidiaceae* e comprende circa 54 specie e 75 taxa (Ferguson 1984, Wang and Gleave 2012, Ferguson 2013).

La maggior parte delle specie è originaria della Cina, mentre poche specie si trovano allo stato naturale in paesi limitrofi quali Giappone, Nepal e Vietnam (Huang et al. 2004). L'areale di distribuzione naturale del genere *Actinidia* si estende, pertanto, su latitudini comprese tra i 10° e 50° nord. La grande variabilità di condizioni oro-pedologiche e climatiche del vasto areale di estensione (che copre ben 40 paralleli) ha contribuito all'evoluzione di un pool genetico molto ampio, favorendo lo sviluppo di molte specie adatte alle diverse condizioni ambientali, anche con frequente ibridazione tra le specie (Ferguson 2013). La diversità genetica più elevata si riscontra nella Cina meridionale (25° - 30° nord), specificamente nelle zone calde e umide tra il fiume Yangtze a nord e il Fiume delle Perle a sud (Liang 1983, Ferguson & Huang 2007) (Figura 1).



Figura 1. Areale di origine di *Actinidia chinensis* nella Cina sud-orientale
Area of origin of *Actinidia chinensis* in Southeastern China

Tra le specie oggi coltivate, *Actinidia chinensis* (Planch.) è quella economicamente più importante, mentre *Actinidia arguta* (Sieb. et Zucc., Planch. ex Miq.), *Actinidia kolomikta* (Maxim. et Rupr., Maxim) e *Actinidia eriantha* (Bentham) sono coltivate a livello minore (Ferguson and Huang 2007, Ferguson 2013).

Le due varietà che dominano il mercato globale, *A. chinensis* var. *chinensis* e *A. chinensis* var. *deliciosa*, hanno avuto entrambe origine nella zona tra i due fiumi ma occupano però ambienti diversi. Mentre la var. *chinensis* è nativa delle zone più calde della Cina orientale, la var. *deliciosa* è diffusa allo stato naturale nel più freddo entroterra, preferendo ambienti umidi e protetti con temperature minime inferiori a -10° e massime che non eccedono +40°. Anche all'interno dello stesso areale, le due varietà preferiscono ambienti diversi, con var. *chinensis* che cresce nelle zone basse mentre var. *deliciosa* in quelle più elevate.

Gli studi botanici sul genere *Actinidia*, iniziati meno di 200 anni fa e che sono oggi integrati anche con tecniche citologiche e molecolari, hanno comportato più volte la necessità di rivedere l'inquadramento tassonomico delle diverse specie. Planchon (1847) aveva descritto tutti i frutti identificati come "kiwi" come un'unica specie (*Actinidia chinensis*), ma studi successivi hanno messo in evidenza l'esistenza di notevoli differenze tra gli individui per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche vegetative, dei fiori e dei frutti e il grado di ploidia (Liang 1975, Liang and Ferguson 1986). Infatti, il genere si contraddistingue per la sua elevata variabilità di ploidia, con individui diploidi, tetraploidi, esaploidi e anche octoploidi (Ferguson and Huang 2007), con numero di base di cromosomi $n=29$ (Rey et al. 2020, Huang et al. 2004).

Per quanto riguarda le specie oggetto di coltivazione nel mondo, nel 1975, *A. deliciosa* (descritta da Chevalier nel 1941) fu classificata da Liang come varietà di *A. chinensis*, ma una revisione condotta dieci anni dopo da Liang and Ferguson (1986) rilevò l'esistenza di differenze tra le due specie tali da giustificare una separazione di *A. deliciosa* (esaploide) da *A. chinensis* (diploide e tetraploide). La conseguente riorganizzazione del quadro tassonomico, valida fino al 2016, prevedeva per queste due specie anche l'accorpamento di alcuni taxa intraspecifici:

A. deliciosa (A. Chev) C.F. Liang et A.R. Ferguson (1984):

- var. *deliciosa* (oggi coltivata a livello globale), var. *longipila* e var. *chlorocarpa* (entrambe precedentemente conosciute tassonomicamente come *A. chinensis* var. *hispida*);

A. chinensis Planch.:

- var. *chinensis*, var. *jinggansensis* e var. *rufopulpa*.

Tuttavia, in seguito a ulteriori studi, Ferguson (2016) riporta che si è convenuto di riconoscere *A. deliciosa* e *A. chinensis* come due varietà botaniche di *A. chinensis*. Da un punto di vista tassonomico, oggetto del presente lavoro sono pertanto *A. chinensis* Planch. var. *chinensis* e *A. chinensis* Planch. var. *deliciosa* ((*A. Chev.*) *A. Chev.*) (Huang et al. 2013).

1.1.1.2 Caratteristiche morfologiche e qualitative dei frutti di Actinidia

La diversità degli ambienti che nel corso dei millenni ha influenzato l'evoluzione delle specie e dei taxa di *Actinidia*, ha portato a una moltitudine di variazioni fenotipiche e qualitative dei frutti, a livello inter- e intra-specifico, soprattutto relative al peso e alla forma del frutto e a caratteristiche quali colore e pubescenza dell'epidermide (Figura 2).

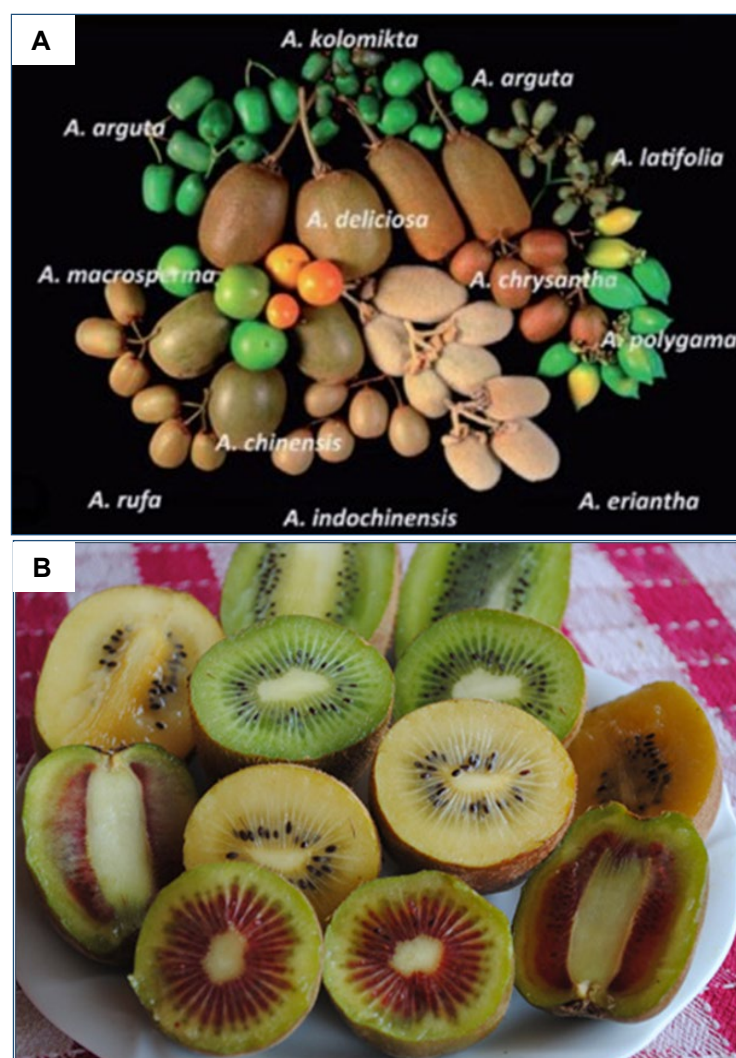


Figura 2. Variabilità morfologica dei frutti (A) e del colore della polpa (B) in *Actinidia*
 Variability in fruit morphology (A) and in colour of fruit flesh (B) in *Actinidia*

- fonte/source: Fideghelli 2023 (A), Cacioppo 2020 (B)

Per quanto riguarda il colore della polpa, la maggior parte dei taxa botanici, tra i quali la var. *deliciosa*, produce frutti con polpa verde (anche se in diverse tonalità), mentre in alcune altre (ad es. var. *chinensis*) i frutti sono di color giallo, più o meno intenso. La pigmentazione rossa della polpa è una caratteristica rara e attualmente molto richiesta nei programmi di miglioramento genetico, che è stata osservata (di color verde ma con corona rossa intorno al cuore) in *A. chinensis* var. *rufopulpa*.

Anche relativamente alle caratteristiche nutrizionali e chimiche dei frutti, il genere *Actinidia* presenta un'elevata variabilità. Tuttavia, l'actinidia è generalmente caratterizzata da elevati contenuti in Vitamina C (eccedendo di gran lunga altre specie frutticole come l'arancia o il melo), minerali (soprattutto calcio, magnesio, fosforo e potassio) e fibre (Huang et al. 2004).

Tabella 1. Caratteristiche morfologiche e qualitative osservate in 55 specie di *Actinidia* presenti nel database dell'Actinidia Research Center del Wuhan Botanical Garden, CAS, Cina

Morphologic and qualitative characteristics observed in 55 Actinidia species present in the database of the Actinidia Research Center, Wuhan Botanical Garden, CAS, China

Carattere	Espressioni riscontrate
Forma del frutto	15 forme diverse (globoso, globoso-ovato, globoso ovoidale, globoso appiattito, globoso allungato, oblungo, ellissoidale, cilindrico coro, cilindrico, ovoidale, ovato-cilindrico, cilindrico allungato, cilindrico lungo, cilindrico-ovoidale, conico allungato, conico-ovato)
Peso del frutto (g)	0,5-200
Colore dell'epidermide	14 tonalità diverse (giallo verdastro, giallo marrone, giallo scuro, arancione, marrone chiaro, marrone, marrone rossastro, rosso chiaro, rosso, porpora, verde chiaro, verde medio, verde scuro, verde-marrone)
Pubescenza dell'epidermide	assente-presente; Consistenza: ruvida-media-morbida; Colore: 8 tonalità diverse (bianco, grigio, giallo, marrone giallastro, marrone medio, marrone scuro, verde)
Colore della polpa	9 tonalità diverse (giallo, verde giallastro, verde chiaro, verde medio, verde giada, verde scuro, verde con cuore rosso, arancione, marrone)
Dimensioni del cuore	piccolo-medio-grande
Dimensione e numero dei semi	piccoli-medi-grandi; pochi-medi-molti
Succosità	bassa-media-elevata
Sapore	7 tonalità diverse (dolce, dolce-acido equilibrato, dolce acidulo, acido dolciastro, leggermente acido, acido, molto acido); altre caratteristiche riportate: fragrante, aromatico, astringente
Vitamina C (mg/100g)	5-2.140
Solidi solubili (%)	3-25
Acidità titolabile (%)	0,2-2,9
Zuccheri totali (%)	1,5-13,2
Amminoacidi (%)	2,04-7,93

-fonte/source: Huang et al. 2004

Negli anni '90 del secolo scorso, l'Istituto di Botanica di Wuhan, appartenente alla *Chinese Academy of Sciences* (CAS) ha condotto un programma di caratterizzazione morfologica e chimica di individui rappresentativi di una gran parte del pool genetico di *Actinidia* della Cina. La **Tabella 1** riporta sinteticamente i risultati.

1.1.1.3 La diffusione dell'actinidia nel mondo

In Europa, le piante di actinidia vennero descritte in modo formale nel 1847 sulla base del materiale introdotto alcuni anni prima da Robert Fortune a seguito di una spedizione organizzata in Cina dalla *Royal Horticultural Society* di Londra, senza che però ci fossero ulteriori sviluppi (Ferguson and Bollard 1990).

Solo verso la fine del 19° secolo si osservò un rinnovato interesse verso la flora locale cinese dei botanici europei e nordamericani, in particolare di Augustine Henry che, in servizio per la Dogana marittima cinese in un piccolo porto sullo Yangtze River (Yichang), si interessò dell'origine e dell'uso di molte piante cinesi segnalando tra l'altro l'actinidia quale specie avente una notevole potenzialità per la coltivazione (Henry 1983).

Tra il 1840 e il 1905 un famoso vivaio di Londra, *James Veitch & Sons LTD*, inviò in diverse parti del mondo ricercatori di nuove specie botaniche e tra questi anche E.H. Wilson, che esplorò diverse aree occidentali della Cina e incontrò Augustine Henry, ricevendo importanti informazioni e assistenza nell'individuazione di nuove specie da introdurre in Europa.

Tra il numeroso materiale di propagazione inviato in Inghilterra vi erano anche molti semi di actinidia le cui piante, probabilmente della specie *A. deliciosa*, furono presentate nel 1904 con il catalogo della *James Veitch & Sons LTD* (1904).

Sfortunatamente, si trattava di sole piante maschili, per cui solo nel 1911 fu possibile ottenere i primi frutti da altre piante nate da semi. La chiusura del vivaio e lo scoppio della Prima guerra mondiale impedirono momentaneamente la diffusione in coltivazione della specie. Pochi anni prima, semi di actinidia vennero importati anche in Francia da un certo P.P. Guillame Farges, componente di una missione di esplorazione nel nordest della Cina (Ferguson 2004).

Contemporaneamente alla diffusione nel Vecchio continente, l'actinidia nel 1904 venne importata anche negli Stati Uniti (Fairchild 1913) e in Nuova Zelanda (Atkins 1948). Proprio in Nuova Zelanda, nel 1930, venne allestito il primo impianto commerciale (Ferguson and Stanley 2003, Ferguson and Huang 2007), dove la specie incontrò condizioni ambientali estremamente favorevoli tanto che il lavoro vivaistico svolto in quel Paese dal botanico

Alexander Allison tra gli anni '20 e '30 del secolo scorso portò alla costituzione della maggior parte delle cultivar attualmente note (Ferguson and Bollard 1990).

Fino al 1950 la produzione neozelandese era destinata al solo mercato interno, ma successivamente le esportazioni verso gli altri continenti fecero sì che l'actinidia assumesse una notevole importanza globale, anche dal punto di vista commerciale (Ferguson 2004).

Sull'onda del grande successo neozelandese la coltura si diffuse negli altri Paesi: in America, ad esempio, venne costituita nel 1972 la *California Kiwifruit Growers Association*, che promosse lo sviluppo della coltura fino a farne degli Stati Uniti il terzo produttore mondiale. In Italia le prime piante di actinidia (*A. deliciosa*) vennero messe a catalogo da un vivaio in Sicilia (Giardino Allegra di Catania 1934; Youssef e Bergamini 1979); successivamente, piante di questa specie ottenute da seme e provenienti dalla Francia furono coltivate in Trentino (Fenaroli 1971, Fenaroli et al. 1978) e piante di diverse specie di actinidia in diversi giardini botanici (Zuccherelli e Zuccherelli 1981).

L'interesse verso l'actinidia come nuova specie frutticola in Italia crebbe ulteriormente a partire dal 1967 grazie al lavoro di numerosi agronomi e ricercatori, con la costituzione di molti campi dimostrativi in diverse aree frutticole italiane (Coggiatti 1967 e 1971, Soyez 1968, Caraffini 1971, 1973, 1975, Fenaroli 1971, Fenaroli 1972a e 1972b, Mesirca 1973, Zuccherelli 1974).

Un primo impianto di tipo commerciale fu costituito nel 1971 a Latina, ma con risultati negativi perché era stato allestito in serra nell'errata convinzione che la nuova specie avesse esigenze climatiche di tipo tropicale (Cacioppo 2006). Miglior fortuna ebbero gli impianti a Rovigo, in Veneto (Bonini 1973) e a Pordenone in Friuli Venezia-Giulia (Testolin and Ferguson 2009).

Inizialmente, ci furono problemi con il materiale di propagazione, dovuti a mescolanza di piante femminili e maschili e a errori nella corrispondenza varietale (Zuccherelli 1977, Vitagliano et al. 1983, Bellini e Monasta 1986), oltre a scarse produzioni legate a coltivazione in aree non vocate e a una conoscenza insufficiente delle tecniche di coltivazione (Eynard and Mannini 1978).

Successivamente, i buoni risultati agronomici e soprattutto economici determinarono un rapido incremento delle superfici coltivate con actinidia in Piemonte, Lazio, Veneto ed Emilia-Romagna: dai 40–50 ettari del 1973 (Anonymous 1973) si passò infatti ai circa 600–800 ettari nel 1978.

A partire dagli anni '80 la coltura ha riaccessato nuovamente l'interesse dei frutticoltori, che hanno dato vita, tra l'altro, a iniziative consortili quali il Consorzio Italiano Kiwi o CIK

(1984), portando l'Italia (1985) a divenire il secondo produttore a livello mondiale (Testolin and Ferguson 2009).

Essendo l'actinidia originaria di un'area geografica caratterizzata da un'elevata e regolare piovosità tra 1.000 e 2.000 mm annuali (**Figura 3**), la specie ha caratteristiche morfologiche e fisiologiche della parte aerea e del sistema radicale geneticamente predisposte per abbondanti e costanti disponibilità idriche.

La coltivazione di actinidia nel mondo è in rapido e costante aumento sia per la cultivar Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*) ma ancor più per la specie a polpa gialla, *A. chinensis* var. *chinensis*, e oggi le due specie sono coltivate in condizioni climatiche e pedologiche molto diverse: dagli ambienti freschi e umidi della Nuova Zelanda, dove le precipitazioni durante la stagione vegetativa superano gli 800 mm e la temperatura media raramente supera i 17°C, alle zone centrali della California, dove le precipitazioni sono spesso inferiori ai 300 mm e le temperature medie superano facilmente i 23°C. La diffusione nelle aree di coltivazioni diverse fa insorgere i disordini fisiologici legati agli stress ambientali.

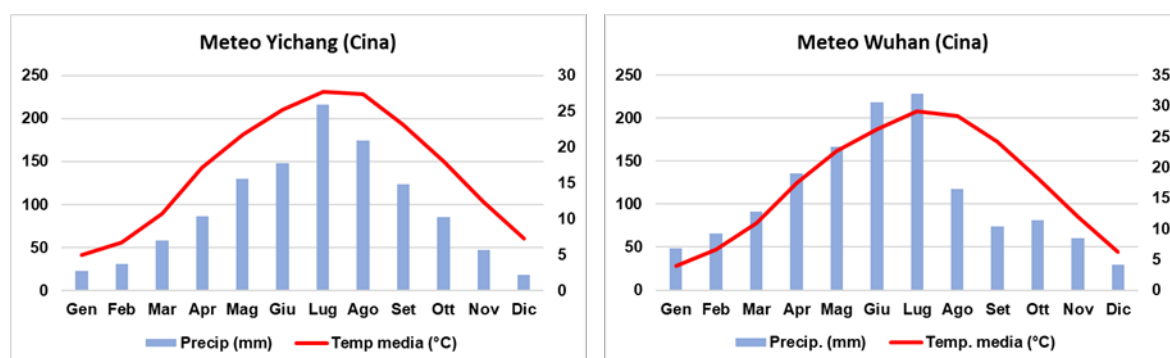


Figura 3. Principali dati climatici delle città di Yichang e Wuhan, situate nella valle del fiume Yangtze, nella Cina sud-orientale

Main climatic parameters of the cities of Yichang and Wuhan, located in the Yangtze valley, in southeastern China

-fonte/source: Wikipedia

Anche l'Italia mostra situazioni climatiche molto diverse, con gli ambienti settentrionali piovosi e freschi in contrasto con quelli meridionali caratterizzati da estati calde con alte temperature e precipitazioni assenti o scarse; conseguentemente, in queste ultime zone l'irrigazione è necessaria per compensare le mancate precipitazioni nella maggior parte delle piante coltivate, evitando gli effetti negativi sui principali processi fisiologici indotti dallo stress idrico (Flexas et al. 1999).

I modelli previsionali climatici di lungo periodo prevedono un'ulteriore riduzione delle disponibilità idriche per l'agricoltura (Katerji et al. 2006), per cui è ipotizzabile che le piante

come l'actinidia, sensibili allo stress idrico, risentiranno della combinazione della siccità con altri parametri meteorologici tipici quali radiazione, temperature elevate e crescenti livelli di deficit di vapore foglia/aria.

1.1.2 La produzione di actinidia a livello globale e italiano

1.1.2.1 Actinidia nel mondo

A livello globale, il kiwi è oggi prodotto in 25 Paesi (**Tabella 2**). Tra il 2010 e il 2021 la superficie totale coltivata è cresciuta di 114.655 ha (+60%) e nel 2021 ammontava a 286.935 ha. La produzione globale ha registrato un'evoluzione simile e nel 2021 ammontava a 1.629.790 t, con un incremento del +64% rispetto al 2010.

Tabella 2. Paesi produttori di actinidia nel mondo: Area coltivata (ha), produzione (t) e quantità esportata (t): 2010 e 2021 a confronto

Kiwifruit producing countries in the world: cultivated area (ha), production quantities (t) and export quantity (t): comparison 2010-2021

	2010				2021				Differenza	
	Area (ha)	Produzione t	%	Export (t)	Area (ha)	Produzione t	%	Export (t)	Area (h)	Produzione (t)
Australia	234	2.996	0,1	586	165	2.543	0,1	594	-69	-453
Bhutan					2	51	0,0		2	51
Bulgaria	18	36	0,0	3.203	50	150	0,0	239	32	114
Canada	4	34	0,0	7	4	27	0,0	27	0	-6
Cile	10.922	244.602	8,6	183.420	7.374	139.560	3,1	150.266	-3.548	-105.042
Cina	98.000	1.250.000	44,1	13.667	199.138	2.380.788	53,3	21.405	101.138	1.130.788
Cipro	7	123	0,0		10	110	0,0		3	-13
Francia	4.045	72.174	2,5	26.082	3.930	46.030	1,0	8.836	-115	-26.144
Georgia					73	1.600	0,0	115	73	1.600
Giappone	2.300	26.500	0,9	6	1.736	21.689	0,5	184	-564	-4.811
Grecia	4.910	89.842	3,2	72.814	12.570	313.390	7,0	163.288	7.660	223.548
Iran	6.935	179.658	6,3	48.850	9.760	294.263	6,6	69.782	2.825	114.606
Israele	188	3.996	0,1		281	6.200	0,1		93	2.204
Italia	24.675	415.877	14,7	369.736	24.850	416.060	9,3	268.077	175	183
Kirghizistan	40	400	0,0		41	406	0,0	23	1	6
Montenegro	25	500	0,0	102	25	500	0,0		0	0
N. Zelanda	13.050	434.120	15,3	406.380	15.523	628.496	14,1	858.455	2.473	194.376
Polonia	1.589	23.903	0,8	9.663	3.470	55.460	1,2	4.457	1.881	31.557
Rep. Korea	688	10.090	0,4	13	536	8.359	0,2	286	-152	-1.732
Slovenia	12	321	0,0	7.404	20	30	0,0	2.564	8	-291
Spagna	1.196	25.676	0,9	11.428	1.640	28.360	0,6	39.469	444	2.684
Svizzera	18	213	0,0	1	26	250	0,0	22	8	37
Tunisia	5	30	0,0		6	34	0,0		1	4
Turchia	1.719	26.554	0,9	61	3.884	86.362	1,9	2.136	2.165	59.808
USA	1.700	29.665	1,1	12.781	1.821	36.380	0,8	13.939	121	6.715
Emisfero Nord	148.074	2.155.592	76,0	575.829	263.873	3.696.500	82,7	594.848	115.799	1.540.908
Emisfero Sud	24.206	681.718	24,0	590.386	23.062	770.600	17,3	1.009.315	-1.144	88.882
Totale	172.280	2.837.310	100	1.166.215	286.935	4.467.100	100	1.604.163	114.655	1.629.790

-fonte/source: FAOSTAT

La Cina è di gran lunga il produttore più rilevante con oltre il 50% della produzione totale, seguita dalla Nuova Zelanda (14,1%), Italia (9,3%), Grecia (7%), Iran (6,6%), Cile (3,1%), Turchia (1,9%), Polonia (1,2%) e Francia (1%), mentre le altre nazioni produttrici insieme contribuiscono per meno dell'1% al totale.

Tra i maggiori produttori, il Cile e la Francia hanno ridotto nel periodo di osservazione sia la superficie sia le quantità prodotte, mentre le altre nazioni hanno incrementato entrambi gli indicatori. In questo contesto, è rilevante il fatto che la Nuova Zelanda e l'Italia, rispettivamente secondo e terzo Paese produttore, abbiano registrato un incremento sia delle superfici coltivate sia delle quantità prodotte nonostante la loro quota di mercato della produzione globale sia diminuita dal 2010. Tale evoluzione sembra ascrivibile al forte incremento della produzione cinese nello stesso periodo.

Guardando alle tendenze della produzione in termini di emisferi globali, il Sud è rappresentato solo da tre nazioni (Australia, Cile e Nuova Zelanda) che, insieme, producono il 17,1% del kiwi globale, una quota in diminuzione di circa il 7% rispetto al 2010.

Relativamente all'esportazione, nel 2021 la Nuova Zelanda era di gran lunga *leader* in termini di quantità (858.455 t), seguita da Italia (268.077 t), Grecia (163.288 t) e Cile (150.266 t). Anche se il kiwi è prodotto da sole 25 nazioni, è esportato quasi in tutto il mondo (186 Paesi) (FAOSTAT). Dall'esame della **Tabella 3** si evince quali siano i Paesi importatori più rilevanti ed è possibile analizzare l'andamento dell'importazione nell'ultimo decennio. La produzione globale importata è aumentata di circa il 33%, da 1.302.102 t nel 2010 a 1.728.598 t nel 2021, con un contributo delle principali nazioni importatrici del 92,3% nel 2021 (+3%) a fronte dell'84,7% nel 2010.

Le maggiori quantità di kiwi esportate sono destinate a Cina e Belgio, seguiti da Spagna, Giappone, Germania e poi da un gruppo composto da Francia, Italia e USA con quantità tra loro simili. È interessante notare che il Belgio, uno Stato molto piccolo, importi quasi la stessa quantità di kiwi della Cina, e che nazioni produttrici quali il Cile e la Nuova Zelanda ne importino soltanto quantità marginali. Poiché tali nazioni sono forti esportatrici, ciò indica che la loro produzione nazionale copre in pieno la domanda intera, mentre i mercati di destinazione più rilevanti sono situati nell'emisfero settentrionale. Infine, si segnala l'aumento della domanda di kiwi in India e in Iraq dal 2010 al 2021 e il contemporaneo declino della domanda nella Federazione Russa.

Tabella 3. *Maggiori Paesi importatori di actinidia, quantità importate e percentuale sull'importazione totale globale: 2010 e 2021 a confronto*
Main kiwifruit importing countries in the world: import quantities (t) and percentage of global import: comparison 2010-2021

	2010		2021	
	t	%	t	%
Arabia Saudita	11.093	0,9	13.137	0,8
Argentina	10.448	0,8	7.455	0,4
Australia*	20.755	1,6	24.571	1,4
Belgio	126.863	9,7	207.576	12,0
Brasile	20.597	1,6	24.822	1,4
Canada*	22.598	1,7	25.455	1,5
Cina*	118.258	9,1	223.323	12,9
Emirati Arabi Uniti	12.168	0,9	16.562	0,9
Francia*	50.733	3,9	87.208	5,0
Germania	121.833	9,4	96.369	5,6
Giappone*	62.963	4,8	118.221	6,8
India	2.112	0,2	67.257	3,9
Iraq		0,0	21.970	1,3
Italia*	53.309	4,1	81.777	4,7
Lituania	19.567	1,5	6.328	0,4
Paesi Bassi	76.669	5,9	74.676	4,3
Polonia*	33.004	2,5	30.215	1,7
Regno Unito	29.798	2,3	31.062	1,8
Rep. di Korea*	28.515	2,2	41.001	2,4
Russia	78.616	6,0	18.129	1,0
Spagna*	124.446	9,6	159.248	9,2
Svizzera*	12.505	1,0	11.931	6,9
Ucraina	14.484	1,1	18.080	1,1
USA*	51.200	3,9	83.835	4,9
TOTALE	1.302.102	84,7	1.728.598	92,3

-fonte/source: FAOSTAT

**Paesi produttori/Producing countries*

1.1.2.2 Actinidia in Italia

Le prime coltivazioni commerciali di actinidia in Italia risalgono agli anni '70, ma la crescita delle superfici della specie inizialmente è stata molto lenta per problemi di varia natura; alcuni legati al materiale di propagazione in quanto assieme a Hayward sono state introdotte altre cultivar (Abbot, Bruno, Monty), alcuni altri a impianti effettuati in aree non idonee, e altri ancora dovuti alle scarse conoscenze sulle esigenze colturali dell'actinidia (Costa and Testolin 2022).

Solo negli anni '80 si è assistito a una rapida espansione della superficie coltivata (**Figura 4**), fino a raggiungere circa i 20.000 ha, pari a 10 volte quella iniziale. Nel decennio successivo l'area coltivata è rimasta pressoché costante o in lieve flessione. Dal 1990 al 2010 c'è stata una crescita continua ma molto più lenta, anche per la presenza del cancro batterico (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, PSA) dell'actinidia (Mazzaglia et al. 2012), fino a raggiungere valori attorno ai 24.600 ha. Successivamente, le superfici sono cresciute in modo limitato o hanno registrato anche delle contrazioni legate alla comparsa della “moria del kiwi” (Tosi e Tacconi 2019; Rigo 2023), fenomeno in progressiva intensificazione che ha colpito molti areali produttivi della Pianura Padana e del Piemonte e ora è presente anche nel Lazio e nella Calabria. Nel decennio 2010-2019 sono stati persi 1.500 ettari nel solo Piemonte e circa 5.000 in provincia di Latina, con una probabile contrazione delle superfici totali del 10% a livello nazionale (Tacconi et al. 2019a, Rigo 2023, Merlo 2023).

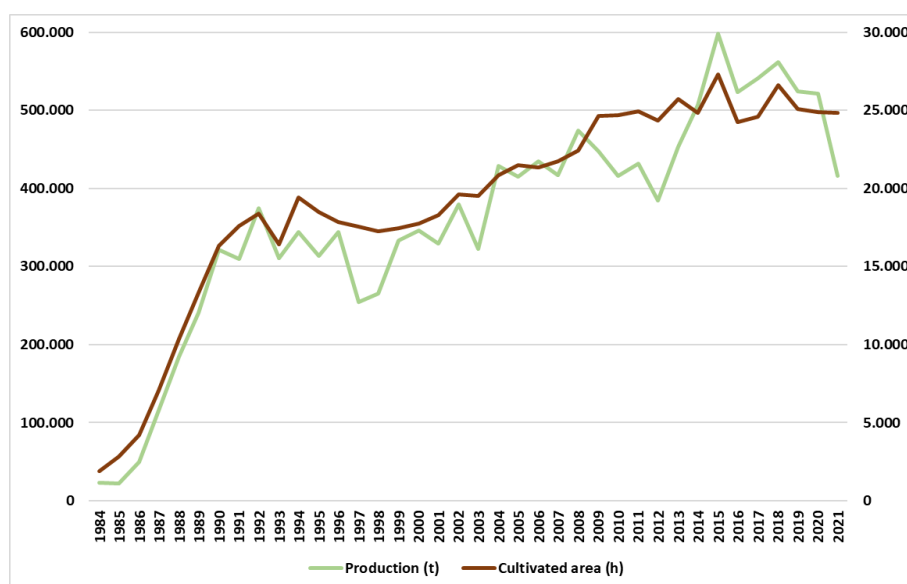


Figura 4. Andamento della coltivazione commerciale dell'actinidia in Italia
Evolution of commercial kiwifruit production in Italy

Per quanto riguarda la produzione, fino al 1990 è cresciuta rapidamente e con lo stesso trend delle superfici, raggiungendo un *plateau* di poco superiore a 300.000 t con ampie oscillazioni annuali. Dal 2000 è ripresa una crescita più lenta ma continua, caratterizzata da oscillazioni annuali relativamente modeste legate agli andamenti climatici. A partire dal 2009, tali fluttuazioni sono state più ampie e imputabili prevalentemente alla batteriosi. La crescita della produzione è continuata fino a raggiungere un tetto massimo di circa 600.000 t nel 2015. Negli anni successivi la produzione si è ridotta ma si è mantenuta, pur con delle oscillazioni, al di sopra delle 500.000 t, tranne che nel 2021 nel quale si registra una forte contrazione a causa di gelate primaverili.

Come si evince dalla **Tabella 4**, inizialmente la coltivazione dell'actinidia ha interessato un po' tutte le regioni italiane, ma con il tempo la sua presenza si è consolidata in sei regioni, in ordine crescente di superficie: Campania 5,8%, Calabria 6,2%, Veneto 12,0%, Piemonte 13,8%, Emilia-Romagna 18,0% e Lazio 35,3%.

La maggior parte delle cultivar oggi coltivate sono brevettate e soggette a vincoli di commercializzazione secondo i quali i produttori, per poter effettuare gli impianti, devono firmare un contratto con il quale si impegnano a consegnare il prodotto al consorzio a cui hanno aderito o comunque a vendere il prodotto con il marchio del consorzio seguendone le direttive e i relativi disciplinari. Attualmente in Italia queste varietà occupano una superficie di circa 5.350 ha (De Marinis 2023) e contribuiscono alla produzione totale per meno del 18%, mentre il resto è costituito da cultivar non brevettate come Hayward.

Tabella 4. Coltivazione di actinidia nelle Regioni italiane: Area coltivata (ha) e quantità prodotte (t). Confronto 2010 e 2021

Kiwifruit production in the Italian regions: cultivated land (ha) and quantities produced (t): Comparison 2021-2021

Regione	2010				2021				Differenza	
	Area ha	%	Produzione t	%	Area ha	%	Produzione t	%	Area (ha) %	Prod. (t) %
Abruzzo	229	1,0	4.218	1,1	173	0,7	3.609	0,8	-24%	-14%
Alto Adige	5	0,0	125	0,3	4	0,0	100	0	-20%	-20%
Basilicata	774	3,4	14.812	3,3	434	1,7	7.605	1,7	-44%	-49%
Calabria	629	2,8	17.871	4,1	1.544	6,2	43.497	10	+145%	+143%
Campania	1.089	4,9	28.254	6,5	1.450	5,8	33.762	7,7	+33%	+19%
E.-Romagna	3.160	14,1	45.967	10,6	4.476	18,1	60.512	13,9	+42%	+32%
Friuli V.G.	6	0,0	99,1	0	491	2,0	3.683	0,8	+8083%	+3616%
Lazio	8.169	36,4	159.631	36,9	8.773	35,3	209.500	48	+7%	+31%
Liguria	13	0,1	116	0	24	0,1	118	0	+85%	+2%
Lombardia	503	2,2	9.084	2,1	658	2,6	7.345	1,7	+31%	-19%
Marche	39	0,2	572	0,1	52	0,2	792	0,2	+33%	+38%
Molise	10	0,0	134	0	23	0,1	475	0,1	+130%	+254%
Piemonte	4.448	19,8	84.725	19,6	3.422	13,8	45.942	10,5	-23%	-46%
Puglia	83	0,4	1.546	0,4	108	0,4	2.300	0,5	+30%	+49%
Sardegna	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
Sicilia	48	0,2	670	0,1	69	0,3	1.051	0,2	+44%	+57%
Trentino	66	0,3	1.212	0,3	65	0,3	1.000	0,2	-2%	-17%
Toscana	128	0,6	1.721	0,4	86	0,3	1.206	0,3	-33%	-30%
Umbria	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
Valle d'Aosta	1	0,0	10	0	1	0,0	20	0	0%	+100%
Veneto	3.038	13,5	61.532	14,2	2.993	12,0	13.523	3,1	-1%	-78%
Totale	22.438	100,0	432.299	100	24.846	100,0	436.037	100	+11%	+1%

-fonte/source: ISTAT

Per quanto riguarda l'evoluzione della produzione delle altre specie frutticole in Italia negli ultimi anni si osserva come dal 2010 al 2021 si è assistito, tranne che nel melo che è rimasto stabile, a una generale contrazione delle loro superfici (Tabella 5), da un minimo del 4% nell'albicocco a un massimo del 33% nel pesco/nettarine, mentre per l'actinidia si è verificato un incremento dell'11%.

Tabella 5. Area coltivata (ha) di alcune delle più importanti specie frutticole in Italia.
Confronto 2010 e 2021
Cultivated area (ha) with some of the most important fruit species in Italy:
comparison 2010-2021

Specie	2010		2021		Differenza	
	ha	%	ha	%	ha	%
<i>Pomacee</i>						
Melo	54.468	21%	54.470	25%	2	±0%
Pero	36.890	14%	26.793	12%	-10.097	-27%
<i>Drupacee</i>						
Albicocco	18.549	7%	17.740	8%	-809	-4%
Ciliegio	29.103	11%	27.756	13%	-1.347	-5%
Pesco/Nett.	83.897	33%	56.548	26%	-27.349	-33%
Susino	12.767	5%	11.983	5%	-784	-6%
Actinidia	22.438	9%	24.846	11%	2.408	+11%
Totale	258.112		220.136		-37.976	-15%

-fonte/source: ISTAT

Parimenti alla riduzione delle superfici si è avuto un calo delle produzioni in tutte le specie (Tabella 6) tranne che nell'actinidia, dove il sopracitato aumento della superficie coltivata dell'11% si è tradotto in un aumento estremamente basso (+1%) della produzione (Sportelli 2022), fenomeno riconducibile ai problemi della “moria” o *kiwi fruit decline* (KWDS), fenomeno osservato per la prima volta in Veneto nei primi anni del 2000 (Tacconi et al. 2015 e 2019b) che ha decimato molti degli impianti in diverse regioni dell'Italia, soprattutto nel nord (Confagricoltura 2020). Più recentemente, la fitopatìa è stata osservata anche in altre aree di coltivazione (Bardi 2020, Ermacora et al. 2020, Donati et al. 2020), raggiungendo nel 2020 i 5.334 ha (Costa and Testolin 2022).

Per quanto riguarda la coltivazione del kiwi nel panorama frutticolo italiano, esso, si colloca agli ultimi posti tra le specie coltivate in termini sia di superficie sia di produzione, seguito solo dall'albicocco e dal susino. Tuttavia, dal punto di vista del valore aggiunto, l'actinidia precede altre specie quali mele, pesche e susine (ISMEA 2023), anche in considerazione del fatto che per ora non ha mai subito crisi di mercato e che i suoi prezzi sono molto

remunerativi, potendo il prodotto essere destinato per il 64,6% all'esportazione (FAOSTAT).

Tabella 6. Produzione (t) di alcune delle più importanti specie frutticole in Italia.
Confronto 2010 e 2021.

Production (t) of some of the most important fruit species in Italy; comparison 2010-2021

Specie	2010		2021		Differenza	
	t	%	t	%	t	%
<i>Pomacee</i>						
Melo	2.221.970	39%	2.225.074	52%	3.103	±0%
Pero	740.409	13%	276.831	6%	-463.578	-63%
<i>Drupacee</i>						
Albicocco	263.516	5%	195.780	5%	-67.737	-26%
Ciliegio	135.398	2%	98.620	2%	-36.778	-27%
Pesco/Nett.	1.629.712	29%	897.723	21%	-731.989	-45%
Susino	217.440	4%	141.837	3%	-75.603	-35%
Actinidia	432.299	8%	436.037	10%	3.738	+1%
Totale	5.640.744		4.271.902		-1.368.844	-24%

-fonte/source: ISTAT

1.1.3 Panorama varietale

Tra le cultivar coltivate quella più diffusa è ancora Hayward a polpa verde, appartenente ad *A. chinensis* var. *deliciosa*. Altre varietà appartenenti a questa specie (Bruno, Monty, Abbot, ecc.) con le quali erano stati realizzati alcuni impianti non hanno avuto seguito, perché i frutti non raggiungevano le dimensioni di Hayward e, soprattutto, non avevano la stessa conservabilità in frigorifero (Testolin e Ferguson 2009).

Da questa cultivar sono derivate, per mutazione o selezione da seme, altre varietà sempre a polpa verde, sia a maturazione precoce quali Summer3373, Early Green, Green Light e Tomua sia tardive quali Top Star, Bo-Erica, Tuscia, Meris, Tsechedelis e altre, che però hanno avuto una diffusione limitata (Fideghelli 2023).

Per quanto riguarda le varietà a polpa gialla (*A. chinensis* var. *chinensis*), la loro introduzione in coltivazione commerciale risale all'inizio degli anni 2000, soprattutto nelle zone centro-meridionali dell'Italia, grazie al loro ridotto fabbisogno in freddo rispetto alle cultivar appartenenti alla varietà botanica *deliciosa*. Tra le più coltivate cultivar gialle si citano Hort 16A, Enza Gold, Soreli, Jintao, Dorì, Goldone, Goldrush, Jinyan, Jinfen e SunGold (Testolin 2014, Costa and Testolin 2022).

Ultimamente, l'attività di miglioramento genetico ha permesso, coinvolgendo *A. chinensis* var. *rufopulpa*, di arricchire l'assortimento varietale anche di cultivar aventi polpa prevalentemente rossa. La **Tabella 7** indica come le epoche di maturazione delle cultivar di attuale interesse agronomico nell'emisfero Nord si verifichino nell'arco di circa 7-8 settimane, tra metà settembre (Dori) e inizio novembre (Hayward).

Tabella 7. Calendario dell'epoca di maturazione delle principali cultivar di actinidia nell'emisfero nord
Ripening calendar of the most important kiwifruit cultivars in the Northern Hemisphere

	Settembre				Ottobre				Novembre			
Cultivar a polpa verde												
Greenlight												
Z5Z3												
Bo Erika												
Meris												
Green Angel												
Hayward												
Green11												
Cultivar a polpa gialla												
Dori												
Soreli												
Jintao												
Jinyian												
HFY02												
HFY01												
SunGold												
Cultivar a polpa rossa												
RK2018												
Oriental Red												
HFR18												

-modificato da/modified from: Costa and Testolin 2022

Dall'analisi sopra riportata delle tendenze globali e nazionali appare chiaro che il kiwi è una componente significativa della frutticoltura italiana, sia in termini di area coltivata e produzione sia di import-export. Tuttavia, la competizione a livello globale sta aumentando e oltre alla Nuova Zelanda si rileva il ruolo della Grecia e dell'Iran, due nazioni geograficamente vicine che hanno aumentato considerevolmente la produzione nell'ultimo decennio. All'interno dell'Italia assume particolare rilievo il Lazio, che contribuisce per oltre un terzo alla produzione nazionale e che ha mostrato una forte crescita tra il 2010 e il 2021.

1.1.4 Descrizione delle cultivar oggetto dello studio

1.1.4.1 SunGold (*Actinidia chinensis* var. *chinensis*)

Questa cultivar, conosciuta anche con i nomi 'Zesy002' e 'G3' e commercializzata come Zespri® SunGold™, è stata ottenuta agli inizi degli anni 2000 in Nuova Zelanda dall'incrocio di due selezioni (51-18-15i.97 × 51-18-20j.97). Selezionata nel 2005 da R.G. Lowe al *New Zealand Institute for Plant & Food Research* di Te Puke, è stata introdotta negli USA nel 2010 (USPP 22,355 del 20 dicembre 2011) e quattro anni più tardi anche nella Comunità Europea, con Decisione n. 37732 del 22 aprile 2014 del *Community Plant Variety Office*, CPVO (*CPVO Plant Variety Register*).

Il costitutore descrive la pianta come medio-vigorosa, molto fiorifera ed esigente di diradamento per assicurare dimensioni soddisfacenti dei frutti. Le fasi fenologiche riportate in Nuova Zelanda sono: il germogliamento avviene agli inizi di settembre (corrispondente a inizio marzo nell'emisfero Nord), la piena fioritura a fine ottobre-inizio novembre (= fine aprile-inizio di maggio nell'emisfero Nord) e la maturazione agli inizi di aprile (= inizi di ottobre nell'emisfero Nord).

La descrizione del frutto riporta una lunghezza di 73,4 mm, un diametro di 54,8 mm e un peso medio di 136 g (se diradato a 46 frutti/m² di chioma), con un grado rifrattometrico di 17,4°Brix alla maturità di consumo (Gasic et al. 2020).

1.1.4.2 Hayward (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa*)

Per questa varietà, coltivata a partire dagli anni '40 e '50 del secolo scorso, non esistono descrizioni ufficiali rilasciate dal costitutore.

Si citano pertanto le osservazioni rilevate su Hayward tra il 2015 e 2018 nella collezione di actinidia presente nel Centro Nazionale di Germoplasma Frutticolo (CNGF) allestita presso l'Azienda Fiorano del Centro di Ricerca Olivicoltura Frutticoltura Agrumicoltura del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA-OFA), ubicato nell'area sud-orientale di Roma, a 30 km dall'Azienda Martella dove si sono svolte le prove oggetto del presente lavoro.

Sotto le condizioni colturali applicate presso il CNGF, la 'Hayward' risulta una pianta di vigore medio che inizia il germogliamento a fine marzo, seguito da piena fioritura a metà

maggio e maturazione per la raccolta (determinata al momento del raggiungimento di 7°Brix della polpa; Reg. CE N. 1673/2004) a fine novembre.

I frutti hanno un peso medio di 89 g, una lunghezza media di 63 mm e un diametro ventrale di 51 mm. I valori dei solidi solubili nel momento della consumazione si registrano a circa 15°Brix (Lolletti D., comunicazione personale).

1.2 Aspetti economici e agronomici dell'actinidicoltura

1.2.1 Criteri di commercializzazione

Il mercato dei prodotti ortofrutticoli è sempre più oggetto di regolamentazioni internazionali e nazionali formulate allo scopo di garantire degli standard commerciali di qualità a tutela del consumatore.

Le diverse normative vigenti (Regolamento di Esecuzione UE 543/2011, UNECE Standard FFV-46 Kiwi-2017) si prefiggono di agevolare le relazioni commerciali fondate sulla concorrenza leale (contribuendo in tal modo a migliorare la redditività), evitare l'immissione sul mercato di prodotto scadente e adeguarlo alle esigenze dei consumatori dal punto di vista delle caratteristiche qualitative.

Il Regolamento di Esecuzione (UE) 543/2011, riprendendo quanto indicato dal Regolamento (CE) 1673/2004, prevede tra l'altro per il kiwi:

1. La definizione del prodotto: Frutti di kiwi delle cultivar appartenenti ad *A. chinensis* e *A. deliciosa* (ora classificate come varietà botaniche, var. *chinensis* e var. *deliciosa* della specie *A. chinensis*) destinati ad essere forniti al consumatore allo stato fresco.
2. Le disposizioni relative alla qualità dei frutti:
 - a. Caratteristiche minime di qualità riguardanti l'aspetto esterno del frutto;
 - b. Caratteristiche minime di maturità. Alla raccolta 6,2°Brix corrispondente a un tenore medio di sostanza secca del 15%. In tutte le altre fasi di commercializzazione 9,5°Brix;
 - c. La classificazione in tre categorie: Extra, I, e II.
3. Le disposizioni relative alla calibratura:

Il calibro è determinato dal peso del frutto. Sono definiti i pesi minimi di:

 - a. 90 g per la categoria Extra;
 - b. 70 g per la categoria I;
 - c. 65 g per la categoria II.
4. Le disposizioni relative alle tolleranze: prevedono in dettaglio soglie di tolleranza di qualità e calibro per ciascun collo
5. Le disposizioni relative alle indicazioni esterne: ciascun collo deve recare all'esterno le seguenti indicazioni: identificazione, natura del prodotto e caratteristiche commerciali.

1.2.1.1 Classi commerciali dei frutti

La distribuzione dei frutti di actinidia in classi commerciali di peso si avvicina molto a una distribuzione normale (Judd and McAneney 1985 e 1987, McAneney et al. 1989, Snelgar et al. 1991 e 1992), anche se a volte può deviare significativamente da tale modello (Burge et al. 1987, Manson et al. 1994).

L'actinidia mostra, come altri fruttiferi, una progressiva riduzione del peso medio dei frutti con l'aumentare del loro numero in pianta (Burge et al. 1987, Richardson and McAneney 1990), ma la relazione tra le sue rese unitarie e il carico produttivo, che è di tipo non lineare, può essere considerata una sua peculiare caratteristica fisiologica (Richardson and McAneney 1990), piuttosto che il risultato di fattori ambientali o culturali.

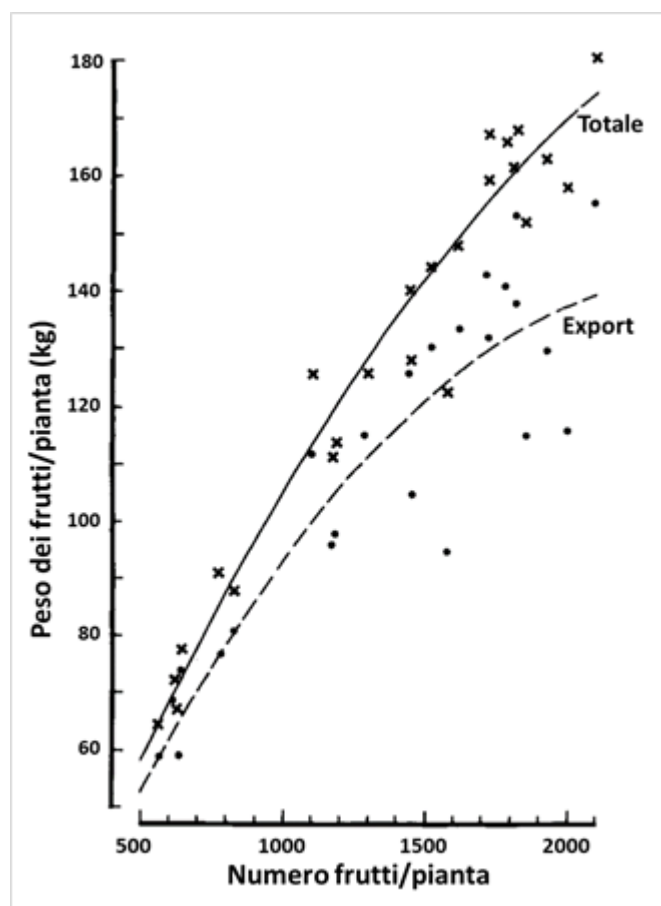


Figura 5. Relazione tra la produzione e il numero dei frutti a pianta in una produzione totale o in una produzione destinata all'esportazione.

Relationship between production and number of fruits per plant in a total production or in a production destined to exportation.

-modificato da/modified from: Burge et al. 1987

La competizione sempre più forte dei mercati a livello nazionale e internazionale si riflette nell'importanza crescente della dimensione dei frutti, per cui è necessario trovare un

equilibrio tra livello produttivo ed esigenze commerciali. Le produzioni a pianta e la relativa distribuzione in peso dei frutti idonee a soddisfare le esigenze commerciali dell'esportazione sono considerevolmente più basse rispetto a quelle potenzialmente ottenibili e la flessione della curva produzione/numero frutti si manifesta a livelli produttivi inferiori (**Figura 5**).

Al di là del rispetto delle normative minime previste per legge, la globalizzazione dei mercati ha determinato la necessità di standard qualitativi più elevati e articolati in funzione delle cultivar e della destinazione finale del prodotto.

I "listini di liquidazione" ai produttori praticati dai centri di raccolta (siano essi privati o cooperative), adottati anche in Italia, fanno generalmente riferimento agli standard Neozelandesi che vengono aggiornati agli inizi di ogni campagna di raccolta. Essi si basano soprattutto sulla dimensione dei frutti intesa come ripartizione in classi commerciali (**Tabella 8**), con quotazioni abbastanza articolate che variano a seconda della cultivar, dell'area di produzione e anche del centro di raccolta.

Tabella 8. Prezzi di liquidazione di Hayward e SunGold, espressi in centesimi di euro per kg di prodotto per ciascuna classe commerciale (Anno commerciale 2021)

Liquidation prices for fruits of Hayward and SunGold (in € cent per kg) in the different commercial classes (Commercial year 2021)

Hayward									
Calibro frutto (g)	65/70	70/75	75/85	85/95	95/105	105/115	115/125	125/150	>150
Liquidazione (€ cent)	45	89	99	120	137	150	160	170	160
SunGold									
Calibro frutto (g)	70/80	80/90	90/100	100/110	110/125	125/145	> 145		
Liquidazione (€ cent)	70	107,5	117	131	150	175	180		

-modificato da/modified from: "Listino liquidazione prodotti invernali" - Apofruit

Per Hayward la classe minima liquidata è 65 g e la classe massima >150 g; in questa cultivar, nella liquidazione commerciale ai produttori l'incremento sostanziale nel punteggio economico per kg applicato ai soci delle cooperative scatta a partire dalla classe commerciale di un peso frutto di 115/125 g.

Per SunGold la classe minima utilizzata è <75g e la classe massima è >180 g; in questa cultivar, l'incremento sostanziale nel punteggio per kg scatta dalla classe 130/140 g.

Da quanto sopra riportato appare evidente che le dimensioni dei frutti determinano il prezzo del prodotto, per cui è fondamentale adottare le tecniche colturali più idonee per incrementare tale parametro.

Poiché a parità di altre condizioni (fertilizzazione, irrigazione) il peso dei frutti alla raccolta diminuisce con l'aumento del loro numero in pianta, la potatura e il diradamento consentono di modificare il carico produttivo e ottimizzare il ritorno economico della coltura.

1.2.1.2 Qualità dei frutti

In Italia, a causa dei prezzi di mercato molto remunerativi, per molti anni dal momento della messa a dimora dei primi impianti commerciali di actinidia si è optato per le produzioni a ettaro che erano molto elevate (Febi 2016), mentre poca attenzione si attribuiva alle caratteristiche qualitative dei frutti, inclusa la loro dimensione.

Con la crescita delle produzioni nazionali e con l'aumento delle esportazioni il comparto si è dovuto confrontare sempre più con la concorrenza di altri Paesi e in particolare della Nuova Zelanda, che ha avviato da tempo una politica di qualità molto forte in grado di condizionare i mercati internazionali (Cooper et al. 1988, Judd and McAneney 1987).

I risultati economici nella coltivazione dell'actinidia, oltre che alla classe di calibro, sono quindi sempre più legati alle caratteristiche qualitative richieste dall'esportazione e agli standard che propone la Nuova Zelanda attraverso le sue organizzazioni di mercato (New Zealand Kiwifruit Growers 2021).

- Sostanza secca

Per quanto riguarda gli aspetti qualitativi dei frutti delle varietà sia a polpa verde sia a polpa gialla, ricerche di mercato sul gradimento di questo frutto condotte da *Zespri Group Ltd* hanno fatto emergere che i consumatori preferiscono frutti di actinidia dolci e di buon sapore, caratteristiche che sono strettamente legate al contenuto in sostanza secca.

Per questo motivo, dal 2001 è stato lanciato il programma “Taste Zespri Grade”, che viene aggiornato periodicamente e prevede che il prodotto venga pagato, oltre che in base al calibro, anche in base a uno standard minimo di sapore (*Minimum Taste Standard*, MTS) che a sua volta si riflette in un valore minimo di sostanza secca del frutto.

Questo valore viene aggiornato in base all'anno e al luogo di produzione e i valori orientativi del contenuto di sostanza secca su un campione di 90 frutti alla maturazione sono $\geq 15,9\%$ per la cultivar SunGold e $\geq 15\%$ per la cultivar Hayward.

In Italia, le principali cooperative e gli operatori del settore adottano questi standard in campo, dove per valutare l'evoluzione della maturazione in preraccolta si effettuano anche

misurazioni di durezza al penetrometro, dei solidi solubili (°Brix al rifrattometro) e del colore della polpa.

La sostanza secca è un elemento della qualità molto importante in quanto oltre ad essere un indice attendibile dello stato di maturazione dei frutti rispetto ai solidi solubili, può essere considerato anche un parametro predittivo della conservabilità dei frutti e della loro qualità finale al consumo (Burdon et al. 2004).

- Durezza della polpa

Per quanto riguarda la durezza della polpa, pur non essendo ufficialmente inserita nel programma qualità della Zespri, essa costituisce un parametro di facile e rapida determinazione in campo per monitorare l'evoluzione della maturazione rispetto ad altri test (sostanza secca, colore polpa) per i quali invece si richiede il supporto di un laboratorio di analisi. Dal punto di vista della fisiologia della maturazione del frutto, la durezza è comunque un parametro importante in quanto ha notevoli conseguenze sulla gestione della conservazione (Benge 1999). Una raccolta anticipata e una durezza iniziale più elevata consentono il mantenimento iniziale della stessa per un tempo più prolungato prima della sua caduta che poi però è rapida e definitiva tale da ridurre notevolmente i tempi di conservazione. Diverso è il caso in cui si ritarda la raccolta con valori di durezza più bassi che da subito calano senza periodi di latenza, ma poi si stabilizzano e restano relativamente costanti nel tempo consentendo una lunga conservazione (Bellavi 2012).

Nella fase finale di maturazione i cambiamenti nella durezza al penetrometro sono peraltro strettamente legati alle variazioni di solidi solubili (°Brix) (Harman 1981) e questa relazione è evidente anche nelle prove in corso.

- Contenuto in solidi solubili

Il contenuto in solidi solubili, indicato come °Brix esprimendo la percentuale di residuo secco rifrattometrico, pur essendo considerato un indice di maturazione di sufficiente affidabilità (Harman 1981) e di facile utilizzo, non può essere considerato valido per tutte le aree di coltivazione del kiwi (Scott et al. 1986), in quanto la sua attendibilità dipende molto dalle modalità di campionamento (Hopkirk et al. 1986, Smith et al. 1994). In alternativa è stato proposto il sopra descritto contenuto in sostanza secca, un test che poiché misura il contenuto totale di carboidrati del frutto rispetto ai solidi solubili, è meno influenzato dalla conversione dell'amido in zucchero (Hopkirk et al. 1994) ed è meglio correlato con la qualità finale dei frutti al momento del consumo.

Aldilà dei sopracitati parametri di qualità di tipo “volontario”, sono comunque rispettati i requisiti minimi previsti dalla normativa comunitaria (Reg. UE 543/2011) e i recepimenti legislativi nazionali della stessa.

1.2.2 Diradamento

1.2.2.1 Controllo del carico di gemme

La produzione nell’actinidia dipende dal numero di gemme, dalla proporzione di gemme fertili e dal peso dei frutti (Buwalda and Smith 1988). Questi tre fattori sono influenzati anche da altre componenti esterne quali le condizioni pedoclimatiche, le tecniche colturali e l’impollinazione. Il carico di gemme per ettaro dipende dal numero di piante per ettaro, dal numero di tralci per pianta e dal numero di gemme per tralcio e può essere ottenuto adottando varie combinazioni di questi fattori (Testolin e Vizzotto 1992).



Figura 6. SunGold: Numero eccessivo di gemme (A), graduale diradamento (B, C)
SunGold: Excessive numbers of buds (A), gradual thinning (B, C)

Le produzioni ad ettaro più elevate sono state raggiunte con 280.000 gemme/ettaro (Testolin 1990), ma i vantaggi ottenibili con più di 200.000 gemme/ettaro sono trascurabili a causa della riduzione dell’efficienza del frutteto, che si traduce in una riduzione del peso dei frutti

e delle classi di calibro più elevate se non vengono intensificate alcune cure colturali (fertilizzazione).

La fertilità delle gemme e il numero di frutti diminuiscono con l'aumentare del numero di gemme per tralcio (Costa et al. 1987, Giorgio et al. 1987), mentre non sono state evidenziate differenze nel peso medio dei frutti (Blanchet 1985 and 1986, Giorgio et al. 1987) tranne che nel lavoro di Costa et al. (1987). La fertilità delle gemme può essere aumentata con trattamenti chimici durante la dormienza, circa due mesi prima del germogliamento (Vizzotto et al. 1996, Costa et al. 1997).

Considerando che nei tralci corti con meno di 6 gemme quelle basali tendono a essere di tipo vegetativo, i valori di fertilità più elevata si ottengono con tralci di 12-18 gemme (Inglese e Gullo 1992, Testolin 1990).

La potatura, in primo luogo quella invernale ma anche quella estiva, pur avendo un ruolo importante nel processo produttivo dell'actinidia, non ne costituisce l'elemento chiave che invece risulta essere il controllo diretto del carico dei frutti nelle sue varie tipologie di esecuzione (Miller et al. 2001).

1.2.2.2 *Bud Thinning*

Si tratta di un primo intervento per il controllo del carico produttivo che può essere realizzato sui bottoni fiorali, appena nell'ambito dell'infiorescenza sono ben visibili e distinti l'uno dall'altro (New Zealand Kiwifruit Growers Inc. 2022).

In ciascuna infiorescenza vengono eliminati manualmente i bottoni fiorali laterali e quelli con difetti (piccoli, deformi ecc.) conservando il fiore centrale (*king flower*) (**Figura 7A**).

Questo tipo di diradamento favorisce l'impollinazione dei fiori che rimangono ed essendo un intervento molto precoce favorisce la divisione cellulare, incrementa l'apporto di carboidrati verso i singoli frutti e ne incrementa le dimensioni e le caratteristiche qualitative (Antognozzi et al. 1991, Burge et al. 1987, Cooper and Marshall 1991a, Lahav et al. 1989, Richardson and McAneney 1990).

Il numero di bottoni fiorali e quindi dei potenziali frutti va dimensionato anche in funzione della superficie fogliare, con rapporto ottimale foglie/frutto di circa 2-3 (Nazir et al. 2020). Considerato che il margine di tempo tra l'evidenziazione dei bottoni fiorali e la fioritura è relativamente breve, è possibile intervenire con gli stessi criteri adottati precedentemente anche sui fiori (**Figura 7B** e **Figura 7C**), anche se in questo caso i tempi di lavoro necessari si

allungano notevolmente a causa della difficoltà nell'individuazione degli elementi da diradare.

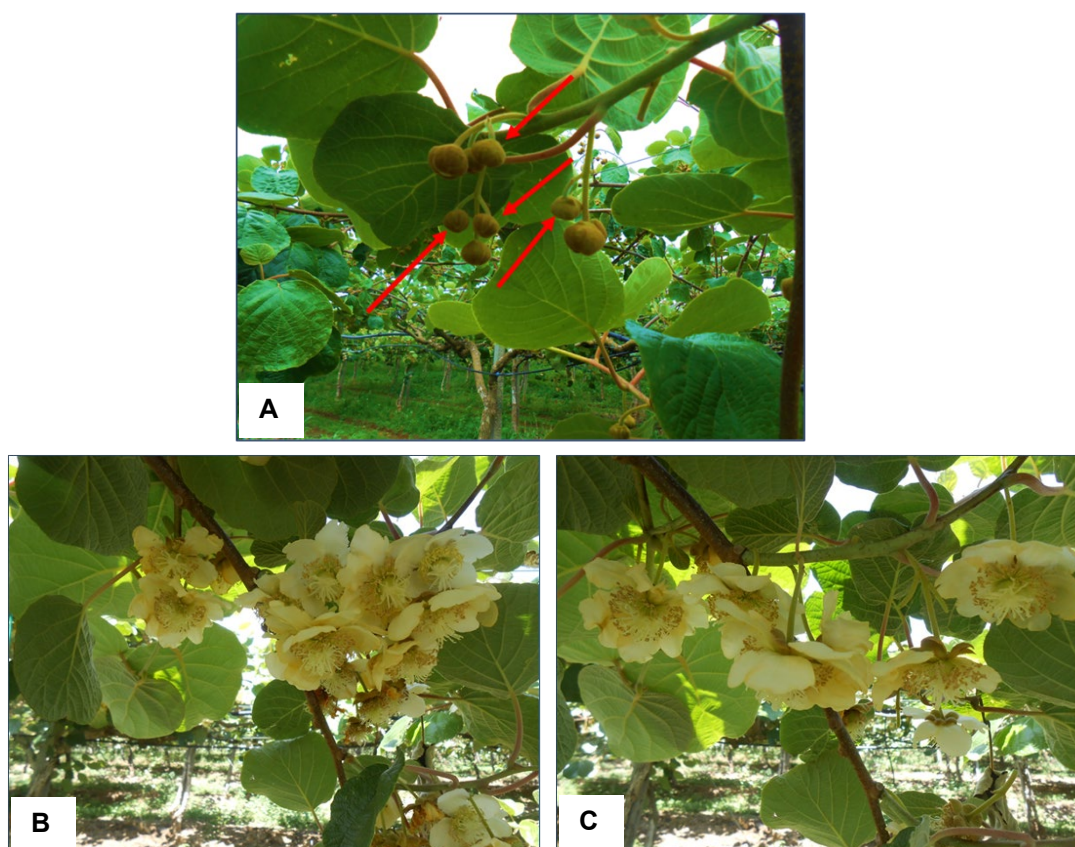


Figura 7. Bud Thinning. A: Eliminazione delle gemme fiorali in sovrannumero; B,C: Intervento correttivo sul numero di fiori

Bud Thinning: A: Elimination of flowering gems; B,C: Corrective intervention on flowers

1.2.2.3 Diradamento dei frutti

Questa pratica colturale per il controllo del carico produttivo degli impianti di actinidia è quella comunemente più utilizzata dagli agricoltori (Hopping 1986).

Per ottenere i migliori risultati dal punto di vista qualitativo (dimensione dei frutti e riduzione dello scarto) sono necessari due interventi. Il primo, eseguito 8 - 10 giorni dopo la caduta dei petali, è finalizzato a mantenere il frutto sviluppatosi dal fiore centrale dell'infiorescenza (*king flower*), all'eliminazione dei frutti laterali o comunque in sovrannumero (lasciando in pianta non più di 2 - 4 frutti per germoglio in funzione dell'intensità del diradamento) e alla rimozione dei frutti deformi se presenti; il secondo, di rifinitura, dopo circa 30 - 40 giorni dalla caduta dei petali, è finalizzato ad assestare il numero definitivo di frutti da lasciare in pianta.

L'effetto positivo sull'incremento della pezzatura dei frutti è tanto maggiore quanto più l'intervento è tempestivo, in quanto la fase di crescita più rapida dei frutti avviene nei primi 50-60 giorni dalla fioritura (Hopping 1976a).

Il diradamento di fiori e/o frutticini può essere manuale o chimico. Quello chimico è stato utilizzato in misura limitata e i risultati con l'acido naftalen acetico (NAA), in *A. deliciosa* cultivar Hayward (Nazir et al. 2020, Assar et al. 2008) e Allison (Thakur e Chandel 2004), sono stati negativi in quanto non ha ridotto in modo efficace il numero dei frutti, e alle dosi più elevate ha determinato fenomeni di fitotossicità.

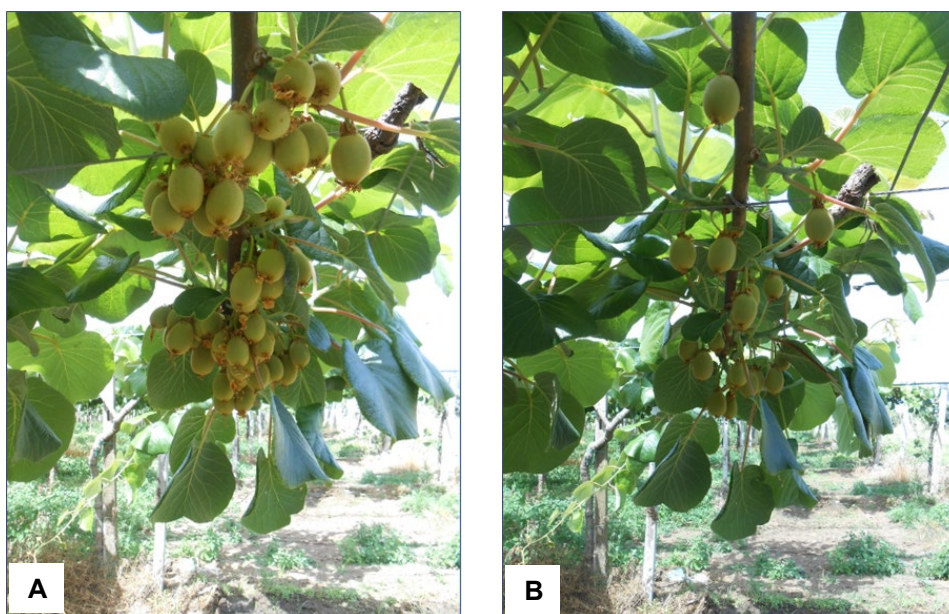


Figura 8. SunGold: intervento di controllo del carico dei frutti (prima e dopo)
SunGold: intervention to control fruit load (before and after)

Il diradamento manuale incrementa la dimensione e la qualità dei frutti (Antognozzi et al. 1991, Burge et al. 1987, Cooper and Marshall 1991b, Lahav et al. 1989, Richardson and McAneney 1990). La sua esecuzione prima della fioritura (*Bud Thinning*) o comunque precocemente durante l'allegagione ha dimostrato la sua massima efficacia in *Actinidia deliciosa* (Antognozzi et al. 1991, Lahav et al. 1989, Thakur and Chandel 2004) per l'incremento della dimensione dei frutti.

1.2.2.4 Aspetti fisiologici

Oltre che dal carico di gemme e dei frutti, l'accrescimento di questi ultimi è controllato da fattori endogeni quali cultivar, numero di semi e livelli ormonali (Hopping 1976b), ma anche

fattori esterni quali temperatura (Morgan et al. 1985a), umidità del terreno (Judd and McAneney 1987) e radiazione solare giocano un ruolo molto importante e giustificano le variazioni negli andamenti delle curve di crescita nella stagione e tra le stagioni (Gallego et al. 1997). Altri fattori includono la disponibilità di luce in grado di consentire la fotosintesi (Grant and Ryugo 1984, Morgan et al. 1985b, Morgan 1988, Snelgar and Hopkirk 1988, Snelgar et al. 1992, Biasi et al. 1993), la struttura della chioma (Costa et al. 1991), la posizione e distribuzione delle foglie (Cooper and Marshall 1991a, Tombesi et al. 1994), rapporto foglie/frutti (Snelgar et al. 1986, Snelgar and Thorp 1988) e l'impollinazione (Hopping 1976b, 1986, e 1990).

Per quanto riguarda l'aumento della sostanza secca nei frutti, diversi autori riportano che in entrambe le varietà botaniche di *A. chinensis* esso è pressoché lineare dalla fioritura alla maturazione dei frutti (Hopping 1976a, Okuse and Ryugo 1981, Walton and De Jong 1990, Tombesi et al. 1993b).

Le variazioni della dimensione dei frutti di anno in anno possono essere anche consistenti. Cooper e Marshall (1990a) riportano variazioni di 20 g nel peso medio dei frutti nell'arco di tre anni in piante con tecnica colturale e carico produttivo simili; Snelgar et al. (1986) hanno trovato una differenza di 17 g in due diversi anni. Tale comportamento rende necessaria una gestione colturale particolarmente attenta ai fini di ottenere con continuità frutti idonei alla commercializzazione.

Non è ben definito cosa determini i cambiamenti di volume e peso dei frutti nel tempo, ma è evidente che le diverse fasi dell'accrescimento sono legate alle attività di divisione ed espansione delle cellule nelle varie parti del frutto. Sicuramente l'accrescimento nei primi 40 giorni dopo l'impollinazione è fortemente condizionato da possibili limitazioni nella disponibilità di foto-assimilati, fenomeno che può essere anche interpretato come basso rapporto foglie/frutti (Cooper and Marshall 1989, Lai 1989a e 1989b).

In Hayward, per ottenere un buon sviluppo ed elevati standard qualitativi dei frutti è necessaria una quantità adeguata di assimilati che possano essere facilmente traslocati verso i frutti. Questo richiede da due a quattro foglie ben esposte alla radiazione solare (Famiani et al. 1997) con un numero di 20 - 25 frutti per m² di superficie fogliare; Minchin et al. (2010) hanno peraltro dimostrato che quattro foglie per frutto non riescono a saturare la crescita del frutto, ma ciò avviene invece con sette foglie, condizione che determina anche il più elevato peso medio del frutto.

Le variazioni stagionali del peso dei frutti alla raccolta sono riconducibili per una quota rilevante (ca il 75%) al periodo iniziale di crescita che si svolge nei primi 50 giorni dopo la

fioritura (Hall et al. 1996). Inoltre, mentre nella maggior parte delle specie fruttifere la differenziazione fiorale avviene nella stagione precedente, nell'*actinidia* avviene circa tre settimane prima del germogliamento (Linsley-Noakes and Allan 1987, Snowball and Walton 1992), e questo comporta l'interazione dei processi a livello cellulare con numerosi fattori ambientali.

Diversi autori (Judd and McAneney 1987, Snelgar et al. 1992, Tombesi et al. 1994, Bebbington et al. 2009) identificano due distinte fasi lineari nella curva di accrescimento del peso fresco dei frutti in Hayward, e anche in Hort 16 (*A. deliciosa* var. *chinensis*), (Richardson et al. 2011), una prima fase iniziale di rapida crescita di 50-60 giorni dopo la fioritura, nella quale si raggiunge approssimativamente metà del volume finale del frutto, seguita da una successiva seconda fase più lenta e lunga di circa 100 giorni fino alla raccolta. Dalle recensioni di Buwalda and Smith (1990) risulta come altri autori interpretino la curva di crescita come una doppia sigmoide, in alcuni casi molto evidente (Hopping 1976a, Van Oostrom 1985, Lai et al. 1989a, Currie 1997), in altri appena pronunciata (Walton and De Jong 1990).

Uno studio morfologico molto dettagliato sull'accrescimento del frutto e dei semi, focalizzato sulla correlazione tra lo sviluppo dei tessuti, la divisione cellulare e l'espansione del frutto è stato condotto nella cultivar Monty (Hopping 1976a), appartenente, come Hayward, ad *A. chinensis* var. *deliciosa*. La curva di accrescimento del frutto misurata come peso fresco (**Figura 9A**) è assimilabile a una doppia sigmoide in cui è possibile distinguere tre fasi: fase 1 (0-60 giorni dopo la piena fioritura (*Days After Full Bloom*, DAFB) in cui si ha un rapido incremento del peso e del volume seguito da un rallentamento della crescita nella fase 2 (60-80 DAFB) e da una successiva ripresa della crescita nella fase 3, fino alla maturazione. L'incremento in peso della sostanza secca invece, a differenza di quello del peso fresco è di tipo lineare (Hopping 1976a).

L'accrescimento del frutto durante la fase 1 è caratterizzato da un'intensa divisione cellulare (**Figura 9B**) del nucleo centrale, del pericarpo interno ed esterno. La divisione cellulare del pericarpo interno ed esterno cessa rispettivamente a 30 e 20 giorni dalla fioritura, ma continua nel nucleo centrale anche se a livello minore fino a 110 DAFB.

L'espansione cellulare comincia in tutti i tessuti immediatamente dopo la fioritura e continua fino al raggiungimento della fase 2 (45 DAFB), nel corso della quale le cellule del pericarpo interno incrementano di quattro-cinque volte la loro lunghezza.

La fase 2 è caratterizzata da una crescita più ridotta del peso fresco, ascrivibile a una brusca riduzione dell'espansione cellulare del pericarpo esterno e del nucleo centrale (**Figura 9C**).

Nella successiva fase 3, la crescita e l'espansione cellulare riprendono fino alla maturazione interessando soprattutto il pericarpo interno.

Lo sviluppo dei semi, misurato come crescita in lunghezza, inizia immediatamente dopo l'impollinazione e continua per 80 giorni (Figura 9D). Nello stesso intervallo, la nocella raggiunge la sua massima dimensione e a sua volta viene sostituita quasi interamente dall'endosperma e dall'endotelio.

Anche nella cultivar SunGold si conferma l'accrescimento in peso dei frutti in due fasi secondo una curva di tipo sigmoideale (Richardson et al. 2011).

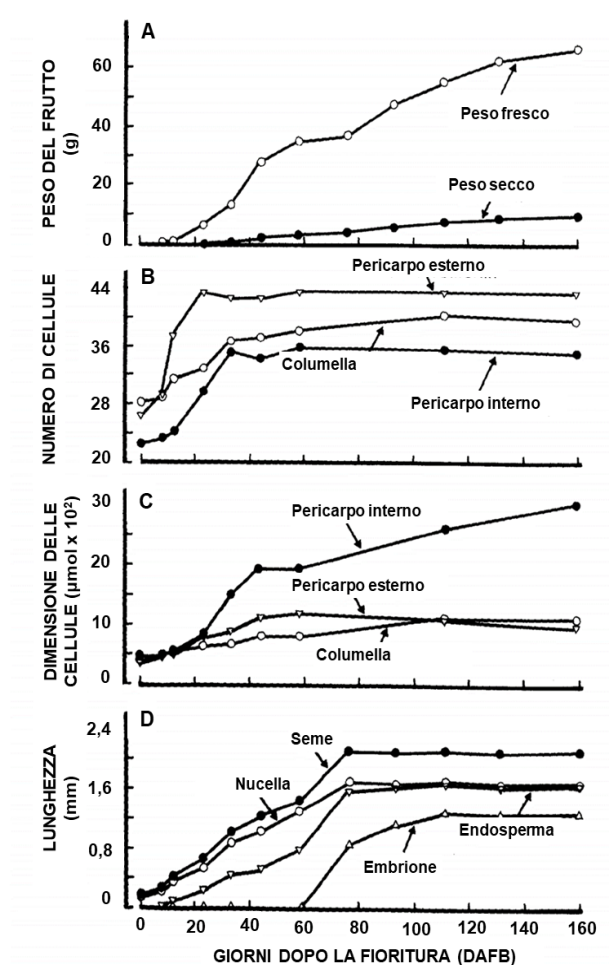


Figura 9. Sviluppo dei frutti (doppia sigmoide) e dei semi nella cv. 'Monty' (A. deliciosa).

A. crescita in peso secco e fresco dei frutti; B. numero di cellule della columella e della parte interna ed esterna del pericarpo; C. dimensione media delle cellule della columella e della parte interna ed esterna del pericarpo; D. accrescimento cumulato della lunghezza dei semi, nucella, endosperma, ed embrione

Development of fruits and seeds in cv 'Monty' (A. deliciosa). A. increase in fresh and dry fruit weight; B. number of cells of internal core, external and internal pericarp; C. medium size of cells of internal core, external and internal pericarp; D. cumulated growth (length) of seeds, nucellus, endosperm and embryo

-modificato da/modified from: Hopping (1976a)

1.2.2.5 Impollinazione

L'actinidia è una specie dioica che per fruttificare necessita dell'impollinazione (Greatti e Barbattini 1997) e l'esito di questo processo influenza direttamente il numero dei semi per frutto, che a sua volta è positivamente correlato con il peso dei frutti (Hopping and Hacking 1983, Pyke and Alspach 1986, Vasilakakis et al. 1997). La fioritura, se le condizioni climatiche sono buone, dura circa una settimana ma dopo 3-5 giorni la fertilità dei fiori si riduce notevolmente (Biasi e Costa 1984).

L'impollinazione può essere naturale tramite il vento (Testolin et al. 1991, Costa et al. 1993), insetti quali in particolare imenotteri e ditteri (Barbattini et al. 1994) o artificiale (King and Ferguson 1991).

Tra gli imenotteri, uno spazio rilevante è occupato dalle api (Marletto 1978, Barbattini et al. 1994). È stato però dimostrato (Palmer-Jones and Clinch 1974, 1975) che l'efficienza delle api nell'impollinazione può ridursi notevolmente per varie ragioni: l'actinidia non produce nettare, ma solo granuli di polline secco e non attraenti; non sempre c'è contemporaneità di fioritura tra piante femminili e maschili; spesso nello stesso periodo si verificano fioriture più attrattive di altre specie vegetali; condizioni climatiche avverse possono ridurre notevolmente il volo delle api.

L'impollinazione artificiale (Famiani et al. 2005) può essere realizzata con il sistema “a secco”, utilizzando direttamente il polline allo stato naturale con o senza vettore o sospendendolo in acqua deionizzata con aggiunta eventuale di attivatori commerciali. Il sistema di distribuzione “a secco” è più simile a quello naturale, in cui il polline viene trasferito dal vento e dagli insetti, e in questa modalità la sua vitalità a temperatura ambiente rimane buona per molti giorni. Al contrario, la germinabilità del polline umido o in sospensione acquosa cala rapidamente dopo un'ora dalla miscelazione. Prove di impollinazione artificiale effettuate in diverse località italiane (Cuneo, Verona, Latina) confrontando i metodi “in acqua” e “a secco” (Tacconi et al. 2013), consentono di trarre alcune conclusioni:

- il metodo “in acqua”, che prevede una miscela di 12 g/l di polline in acqua deionizzata, l'aggiunta di attivatori commerciali (Kiwipollen-New Zealand 2023) e un volume di irrorazione di 50 l/ha, risulta più efficace allo stadio del 30% di fiori con caduta dei petali;
- il metodo “a secco”, con o senza coadiuvanti in polvere (Kiwipollen-New Zealand 2023), che sortisce i migliori effetti alla caduta dei petali, è in generale più efficace,

semplificando anche la distribuzione meccanizzata del polline con l'uso di apposite attrezzature soffiatrici portate o trainate.

1.2.3 Irrigazione

Come descritto nel cap. 1.1.1, l'area di origine delle specie di *Actinidia* attualmente più coltivata è il Sud Est della Cina, caratterizzata da precipitazioni abbondanti ed elevata umidità relativa durante l'intero ciclo annuale di vegetazione delle piante. In queste condizioni ambientali esse hanno sviluppato foglie larghe con un'ampia superficie traspirante e un sistema di vasi xilematici di diametro elevato caratterizzato da alta conducibilità (Condon 1992).

A causa di queste peculiarità, l'actinidia coltivata negli ambienti mediterranei, caratterizzati da elevati livelli di temperatura e luminosità, scarse precipitazioni estive ed elevati deficit di pressione di vapore, richiede elevati volumi idrici (Dichio et al. 2013).

Buono et al. (2022), in uno studio su diverse aziende di actinidia dislocate dal nord al sud dell'Italia, per gli anni 2016-2017 e sulla base di dati di evapotraspirazione di riferimento (ET_o) variabili tra 738 e 1105 mm riportano valori di evapotraspirazione potenziali della coltura (ET_c) rispettivamente di 527 mm e 963 mm, che al netto delle precipitazioni corrispondono a volumi stagionali di circa 3.100 - 9.500 m³/ettaro.

Tali requisiti, in condizioni di scarsa disponibilità della risorsa acqua in un contesto di cambiamento climatico (Döll 2002), determinano anche un fattore critico di gestione colturale, soprattutto del sistema di irrigazione in quanto la specie è particolarmente sensibile a condizioni di asfissia radicale (Smith et al. 1990) per cui gli eccessi idrici in terreni pesanti e mal strutturati possono essere una concausa della "moria del kiwi" (Tacconi et al. 2019a, Ermacora et al. 2020).

Nelle maggiori aree di coltivazione nel mondo dedicate all'actinidia, soprattutto agli inizi della sua introduzione, è stata ampiamente introdotta l'irrigazione localizzata a goccia, ma successivamente si è passati a sistemi misti goccia/spruzzo o solo spruzzo (Monastra et al. 1997).

In entrambi i sistemi gli eccessi di acqua, concentrati in un'area limitata, possono creare situazioni di asfissia radicale e conseguenti disordini fisiologici (necrosi e clorosi fogliari), o nei casi più gravi morte progressiva delle piante ("moria del kiwi").

Emerge quindi la necessità di mettere a punto nuove e più efficienti strategie di irrigazione per aumentare la capacità produttiva delle piante tenendo conto dei meccanismi fisiologici che guidano l'accrescimento e l'accumulo di sostanza secca nei frutti.

1.2.3.1 Aspetti fisiologici

L'actinidia è una specie considerata dissipativa dal punto di vista dell'uso dell'acqua (Buwalda and Smith 1990) e appartiene al gruppo delle piante isoidriche (Xiloyannis et al. 2005) nelle quali, in condizioni idriche ottimali, si ha il trasferimento alle foglie di quasi tutta l'acqua assorbita con lievi variazioni di potenziale idrico fogliare durante il giorno.

Considerando le relazioni idriche fogliari in *A. chinensis* var. *deliciosa*, si è visto che in piante non stressate la conduttanza stomatica (*gs*) mostra una rapida crescita nelle prime ore del mattino, modeste variazioni durante il giorno e poi cala nuovamente alla sera (Judd et al. 1986, Dick 1987). Sono riportati valori di *gs* relativamente elevati (attorno ai 0,2 cm/s) di notte (Judd et al. 1986), con una traspirazione notturna che può superare il 30% di tutta l'acqua utilizzata dalla pianta in 24 ore, a cui vanno aggiunti i *gs* delle prime ore del mattino quando lo stesso è elevato anche con bassi livelli luminosi.

Durante le prime ore del giorno si osserva una scarsa risposta di *gs* alla radiazione luminosa, tra i 25 e 200 mmol m⁻²/s, fenomeno inusuale rispetto ad altre specie, ad esempio il melo, nelle quali la conduttanza stomatica aumenta oltre 400 μmol m⁻²/s (Jones 1983).

I valori di *gs*, inoltre, aumentano di circa il 50% dalla primavera all'estate, un andamento che coincide con l'aumento stagionale della domanda evapo-traspirativa ma è probabilmente spiegato anche dall'invecchiamento delle foglie (Van Oostrom 1985). Considerato che l'aumento stagionale di *gs* massimo nell'actinidia coincide con la diminuzione dei valori massimi della fotosintesi (Kitajima et al. 1997) questo implica un forte decremento stagionale dell'efficienza d'uso dell'acqua (*Water Use Efficiency, WUE*), con $WUE = \text{mol CO}_2 \text{ assimilati/mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O traspirata}$. Le foglie di *A. chinensis* var. *deliciosa* sembrano pertanto inefficienti nell'uso dell'acqua e questo comportamento fisiologico è sicuramente legato al suo habitat di origine, caratterizzato da abbondante disponibilità idrica.

Tale inefficienza appare rilevante nonostante una moderata densità degli stomi (Nuzzo et al. 1987) che la pianta non sembra essere in grado di controllare (Chartzoulakis et al. 1993), a cui si aggiunge anche una cutinizzazione insufficiente dell'epidermide.

I valori di *gs* appaiono non variare fino a potenziali fogliari a mezzogiorno di -0,6 MPa, limite al di sotto del quale le piante si possono considerare non stressate (Judd et al. 1986,

Dick 1987), ma si riduce a $40 \text{ mmol m}^{-2}/\text{s}$ per valori di potenziali fogliari superiori a $-1,2 \text{ MPa}$ (Van Oostrom 1985). Nel caso di stress idrico le foglie appaiono appassite con potenziali fogliari inferiori a $-0,9 \text{ MPa}$, ma gli stomi non si chiudono completamente neppure per potenziali inferiori a $-2,9 \text{ MPa}$.

Gli effetti dello stress idrico sono più marcati sulla fotosintesi che su g_s per cui WUE declina rapidamente appena gli stomi iniziano a chiudersi (Dick 1987).

Lo stress idrico riduce l'accumulo di sostanza secca in tutte le parti della pianta e ha un effetto significativo sulla crescita dei frutti interrompendo il loro aumento in volume (Figura 10).

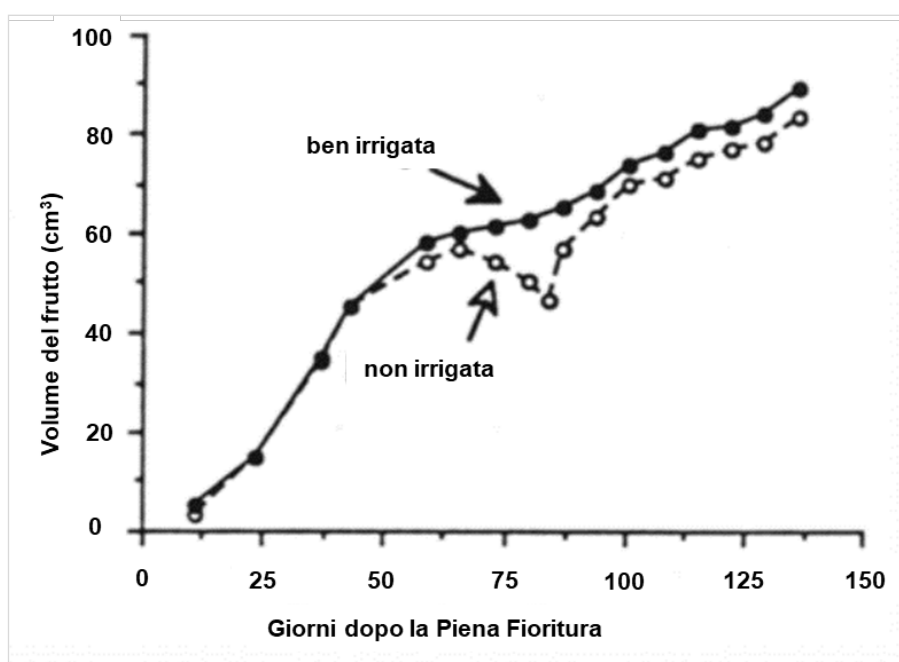


Figura 10. Riduzione della crescita del frutto a causa di stress idrico

Reduction of fruit growth due to water stress

-modificato da/modified from: Green et al. 1990

Eliminando le condizioni di stress idrico la curva di crescita dei frutti riprende normalmente, ma la “perdita” di sviluppo che si è verificata durante la privazione dell’acqua non viene più recuperata (Prendergast et al. 1987, Judd and McAneney 1987, Judd et al. 1989).

Per quanto riguarda le cultivar a polpa gialla (*A. chinensis* var. *chinensis*), la loro gestione in campo si basa normalmente sulle conoscenze e sull’esperienza maturata per Hayward, ma la letteratura, anche se in alcuni casi con pareri contrastanti, evidenzia differenze di comportamento nella fisiologia dell’uso dell’acqua delle due specie (Mills et al. 2009).

Tranne Gucci et al. (1997) che, in una prova in vaso, riporta la capacità di Hayward di conservare l’acqua in condizioni di stress mediante la chiusura degli stomi, altri autori hanno

trovato che questa cultivar ha alti livelli di traspirazione e scarso controllo sulla chiusura degli stomi (Buwalda and Smith 1990, Green et al. 1989, Chartzoulakis et al. 1993, Black et al. 2012). Nella cultivar gialla Hort16A (Mills et al. 2009) indicano un buon controllo degli stomi con riduzione della traspirazione se esposta a stress idrico, risultati confermati anche in un'altra cultivar gialla, la SunGold, da Boini et al. (2022).

1.2.3.2 Indicatori dello stato idrico della pianta

La scarsa disponibilità di acqua è un problema a livello mondiale che coinvolge gli usi civili, industriali e agricoli. In Europa interessa soprattutto i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo, nei quali l'agricoltura negli ultimi decenni ha spesso sostituito specie arido-tolleranti con colture che per essere economicamente sostenibili richiedono elevate quantità di acqua.

Si rileva pertanto la necessità di nuovi approcci nella gestione idrica nelle coltivazioni agricole per salvaguardare tale risorsa e renderne efficiente l'uso. Il primo obiettivo di tali approcci è quello di ridurre l'impiego migliorando le conoscenze sulle esigenze delle colture e sviluppando criteri per una gestione innovativa e precisa dell'irrigazione (Katerji 1997, Katerji et al. 2006).

Umidità del terreno

Gli interventi irrigui basati sulle misure dell'umidità del terreno richiedono la conoscenza di diversi fattori: caratteristiche fisico-chimiche del terreno, sistema di irrigazione adottato, espansione tridimensionale dell'acqua (soprattutto nel caso di irrigazione localizzata), conformazione e distribuzione delle radici nel terreno.

Ai fini della rappresentatività dei reali contenuti di acqua del terreno esplorati dalle radici, l'utilizzo di specifici sensori è in alcuni casi limitato dai costi, dall'accuratezza delle misure e soprattutto dal loro posizionamento (Lekshmi et al. 2014), visto che per le loro caratteristiche costruttive le sonde misurano l'umidità in volumi piuttosto limitati.

Sulla base di questi elementi è possibile scegliere il tipo di sensore da utilizzare (Sample et al. 2016), tenendo conto che ne esistono diversi tipi basati su diversi principi di funzionamento (**Figura 11**).

- **Tensiometri** (**Figura 11A**): misurano il potenziale matriciale del terreno e sono costituiti da un tubo di materiale plastico trasparente, riempito con acqua, dotato di una capsula terminale in ceramica porosa che viene inserito nel terreno. All'estremo opposto un

manometro misura la capacità di suzione del terreno. I tensiometri sono poco costosi, ma richiedono controlli frequenti e misurano soltanto una quota dell'acqua disponibile nel terreno, da 0 (saturato) a 85 kilopascal (kPa);



Figura 11. Diversi sensori e sistemi per la misurazione del contenuto in acqua del terreno

A: Tensiometro standard per utilizzo nelle più comuni tipologie di terreno

B: Sensori capacitivi da inserire nel terreno

C: Sistema basato su tecnologia Time Domain Reflectometry (TDR)

D: Sensore per misure basate sulla tecnologia Frequency Domain Reflectometry (FDR)

Different types of sensors for measurement of water content in the soil

A: Tensiometer to be used in different soil types

B: Capacitive sensor with granular matrix

C: Instrument for measurement of soil humidity based on Time Domani Reflectometry (TDR)

D: Sensor for measurement based on Frequency Domain Reflectometry (FDR)

- Sensori capacitativi (Figura 11B): da un punto di vista costruttivo sono costituiti da un condensatore, tra le cui armature viene inserito un opportuno materiale dielettrico la cui costante dielettrica varia con l'umidità. Il metodo più comunemente utilizzato per la fabbricazione di questo sensore consiste nell'utilizzo di una pellicola di polimero

igroscopico (impiegato come dielettrico) alle cui estremità vengono depositati gli elettrodi delle armature. In fase di rilevamento viene misurata la resistenza elettrica che varia in funzione dell'umidità del sensore stesso, in equilibrio con quella del terreno. Il costo di questi sensori è basso, ma la loro accuratezza e stabilità sono scarse.

- Sistema *Time Domain Reflectometry* (TDR) (Figura 11C): I sensori nel terreno sono costituiti da due o tre elettrodi dai quali passa un segnale elettromagnetico generato da un apposito oscillatore. La velocità e l'intensità del segnale che passa attraverso il terreno è proporzionale al contenuto in acqua. Le misure sono generalmente accurate tranne che in terreni pesanti e argillosi. Il costo dei sensori TDR è elevato e la misurazione richiede più tempo rispetto ad altri sensori;
- Sistema *Frequency Domain Reflectometry* (FDR) (Figura 11D): Si basa sull'invio e ricezione, tramite degli elettrodi, di impulsi elettromagnetici attraverso il terreno e la misura della loro costante dielettrica che cambia in funzione del contenuto in acqua. Il costo di questi sensori è molto inferiore a quelli basati su TDR, le misurazioni sono rapide e la loro accuratezza con calibrazione specifica è elevata ($\pm 1\%$); inoltre, non ci sono limitazioni di dimensione e forma dei sensori che possono essere configurati per misure contemporanee a diverse profondità.

Dati meteorologici

Anche l'utilizzo dei dati meteorologici, per il calcolo dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_o) e dell'evapotraspirazione potenziale di una coltura (ET_c) tramite i coefficienti colturali (Allen et al. 1998), non è priva di complicazioni, che riguardano proprio la calibrazione di questi ultimi sulla base della specie, delle sue caratteristiche vegetative e del sistema di impianto.

Queste sono alcune delle ragioni per cui si è diffuso l'uso di indicatori dello stato idrico basati sulla pianta (scambi gassosi, potenziale idrico, fluorescenza, temperatura della chioma, accrescimenti e variazioni di diametro di parti della pianta) nella gestione più efficiente dell'irrigazione.

Potenziale idrico fogliare

Il potenziale idrico fogliare è sicuramente uno degli indicatori tradizionali più ampiamente utilizzati per monitorare lo stato idrico delle piante, perché, pur non consentendo misurazioni continue e automatiche presenta i vantaggi di essere poco costoso e facilmente utilizzabile

in campo. I valori, se misurati in modo corretto, rispecchiano i livelli di disponibilità idrica del terreno.

Un primo tipo di misurazione può essere effettuato prima del sorgere del sole (*Predawn Leaf Water Potential*, PLWP) cogliendo così una situazione di sostanziale equilibrio tra apparato fogliare, apparato radicale e stato idrico del terreno in un momento in cui, mancando la radiazione luminosa, tutti i processi ad essa legati e in particolare la fotosintesi non sono attivi.

Un altro tipo di misurazione viene effettuato tra le ore 12.00 e le ore 14.00 (*Midday Leaf Water Potential*, MLWP), ovvero quando il consumo di acqua della pianta raggiunge i massimi valori a causa dei valori elevati di radiazione solare, della temperatura e del deficit di vapore dell'aria. L'MLWP si ottiene misurando il potenziale fogliare previa copertura della foglia con un sacchetto opaco ed ermetico che consenta di equilibrare la pressione della foglia con quella del sistema conduttore.

L'acqua compete con l'aria per occupare i pori del terreno la cui dimensione, forma e eterogeneità ne determinano la disponibilità per le piante, trattenendola con una forza definita “potenziale idrico” (ψ). Questo potenziale idrico indica lo stato energetico dell'acqua del terreno; si tratta di una pressione negativa misurata in Pascal (Pa).

Il potenziale idrico fogliare (ψ) è ampiamente utilizzato nella programmazione dell'irrigazione, ma al fine di evitare errori di interpretazione (Garcia Tejera et al. 2021) è necessario tener presente alcuni aspetti:

- il ψ risente non solo dello stato idrico, ma anche di altri fattori quali cultivar, ambiente, tipo di terreno e relazioni tra chioma, tronco e radici soprattutto per quanto riguarda la resistenza idraulica al passaggio dell'acqua (resistenze interna al movimento dell'acqua);
- il PLWP (ψ_{PD}) non è un surrogato del potenziale idrico del terreno, ma una misura integrativa del terreno esplorato e “percepito” dall'intero sistema radicale. È una “media ponderata” delle resistenze del sistema radicale e del terreno relativamente a tutto il suo profilo;
- per programmare correttamente l'irrigazione sia i ψ sia il contenuto di acqua del terreno devono essere monitorati per scegliere il momento e il volume di acqua corretti.

In letteratura esistono numerosi dati sul potenziale idrico fogliare di molte specie da frutto inclusa *A. chinensis*, soprattutto sulla var. *deliciosa*, ma molto più scarsi su cultivar della var. *chinensis* in quanto di più recente introduzione.

Variazioni del diametro del tronco delle piante

È noto da tempo che l'accrescimento degli organi della pianta è uno degli indicatori più sensibili allo stress idrico. In particolare, la misurazione delle variazioni del diametro del tronco (*Trunk Diameter Fluctuation*, TDF) si è sempre più diffuso, con lo sviluppo di sensori elettronici e *dataloggers* in grado di misurare e registrare in continuo tali eventi (Kozlowski 1967) e metterli in relazione alla fisiologia della pianta stessa (Klepper et al. 1971, Molz and Klepper 1972).

Questo ha portato alla proposta dell'uso dei dendrometri per una misura continua dello stato idrico delle piante (Huck and Klepper 1976) utile al processo decisionale dell'irrigazione.

Le misure del TDF riflettono la combinazione di quattro componenti:

- crescita diametrica del tronco (irreversibile);
- idratazione e disidratazione dei tessuti vivi (reversibile);
- dilatazione/contrazione termica (reversibile);
- contrazione ed espansione dei tessuti conduttori morti dovuta alle tensioni interne (reversibile).

Il ciclo di TDF dà origine a tre indici diversi: *Maximum Daily Trunk Diameter* (MXTD), *Minimum Daily Trunk Diameter* (MNTD) e *Maximum Daily Trunk Shrinkage* (MDS), quest'ultimo calcolato come differenza tra MXTD e MNT (Figura 12).

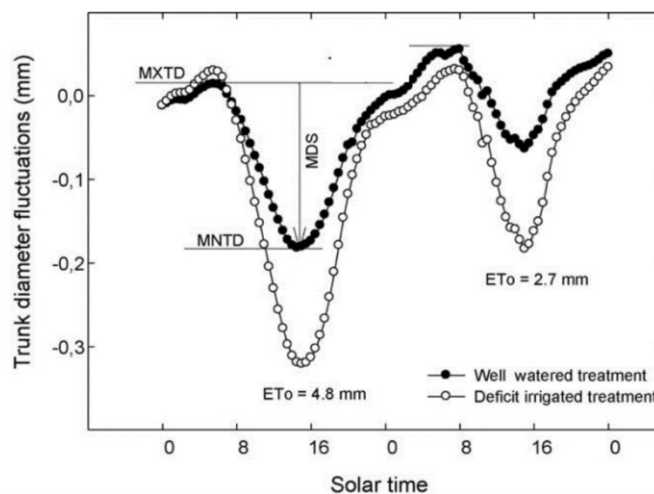


Figura 12. Indici ricavati dalla fluttuazione giornaliera del tronco (TDF): massima (MXTD) e minima (MNTD) variazione giornaliera del diametro del tronco, Maximum Daily Trunk Shrinkage (MDS). Indices deriving from daily trunk fluctuations: maximum (MXTD) and minimum (MNTD) daily variation of trunk diameter, Maximum Daily Trunk Shrinkage (MDS).

-fonte/source: Ortuño et al. 2010

L'elenco dei fruttiferi in cui tale tecnica di misura è stata sperimentata è molto ampio e include il limone (Ortuño et al. 2009), il mandorlo (Feres and Goldhamer 2003; Pagán et

al. 2007), il mandarino (Pagán et al. 2008), il melo (Biel et al 2008, Naor and Cohen 2003), il noce (Fulton et al. 2014), l'olivo (Moreno et al. 2006), il pero (Blanco and Kalcsits 2023), il pesco (Conejero et al. 2007), il susino (Intrigliolo e Castel, 2007) e la vite (Intrigliolo e Castel 2007), mentre non si hanno ancora esperienze dirette per l'actinidia.

L'actinidia ha un sistema conduttore del tronco che si presenta come un anello poroso che consiste di pochi vasi ($20\text{-}30\text{ mm}^{-2}$) con diametro da 150 a 200 μm , mentre in altre specie (drupacee, pomacee, olivo) abbiamo numerosi vasi ($75\text{-}100\text{ mm}^{-2}$), ma di piccole dimensioni (30 - 50 μm) (Xiloyannis e Montanaro 2004).

La presenza di elementi del vaso con pareti trasversali perforate facilita il movimento dell'acqua tra un elemento e l'altro, aumentando il flusso xilematico in quanto le resistenze che l'acqua incontra nel suo percorso assiale sono molto limitate. La conduttività è più elevata negli anelli di crescita più esterni, probabilmente a causa della presenza di vasi con diametro maggiore in questa regione (Condon 1992, Xiloyannis e Montanaro 2004).

1.2.3.3 Sviluppo del sistema radicale nel terreno

Legata ai parametri fisiologici, la conoscenza dell'apparato radicale dell'actinidia è un altro aspetto molto importante per la gestione di tutti gli aspetti culturali legati al terreno, tra i quali la fertilizzazione e l'irrigazione.

La conformazione dell'apparato radicale, assieme alle caratteristiche idrologiche del terreno, ha un'influenza sulla riserva di acqua disponibile e sulla quantità effettivamente utilizzabile da parte delle piante.

L'actinidia cultivar Hayward (autoradicata), nei primi anni, tende a colonizzare (Xiloyannis e Montanaro 2004) il terreno a disposizione più lentamente rispetto ad altre specie frutticole quali il pesco (portinnesto Missouri) e il susino (portinnesto Mr.S.2/5), ma successivamente il sistema radicale può esplorare volumi anche superiori ai 50 m^3 per pianta in funzione delle distanze di impianto e delle caratteristiche del terreno (Hughes and Gandar 1989).

Nei primi anni dopo la messa a dimora, la distribuzione "sferica" delle radici nel terreno riflette la concentrazione delle radici strutturali attorno al fusto dalle quale si originano le radici sottili; successivamente, con l'allargamento delle radici strutturali su un volume di terreno più ampio, tale conformazione tende a dissolversi (Gandar and Hughes 1988) a favore di un'espansione delle radici meno circoscritta.

Da diversi studi è emerso che una pianta adulta di actinidia con più di 8-10 anni di età possiede un ampio apparato radicale strutturale, che si sviluppa radialmente dalla base della

pianta ramificandosi e diminuendo di diametro a mano a mano che aumenta la distanza dalla pianta (Hughes and Gandar 1989). Inoltre, l'apparato radicale di actinidia a quell'età ha una densità (rapporto lunghezza/radici volume) superiore a quella di altre specie da frutto quali pesco e susino (Xiloyannis e Montanaro 2004).

In *A. chinensis* var. *deliciosa*, la conduttanza idraulica delle radici ($3,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{Pa per s}$) e del tronco ($7,2 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{Pa per s}$) è più elevata (McAneney and Judd 1983) rispetto al melo (Beikircher et al. 2013) e a tutte le specie legnose studiate da Heine (1971). Nelle piante di actinidia il tessuto vascolare è costituito da anelli di legno semi-poroso con condotti xilematici aventi lunghezze di 140-160 mm e diametri superiori ai 0,5 mm (Condon 1992) che consentono il trasporto dell'acqua a bassa resistenza (Dichio et al. 1999).

I flussi idrici attraverso il sistema radicale che sono stati misurati sperimentalmente (McAneney and Judd 1983) sono compatibili con la conducibilità idrica a saturazione di molti tipi di terreno e, se questa non è superata, molta parte della superficie radicale deve essere coinvolta nell'assorbimento dell'acqua.

In actinidia, i livelli di assorbimento dell'acqua necessari per soddisfare la domanda traspirativa della chioma, vista l'elevata conducibilità idrica delle radici e del tronco, possono essere soddisfatti a livelli di potenziale idrico del terreno inferiori a -0,05/-0,08 MPa (McAneney and Judd 1983).

Le radici dell'actinidia, se da un lato sono efficienti nel flusso dell'acqua per le loro proprietà idrauliche (Black 2012) e la loro morfologia, caratterizzata da una struttura principale a cui sono collegate radici laterali più piccole che a loro volta terminano con reticoli di capillari molto fini, dall'altro lato sono estremamente sensibili a condizioni di asfissia dovute a eccessi di acqua e carenza di ossigeno (Smith et al. 1988, Valenzuela and Godoy 1990), che provocano appassimenti e necrosi (Savè and Serrano 1986). I problemi di asfissia possono essere più gravi in estate, quando il livello di ossigeno nel terreno è naturalmente più basso e le temperature sono più elevate. La conseguente diminuzione del volume radicale non solo diminuisce l'acqua disponibile per la pianta ma determina anche la necessità di aumentarne il contenuto nel terreno per alimentare la sua traspirazione, in un meccanismo perverso in cui si crea asfissia e un'ulteriore riduzione della superficie radicale assorbente con effetti sempre più negativi per il bilancio idrico della pianta.

Un'estensione del sistema radicale può essere favorita distribuendo in modo più uniforme l'acqua sulla superficie del terreno ed evitando gli eccessi idrici nelle zone di maggiore presenza delle radici nel terreno.

Limitazioni della disponibilità idrica, oltre a modificare le modalità di sviluppo delle radici, possono anche influenzare il modello di assorbimento dell'acqua da parte della pianta, che, mentre utilizza l'acqua della zona umida, allo stesso tempo si estende in zone più profonde e si allarga oltre la zona irrigata per aumentare l'assorbimento dell'acqua (Van Oostrom 1985). Si deve altresì ricordare che in molte aree di coltivazione dell'actinidia si hanno sufficienti precipitazioni in autunno e in primavera, tali da stimolare la crescita delle radici al di fuori delle superfici di terreno interessate dal sistema di irrigazione sia esso localizzato, a goccia o a spruzzo.

2. AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Il concetto di Agricoltura di Precisione (AdP) è stato formulato per la prima volta negli Stati Uniti Stati d'America alla fine del secolo scorso (Pierce et al. 1994, Robert et al. 1994, Stafford 1996, Pierce and Sadler 1997) e successivamente specificato in funzione dell'avanzare delle tecnologie e delle relative conoscenze impiegate per migliorare la gestione e produzione agricola “nel momento giusto, con la quantità giusta e nel luogo giusto” (Università di Lleida).

Oggi, l'*International Society of Precision Agriculture* (ISPA) definisce l'agricoltura di precisione come *“una strategia di gestione che raccoglie, elabora e analizza dati temporali, spaziali e individuali e li combina con altre informazioni per supportare le decisioni di gestione in base alla variabilità stimata per migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse, la produttività, la qualità, la redditività e la sostenibilità della produzione agricola”*.

L'AdP quindi introduce tecnologie in grado di prendere decisioni e attuarle efficacemente per mezzo di diversi strumenti avvantaggiandosi anche del supporto di molte discipline scientifiche (biologia, fisica, ingegneria, statistica ecc.) diverse dall'agricoltura.

Da un punto di vista agronomico, le tecnologie più conosciute e impiegate si possono raggruppare in cinque categorie (Agricolus):

- Strumenti di controllo: permettono di rilevare e comprendere cosa stia accadendo in campo attraverso misurazioni (mappe da satellite o drone, rilievi in campo, analisi del terreno, centraline meteo, mappe di raccolta);
- Strumenti di previsione: consentono di stimare cosa stia accadendo in campo senza una misurazione diretta (previsioni meteo, stima dei fabbisogni irrigui o di fertilizzanti, modelli fenologici e di sviluppo delle fitopatie);
- Strumenti di decisione e prescrizione: aiutano a prendere decisioni *data driven* comparando dati significativi e integrandoli tra loro (mappe di prescrizione, DSS);
- Sistemi di attuazione: permettono di applicare decisioni e prescrizioni a livello di campo (guida parallela, guida automatica, attuatori, tecnologia a rateo variabile);
- Sistemi per la tracciabilità: consentono di tracciare il ciclo di vita del prodotto dal campo al consumatore secondo la strategia “farm to fork” (*blockchain*, telemetria).

L'AdP e la sua più recente evoluzione, definita come "Agricoltura Digitale", rappresenta una modalità di gestione dei processi produttivi primari (agricoli, zootecnici e forestali) che non tiene conto solo dell'esperienza professionale accumulata dall'agricoltore (o allevatore o forestale) ma che integra gli elementi esperienziali con informazioni provenienti da molte altre fonti (Bisaglia 2018).

La determinazione e l'interpretazione della variabilità spazio-temporale di parametri relativi al terreno, alla vegetazione, alla produzione e agli aspetti fisiologici sono dei pilastri fondamentali per l'applicazione di tecniche di Frutticoltura di Precisione (FP). Il monitoraggio di tali variabili può avvenire attraverso l'acquisizione mediante sensori remoti ("*remote sensing*") e prossimali (ovvero, "a contatto").

Una revisione della letteratura (Gago et al. 2015) sul "*remote sensing*" con uso di aeromobili a pilotaggio remoto (APR o droni) e di diversi tipi di sensori ha messo in evidenza, sia in colture estensive sia in vigneti e frutteti, le opportunità offerte da questa tecnologia per il monitoraggio dello stress idrico e rendere più efficiente l'uso dell'acqua, ma anche i suoi diversi limiti. Tra questi, la necessità di acquisire molte immagini per unità di superficie, con conseguente elevato numero delle stesse da elaborare successivamente, anche in assenza di un'adeguata georeferenziazione. Per quanto riguarda le misure dei diversi tipi di sensori per il telerilevamento (termocamere e camere multispettrali), i dati che si ottengono, pur risultando correlati agli indici di stress delle piante oggetto di osservazione, rispondono in modo diverso a seconda delle diverse tipologie di colture. La loro precisione, inoltre, non è risultata ancora ottimale ed equiparabile a quella dei sensori a terra di tipo prossimale.

Il gruppo dei sensori prossimali comprende un insieme di tecnologie di misura in cui il sensore è a diretto contatto con l'oggetto da misurare (terreno, coltura, frutto, ecc.) oppure è a una distanza minore di due metri (Viscarra Rossel et al. 2011). I vantaggi dei sensori prossimali, in modalità *stand-alone* o montati su diverse strumentazioni, oltre alla loro natura poco o non invasiva sono costituiti dalla possibilità di ottenere in tempi rapidi e a costi relativamente bassi una grande quantità di dati che possono anche essere geolocalizzati.

Esempi in tal senso sono i sistemi di determinazione degli scambi gassosi, dell'evapotraspirazione, della fluorescenza, del potenziale idrico e dell'accrescimento di diversi organi vegetativi, o i sensori per misure microclimatiche, misure di radiazione luminosa, dendrometrie, ecc.

Molti di questi sistemi/sensori richiedono calibrazioni "sito-specifiche" e in alcuni casi un'analisi e interpretazione dei dati complessa, soprattutto quando si tratta di tradurre una quantità di dati elevata in indicazioni di tipo pratico e gestionale.

Le tecnologie commerciali attualmente disponibili per le applicazioni in campo, soprattutto sensori, sono al momento poco integrate tra loro e pochi sono i sistemi che prevedono l'utilizzazione condivisa dei dati raccolti.

L'AdP permette di raccogliere, generare e ripetere operazioni sui dati, mentre i progressi dell'era digitale consentono di collegare le informazioni raccolte e di iniziare a prendere decisioni conseguenti, utilizzando i dati per obiettivi sempre più ampi.

Nel passato, l'AdP è stata utilizzata più ampiamente nelle colture di pieno campo che non nella frutticoltura e nella vite, e ciò è comprensibile pensando al grado di meccanizzazione delle prime rispetto alle altre. Nelle colture arboree, devono essere considerate la complessità e le dimensioni delle chiome, la distribuzione non omogenea dei frutti e il ciclo poliennale delle colture. Tutti questi aspetti hanno contribuito a rallentare, ma non fermare, i progressi scientifici e tecnologici del settore.

2.1 Frutticoltura di precisione

In un contesto nel quale le risorse idriche sono sempre meno disponibili e più costose, la razionalizzazione dell'irrigazione è il processo in cui maggiormente si è lavorato nelle specie a più elevate esigenze idrica quali drupacee, pomacee (Corelli Grappadelli et al. 2013) e anche l'actinidia, ma in quest'ultima soprattutto sulle cultivar appartenenti ad *A. chinensis* var. *deliciosa* e relativamente poco in *A. chinensis* var. *chinensis*.

La Frutticoltura di precisione (FP) è una realtà che ha trovato applicazioni commerciali in Italia a partire dagli anni '80 per alcuni aspetti della conduzione del frutteto quali in particolare difesa, nutrizione e irrigazione. Le prime esperienze di lotta integrata e/o biologica erano infatti basate su una verifica puntuale delle soglie di dannosità degli insetti per decidere se intervenire o meno con trattamenti. Un po' più tardi si aggiunsero le valutazioni dello stato nutrizionale del terreno e delle foglie e infine, verso la fine degli anni '80, apparve l'antesignano del moderno sistema *Irrinet/Irriframe* (Giannerini 2022).

In tutti questi casi la "precisione" riguardava solo alcuni aspetti correlati allo stato della pianta, nella convinzione che se tali fattori fossero stati corretti tutto il processo produttivo si sarebbe svolto nel modo ottimale. Questa presunzione era però fondata su principi discutibili, in quanto non ci sono garanzie che, se la pianta si trova in buone condizioni, di nutrizione e stato idrico e priva di parassiti, produrrà bene.

I processi di ripartizione delle risorse verso i frutti sono complessi e legati a molte componenti (rapporto tra attività vegetativa /riproduttiva, conformazione della chioma,

microclima luminoso ecc.) per le quali nutrizione e disponibilità idrica sono condizione necessaria ma non sufficiente per assicurare una crescita ottimale del frutto.

Negli anni '90 numerosi sono stati gli approcci modellistici volti a spiegare la formazione e la successiva ripartizione degli assimilati tra attività vegetativa e crescita dei frutti (Corelli Grappadelli et al. 1994, Lakso et al. 1995, Morandi et al. 2007a, Morandi et al. 2007b). Queste ricerche hanno trovato una prima applicazione pratica nella gestione “precisa” della fruttificazione del melo (Corelli Grappadelli et al. 2006) e del pero (Corelli Grappadelli e Pallotti 2008). Tali esperienze erano basate sul concetto innovativo dell'accrescimento del frutto come “elemento diagnostico” d'eccellenza per interpretare e valutare correttamente le scelte e gli effetti delle tecniche colturali messe in atto nel frutteto misurato con sistemi prossimi.

Altri settori della frutticoltura nei quali si sta ulteriormente sviluppando l'Agricoltura di Precisione sono quelli della gestione della nutrizione minerale (Tiwari 2007), dell'irrigazione (Ben-Gal et al. 2022) della difesa fitosanitaria (Strickland et al. 1999, Kanwal et al. 2022) e della previsione quantitativa (Manfrini et al. 2011, Manfrini et al. 2012, Mekhalfi et al. 2020) e qualitativa delle produzioni (Taylor et al. 2007).

In un mondo sempre più digitale, in cui lo smartphone e le App scaricabili sono ormai parte della nostra vita, anche l'Agricoltura di Precisione si adatta mettendo a disposizione una serie di applicazioni utili agli agricoltori che sempre più si rendono conto che le tecnologie dell'informazione (IT) e delle comunicazioni (TIC), con il loro potenziale di trasformare la natura del lavoro e la struttura del luogo di lavoro, non sono più una novità futuristica ma una realtà attuale.

2.2 Il sistema “Perfrutto”

Queste idee hanno trovato un'applicazione di tipo commerciale nel sistema denominato “Perfrutto”, creato nel 2011 dalla startup *Horticultural Knowledge srl* e sviluppato sulla base delle conoscenze trentennali sui modelli di accrescimento dei frutti acquisite presso il Dipartimento di Scienze Agrarie dell'Università di Bologna.

“Perfrutto” è un sistema di monitoraggio dell'accrescimento dei frutti che consente di prevedere sia il peso medio dei frutti alla data di raccolta sia la produzione totale. Le misurazioni dei frutti, effettuate ogni 7-15 giorni a partire dall'allegagione con un calibro elettronico munito di memoria, sono elaborate con algoritmi specifici per specie e varietà in grado di determinare il loro probabile sviluppo finale.

Questa informazione può essere utilizzata come supporto alle decisioni da prendere in azienda riguardo la somministrazione di fattori di produzione (concimi, acqua ecc.) e/o interventi colturali (diradamento, potatura verde ecc.) in grado di correggere il tasso di crescita dei frutti e orientarlo in senso più favorevole dal punto di vista della pezzatura. Un ulteriore vantaggio del sistema “Perfrutto” è quello di agevolare la pianificazione della vendita, fornendo per tempo ai dipartimenti commerciali previsioni di quantità e classi commerciali di prodotto da collocare sul mercato.

L’impatto economico del sistema sulle aziende frutticole, secondo quanto indicato da *Horticultural Knowledge srl*, può essere notevole, con incrementi del 19-20% della Produzione Lorda Vendibile (PLV) fino a valori che sfiorano il 40% nei casi più rilevanti, il tutto aumentando l’efficienza e la sostenibilità del processo di produzione attraverso la minimizzazione degli sprechi.

Nella presente tesi di dottorato, oltre al monitoraggio dei frutti, nelle prove di irrigazione si è provveduto tramite strumentazioni complesse e sensori prossimali di varia tipologia a raccogliere dati microclimatici, contenuti di acqua nel terreno, assimilazione netta, conduttanza e traspirazione fogliare e variazioni del diametro del tronco, con la finalità di correlare tali informazioni al comportamento produttivo delle piante e individuare degli indicatori fisiologici e morfometrici da utilizzare per una gestione “precisa” dell’irrigazione.

3. OBIETTIVI DEL LAVORO

L'actinidia è una delle specie di più recente introduzione in Italia. Infatti, le notizie delle sue prime coltivazioni risalgono agli anni '70 e da allora le tecniche colturali hanno subito una costante evoluzione sulla base delle ricerche condotte a livello nazionale e internazionale.

L'intensificazione colturale con impianti aventi un numero elevato di piante e gemme a ettaro e l'impiego consistente di fattori di produzione quali acqua e fertilizzanti aventi un impatto negativo sull'ambiente hanno lasciato lentamente il posto a un concetto di gestione più sostenibile delle risorse mediante l'utilizzazione di nuove conoscenze e tecnologie in grado di ottimizzare il loro impiego e ottenere produzioni adeguate dal punto di vista quantitativo e qualitativo.

In questo contesto, applicando i concetti e le metodologie della frutticoltura di precisione, si intende raccogliere in tempo reale tutte le informazioni disponibili di tipo ambientale, colturale e fisiologico in due piantagioni contigue di actinidia situate in Italia Centrale e più precisamente in Agro Pontino, evidenziandone le criticità e definendo gli interventi possibili per affrontarle.

In tale ottica sono stati individuati due aspetti che attualmente si ritengono prioritari nella coltivazione dell'actinidia nell'ambiente considerato:

- Diradamento;
- Irrigazione.

3.1 Diradamento

L'operazione che consiste nell'asportare parte dei frutticini formati dalla pianta è generalmente necessaria per tutte le specie frutticole economicamente importanti per migliorare la dimensione dei frutti, favorire la differenziazione a fiore delle gemme e ridurre l'alternanza di produzione.

Tale pratica colturale è stata piuttosto trascurata nel passato e anche al giorno d'oggi non è considerata con sufficiente attenzione.

I criteri di diradamento sia per quanto riguarda il momento di esecuzione, le modalità di intervento e l'intensità risultano piuttosto soggettivi, per cui si è ritenuto di affrontare questi aspetti in modo più sistematico in due cultivar, Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*) e SunGold (*A. chinensis* var. *chinensis*):

- differenziando le epoche di esecuzione;
- adottando diverse intensità di intervento.

Per valutare in modo più completo non solo dal punto di vista agronomico ma anche dal punto di vista fisiologico gli interventi menzionati, si è provveduto a:

- raccogliere i dati fenologici e demografici dei frutti, e quelli produttivi e qualitativi delle produzioni;
- monitorare l'accrescimento dei frutti dal momento della loro formazione alla raccolta.

Il monitoraggio dell'accrescimento dei frutti nelle diverse tesi ha consentito di:

- computare le curve di accrescimento;
- calcolare i tassi di accrescimento;
- realizzare durante la stagione un'attività previsionale sulla dimensione finale dei frutti, utilizzando appositi algoritmi messi a punto dalla ditta Horticultural Knowledge srl.

Scopo finale delle attività di ricerca nel diradamento è:

- individuare la tecnica di diradamento più idonea ad ottenere frutti apprezzati al mercato compatibilmente con i risultati economici dell'azienda agricola;
- individuare i tempi di intervento che forniscono i migliori risultati in termini di qualità della produzione;
- individuare i livelli di diradamento più idonei per la qualità della produzione in funzione delle tecniche colturali dell'azienda agricola.

3.2 Irrigazione

L'actinidia, per la sua origine (sud-est della Cina) in ambienti caratterizzati da elevati livelli di umidità e precipitazioni e le sue caratteristiche morfologiche e fisiologiche, richiede per la sua coltivazione notevoli volumi irrigui, soprattutto nell'ambiente mediterraneo, caratterizzato da elevata radiazione solare, scarse o assenti precipitazioni estive ed elevati valori di deficit di pressione di vapore.

Alla luce dei cambiamenti climatici e della futura sempre minore disponibilità idrica per il settore agricolo è importante sviluppare nuove e più efficienti strategie di irrigazione per questa coltura tenendo conto che fino ad ora anche la gestione idrica delle cultivar di *A. chinensis* var. *chinensis* si è basata sulle conoscenze acquisite per Hayward (*A. chinensis*

var. *deliciosa*) mentre invece scarse sono le informazioni sulle cultivar a polpa gialla, di relativamente nuova introduzione.

In particolare, l'attività di sperimentazione intende definire nel sistema di irrigazione a goccia i volumi idrici più idonei per migliorare i risultati quanti-qualitativi della cultivar SunGold (*A. chinensis* var. *chinensis*) possibilmente riducendo le quantità d'acqua rispetto a quelle comunemente applicate, valutando anche i possibili miglioramenti nel sistema di distribuzione.

Per realizzare questi propositi si intende:

- utilizzare come riferimento per la definizione dei volumi idrici più idonei alla cultivar quelli adottati fino a ora dall'azienda (100%), basati sull'Evapotraspirazione Potenziale di riferimento (ET_o) corretta con gli specifici coefficienti colturali della coltura (K_c) al fine di ricavare l'Evapotraspirazione potenziale della coltura Etc e quindi i volumi d'acqua da erogare;
- definire i nuovi volumi idrici sulla base di percentuali ridotte (80 - 50 - 40%) rispetto a quelle aziendali di riferimento;
- introdurre, sulla base dei risultati in parte positivi della tecnica di irrigazione a "spruzzo" sottochioma, un sistema di distribuzione a goccia con due linee laterali, oltre a quella centrale che ampli la superficie di terreno irrigata senza gli inconvenienti della prima tecnica.

Per valutare gli effetti degli interventi i risultati saranno esaminati da:

1. un punto di vista agronomico

- la produzione a pianta e ad ettaro,
- le caratteristiche qualitative dei frutti in termini di peso medio e ripartizione in classi commerciali di calibro,
- le caratteristiche chimico-fisiche dei frutti.

2. un punto di vista fisiologico attraverso:

- il monitoraggio dell'accrescimento dei frutti come "elemento diagnostico" d'eccellenza per valutare lo stato generale della pianta e la sua risposta agli interventi colturali,
- la misurazione degli scambi gassosi e determinazione di assimilazione netta, traspirazione, conduttanza stomatica, temperatura aria e foglia;
- la misurazione dei potenziali idrici fogliari, *Predawn Water Potential*, *Midday Leaf Water Potential*.

I risultati saranno impiegati per raggiungere lo scopo finale delle attività sull'irrigazione per definire:

- l'individuazione dei volumi irrigui più idonei per un equilibrato rapporto tra quantità e qualità delle produzioni nella cultivar SunGold;
- i parametri fisiologici di utilizzo pratico in grado di misurare lo stato idrico della pianta ai fini di una gestione più razionale dell'irrigazione per quanto riguarda le tempistiche di distribuzione dell'acqua;
- tecniche di distribuzione finalizzate a ridurre i volumi idrici e migliorare l'efficienza nell'uso dell'acqua, nell'ambito del sistema d'irrigazione "a goccia".

4. MATERIALI E METODI

4.1. Territorio e descrizione dell'Azienda Martella

4.1.1 Generalità

La ricerca è stata condotta tra il 2020 e il 2022 presso l'azienda agricola Martella (coordinate: 41,60792, 12,73954), situata nel Lazio 50 km a sud-est di Roma in località S.P. Cisterna-Campoleone n. 104 nel comune di Velletri, al centro dell'Agro Pontino (**Figura 13**), un territorio che agli inizi del secolo scorso era ancora paludoso e che venne bonificato negli anni '20.

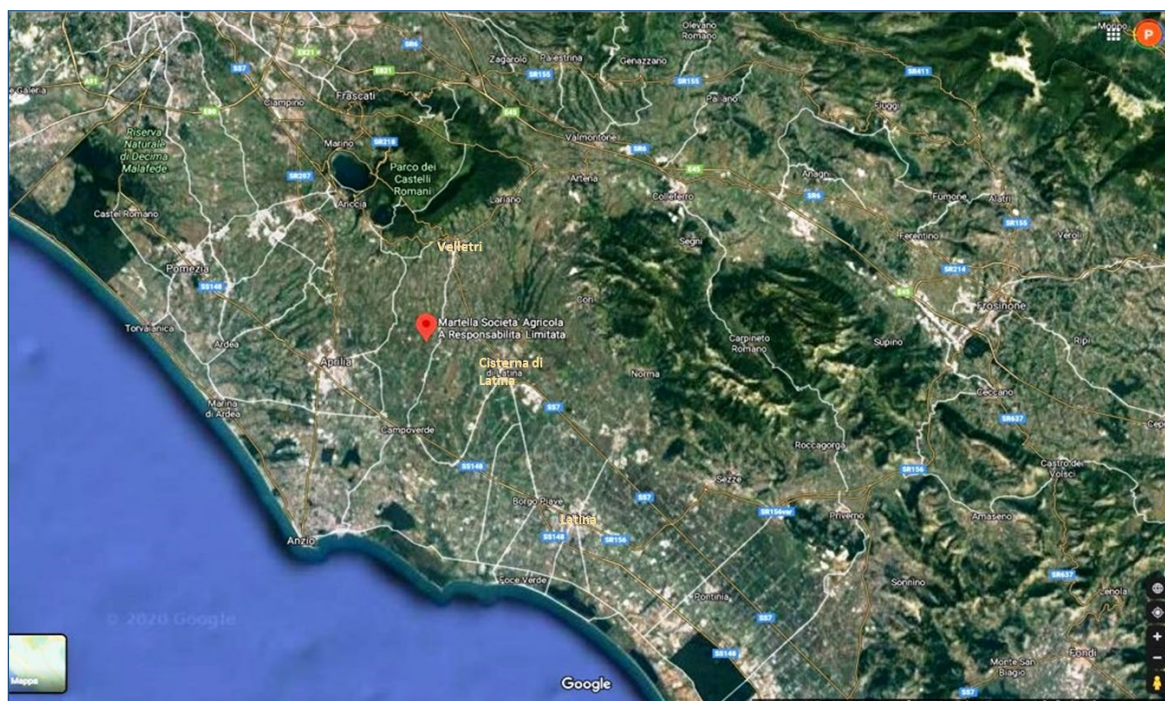


Figura 13. Posizione dell'Azienda Martella nell'Agro Pontino, tra Velletri e Cisterna di Latina
Position of the Martella farm in the Agro Pontino area, between Velletri and Cisterna di Latina
- immagine satellitare/satellite picture: google Earth

Oggi, il Lazio, e in particolare la zona dell'Agro Pontino, è l'areale più vocato d'Italia per la coltivazione dell'actinidia e nel 2004 il MiPAF ha conferito a una parte di questo territorio il marchio di Indicazione Geografica Protetta (IGP) "Kiwi Latina" (**Figura 14**). Si tratta di un'area di circa 8.500 ettari che include 24 comuni situati in due zone: una in provincia di Latina, la più importante per superficie (7.000 ha) e produzione (130.000 t) e una a sud di

Roma (1.500 ha, 30.000 t) nella quale si trova l'azienda Martella. La provincia di Latina, con il suo territorio pianeggiante, microclima temperato e terreni alluvionali-vulcanici fertili, ha dimostrato in oltre 50 anni di coltivazione (iniziata nel 1971) di meritare l'appellativo di "terra del kiwi" (Stampa Italia), promosso dall'omonima associazione con sede a Cisterna di Latina. In questa provincia hanno investito, nel comparto actinidicolo, importanti imprenditori e cooperative del Nord Italia, che controllano e commercializzano l'83% della produzione, mentre solo il 17% è gestito da imprese locali.



Figura 14. Locandina del Comitato Promotore del marchio IGP «Kiwi Latina»
Poster of the Promoting Committee of the trademark IGP «Kiwi Latina»
- fonte/source: Cacioppo 2021

Il logo del marchio "Kiwi Latina" viene conferito ai frutti della cultivar Hayward prodotti nelle aziende che fanno parte del consorzio e applicano le cure colturali previste nel Disciplinare del MiPAF, e che rispondono agli standard di qualità ivi descritti (Disciplinare MiPAAF "IGP Kiwi Latina" 2004).

4.1.2 Clima e pedologia

Il clima della zona nella quale si sono svolte le prove è classificato come termo-tipo meso-mediterraneo e ombro-tipo subumido (Blasi 1994) ed è caratterizzato da precipitazioni annuali scarse (500-800 mm) con pochi episodi estivi (50-70 mm). L'aridità estiva è intensa e prolungata per quattro mesi (maggio-agosto), con un mese di sub-aridità (aprile).

Il freddo è poco marcato e concentrato nel periodo invernale mentre la temperatura media delle minime dei mesi più freddi (gennaio e febbraio) è rispettivamente di 3,3°C e 2,3°C. Le temperature medie delle massime, nei mesi più caldi (luglio e agosto) raggiungono rispettivamente 32,9°C e 31,7°C (SIARL Lazio).

Dal punto di vista pedologico, l'area è classificata come "Pianure costiere con materiale parentale definito da depositi quaternari marini" e come sistema "Sedimenti costieri dunari" (Arnoldus-Huyzendveld et al. 2009).

4.1.2.1 Dati meteorologici

I dati meteorologici, acquisiti sia dalla stazione meteorologica installata in prossimità della piantagione di actinidia sia da quella appartenente al Servizio Integrato Agrometeorologico della Regione Lazio ubicata in località Prato Lungo (Velletri), consistono in: temperature giornaliere minime, massime, medie, precipitazioni, radiazione giornaliera (W/mq) ed evapotraspirazione (calcolata con il metodo Thornthwaith).

4.1.2.2 Bilancio idroclimatico

I grafici del bilancio idroclimatico calcolato sulla base dei dati rilevati nei tre anni (2020-2022) e in quello precedente le prove (2019) mettono in evidenza come le precipitazioni siano distribuite prevalentemente nei mesi di ottobre, novembre, dicembre e, in misura minore, nei mesi di gennaio, febbraio e marzo. In tutti gli anni si registra una pressoché totale assenza di precipitazioni nei mesi di luglio e agosto (**Figura 15**) e nel 2022 l'assenza di precipitazioni ha riguardato anche i mesi di maggio e giugno.

Le precipitazioni cumulate annuali sono state pari a 1.170 mm nel 2019, 853 mm nel 2020, 1.047 mm nel 2021 e 752 mm nel 2022, che è stato il valore più basso del triennio.

I valori mensili di evapotraspirazione in funzione delle precipitazioni mettono in evidenza come il periodo di potenziale deficit idrico da un punto di vista climatico inizi abbastanza

precocemente, già da maggio, e si prolunghi fino alla fine di agosto determinando la necessità di interventi irrigui con volumi consistenti per una coltura come l'actinidia che inizia la sua attività vegetativa a maggio e la prolunga, a seconda della specie, fino a novembre.

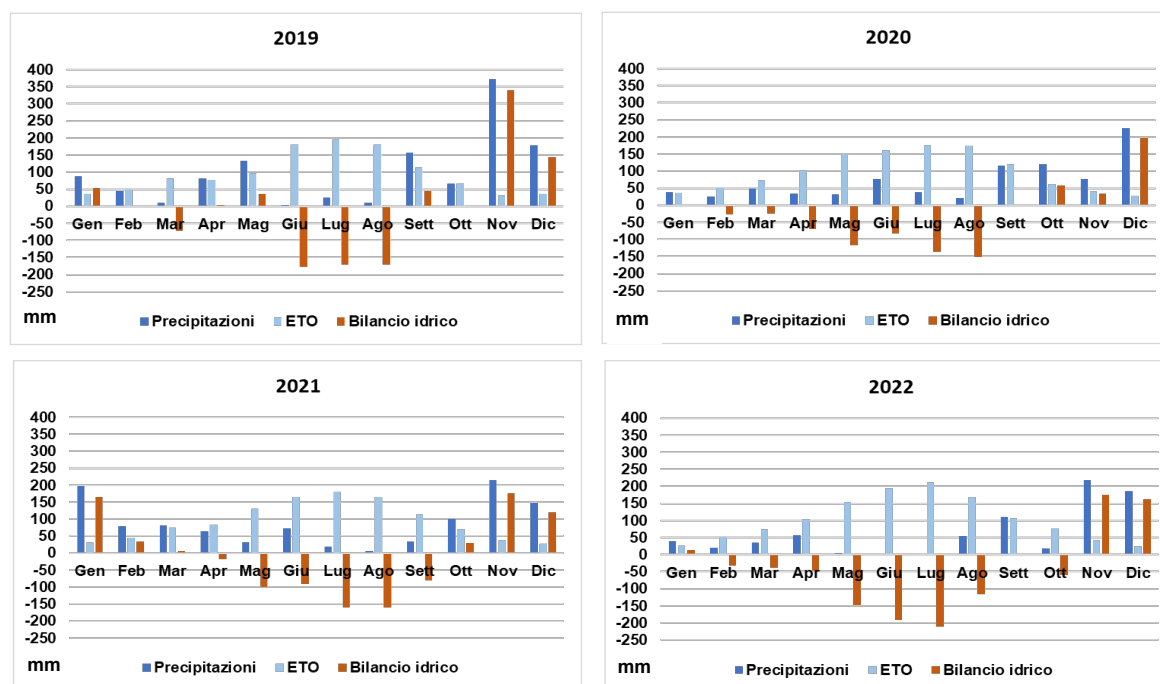


Figura 15. Parametri idroclimatici dell'Azienda Martella negli anni 2019, 2020, 2021 e 2022
Hydroclimatic parameters at the Martella Farm in 2019, 2020, 2021 and 2022

4.1.2.3 Chilling Units (CU) e Growing Degree Hours (GDH)

Come la maggior parte delle specie frutticole anche l'actinidia in inverno entra in endodormienza e per riprendere l'attività vegeto-produttiva richiede un numero minimo di *Chilling Unit* (CU) per il germogliamento e la fioritura (Lionakis and Schwabe 1984). Il calcolo delle CU è stato effettuato secondo il modello Utah (Richardson et al. 1974) che definisce come CU la permanenza di una gemma per il periodo di un'ora in un range di temperature considerato ottimale (2,5 - 12,5 °C) per il soddisfacimento del fabbisogno in freddo secondo la conversione riportata in **Tabella 9**.

Le CU necessarie per interrompere la dormienza della cultivar Hayward sono pari a circa 900 ore (Wall et al. 2008), mentre per SunGold sono circa 600 ore (Tupu.nz fact sheet 2021).

Tabella 9. Conversione di temperatura in Chilling Units
Conversion of temperatures in Chilling Units

Temperatura		Chilling Units
°C	°F	
<1,4	<34	0
1,5-2,4	35-36	0,5
2,5-9,1	37-48	1
9,2-12,4	49-54	0,5
12,5-15,9	55-60	0
16-18	61-65	-0,5
>18	>65	-1

-fonte/source: Richardson et al. 1974

Una volta soddisfatto il fabbisogno in CU, la pianta lentamente può interrompere la dormienza sulla base di un accumulo giornaliero di unità di caldo (*Growing Degree Hours*, GDH) che può essere calcolato dai dati di temperatura orari giornalieri secondo il modello “Asymcur” proposto da Anderson et al. (1986). Tale modello perfeziona il modello lineare definito da Anderson and Seeley (1992) introducendo una relazione asimmetrica curvilinea nell’accumulazione delle GDH. L’accumulo di caldo inizia quando le temperature sono al di sopra di un minimo (temperatura di base, T_b) e la crescita incrementa con temperature superiori a un certo livello (temperatura ottimale, T_{opt}), ma non superiori a un valore critico (temperatura critica, T_{crit}).

Per convenzione, i valori di temperatura per l’actinidia (*A. chinensis* var. *deliciosa* e var. *chinensis*) sono: $T_b = 4^{\circ}\text{C}$, $T_{opt} = 25^{\circ}\text{C}$, $T_{crit} = 36^{\circ}\text{C}$ (Anderson et al. 1986).

Utilizzando le temperature relative ai periodi 1 ottobre - 31 maggio degli anni 2019, 2020, 2021 e 2022 registrati dalla stazione meteorologica dell’azienda Martella, sono stati calcolati CU e GDH utilizzando un programma Excel messo a disposizione dal Prof. A. Motisi del Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali dell’Università di Palermo.

L’esame dei dati (**Figura 16**) mette in evidenza che il primo anno si differenzia dai due anni successivi per entrambi i parametri. L’accumulo delle CU è iniziato prima (6 novembre) nel 2019/2020 ed è continuato nel tempo a un livello più basso rispetto agli anni 2020/2021 e 2021/2022 (**Figura 16A**). Per quanto riguarda le GDH, si evidenzia come nel 2019/2020 l’accumulo delle GDH sia più elevato rispetto agli altri due anni, anticipando le fasi fenologiche di germogliamento e fioritura (**Figura 16B**).

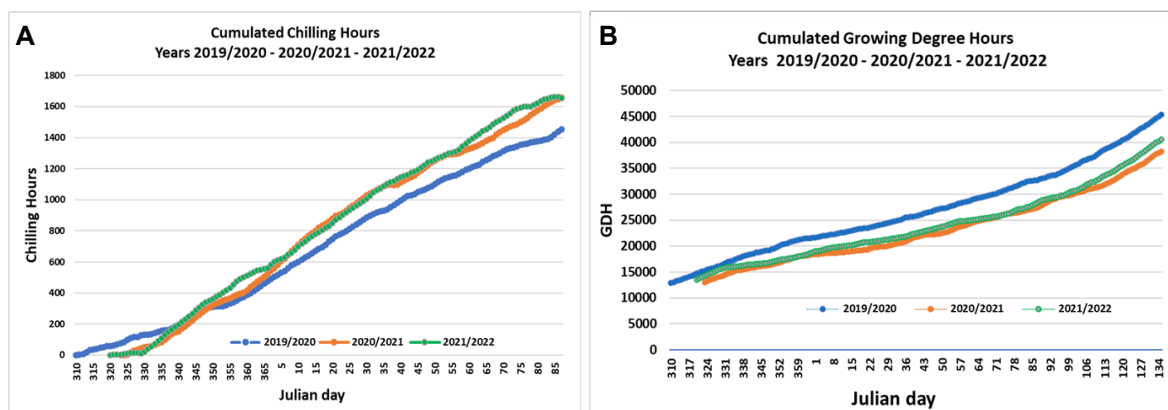


Figura 16. Ore di freddo (A) e di caldo (B) accumulate nella località dell'Azienda Martella, nei periodi 2019/2020, 2020/2021 e 2021/2022

Cumulated Chilling Hours (A) and Growing Degree Hours (B) at the Martella Farm over the years 2019/2020, 2020/2021 and 2021/2022

4.1.2.4 Caratterizzazione del terreno

Preliminarmente al prelievo dei campioni definitivi negli impianti di actinidia dell'Azienda Martella sono stati fatti dei carotaggi esplorativi per verificare l'omogeneità del profilo del terreno.

Verificata positivamente tale condizione, sono stati effettuati tre carotaggi alla profondità di 0-30 cm sulla fila alla distanza di 50 - 100 - 150 cm dalla pianta e altrettanti nell'interfilare ortogonalmente ai precedenti, sempre a 50 - 100 - 150 cm dalla pianta. Ciascuno dei due campioni finali era costituito quindi dai tre sub campioni e risultava da un'accurata miscelazione dei prelievi effettuati nei punti previsti per ottenere una quantità di almeno 2 kg di terreno (Staffilani e Tarocco 2017).

Analisi fisica

Le analisi fisico-chimiche del terreno sono state effettuate da un laboratorio privato secondo la metodologia ufficiale (Ministero Politiche Agricole e Forestali 1999).

Le analisi della tessitura mettono in evidenza il contenuto elevato in sabbia e medio in argilla del terreno, che lo fanno classificare come sabbioso-argilloso. Dalla **Tabella 10** si evince che, per quanto riguarda la tessitura, non ci sono differenze consistenti tra le due zone di prelievo, sul filare o tra i filari. I valori della densità apparente, però, rilevano una minore porosità del terreno sul filare che si accompagna anche a una minore conducibilità idrica, probabilmente

dovuta all'irrigazione di tipo “a goccia” concentrata esclusivamente sul filare, che determina una costipazione del terreno stesso.

Tabella 10. *Analisi del terreno dell'Azienda Martella: Caratteristiche fisiche*

Soil analysis at the Martella farm: Physical characteristics

Campione	Tessitura Composizione %			Categoria	Densità apparente g/cm ³	Conduttività idrica mm/h
	Argilla	Limo	Sabbia			
Sulla fila	17,90	11,76	70,34	sabbioso-	1,50	6,91
Tra le file	20,97	11,50	67,88	limoso	1,45	8,90

Analisi idrologica

Le determinazioni delle caratteristiche idrologiche del terreno sono state effettuate presso il Laboratorio di fisica del terreno del Dipartimento DAFNE, dell'Università della Tuscia, sotto la supervisione del Prof. Roberto Mancinelli.

Tabella 11. *Analisi del terreno dell'Azienda Martella: Caratteristiche idrologiche*

Soil analysis of the Martella farm: hydrological characteristics

Campione	Umidità (%)		Acqua disponibile (%)
	Capacità di campo (0,33 bar)	Punto di appassimento (15 bar)	
Sulla fila*	22,98	14,96	8,02
Tra le file**	22,46	14,02	8,44

*Distanza media sulla fila: 3,75m

**Distanza media tra le file: 4,75 m

I dati della **Tabella 11** e della **Figura 17** mettono in evidenza come il terreno esaminato abbia un *range* di acqua disponibile piuttosto limitato che si aggira attorno all'8-9%, una quota notevole di acqua non disponibile e una quota molto consistente di acqua gravitazionale. Queste caratteristiche riducono la capacità di formazione di adeguate riserve idriche da parte del terreno e rendono necessaria una gestione mirata dell'irrigazione che deve essere caratterizzata da volumi ridotti ma frequenti.

In generale, il terreno è costituito da una fase solida composta da particelle di dimensione variabile in funzione della tessitura, da una fase gassosa (aria) e una fase liquida (acqua).

L'acqua nel terreno non circola liberamente, ma la sua permanenza e i suoi movimenti dipendono da diverse forze fisiche: superficiali di adesione, di coesione, di tensione superficiale e gravitazionale.

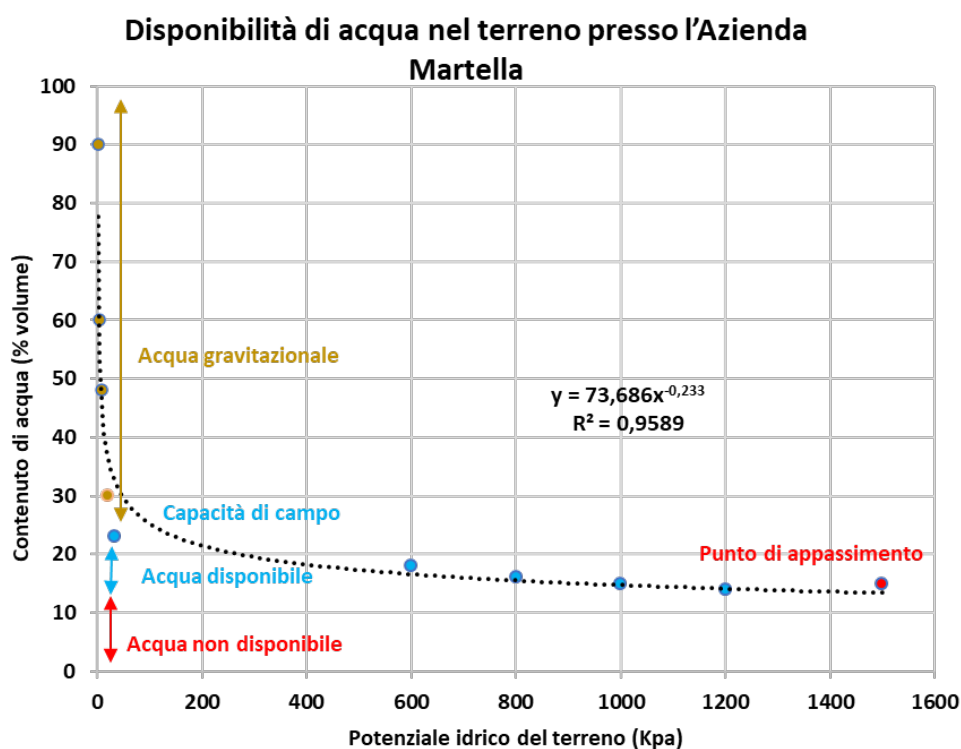


Figura 17. Curva di ritenzione idrica del terreno nell'Azienda Martella
Soil water availability at the Martella Farm

In relazione alla loro distribuzione nei pori del terreno, si identificano frazioni idriche a diversa mobilità, sulla base del valore del potenziale idrico (**Figura 18**):

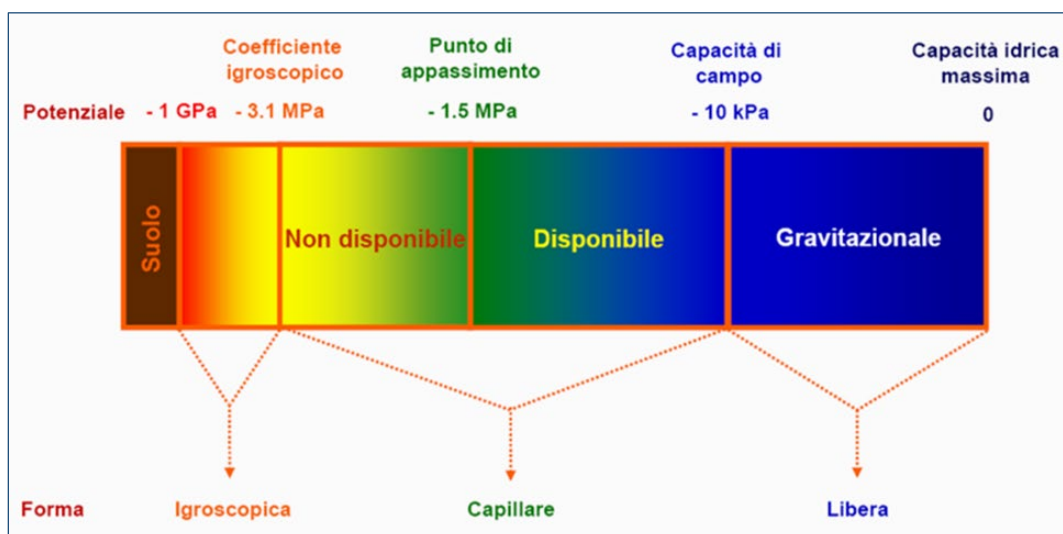


Figura 18. Classificazione dell'acqua nel terreno.

Classification of water in the soil

-modificato da/modified from: Juma (2001)

- acqua libera o gravitazionale: frazione con potenziale tra 0 e -0.3 bar che corrisponde rispettivamente allo stato dell'acqua in un terreno completamente saturo e alla capacità di campo (completo svuotamento dei pori di trasmissione);
- acqua capillare: con potenziale tra -0.3 e -31 bar, cioè tra il potenziale dell'acqua alla capacità di campo e quello assunto dall'acqua in un terreno che contiene solo l'umidità che può assorbire da un'atmosfera in cui è presente il 98% di umidità (coefficiente igroscopico); rappresenta l'acqua contenuta nei pori di diametro compreso tra 0,5 e 60 μm . È detta anche “acqua disponibile” in quanto può essere utilizzata dalle piante;
- acqua igroscopica: frazione idrica contenuta nei pori residui e negli ultra-micropori con potenziale idrico < -31 bar. Non è disponibile per le piante.

Il contenuto idrico di un terreno tra il punto di appassimento e la capacità di campo varia in funzione della sua tessitura e struttura. L'acqua disponibile dipende essenzialmente dal contenuto percentuale in argilla.

In riferimento al terreno dell'Azienda Martella in cui si sono svolte le prove, non sono stati acquisiti i parametri relativi alle caratteristiche strutturali, ma solo quelli relativi alla composizione granulometrica (Tabella 10) e alla curva di ritenzione idrica (Figura 17), che rispecchia l'influenza prevalente delle componenti sabbiosa e limosa rispetto a quella argillosa.

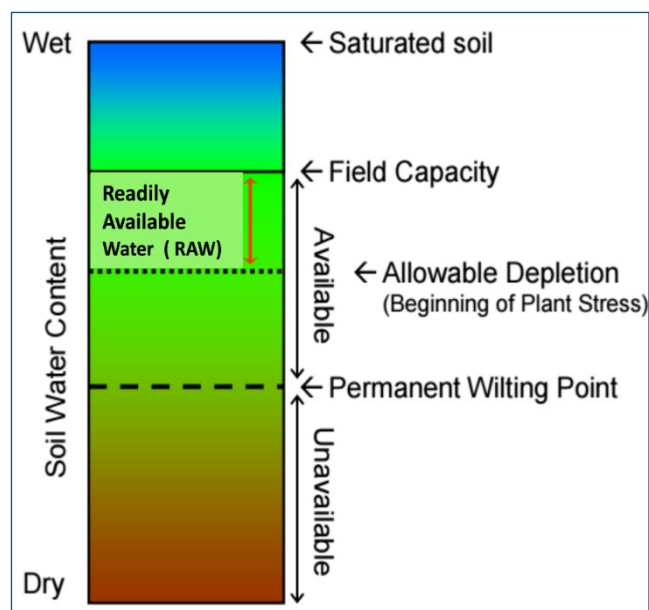


Figura 19. Contenuto di acqua nel terreno dalla saturazione al secco. Il livello ottimale di acqua nel terreno per la crescita delle piante è compreso tra capacità di campo e il punto al disotto del quale sono possibili sintomi di stress (punto di appassimento)

Soil water content from saturated to dry. Optimal soil moisture levels for plant growth are between field capacity and allowable depletion.

-modificato da/modified from: Maughan et al. 2015

Infatti, le percentuali medie di acqua dei due campioni di terreno preso (sulla fila e tra le file), tra 0,33 bar (capacità di campo) e 15 bar (punto di appassimento) sono rispettivamente del 22,7% e 14,5%, con un valore di acqua disponibile di circa 8,2%.

Si tratta di valori relativamente bassi se si considera che secondo Phocaides (2000) le piante arboree in condizioni ottimali riescono a utilizzare un 40 - 60% di tale frazione che viene definita come “*Readily Available Water*” (Figura 19).

Una ridotta quantità di acqua disponibile significa che una quota importante della stessa è di tipo gravitazionale, per cui i turni irrigui devono essere brevi e frequenti, oltre tutto per evitare di creare condizioni di asfissia in un terreno che sulla base della conduttività idrica (6,9 - 8,9 mm/h) è classificabile con permeabilità moderata (USDA 018).

Analisi chimica

Le analisi chimiche dei campioni del terreno sono state effettuate presso un laboratorio privato, secondo le metodologie ufficiali (MIPAF 1999).

L’interpretazione dei risultati (Tabella 12) si basa sulle schede informative dei Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Piemonte (2023).

Tabella 12. *Analisi del terreno dell’Azienda Martella: Caratteristiche chimiche*
Soil analysis of the Martella farm: chemical characteristics

	Metodi di analisi	Unità di misura	Valore	Interpretazione risultati
pH	potenziometrico		6,1	
Capacità di scambio cationico	ammonio acetato/Kjeldahl	meq/100	10	medio
Sostanza organica	Dumas (1831)	%	0,88 – 1,15	basso
Rapporto C/N	-		8	basso
Calcare	gas-volumetrico	%	0	assente
Azoto totale	Kjeldhal	%	1,1	medio
Anidride fosforica assimilabile	Morgan	ppm	11	medio
Ossido di potassio scambiabile	Krauss	ppm	150	medio
Calcio	spettrofotometria assorb. atomico	%	0,20	molto basso
Magnesio	“	%	0,1	molto basso
Ferro	“	ppm	200	elevato
Zinco	“	ppm	20	elevato
Rame	“	ppm	30	elevato
Manganese	“	ppm	160	elevato
Boro	“	ppm	0,5	medio

Il terreno è caratterizzato da un pH leggermente acido, con dotazione in sostanza organica bassa soprattutto sul filare mentre è più elevata tra le file dove viene concentrato e trinciato il legno di potatura. L'azoto totale mostra valori medi e tale livello è mantenuto principalmente dalla fertirrigazione.

Magnesio e calcio sono al disotto del valore minimo e questo, pur non determinando manifestazioni di carenza sulle foglie, può incidere sulla conservabilità dei frutti.

Gli altri micronutrienti sono a livelli più che soddisfacenti.

4.1.3 Prassi agronomiche

4.1.3.1 Piantagioni

Impianti

Struttura

L'Azienda agricola Martella, storicamente a destinazione viti-vinicola, ha aggiunto la coltivazione dell'actinidia a partire dal 2008. Nel triennio in cui si sono svolte le prove oggetto del presente lavoro le piante di entrambe le cultivar erano nella fase di piena produzione, con quelle di Hayward di età tra 10 e 13 anni e quelle di SunGold tra 7 e 10 anni (Tabella 13).

La superficie a disposizione per ciascuna pianta nella cultivar Hayward, avente una distanza di impianto di m 4,5x4,5, è pari a 20,25m² (500 piante/ha), mentre nella cultivar SunGold, con distanza di impianto di m 5,0x3,0, è pari a 15m² (666 piante/ha).

Entrambi i campi sono allestiti con piante autoradicate.

Tabella 13. Caratteristiche tecniche dell'impianto per le due varietà osservate

Technical characteristics of the planting system for both observed varieties

	Hayward	SunGold
Anno d'impianto	2011	2014
Distanze tra le piante	sulla fila m 4,5 tra le file m 4,5	sulla fila m 3,0 tra le file m 5
N. piante/ha	500	666
Sistema di allevamento	Tendone	Tendone
Impollinatori	Matua, Tomuri	Meteor, Sparkler, Bruce
Ratio m/f	1:7	1:7
Irrigazione	localizzata con gocciolatori di portata 4 l/h a una distanza di ogni 80 cm	

Forma di allevamento

L'azienda, per entrambe le cultivar, ha adottato il Tendone, un sistema di allevamento sviluppato negli anni '50 per l'uva da tavola che è risultato idoneo anche per l'actinidia, che ha un comportamento vegetativo simile alla vite.

Il Tendone è una struttura complessa (**Figura 20 e Figura 21**) costituita da pali in cemento armato inclinati di 30° agli angoli (18x18x300), pali in cemento armato perimetrali (9x9x250) inclinati di 30° (uno per ogni filare) con tiranti in acciaio, paletti tutori delle piante e di consolidamento del tendone stesso (7x7x230). Il sistema su cui appoggia la chioma delle piante è costituito da fili di ferro zincato di varie dimensioni: filo di ferro per la maglia principale (Ø 4,4 mm) e filo di ferro per le maglie secondarie (Ø 2,2 mm) distanziate a 50 cm.

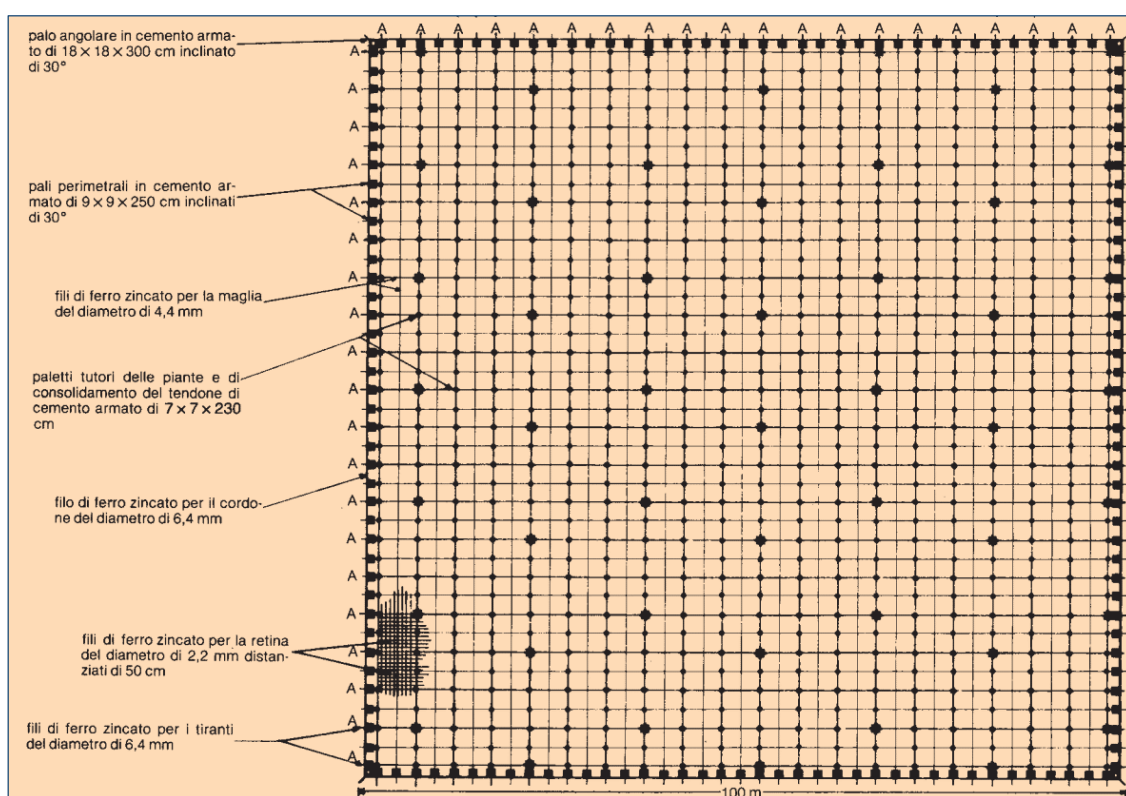


Figura 20. Struttura del sistema di allevamento Tendone

Structure of the Tendone training system

-fonte/source: Cacioppo 2021

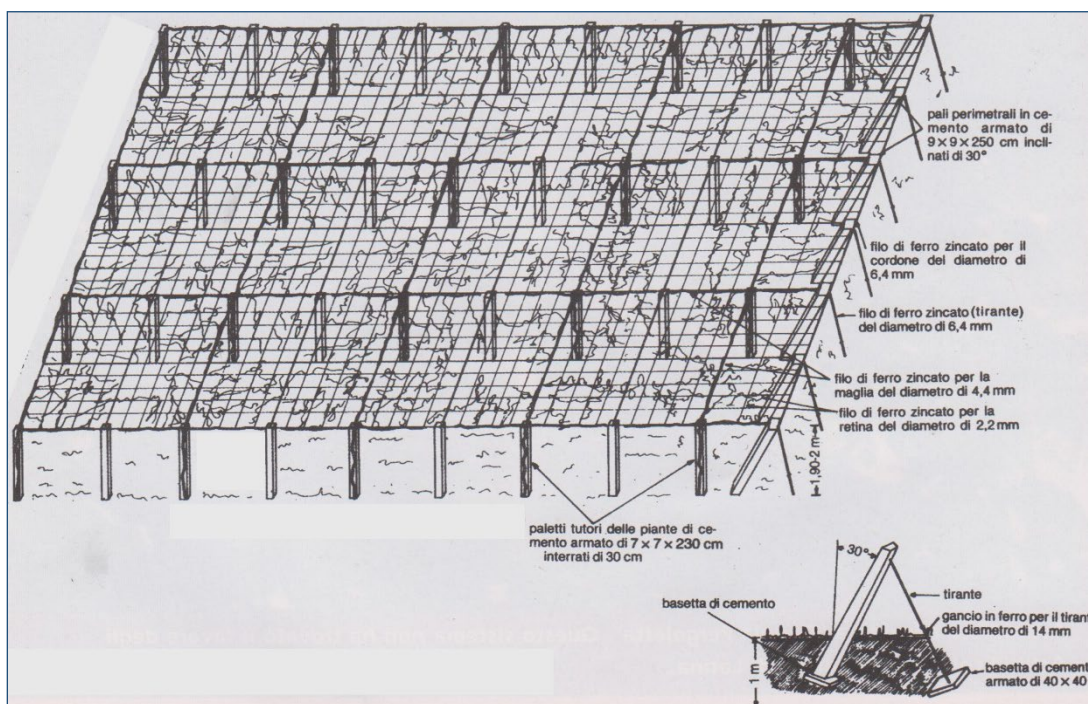


Figura 21. Rappresentazione tridimensionale del sistema di allevamento Tendone

Three-dimensional representation of the Tendone training system

-fonte/source: Cacioppo 2021

Per quanto riguarda le densità di piantagione presso l'Azienda Martella, tra le file è stata adottata una distanza minima tra le piante di m 4,5-5, sia per consentire la meccanizzazione delle operazioni colturali sia per evitare densità della chioma eccessive e conseguenti livelli di luce critici all'interno di essa (Costa and Testolin 1997). Riguardo invece alla densità sulla fila, la riduzione delle distanze al di sotto dei 4,5 m non avrebbe determinato incrementi significativi della produzione per unità di superficie (Testolin 1990).

Ciascuna pianta è formata da due branche permanenti disposte lungo il filare sulle quali si inseriscono circa 25-30 tralci, disposti a spina di pesce rinnovati annualmente con la potatura invernale (Figura 22A e Figura 22B).



Figura 22. Il sistema di allevamento Tendone negli impianti di Hayward (A) e SunGold (B) adottato nell'Azienda Martella

Tendone training system applied at the Martella farm (A: Hayward, B: SunGold)

In Hayward, ciascuna pianta è costituita mediamente da 32 tralci, non fissati in modo ordinato sulla struttura e che portano in media 21 gemme ciascuno, per un totale di 485 gemme a pianta e 242.500 gemme a ettaro. Per quanto riguarda SunGold, il numero medio di tralci per pianta ammonta a 26 con disposizione regolare sulla struttura e con un numero di 20,5 gemme ciascuno, ovvero 534 gemme a pianta pari a 331.002 gemme per ettaro (Tabella 14).

Tabella 14. Numero medio di tralci e gemme a pianta e a ettaro nelle piante di Hayward e SunGold nell'azienda Martella

Medium numbers of branches and buds per plant and per hectare in Hayward and SunGold at the Martella Farm

	Pianta			Ettaro	
	n. tralci	n. gemme	gemme/ tralcio	n. tralci	n. gemme
Hayward	32 $\pm$ 3	485 $\pm$ 16	21 $\pm$ 3	16.000	242.500
SunGold	26 $\pm$ 2	534 $\pm$ 25	20,5 $\pm$ 3	17.316	331.002

Altri elementi strutturali

Il sistema di irrigazione applicato in entrambi i frutteti è quello “a goccia”, su un’unica linea centrata lungo il filare dotata di gocciolatori con una capacità di 4l/h e posti a 80 cm di distanza l’uno dall’altro.



Figura 23. Sensore per misurazione della radiazione luminosa PAR lineare LI-COR LI-191R

Line quantum sensor LI-COR LI-191R for measurement of light radiation

L’impianto della cultivar SunGold è coperto da rete antigrandine bianca posta su strutture ad arco. Al fine di valutare gli effetti della rete sulla trasmissione della radiazione luminosa durante la stagione sono state fatte sistematicamente delle misure con un “Line Quantum

Sensor” LI-191R (LI-COR Biosciences Lincoln, NE, U.S.A.) che misura la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) integrata su una lunghezza di 1,0 metri.

Le misure effettuate in diversi periodi durante la stagione vegetativa hanno evidenziato che la riduzione di tale spettro luminoso a livello della chioma sotto la rete non ha mai superato il 5% di quella totale disponibile in campo aperto.

Concimazione

Le concimazioni con fosforo e potassio vengono fatte in tardo autunno somministrando annualmente 100 unità/ha di P_2O_5 come perfosfato minerale (48%) e 150 unità/ha di K_2O come ossido di potassio (50-52%). A gennaio vengono distribuite 100 unità/ha di CaO come ossido di calcio, che contiene il 90% di calcio e il 2% di magnesio. L’azoto alla dose di 150 unità/ha viene distribuito in modo frazionato durante la stagione con la fertirrigazione utilizzando concimi idrosolubili. Sono previsti mediamente 15 interventi a partire da 4 settimane dopo il germogliamento, con dosi percentuali di somministrazione rispetto al totale annuo che crescono dal 5% iniziale fino al 10% (7^a-10^a settimana) e poi calano al 2% (11^a-15^a settimana).

I microelementi vengono forniti con la concimazione fogliare in funzione della necessità.

Impollinazione

L’azienda adotta il metodo di impollinazione “a secco” descritto nel cap. 1.2.2.4, intervenendo due volte, una all’inizio della caduta dei petali e l’altra a fine fioritura, utilizzando dei soffiatori portati dalla trattrice agricola (**Figura 24A**).

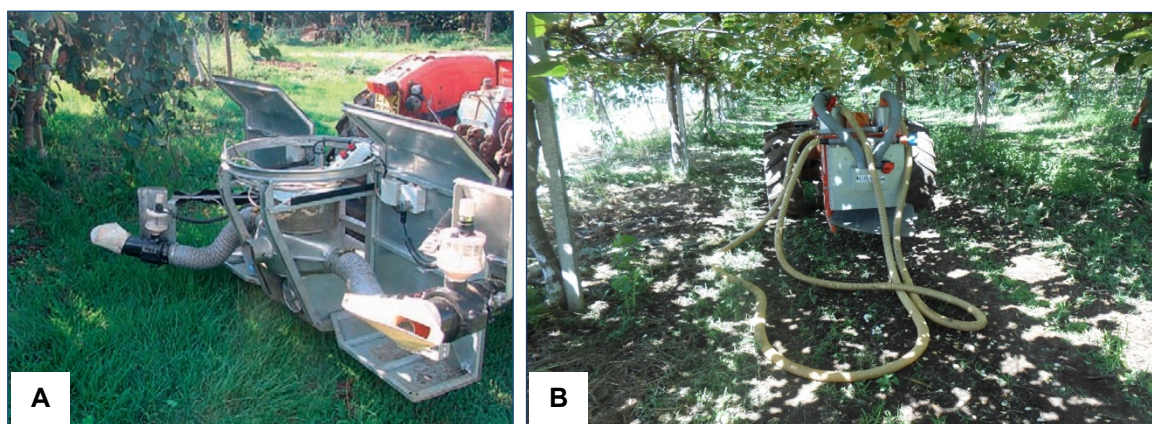


Figura 24 Macchine usate nell’impollinazione dell’actinidia. A. soffiatori per impollinazione “a secco”, B. raccolta del polline nell’Azienda Martella

Machines used in kiwifruit pollination. A. blowers for “dry” pollination, B. harvesting pollen at the Martella Farm

Il polline viene generalmente raccolto nella stagione precedente all'utilizzo dai maschi presenti nelle piantagioni, attraverso un aspiratore portato dalla trattrice (**Figura 24B**) e dotato di due manichette che vengono direzionate verso i fiori maschili dai quali viene raccolto il polline che, convogliato in un apposito ciclone, viene depurato dalle impurità più grossolane, essiccato e conservato in frigorifero a -18°C (Tacconi et al. 2016).

4.1.3.2 Diradamento

L'Azienda Martella nell'esecuzione di questo intervento segue le indicazioni tecniche fornite dalla "Cooperativa Agrintesa" alla quale è associata.

Come descritto nel capitolo 1.2.2, normalmente il controllo del carico dei frutti in actinidia viene effettuato in tre passaggi:

- Il primo intervento, dal germogliamento a prima della fioritura, prevede la possibilità di eliminare interi germogli che non portano infiorescenze, sono scarsamente sviluppati, non opportunamente distanziati (10 cm) o in soprannumero rispetto a quelli che si ritengono necessari per garantire una buona illuminazione della chioma e le rese a ettaro previste. Se necessaria, l'eliminazione riguarda i germogli della parte inferiore e quelli laterali del tralcio. Viene inoltre effettuato il diradamento dei bottoni fiorali laterali di ciascuna infiorescenza, lasciando il fiore centrale (*king flower*);
- Il secondo intervento, effettuato a partire da 8-10 giorni dalla caduta dei petali ma comunque entro metà giugno, consiste nell'eliminazione in ciascuna infiorescenza dei frutticini laterali qualora non fossero già stati rimossi i bottoni fiorali e nella rimozione di quelli insufficientemente impollinati, deformi, doppi, appiattiti. Lo scopo finale è quello di lasciare 3 - 4 frutti per germoglio;
- Il terzo intervento, da eseguire entro fine luglio, è finalizzato a eliminare i frutti che a maturazione costituirebbero lo scarto, ovvero quelli evidentemente sottomisura, i deformi e quelli colpiti da parassiti.

L'Azienda Martella non effettua il primo intervento, ma concentra il controllo del carico produttivo sul secondo, eventualmente integrato con il terzo intervento di rifinitura finale.

Nella cultivar Hayward, soggetta al Disciplinare di Produzione - Kiwi Latina IGP (cfr. capitolo 4.1.1), il numero dei frutti per ettaro dovrebbe essere compreso tra 300.000 e 360.000 unità, per una produzione unitaria massima consentita di 33,0 t/ha.

La cultivar SunGold non rientra nel Disciplinare, ma le produzioni massime suggerite sono indicate dalle norme di produzione alle quali sono soggetti i soci delle Cooperative e che

sono fortemente condizionate dai prospetti di liquidazione basati sulle classi commerciali dei frutti. Nel caso specifico, il numero dei frutti a ettaro ritenuto conveniente è di circa 300.000 - 310. 000 unità, per consentire produzioni unitarie di 34,0 - 36,0 t/ha.

4.1.3.3 Irrigazione

Il sistema di irrigazione applicata dall'Azienda Martella è del tipo "a goccia", con una linea in polietilene da 16 mm posta sul filare in cui, alla distanza di 80 cm, sono inseriti i gocciolatori con una portata di 4 litri/ora.

L'acqua utilizzata per l'irrigazione è di buona qualità come definita da Ayers and Westcot (1985) e proviene da un pozzo artesiano situato nell'Azienda.

L'irrigazione viene effettuata secondo le indicazioni fornite dalla Cooperativa Agrintesa che si basano sulla restituzione idrica in base ai valori dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_o) calcolata con il metodo Penman-Monteith sulla base dei parametri della stazione meteorologica situata in prossimità del campo in cui si svolgono le prove (cfr. capitolo 4.1.2.1).

ET_o, che rappresenta il valore base per la stima dei fabbisogni idrici di tutte le colture agrarie, è stato utilizzato per il calcolo dell'Evapotraspirazione potenziale (ET_c) dell'actinidia tramite uno specifico coefficiente colturale (K_c) di riferimento modificato dal sistema Irrinet (Anconelli et al. 2009).

$ET_c = ET_o \times K_c$ è la formula che fornisce i mm/m² di acqua da applicare per il periodo di evaporato registrato. La somministrazione viene effettuata quando si raggiunge un minimo di 10 mm. I valori di K_c utilizzati per ogni mese sono i seguenti: 0,4 aprile; 0,91 maggio; 1,16 giugno; 1,25 luglio; 1,25 agosto; 0,85 settembre.

4.2 Le prove oggetto della ricerca del Dottorato

4.2.1 Diradamento

4.2.1.1 Piano sperimentale

Per la conduzione delle attività relative al controllo del carico dei frutti nelle due cultivar (Hayward e SunGold), il piano sperimentale adottato prevedeva, per ciascuna delle quattro tesi definite per ogni cultivar, la scelta di 12 piante disposte per fila, uniformi per vigore e

numero di gemme, che costituivano le repliche di un disegno sperimentale a pianta singola. Le file sono state scelte al centro delle piantagioni, in modo tale da evitare/ridurre al minimo eventuali influenze esterne tali da compromettere la performance vegetativa e agronomica delle piante.

Per la determinazione dei diversi livelli di diradamento in prova è stato effettuato il conteggio dei frutti per pianta lasciati nella tesi aziendale, presa come riferimento (100%). In tale tesi il diradamento è stato effettuato sui frutticini ad allegagione avvenuta (circa 10-15 giorni dopo la fine fioritura) ed è consistito nell'eliminazione in ciascun germoglio dei frutti deformi e dei frutti laterali presenti in ogni infiorescenza, per un carico finale di circa 40 frutti m².

In tutte le tesi, ad eccezione di quella aziendale, dopo 30-35 giorni dalla piena fioritura è stato effettuato il conteggio di controllo dei frutti rimasti al fine, ove necessario, di effettuare eventuali interventi correttivi per raggiungere il livello di diradamento previsto.

4.2.1.2 Tipologie di diradamento adottate

I tipi di diradamento sono stati:

- il diradamento definito come *Bud Thinning* che consiste nella rimozione precoce dei germogli in modo alternato e nell'eliminazione dei bottoni fiorali e/o di intere infiorescenze qualora necessario per raggiungere l'intensità desiderata. Si tratta di un'operazione effettuata prima della fioritura e quindi in anticipo rispetto al diradamento dei frutticini.
- il diradamento dei frutticini a 8-10 giorni dalla caduta dei petali. Queste operazioni sono state effettuate rispettando alcuni criteri generali quali:
 - rimozione dei frutticini deformi, danneggiati o visibilmente non in crescita;
 - aggiustamento del carico dei frutti, oltre che nel rispetto dei trattamenti previsti, anche al fine di garantire un rapporto minimo foglie/frutti di 2-3:1;
 - nell'infiorescenza, eliminazione dei frutti laterali e mantenimento del frutto apicale, (*'king flower'*), che ha maggiori possibilità di sviluppo e percentuali più alte di sostanza secca accumulata;
 - rimozione dei frutti nelle parti della chioma più ombreggiate, che tendono ad avere valori di sostanza secca inferiori.

Nel 2020 le tesi erano:

- carico aziendale (100%): diradamento praticato normalmente dall'azienda sulla base delle indicazioni fornite dai tecnici della cooperativa a cui viene conferito il prodotto;
- carico basso (85%): n° di frutti inferiore del 15% rispetto al carico aziendale;
- carico elevato (115%): n° frutti superiore del 15% rispetto al carico aziendale.

Nel 2021 e 2022 le tesi erano:

- carico aziendale (100%): diradamento praticato normalmente dall'azienda;
- carico basso (70%): numero di frutti inferiori del 30% rispetto a quello aziendale;
- carico elevato (120%): numero di frutti superiore del 20% rispetto a quello aziendale;
- *Bud Thinning* (80%): eliminazione di germogli, infiorescenze e bottoni fiorali, per un carico finale di frutti inferiore del 20% rispetto a quello aziendale.

4.2.1.3 *Crop Load Index*

Il raggiungimento di risultati economici positivi nella coltivazione dell'actinidia dipende sempre più dall'abilità del frutticoltore di ottenere produzioni elevate e con frutti nelle classi commerciali di pezzatura elevata, obiettivo che può essere raggiunto con il controllo del carico di gemme ad ettaro, ma soprattutto con il diradamento (Cooper and Marshal 1987).

Uno dei metodi per definire il carico produttivo in un impianto di actinidia e renderlo comparabile con altri, al fine di studiarne l'efficienza da diversi punti di vista è quello di calcolare il *Crop Load Index*, indice ottenuto come rapporto tra il numero dei frutti per pianta e la superficie che ciascuna pianta ha a disposizione per lo sviluppo della chioma, nel presupposto che la stessa abbia uno sviluppo prevalentemente orizzontale come effettivamente avviene nel sistema a Tendone.

Per garantire condizioni uniformi in tutte le prove di diradamento il rapporto foglie/frutti, è stato controllato e, ove necessario, aggiustato a un valore di 3:1, che viene considerato da diversi autori (Cooper and Marshall 1991b, Tombesi et al. 1994) ottimale per produzioni di qualità dal punto di vista della pezzatura e delle caratteristiche fisico-chimiche dei frutti.

Nel caso specifico delle prove di diradamento, i risultati ottenuti dalle diverse tesi sono stati confrontati facendo riferimento a questo indice, il cui denominatore nel rapporto n° frutti e superficie della chioma per la cultivar Hayward con una distanza di impianto di m 4,5 x 4,5 è pari a 20,25 m² e per la SunGold (m 3,0 x 5,0) è pari a 15 m².

4.2.1.4 Tasso di accrescimento dei frutti

Come descritto nel capitolo 4.2.4, le misurazioni periodiche delle dimensioni dei frutti sono state utilizzate per costruire le curve di crescita e per la previsione del peso alla raccolta, ma anche per calcolare il tasso di accrescimento durante la stagione nelle diverse tesi di diradamento. A questo scopo le misure di lunghezza e diametro dei frutti delle due cultivar sono state trasformate in volumi utilizzando le seguenti formule riportate in letteratura:

- per la cultivar Hayward $V=0,38 L^3$ (Green et al. 1990), dove V =volume espresso in cm^3 , L =lunghezza del frutto e 0,38 una costante verificata sperimentalmente dai citati autori;
- per la cultivar SunGold $V=C^2 (L-C/3\pi)/4\pi$ (Prendergast et al. 1987), dove V =volume espresso in cm^3 , C =circonferenza del frutto calcolata come media dei due diametri $\cdot 2\pi$ e L = lunghezza del frutto. Si è assimilata la forma del frutto della cultivar a un cilindro con alle due estremità delle semisfere.

Green et al. (1990) e Prendergast et al. (1987) hanno verificato sperimentalmente la relazione tra peso e volume durante la stagione per tutte le diverse dimensioni dei frutti ricavando una regressione lineare con $R^2 = 0.966$. Tale risultato, per gli usi che si intendono fare dei dati del presente lavoro, possono consentire di assimilare i volumi (cm^3) calcolati ai pesi (g) dei frutti misurati.

Sulla base di questo presupposto il tasso di crescita assoluta del frutto per ciascun intervallo di misura durante la stagione (*Absolute Growth Rate*, AGR) è stato determinato con la seguente formula (Boini et al. 2022):

$$AGR = \frac{W_{t1} - W_{t0}}{T_1 - T_0}$$

dove AGR è espresso in grammi/giorno (g/giorno), W_{t1} e W_{t2} sono i pesi freschi del frutto calcolati sulla base di quanto descritto precedentemente e T_1 e T_0 sono gli intervalli delle misurazioni periodiche dei frutti in pianta.

4.2.2 Irrigazione

4.2.2.1 Piano sperimentale

Le prove di ottimizzazione dell'irrigazione hanno riguardato la varietà SunGold (*A. chinensis* var. *chinensis*), allevata a Tondone e posta alla distanza di m 5x3, pari a 666 p/ha, che è stata sottoposta a diversi regimi irrigui.

Analogamente a quanto fatto nelle prove di diradamento, all'inizio dello studio sono state scelte per ciascuna delle quattro tesi 12 piante disposte su file adiacenti. Per evitare possibili interferenze legate ai volumi di acqua in prova rispetto a quelli delle file adiacenti, ogni fila scelta per le prove era separata lateralmente da due file sottoposte a un volume di irrigazione del 50% rispetto all'irrigazione aziendale (100%).

Le piante, uniformi per vigore e sviluppo della chioma, costituivano le repliche di un disegno sperimentale a pianta singola ripetuto 12 volte per ogni tesi.

4.2.2.2 Tipologie di irrigazione e parametri irrigui adottati

Il metodo di irrigazione usato nel presente lavoro è quello localizzato a goccia con l'applicazione di volumi d'adacquamento diversificati e modificati nel corso dei tre anni sulla base dei risultati ottenuti nell'anno precedente, per meglio calibrare la ricerca sulla situazione in campo, mantenendo però sempre come base di riferimento il volume di irrigazione aziendale (100%).

I volumi idrici sono calcolati sulla base dell'evapotraspirazione potenziale di riferimento (ET_o) ottenuta con il metodo Penman-Monteith (Allen et al. 1998) dai parametri meteorologici rilevati localmente da una stazione meteo del Servizio Agrometeorologico della Regione Lazio (SIARL).

Sulla base dell'ET_o e adottando appropriati coefficienti di correzione che tengono conto delle esigenze specifiche dell'actinidia in funzione dello stadio vegetativo ("Irrinet" project 2023, <https://consorziocer.it/it/strumenti/irrinet/>) e sono denominati 'coefficienti colturali' (K_c), si sono definiti i valori di evapotraspirazione potenziale della coltura (ET_c) utilizzati per il calcolo dei volumi idrici da applicare. I K_c applicabili nel corso della stagione proposti da Irrinet erano 0,4 per aprile, 0,91 per maggio, 1,16 per giugno, 1,25 per luglio, 1,25 per agosto e 0,85 per settembre.

Nel 2020, le tesi di irrigazione sono state:

- irrigazione aziendale (100%): volume di irrigazione applicato normalmente dall'azienda sulla base di una restituzione totale dell'ET_o corretto dal K_c;
- irrigazione del 80%: pari all'80% di quello aziendale di riferimento, quindi con una riduzione del 20% dell'acqua somministrata;
- irrigazione del 50%: pari al 50% di quella aziendale, quindi con il 50% di acqua di restituzione in meno.

Nel 2021, alle tre tesi già allestite nel 2020, è stata aggiunta una quarta tesi. Le tesi pertanto erano:

- irrigazione aziendale (100%): volume di irrigazione applicato normalmente dall'azienda sulla base di una restituzione totale dell'ET_o corretto dal K_c;
- irrigazione del 80%: pari all'80% di quello aziendale, quindi con una riduzione del 20% dell'acqua somministrata;
- irrigazione del 50%: pari al 50% del volume irriguo aziendale, quindi con il 50% di acqua in meno;
- irrigazione su tre linee 80%: composta da tre linee gocciolanti, di cui una disposta sul filare e le altre due a una distanza di 90 cm a destra e sinistra dal centro del filare. Il volume di acqua somministrato è stato l'80% del volume aziendale di riferimento.

Nel 2022 sono state variate le percentuali degli apporti irrigui (tranne quelli per l'irrigazione aziendale di riferimento) in funzione dei risultati ottenuti negli anni precedenti. Le tipologie di irrigazione sono pertanto state:

- irrigazione aziendale (100%): volume di irrigazione applicato normalmente dall'azienda sulla base di una restituzione totale dell'ET_o corretto dal K_c;
- irrigazione del 50%: derivata dalla modifica dell'irrigazione 80% del 2021, con un apporto irriguo quindi di un 50% in meno rispetto a quello aziendale (100%) di riferimento;
- irrigazione del 40%: derivata dalla modifica dell'irrigazione 50% del 2021, con un apporto di un 60% in meno rispetto a quello aziendale (100%) di riferimento;
- irrigazione a tre linee 65%: tre linee di cui una disposta sulla fila e le altre due ai due lati della stessa a una distanza di 90 cm, derivata dalla modifica dell'irrigazione “tre linee 80%” del 2021, con un apporto totale di un 35% in meno rispetto a quello aziendale di riferimento.

Impianto d'irrigazione

L'acqua utilizzata per l'irrigazione proviene da un pozzo artesiano ed è prelevata mediante una pompa sommersa e immessa a pressione negli impianti aziendali.

Le prove si sono svolte sulla sola cultivar SunGold. L'impianto irriguo è costituito da una linea principale di testata e dalle linee secondarie in polietilene (PE) con i gocciolatori disposti lungo i filari.

I gocciolatori utilizzati nell'irrigazione aziendale (100%), posti alla distanza di 75 cm l'uno dall'altro, hanno una portata di 4 l/ha e sono autocompensanti.

La differenziazione dei volumi idrici è stata ottenuta con la sostituzione delle preesistenti linee aziendali con nuove tubazioni in PE sulle quali sono stati inseriti gocciolatori aventi portata diversa, da 1 a 4 l/ha, per distribuire i volumi d'acqua previsti (Figura 25).

Su ciascuna linea delle diverse tipologie di irrigazione sono stati montati dei contatori analogici che hanno consentito un controllo costante delle quantità di acqua somministrata.

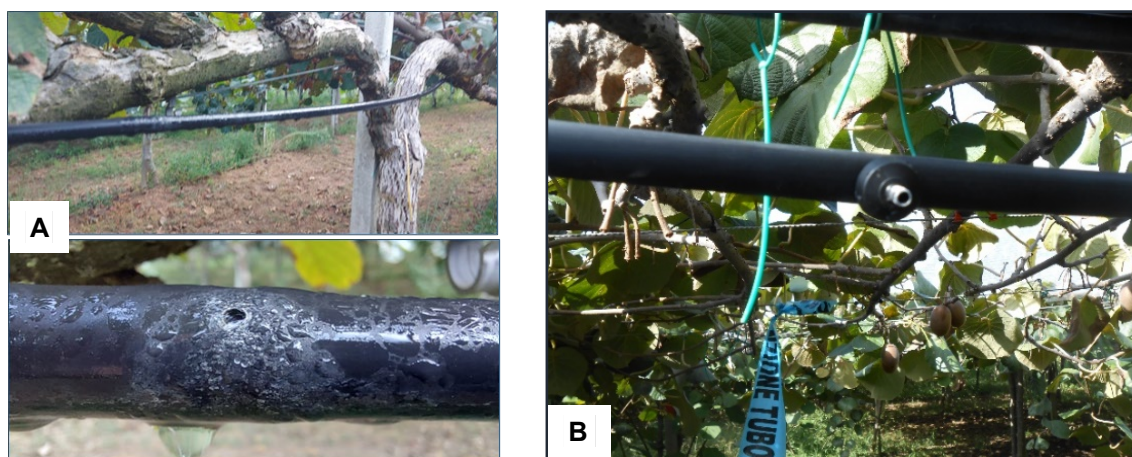


Figura 25. Particolari del sistema d'irrigazione aziendale (A) e di gocciolatore in una delle tesi irrigue diverse da quella aziendale (B)

Details of the irrigation systems used in the Martella farm (A) and dripper used in the irrigation trials different from farm irrigation (B)

4.2.2.3 Monitoraggio dello stato idrico delle piante

Umidità del terreno

L'acqua è una delle tre componenti del terreno che, assieme alla parte minerale e all'aria, ne influenza le caratteristiche fisiche (consistenza, struttura, densità) e idrologiche ma, soprattutto, ha un ruolo importante nella crescita e nella produzione delle piante (Jones 1990).

Nell'ottica di ridurre l'uso di questa risorsa a disponibilità sempre più scarsa, si è andato affermando il concetto di "irrigazione di precisione", che si ripromette tramite un monitoraggio temporale e spaziale costante delle variabili ambientali e della pianta un uso dell'acqua più efficiente e sostenibile.

La pianificazione dell'irrigazione è basata su misurazioni di parametri meteorologici, fisiologici della pianta e idrologici del suolo. In particolare, la gestione dell'irrigazione basata sulle variazioni del contenuto di acqua nel terreno è abbastanza diffusa, supportata anche dalle nuove tecnologie di determinazione dell'umidità del suolo (Lekshmi et al. 2014). In questo campo, negli ultimi anni, vi è stata infatti una continua evoluzione delle tecniche di rilevamento che includono:

- metodi diretti: applicazioni termo-gravimetrici;
- metodi indiretti: scansione con neutroni, misure di resistività, tecniche dielettriche quali ad es. *Time Domain Reflectometry* (TDR) o *Frequency Domain Reflectometry* (FDR).

Le tecniche di determinazione indiretta del contenuto in acqua del terreno sono comunque ancora oggetto di dibattito da parte dei ricercatori (Lekshmi et al. 2014), perché spesso di non semplice applicazione e perché la loro affidabilità dipende molto spesso dalle caratteristiche del terreno e dal tipo di umidità che sono in grado di misurare (acqua libera, gravitazionale, capillare ecc.).

Al di là della scelta del tipo di sensore è molto importante la scelta del loro posizionamento nel terreno (Amiri et al. 2022) e la loro numerosità. In un sistema di irrigazione a spruzzo la posizione dei sensori è prevalentemente condizionata dalla distribuzione delle radici, mentre nell'irrigazione a goccia, oltre alla distribuzione delle radici, gioca un ruolo importante il tipo di terreno e la conseguente profilazione tridimensionale dell'acqua per individuare i punti rappresentativi del potenziale idrico del suolo (Soulis et al. 2015). Per le prove della presente sperimentazione, il contenuto volumetrico di acqua del suolo è stato determinato con metodi indiretti quali i sensori ECH₂O EC-5 (METER Group GmbH - Mettlicher Str.

8, 81379 München, Germany), che misurano la costante dielettrica del terreno adottando la tecnologia *Frequency Domain Reflectometry* (FDR) descritta nel cap. 1.2.3.2.

A tal fine, i sensori sono stati posti orizzontalmente nel terreno a tre profondità (20, 40, 60 cm), a una distanza di 20 cm dal centro della fila e a 30 cm dai gocciolatori.

L'installazione di ciascuna serie di sensori ha riguardato nel 2021 le tre tesi analizzate (irrigazione aziendale 100%, 80% e 50%), mentre nel 2022 tutti i sensori sono stati lasciati nella stessa posizione dell'anno precedente ma sono stati ridotti i volumi idrici della tesi 80% (a 50%) e della tesi 50% (a 40%).

Le letture sono state effettuate periodicamente nel corso della stagione, mediamente 15 - 20 volte ogni anno tra aprile e settembre (**Figura 26**), con un “*Check handheld reader*” (ECH2O - Decagon Devices Inc. - Pullman WA 99163 USA).



Figura 26. Sensore (ECHO EC-5) per la determinazione volumetrica del contenuto dell'acqua nel terreno basato sulla tecnologia *Frequency Domain Reflectometry* (FDR) e lettore digitale dei dati (METER Group)

Sensor for the determination of volumetric water content based on Frequency Domain Reflectometry (FDR) and data reader (Meter Group)

In considerazione delle criticità sopra esposte, il contenuto di acqua del terreno è stato determinato, oltre che per via indiretta, anche direttamente per via gravimetrica mediante prelievi di campioni in campo (**Figura 27**). Il campione umido è stato posto in una stufa d'essiccazione a 105°C fino al raggiungimento di un peso costante. La differenza tra le due pesate ha permesso di ricavare la quantità d'acqua del campione:

$$\text{Contenuto d'acqua (\%)} = \frac{(\text{peso campione umido} - \text{peso campione secco})}{\text{peso campione secco}} \times 100$$

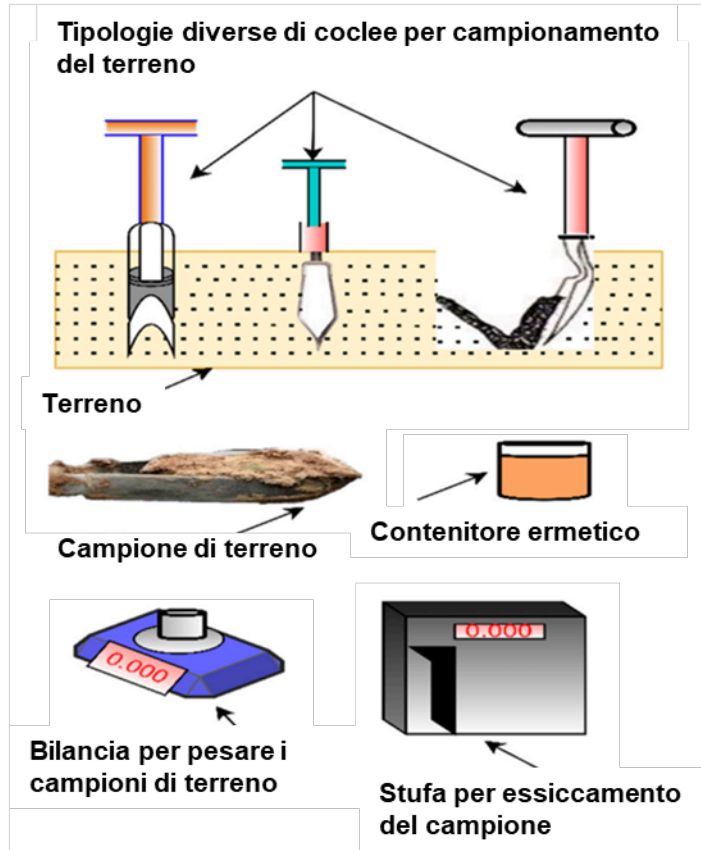


Figura 27. Schema operativo per la determinazione del contenuto d'acqua del terreno con metodo gravimetrico (Modificato da: Rasheed et al. 2022).

Schematic diagram illustrating moisture measurements using the Gravimetric method.

Modificato da/ Modified from: Rasheed et al. 2022

Parametri fisiologici

Scambi gassosi

Le misurazioni degli scambi gassosi sono state effettuate con un sistema portatile Ciras-1 *Portable Photosynthesis System* (PP System Inc. 110 Haverhill Road, Suite 301 Amesbury, MA 01913 USA) che, collegato alla “Leaf cuvette“, acquisisce e registra tra l’altro i seguenti parametri: *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), temperatura dell’aria ($^{\circ}\text{C}$), temperatura della foglia ($^{\circ}\text{C}$), concentrazione del vapore acqueo (mb), traspirazione ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), conduttanza stomatica ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), assimilazione netta (+ = fotosintesi, - = respirazione $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$).

Le misurazioni negli anni sono state effettuate in diversi periodi, ma comunque sempre anche nel mese di agosto, periodo più critico per la fisiologia legata al fabbisogno idrico, contemporaneamente alle misure di *Leaf Water Potential* (LWP) e *Midday Leaf Water Potential* (MSWP). I rilievi sono stati eseguiti su tre foglie per pianta, ben esposte alla radiazione solare, per ciascuna delle 12 piante costituenti il blocco in prova, per un totale di 36 foglie per ogni tesi.

Potenziale idrico delle foglie

Un primo tipo di misurazione è stato effettuato prima del sorgere del sole, *Predawn Leaf Water Potential* (PLWP), per cogliere così una situazione di sostanziale equilibrio tra apparato fogliare, apparato radicale e stato idrico del terreno in assenza di radiazione luminosa e dei processi ad essa legati, in particolare la fotosintesi.

Un altro tipo di misurazione è stato eseguito durante l'arco della giornata, alle ore 9,00 – 12,00 – 15,00 (*Leaf Water Potential*, LWP).

Il *Midday Leaf Water Potential* (MSWP) è stato ottenuto determinando il potenziale fogliare alle ore 12,00, previa copertura della foglia con un sacchetto opaco ed ermetico per equilibrare la pressione della foglia con quella del sistema conduttore.

I rilievi dei diversi tipi di potenziale sono stati eseguiti su una foglia per ciascuna delle 12 piante in prova di ciascuna tesi secondo la metodologia indicata da Levin (2019) e Shackel (2023).

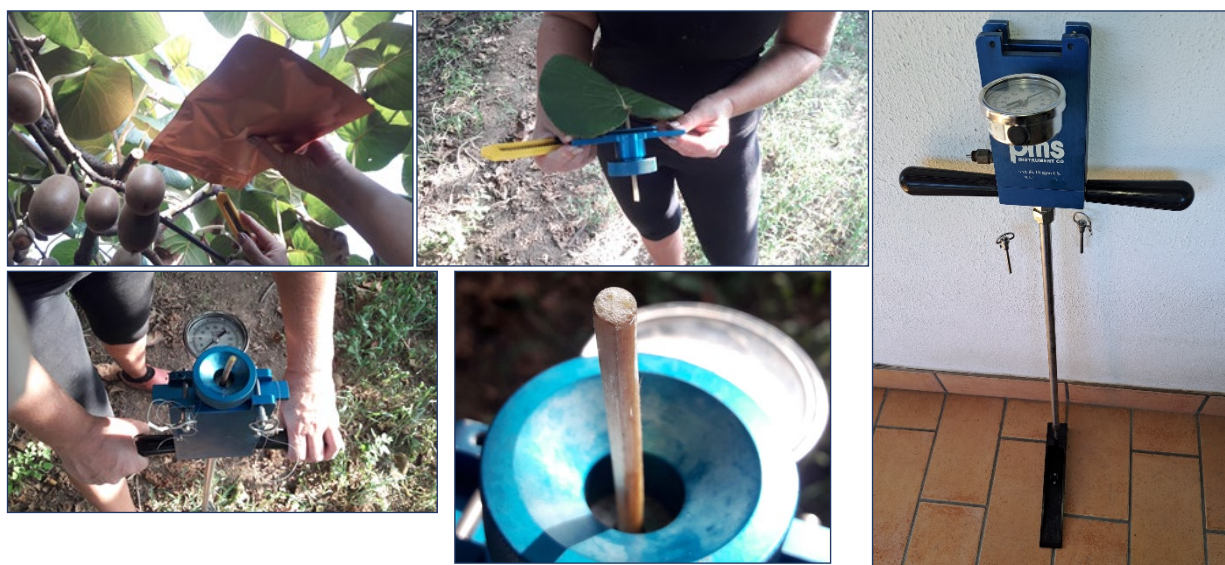


Figura 28. *Prelievo del Midday Leaf Water Potential con camera a pressione portatile «PMS»*
Assessment of Midday Leaf Water Potential using «PMS» Pump-up pressure chamber

L'attrezzatura usata è una camera a pressione portatile, *Pump-up Pressure Chamber* (PMS Instrument Company, 1725 Geary Street SE Albany, OR 97322 USA) che rispetto alle attrezzature tradizionali non richiede bombole di aria/azoto essendo in grado di produrre la pressione richiesta con una propria pompa interna. La **Figura 28** mostra l'attrezzatura usata e i principali passi del rilievo del *Midday Leaf Water Potential* in campo sopra descritto.

Dendrometria

Come descritto nel cap. 1.2.3.3, la tecnica si basa sul principio della misura dei cambiamenti del diametro del tronco nel corso del giorno ed è stata proposta come indicatore di stress idrico delle piante per la gestione dell'irrigazione in quanto molto sensibile alle variazioni di disponibilità idrica nel terreno.

I sensori utilizzati, *Dex Dendrometers* (Dynamax 10808 Fallstone Suite, 350 – Houston, USA), sono degli estensimetri in cui le variazioni del diametro del tronco a cui sono applicati si traducono in variazioni di resistenza elettrica che è misurabile e registrabile tramite un *datalogger*.



Figura 29. Strumentazione per dendrometria in campo
Dendrometry in the field

I dendrometri sono stati applicati, nel 2022, ai tronchi all'altezza di 70 cm dal livello del terreno e in numero di due per ciascuna tesi dei volumi idrici adottati, ovvero irrigazione aziendale (100%), 50%, 40% e a tre linee (65%) e sono stati poi collegati a un *datalogger* CR10 (Campbell Scientific, Logan Utah, USA) (**Figura 29**). Per motivi tecnici legati alla disponibilità di canali di ingresso e dislocazione in campo delle piante sulle quali sono stati montati i sensori, i dati sono stati registrati su due *datalogger* diversi e conseguentemente

anche i risultati sono calcolati come media delle due serie di misurazione della stessa tesi e sono rappresentati in due grafici distinti.

Nel 2021 erano state condotte delle prove preliminari di misurazione con i dendrometri sui tronchi delle prove di irrigazione, e sulla base dei risultati ottenuti si è avviata la sperimentazione vera e propria nel 2022, a partire dalla seconda decade di giugno fino a metà settembre.

4.2.2.4 Sviluppo del sistema radicale nel terreno

La conoscenza della distribuzione e della densità delle radici dell'actinidia nel terreno è importante per individuare correttamente le zone del terreno ottimali sulle quali distribuire l'acqua e i fertilizzanti e, di conseguenza, migliorare l'efficienza dell'intera pianta.



Figura 30. Carotaggio a diverse distanze dalla fila e a diverse profondità per studiare lo sviluppo del sistema radicale nel terreno

Coring at different distances in the alleyway and at different depths in order to assess the development of the root system in the soil.

Al fine di meglio studiare gli effetti della distribuzione localizzata a goccia dell'acqua sul sistema radicale, nel corso del 2022 è stata effettuata una serie di carotaggi del terreno nelle tesi d'irrigazione aziendale 100% e quella delle tre linee 65%, al fine di determinare la concentrazione delle radici per unità di volume di terreno (g/dm^3), classificandole per dimensioni $< 2 \text{ mm}$ e $> 2 \text{ mm}$. La **Figura 30** mostra i principali dettagli di questa attività. I carotaggi sono stati effettuati nel 2022 a diverse profondità (10-20-30-40-50-60 cm) sia sulla fila sia nell'interfilare. Per quanto riguarda le distanze, sulla fila sono state 30-60-90-120-150-180-240 cm, mentre nell'interfilare sono state 30-60-90-120-150-180-210 cm. Per il recupero dei campioni è stata utilizzata una trivella della "Soilmoisture Equipment Corp." (801 S. Kellogg Ave., Goleta, California) in grado di prelevare una quantità di terreno di 1 dm^3 .

Il terreno così estratto è stato posto in un crivello a maglia sottile per la separazione delle radici che per ogni carotaggio (posizione x distanza dalla fila e/o dalla pianta x profondità) sono state classificate in due gruppi, con diametro $< 2 \text{ mm}$ e $> 2 \text{ mm}$, e successivamente pesate. I pesi freschi ottenuti nelle diverse tesi/distanze e profondità (**Figura 31**, **Figura 32**) sono stati utilizzati per delle rappresentazioni grafiche.



Figura 31. Campionamento delle radici presenti a una distanza di 120 cm dal filare a diverse profondità (pianta H: irrigazione 80%; pianta G: irrigazione tre linee)

Samples of roots present at a distance of 120 cm in the alleyway and at different depths (plant H: irrigation 80%; plant G: Three lines irrigation)



Figura 32. Preparazione dei campioni di radici per la pesatura
Preparation of root samples for weight assessment

4.2.3 Determinazione del momento della raccolta

Il momento della raccolta dei frutti è stato individuato sulla base di rilievi in campo relativi al contenuto dei frutti in solidi solubili (*Soluble Solids Content*, SSC), misurato con il rifrattometro ottico ($^{\circ}\text{Brix}$), e il grado di durezza della polpa al penetrometro (kg/cm^2).

Nell'azienda Martella, ove si sono svolte le prove, la cooperativa presso la quale viene consegnato il prodotto applica per la data di raccolta di entrambe le cultivar i valori indicati da *Taste Zespri Grade* (2017) che prevede per Hayward $7,5^{\circ}\text{Brix}$ e un contenuto in DM $>15,5\%$ e per SunGold $8,5^{\circ}\text{Brix}$, un DM $>19,9\%$ e colore della polpa "hue 103".

4.2.4 Rilievi in campo

In entrambe le prove di diradamento e irrigazione sono stati acquisiti:

a) Dati vegeto-produttivi sulle piante

- Parametri fenologici (date di germogliamento, fioritura, diradamento ed epoca di raccolta dei frutti);

- Indice di carico produttivo:
 - nella prova di diradamento, calcolato come rapporto tra numero di frutti per pianta e area della chioma (superficie a disposizione di una pianta in base alla distanza di impianto), utilizzato nella prova di diradamento in Hayward: n° frutti/ 20,25 m² e in SunGold: n°frutti/15 m²;
 - nella prova di irrigazione, sulla base della circonferenza del tronco (cm), misurata a fine stagione all'altezza di 20 cm dal terreno, per la determinazione dell'area della sezione del tronco (cm²) e il calcolo dell'indice di efficienza produttiva (rapporto tra produzione totale (kg) a pianta e area della sezione del tronco (cm²);
- Al momento della raccolta:
 - la produzione totale a pianta (kg);
 - il peso di un campione rappresentativo di 100 frutti a pianta, per la determinazione del loro peso medio;
 - le dimensioni (altezza, diametro minore, diametro maggiore in mm) di 100 frutti rappresentativi per ciascuna pianta in prova, per definire la ripartizione dei frutti in classi commerciali;

b) Altri dati

- Misurazione dei volumi idrici somministrati per le varie tesi di irrigazione mediante contatore meccanico analogico a turbina radiale interna;
- Acquisizione dei dati relativi agli scambi gassosi, potenziale idrico, variazione del diametro dei tronchi mediante dendrometri, con gli strumenti e le metodologie di rilievo descritti precedentemente nel cap. 4.3;
- Acquisizione e registrazione dei dati microclimatici (temperatura e umidità relativa) nel corso dei rilievi fisiologici mediante *micro-dataloggers* (Figura 33).

c) Dati di accrescimento dei frutti

I dati relativi allo sviluppo dei frutti (lunghezza, diametro minore e diametro maggiore in mm), durante la stagione sono stati acquisiti sia nelle prove di diradamento, con lo scopo di prevedere il peso potenziale dei frutti alla raccolta secondo il sistema “Perfrutto”, sia in quelle di irrigazione, per evidenziare l'effetto dei diversi volumi idrici sulla crescita dei frutti.



Figura 33. Calibro “Mitutoyo” collegato con datalogger “Calibit”
 “Mitutoyo” caliber connected to datalogger “Calibit”

4.2.5 Curve di accrescimento

4.2.5.1 Monitoraggio dell’accrescimento dei frutti nella prova di Diradamento

Come descritto nel capitolo 2 (“Agricoltura di Precisione”), “Perfrutto”, è un sistema integrato finalizzato a prevedere la dimensione finale dei frutti al momento della raccolta sulla base di misurazioni periodiche dei frutticini effettuate nel corso della stagione.

I rilievi sono stati effettuati con un calibro elettronico a lettura digitale (*Mitutoyo- American Corporation*) fornito dalla ditta “Horticultural Knowledge s.r.l.”, equipaggiato con *datalogger* e software per l’acquisizione, codificazione e scarico dei dati su Personal Computer.

Le misurazioni dei frutti (lunghezza e diametri trasversali) nelle prove di diradamento delle cultivar Hayward e SunGold sono iniziate circa 25-30 giorni dopo la piena fioritura (DAFB), all’inizio della fase 1, quando dal punto di vista istologico cessa la divisione cellulare nel pericarpo interno ed esterno ma continua più lentamente nel nucleo centrale (Hopping 1976a); in questo periodo, l’evento prevalente nelle tre zone prima citate è l’espansione cellulare, che continua fino all’entrata nella fase 2 caratterizzata normalmente da una stasi degli incrementi in peso fresco.

L’acquisizione dei dati sulle dimensioni dei frutti è continuata, ogni 5-10 giorni, fino alla prossimità della raccolta e ha riguardato 20 frutti a pianta, scelti casualmente sulle 12 piante di ciascuna delle tesi in prova.

I dati ottenuti sono stati utilizzati:

a) in generale, per l'elaborazione delle curve di accrescimento dei frutti e la valutazione dell'andamento del loro sviluppo da 25-30 giorni DAFB fino alla raccolta, con comparazione tra le diverse tesi. Assunto che la lunghezza e la larghezza dei frutti possono rappresentare in modo attendibile l'accrescimento dei frutti (Gallego et al. 1997) e considerato che i frutti in sezione equatoriale (larghezza) tendono a essere appiattiti in misura moderata in SunGold ma più pronunciata in Hayward, si è ritenuto di rappresentare lo sviluppo dei frutti durante la stagione utilizzando i dati di lunghezza;

b) nella prova di diradamento per la previsione del peso finale dei frutti con il sistema “Perfrutto” tramite la collaborazione di *Horticultural Knowledge srl* (Italia). In particolare, la sopracitata startup ha provveduto a fornire i calibri elettronici necessari per effettuare le misurazioni dei frutti per gli anni 2020 e 2021 e all'elaborazione dei dati periodici di accrescimento dei frutti durante la stagione finalizzata alla previsione della dimensione dei frutti e della loro ripartizione relativa in classi commerciali. A questo scopo, sono state utilizzate le dimensioni dei frutti a partire dai 50-60 giorni DAFB, quando al termine della “fase 1” di accrescimento rapido il frutto raggiunge circa il 50% del peso finale (Hopping 1976a, Richardson et al. 2011) ed entra nella “fase 2” caratterizzata da un tasso di crescita più lento.



Figura 34. Determinazione di volume e peso dei frutti in base al loro diametro
Assessment of fruit volume and weight based on their diameter

L'elaborazione ai fini previsionali è stata fatta negli anni 2020 e 2021 da "Horticultural Knowledge srl" (Italia), utilizzando un algoritmo proprietario sviluppato sulla base di un ampio database che interessa diverse specie frutticole disponibili, tra le quali anche l'actinidia.

Nell'anno 2022 è continuata la raccolta dei dati relativi alle dimensioni dei frutti, ma essi non sono stati elaborati per prevedere la dimensione finale dei frutti in quanto la ditta "Horticultural Knowledge srl" ha cessato la sua attività.

Per dare continuità a questo tipo di studio anche nel 2022, si è pertanto proceduto a calcolare nel corso della stagione i pesi dei frutti sulla base dei loro diametri secondo le formule riportate nel capitolo 4.2.1.4 (**Figura 34**. Determinazione di volume e peso dei frutti in base al loro diametro).

4.2.5.2 Monitoraggio dell'accrescimento dei frutti nella prova di Irrigazione

Nelle diverse tesi di irrigazione, per la cultivar SunGold l'accrescimento dei frutti è stato monitorato tramite l'acquisizione delle loro dimensioni (lunghezza e diametro maggiore) a partire da 25-30 giorni DAFB fino in prossimità della raccolta.

Le misurazioni sono state effettuate ogni 5-10 giorni su sei frutti rappresentativi per pianta e per ciascuna tesi, scelti ed etichettati all'inizio della stagione.

I dati sono stati utilizzati per la definizione delle relative curve di accrescimento e per consentire una comparazione dei diversi volumi idrici anche dal punto di vista della loro influenza sullo sviluppo dei frutti. A differenza con le prove di diradamento, non è stata effettuata alcuna elaborazione previsionale del peso medio dei frutti.

4.2.6 Rilievi in laboratorio

Per ciascuna delle 12 piante che costituiscono le repliche di ogni tesi e su ogni cultivar è stato raccolto un campione casuale di 24 frutti, che è stato destinato alla determinazione delle caratteristiche fisico chimiche e qualitative (**Figura 35**).

Sui frutti raccolti in campo sono state effettuate le seguenti misurazioni, secondo le linee guida OECD (2018):

- durezza della polpa (kg/cm^2) misurata su due lati opposti di 12 frutti, con penetrometro Effigi (Italia) puntale da 0,8 mm;

- solidi solubili (°Brix) su sei campioni di succo proveniente dai frutti di sei piante per ciascuna tesi, utilizzando il rifrattometro ottico Turoni srl (Italia);
- acidità totale (%) espressa in acido citrico su sei campioni di succo proveniente dai frutti di sei piante per ciascuna tesi; le analisi sono state effettuate con il titolatore automatico 848 Titrino plus Metrohm (Italia);
- contenuto in sostanza secca (DM) su sei frutti provenienti da sei piante per ciascuna tesi: ciascun frutto è stato tagliato secondo il diametro equatoriale, prelevata una fetta sottile di 2 mm che, posta su un foglietto di carta da forno, è stata immediatamente pesata con una bilancia di precisione Metler Toledo xpr204s per determinare il peso fresco.

Successivamente, i campioni sono stati posti in una stufa ventilata alla temperatura di 65-70°C per 10 o più ore, fino al raggiungimento di un peso costante. Arrivati a questo punto, è stata effettuata la pesatura di ciascuna fetta per determinarne il peso secco, ed è stato calcolato il contenuto in sostanza secca con la seguente formula:

$$\text{Sostanza secca (\%)} = \frac{\text{Peso campione fresco} - \text{peso carta forno}}{\text{Peso campione secco} - \text{peso carta forno}} \times 100$$

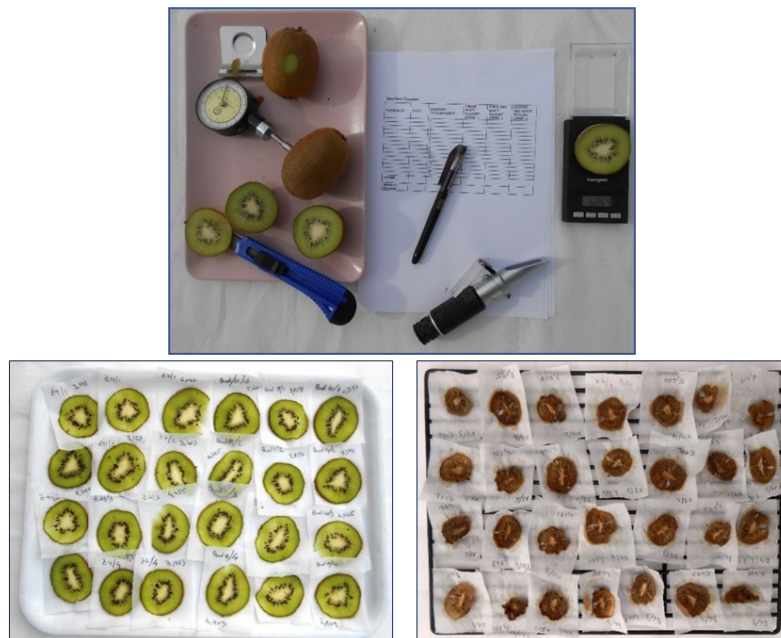


Figura 35. Rilevamento dei parametri qualitativi dei frutti (esempio: Hayward)
Assessment of fruit quality parameters (here: Hayward)

5. RISULTATI

5.1 Fenologia

Nell'arco del triennio 2020-2022 il periodo di germogliamento di Hayward è stato tra l'ultima decade di marzo e la prima metà di aprile (**Tabella 15**). La piena fioritura, determinata come momento di apertura del 50% dei fiori, si è verificata nella terza settimana di maggio, seguita dall'intervento di diradamento dei frutticini nella prima metà di giugno, mentre l'epoca di raccolta è stata nella seconda decade di novembre.

Tabella 15. Parametri fenologici osservati nei tre anni nelle due cultivar
Phenological parameters observed in both cultivars over the triennium

Cultivar	Germogliamento	Piena fioritura (50%)	Diradamento frutti	Raccolta
Hayward				
2020	23 marzo	14 maggio	6 giugno	20 novembre
2021	3 aprile	25 maggio	15 giugno	19 novembre
2022	15 aprile	20 maggio	3-10 giugno	10 novembre
SunGold				
2020	2 marzo	28 aprile	21 maggio	29 settembre
2021	18 marzo	5 maggio	29 maggio	6 ottobre
2022	28 marzo	2 maggio	20 maggio	4 ottobre

La cultivar SunGold in tutte le sue fasi fenologiche anticipa la Hayward di due o tre settimane: Il germogliamento è stato osservato nel corso del mese di marzo, la piena fioritura tra fine aprile e inizio maggio seguita dal diradamento nell'ultima decade di maggio, e la raccolta tra fine settembre e la prima settimana di ottobre.

In entrambe le varietà, nel 2020 le date di germogliamento e di fioritura corrispondono sia a quelle normalmente rilevate in agro romano sia a quelle contenute nelle descrizioni varietali di riferimento (costitutore di SunGold e Collezione di Germoplasma presso il CREA-OFA per la Hayward) riportate nel capitolo 1.1.4.

In Hayward, negli anni 2021 e 2022, invece, si è verificato un progressivo ritardo nell'epoca di germogliamento (10-20 giorni) e nell'epoca di fioritura (6-10 giorni) rispetto all'anno precedente. L'epoca di raccolta non è stata invece soggetta a variazioni notevoli nei tre anni. Similmente anche in SunGold nel 2021 e 2022 le suddette fasi fenologiche sono posticipate rispetto al 2020 e si è assistito a un ritardo, più evidente nel germogliamento (16-26 giorni) e minore sia nella fioritura sia nella raccolta (5-7 giorni in entrambe le fasi).

5.2 Diradamento

5.2.1 Anno 2020

5.2.1.1 Parametri produttivi

Nel 2020, a differenza degli anni successivi, sono stati messi a confronto solo tre livelli di diradamento manuale dei frutti (carico aziendale = 100%, carico elevato = 115% e carico basso = 85%). La

Tabella 16 riporta i risultati per i principali parametri determinati: il livello di diradamento, che indica il numero medio dei frutti per pianta, l'indice di produttività, o *Crop Load Index* (numero di frutti per m² di superficie di chioma), la produzione a pianta in kg, la produzione a ettaro in tonnellate calcolata sulla base del numero di piante a ettaro (nell'azienda Martella, 500 piante/ha in Hayward e 666 piante in SunGold), il peso medio dei frutti in grammi, e le percentuali dei frutti che si collocano nelle classi commerciali più remunerative, quella con peso oltre 90 g, e il suo sottoinsieme, ancora più pregiato, con peso oltre 115 g e 125 g rispettivamente in Hayward e in SunGold.

Il numero di frutti lasciati in pianta dall'azienda, nel 2020, era 960 in Hayward e 482 in SunGold. In base a questi valori di riferimento, con il diradamento leggero (carico elevato del 15%) sono stati lasciati in pianta 1.104 frutti in Hayward e 555 per SunGold, mentre il diradamento più forte (riduzione del carico dei frutti del 15%) è risultato in un carico basso con 816 e 411 frutti, rispettivamente, per le due cultivar.

Gli indici di produttività, funzione diretta del numero di frutti in pianta, sono, in Hayward, 47,4 per il carico aziendale, 54,5 per quello elevato, mentre per il carico basso si registra un indice di 39,8 frutti per m² di chioma. In SunGold, i valori sono, rispettivamente, 32,16 (carico aziendale), 36,9 (carico elevato) e 27,4 (carico basso).

La differenziazione dei livelli di diradamento ha influenzato in modo significativo le produzioni a pianta e quelle a ettaro rispetto al carico aziendale: le produzioni a pianta in termini di kg totali, con il carico elevato, sono risultate superiori del 25% in Hayward (113,8 kg vs 91,1 kg) e dell'8% in SunGold (65,8 kg vs 60,5 kg), mentre quelle con il carico basso si sono ridotte del 20% in Hayward (72,9 kg) e del 13,3% in SunGold (52,4 kg).

I livelli produttivi a pianta, a loro volta, hanno influenzato in modo evidente il peso medio dei frutti che in Hayward, rispetto alla tesi aziendale, è risultato inferiore del 6,7% nella prova del carico elevato (83,2 g vs 89,2 g) e superiore del 20,5% in quella del carico basso

(107,5 g). In SunGold si nota un risultato simile, sebbene meno marcato. Rispetto ai frutti del carico aziendale (125,4 g di peso medio), quelli del carico elevato hanno un peso medio ridotto del 5,5% (118,6 g), mentre nel carico basso il peso medio dei frutti è superiore dell'1,8% (127,6 g).

Per quanto riguarda la produzione a ettaro, in funzione del numero di frutti per pianta, peso medio dei frutti e numero di piante per ettaro, in entrambe le cultivar si osserva la stessa tendenza di scostamento delle tesi del carico elevato e del carico basso rispetto a quello aziendale. In Hayward, il carico aziendale fornisce una produzione di 45,5 t per ettaro, mentre con il carico elevato si ha una produzione del 56,9 t, superiore del 25,0%, e con il carico basso (36,4 t) una produzione inferiore del 20,0% rispetto a quella aziendale.

Tabella 16. 2020: Principali parametri produttivi osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento

2020: Main productive parameters observed in both cultivars, according to thinning method

Cultivar e Tesi	Frutti/pianta		N° frutti/ m² chioma Indice	Prod. a pianta (kg)	Prod./ha (t) (500 piante*) (666 piante**)	Peso medio frutto (g)	% frutti > 90g	% frutti >115 g* >125 g**
	n°	%						
Hayward								
Carico elevato	1104 a	115	54,5 a	113,8 a	56,9 a	83,2 a	23 a	2 a
Carico basso	816 b	85	39,8 c	72,9 b	36,4 b	107,5 b	72 b	20 b
Carico az.	960 c	100	47,4 b	91,1 c	45,5 c	89,2 c	54 c	7 c
Media	960		47,2	92,6	46,3	93,3	49,7	9,6
SunGold								
Carico elevato	555 a	115	36,9 a	65,8 a	43,8 a	118,6 b	84 a	18 a
Carico basso	411 b	85	27,4b	52,4 b	34,9 b	127,6 a	97 b	53 b
Carico az.	482 c	100	32,16 c	60,5 c	40,3 c	125,4 a	94 b	45 c
Media	482		32,1	59,6	39,7	123,8	91,7	42,0

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

* Hayward

**SunGold

In entrambe le cultivar la % dei frutti indicata rappresenta un sottoinsieme della classe >90g della colonna precedente
In both cultivars the % of fruits indicated represents a subset of the >90g class given in the previous column

Per quanto riguarda la percentuale dei frutti nelle classi commerciali di maggior valore, si vede che in entrambe le cultivar il diradamento forte aumenta notevolmente l'appartenenza di frutti alle classi commerciali con peso superiore ai 90 g e 115 g (125 g, nel caso della SunGold). In Hayward, una riduzione dei frutti del 15% rispetto al carico aziendale comporta un aumento del 18% dei frutti con peso oltre 90 g (72 vs 54%) e del 13% di quelli che si collocano nelle classi commerciali con un peso oltre i 115 g (20 vs 7%). Un carico più elevato del 15% rispetto al carico aziendale comporta una riduzione del 31% di frutti con peso oltre i 90 g (23 vs 54%) e una riduzione del 5% di quelli oltre i 115 g (2 vs 7%) del numero dei frutti che raggiungono oltre 115 g.

Lo stesso trend si osserva anche in SunGold, nella quale i frutti del carico elevato risultano di peso medio (118,6 g) significativamente inferiore sia rispetto al carico aziendale (125,4 g) sia al carico basso (125,4 g). Tale differenza risulta soprattutto evidente se si considera la ripartizione dei frutti in classi commerciali superiori ai 125 g, dove il carico basso si contraddistingue per un 8% di frutti in più rispetto al carico aziendale e 35% in più rispetto al carico elevato.

5.2.1.2 Curve di accrescimento

In entrambe le cultivar, le misurazioni delle dimensioni dei frutti (lunghezza e larghezza maggiore) sono iniziate 28-30 giorni dopo la piena fioritura (*Days After Full Bloom*, DAFB) e proseguite con frequenza regolare di circa ogni 7-10 giorni durante la stagione, fino al momento della raccolta.

Le curve di accrescimento evidenziano, in generale, un andamento con momenti di rallentamento e ripresa, più evidenti in Hayward, che fanno supporre una doppia sigmoide (Buwalda and Smith 1990) rispetto a SunGold, in cui è visibile una sigmoide semplice (Gallego et al. 1997). Nell'ambito della stessa cultivar è evidente l'influenza sulle curve del tipo di diradamento e dei diversi carichi produttivi.

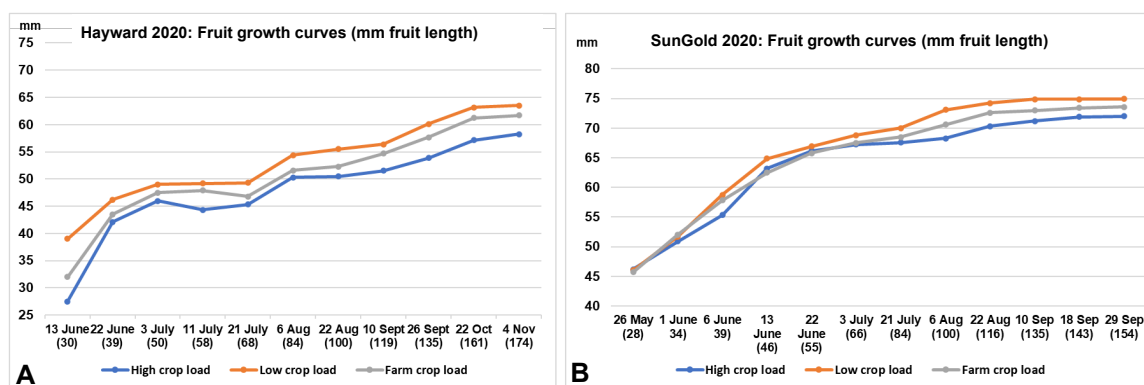


Figura 36. 2020: Curve di accrescimento dei frutti (in mm di lunghezza) di Hayward (A) e SunGold (B) in funzione del diradamento.

Tra parentesi, sotto ogni data di osservazione, si indica il relativo numero del Giorno Dopo la Piena Fioritura.

2020: Fruit growth curves (mm fruit length) of Hayward (A) and SunGold (B) according to thinning method.

In brackets, below each data of observation, indication of the relative Day After Full Bloom, (DAFB)

Per quanto riguarda Hayward (**Figura 36A**), si osserva come il carico elevato e il carico aziendale inducano una minore dimensione iniziale dei frutti rispetto al carico basso. Tale andamento, pur con delle oscillazioni, si mantiene durante tutta la stagione e condiziona

anche il peso finale dei frutti alla raccolta. Il rallentamento della crescita, in questa cultivar, nel mese di luglio, probabilmente è legato alle alte temperature del periodo, che più che avere un effetto diretto sui frutti ne hanno uno indiretto in quanto hanno stimolato l'attività vegetativa in competizione con gli assimilati diretti verso questi ultimi (Bebbington et al. 2009).

Nella cultivar SunGold (**Figura 36B**), in generale, si osserva come inizialmente le curve di accrescimento dei frutti si differenzino poco, in quanto il carico produttivo medio delle tesi non è molto elevato e la competizione per i fotoassimilati con gli altri organi della pianta in questa fase è modesta. Dopo una settimana, il carico basso evidenzia maggiori incrementi di lunghezza del frutto rispetto alle altre tesi, la cui crescita rimane molto simile tra loro.

Nella seconda fase di crescita, più lenta, si vede in entrambe le cultivar come il differenziale di crescita tra le tesi si amplia, risultando più evidente in Hayward, con il carico elevato che rallenta ancora il suo andamento, il carico aziendale che mostra un comportamento intermedio e il carico basso che continua la sua crescita, più rapida.

Le dimensioni finali dei frutti riportati in

Tabella 16 confermano quanto emerge dall'andamento dalle loro curve di crescita.

5.2.1.3 Tasso di accrescimento dei frutti

Durante la fase 1, di rapido sviluppo, della durata di circa 50-60 giorni successivi alla piena fioritura, si raggiunge circa il 50% del peso finale seguito da un periodo più lungo di crescita più lenta fino alla raccolta (fase 2), dipendente dalla cultivar. La discussione sui tipi di curve che meglio rappresentano lo sviluppo dei frutti dell'actinidia è abbastanza vivace, con alcuni autori che sostengono la possibilità, oltre alla doppia sigmoide, anche di una tripla sigmoide (Pratt and Reid 1974) oppure che il cambio di fase sia appena percettibile se la pianta è in ottime condizioni nutrizionali e fisiologiche (Walton and De Jong 1990).

Coombe (1976) in un suo articolo sostiene che il sistema di rappresentazione delle curve di crescita sia arbitrario e che non ci siano indicazioni precise sul punto di passaggio da una fase all'altra. Esiste quindi un certo grado di indeterminazione nella definizione delle fasi e dei punti di cambiamento delle stesse che è stato osservato anche nelle prove del presente lavoro, per cui invece di utilizzare la classica terminologia che prevede tre fasi nella presente sperimentazione si preferisce l'utilizzo dei termini "1° periodo" e "2° periodo".

Hayward

Nel 2020 le misurazioni dell'accrescimento dei frutti di questa cultivar, a causa di eventi meteorologici sfavorevoli a fine maggio/inizio giugno, sono iniziate soltanto a 30 giorni dalla piena fioritura (DAFB), ovvero il 13 giugno e con due settimane di ritardo rispetto agli anni successivi. Per questo motivo, non sono stati monitorati i primi giorni di sviluppo dei frutti e di conseguenza probabilmente non è stata rilevata tutta la fase di crescita iniziale. Complessivamente, sono state effettuate 11 misurazioni durante un periodo di 144 giorni, che si è concluso con la raccolta il 4 novembre.

Le misure delle dimensioni dei frutti effettuate tra 30 e 39 DAFB mostrano valori di crescita giornaliera (*Absolute Fruit Growth Rate*, AGR) che raggiungono 1,80 g nel carico elevato, 2,27 g nel carico basso e 2,09 g nel carico aziendale (**Figura 37**). La crescita continua, anche se a livelli più modesti, fino a 50 DAFB, con valori dimezzati rispetto a quelli immediatamente precedenti (1° periodo); successivamente, i valori di AGR calano ancora fino a raggiungere, a 68 DAFB, un minimo, con valori di 0,08 g/giorno nel carico elevato, 0,10 g/giorno nel carico basso e 0,05 g/giorno nel carico aziendale.

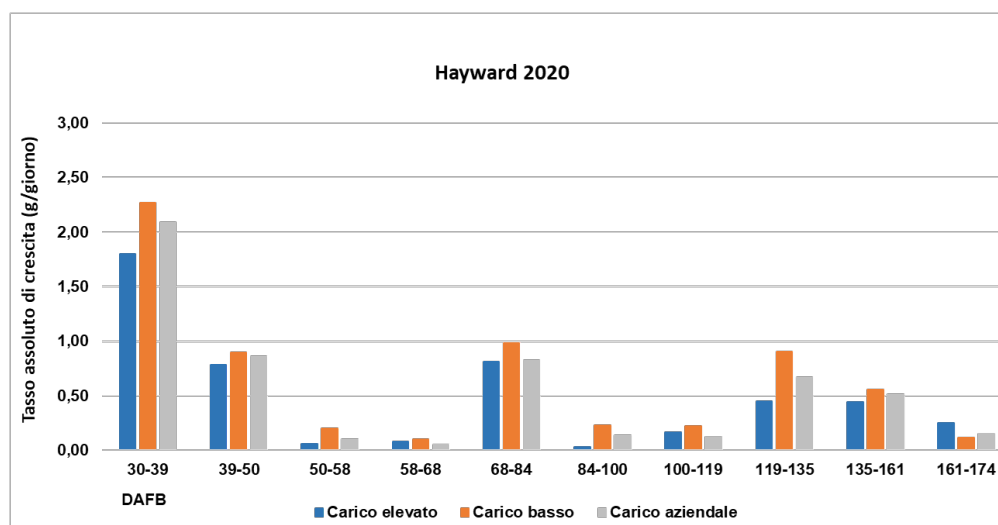


Figura 37. Hayward (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo

Hayward (2020). *Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day, in the different DAFB intervals of field observations*

Successivamente, si osserva un nuovo picco di AGR tra 68 e 84 DAFB nel carico elevato (0,81 g/giorno), carico basso (0,98 g/giorno) e carico aziendale (0,83 g/giorno) e poi un altro picco tra 119 e 135 DAFB, con tassi di crescita giornalieri di 0,45 g nel carico elevato, 0,90 g nel carico basso e 0,67 g nel carico aziendale. Entrambi questi picchi hanno comunque

valori inferiori a quelli iniziali e sono seguiti da valori prossimi a zero fino al momento della raccolta.

Il carico basso mostra durante l'intero periodo di osservazione un tasso di accrescimento più elevato rispetto alle altre due tesi, e questo si conferma anche con i dati riportati nella **Tabella 17**, dove si vede che sia nei due periodi sia nel totale di accrescimento i valori di AGR sono significativamente più elevati rispetto al carico aziendale ed elevato.

I dati cumulati del 1° periodo di accrescimento (fino a 50 DAFB) risultano in tutte le tesi inferiori rispetto a quelli del 2° periodo (50 DAFB fino alla raccolta) e questo è attribuibile al già citato ritardo nell'inizio delle misurazioni con conseguente mancata acquisizione di una parte degli accrescimenti. Per quanto riguarda i valori percentuali di accrescimento del 1° periodo rispetto al totale, la tesi carico basso (34,9%) ha valori inferiori a carico elevato (38,6%) e carico aziendale (38,6%) e questo è attribuibile al fatto che oltre che crescere di più nel 1° periodo lo fa anche nel 2° periodo.

Tabella 17. Hayward (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.

Hayward (2020). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day: Total, partial 1° period, partial 2° period, % 1° period/Total

	Totale (da 1° mis. a racc.) (30-174 DAFB)		1° periodo (da 30 a 50 DAFB)		2° periodo (da 50 a 174 DAFB)		Valore relativo 1° periodo rispetto al Totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
C. elevato	64,74 c	0,45 b	24,83 b	1,24 c	39,91 c	0,32 b	38,36 a
C. basso	86,80 a	0,60 a	30,33 a	1,52 a	56,47 a	0,46 a	34,94 b
C. az.	73,30 b	0,51 b	28,26 a	1,41 b	45,04 b	0,36 b	38,55 a
Media	74,95	0,52	27,81	1,39	47,14	0,38	37,28

I dati relativi alle % prima dell'elaborazione sono stati trasformati in valori angolari.

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

The % data were transformed into angular values before processing.

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

SunGold

Nel primo anno delle prove, le misurazioni delle dimensioni dei frutti (lunghezza e diametro) sono iniziate al 28° giorno dopo la piena fioritura (DAFB) e sono proseguite periodicamente fino alla raccolta al 154° giorno DAFB, coprendo un totale di 126 giorni tra il 26 maggio e il 29 settembre.

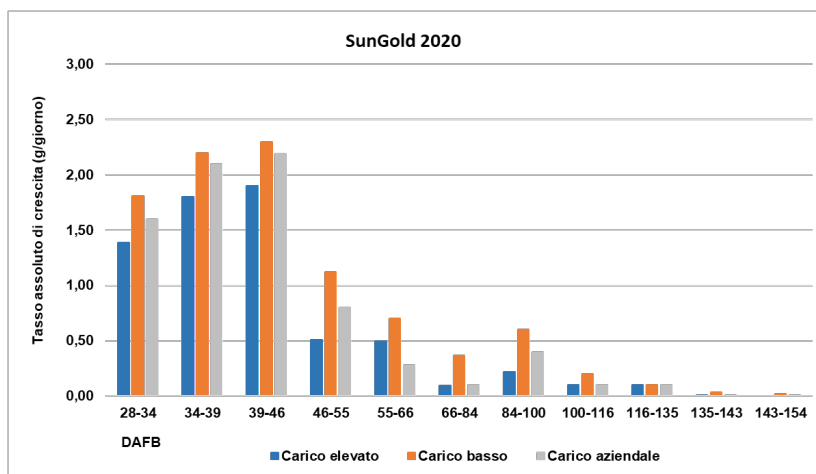


Figura 38. SunGold (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo
SunGold (2020). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day, in the different DAFB intervals of field observations

La **Figura 38** mostra come nel 2020 la crescita dei frutti sia intensa nel 1° periodo, dall'inizio delle misurazioni (28 DAFB) fino a 46 DAFB, con valori giornalieri iniziali di 1,39 g nel carico elevato, 1,81 g nel carico basso e 1,60 g nel carico aziendale, fino a raggiungere dei valori massimi rispettivamente di 1,90 - 2,30 - 2,19 g/giorno.

Successivamente i frutti di tutte le tesi rallentano notevolmente il loro accrescimento (0,51 g/giorno nel carico elevato, 1,12 g/giorno nel carico basso e 0,80 g/giorno nel carico aziendale a 66 DAFB). Da questo momento in poi, tranne una piccola ripresa di AGR tra 84 e 100 DAFB, i valori in tutte le tesi mostrano un andamento decrescente fino alla raccolta. In generale, in tutti gli intervalli osservati nel corso della stagione, i valori di AGR sono significativamente più elevati nel carico basso, seguiti dal carico aziendale e infine dal carico elevato. Questo risulta sia dalla crescita cumulata nel corso della stagione (rispettivamente 77,51 - 57,61 - 49,62 g), sia dai rispettivi valori medi (0,62 - 0,46 - 0,39 g/giorno), come riportato in **Tabella 18**.

I dati cumulati fino a 46 DAFB (1° periodo) evidenziano valori significativamente più elevati per il carico basso (48,05 g) rispetto al carico aziendale (42,63 g) che a sua volta si differenzia significativamente dal carico elevato (35,21 g).

Considerando i valori di AGR espressi in percentuale del 1° periodo rispetto al totale, analogamente a quanto osservato in Hayward, essi risultano significativamente più elevati nel carico aziendale (74%) e carico elevato (71%) rispetto al carico basso (62%).

Tabella 18. SunGold (2020). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.

SunGold (2020). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day: Total, partial 1° period, partial 2° period, % 1° period/Total

	Totale (da 1° mis. a racc.) (28-154 DAFB)		1° periodo (28-46 DAFB)		2° periodo (46-154 DAFB)		Valore relativo 1° periodo rispetto al Totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
C. elevato	49,62 b	0,39 b	35,21 c	1,30 c	14,41 b	0,15 b	70,96 a
C. basso	77,51 a	0,62 a	48,05 a	1,78 a	29,45 a	0,30 a	62,00 b
C. az.	57,61 b	0,46 b	42,63 b	1,58 b	14,98 b	0,15 b	74,00 a
Media	61,58	0,49	41,97	1,55	19,61	0,20	68,99

I dati relativi alle % prima dell'elaborazione sono stati trasformati in valori angolari.

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

The % data were transformed into angular values before processing.

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Questo risultato è attribuibile al fatto che il carico basso rispetto alle altre due tesi, oltre a crescere di più nel 1° periodo, cresce maggiormente anche nel 2° periodo, indicando che un minore carico di frutti favorisce, oltre a una crescita maggiore, anche una crescita nel periodo successivo fino alla raccolta.

5.2.1.4 Previsione del peso finale dei frutti

Dall'elaborazione dei dati relativi alla dimensione dei frutti si rileva che, in entrambe le varietà, i valori previsti del peso finale dei frutti attraverso il sistema "Perfrutto" sono inferiori rispetto a quelli reali e che le previsioni sono più attendibili nella cultivar Hayward rispetto a SunGold (Tabella 19 e Tabella 20).

Un altro aspetto che emerge dai dati è che gli scostamenti percentuali dei pesi previsti rispetto a quelli reali alla raccolta sono molto più elevati tra i 60 e i 100 giorni DAFB rispetto ai periodi successivi.

In Hayward, l'ambito di variazione va da -5,8% (carico aziendale, 68 DAFB) a +3,4% (carico elevato, 100 DAFB), mentre in SunGold da -10,7% (carico aziendale, 66 DAFB) a +2,7% (carico basso, 116 DAFB) (Tabella 19 Parte A e Tabella 20 Parte A).

In Hayward, i valori del peso dei frutti ottenuti dalle previsioni come media delle diverse date in tutte le tesi sono inferiori rispetto a quelli reali: -1,3% (80,9 g) nel carico elevato, -3,6% (103,9 g) nel carico basso e -2,0% (87,2 g) nel carico aziendale.

Tabella 19. Hayward (2020): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema “Perfrutto”

Hayward (2020): Forecast of final fruit weight carried out with “Perfrutto” system

Parte A: Previsioni (g) effettuate ogni giorno della misura e relativa differenza (%) rispetto al peso reale finale. Per ogni data, tra parentesi, è indicato il tempo relativo: Giorno Dopo la Piena Fioritura (Day After Full Bloom, DAFB)

Part A: Previsions (g) carried out at each measurement, and differences compared to final fruit weight at harvest. For each data, in brackets, the respective Day After Full Bloom (DAFB) is indicated

	11 lug. (58)		21 lug. (68)		6 ago. (84)		22 ago. (100)		10 set. (119)		26 set. (135)		22 ott. (161)		4 nov. (174) raccolta
	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso reale (g)
c. elevato	78	-5,1	80	-2,7	81	-1,5	85	3,4	81	-1,5	80	-2,7	81	-1,5	82,2
c. basso	103	-4,2	102	-5,1	104	-3,3	103	-4,2	105	-2,3	104	-3,3	106	-1,4	107,5
c. aziend.	85	-4,7	84	-5,8	88	-1,9	90	0,9	86	-3,6	88	-1,3	90	0,9	89,2

Parte B: Peso medio (g) dei frutti previsto nel periodo delle misure, differenza media rispetto al peso finale reale (%), Deviazioni Standard e Coefficienti di Variazione per le tre tesi

Part B: Medium fruit weight (g) forecasted over the period of measurements, medium difference between forecasted and real final fruit weight at harvest, Standard Deviations and Coefficients of Variation for each trial

	Prev. media (g)	Diff. media (%)	Dev. St.	Coeff. Var.
c. elevato	80,9	-1,3	2,12	0,026
c. basso	103,9	-3,6	1,35	0,013
c. aziend.	87,2	-2,0	2,34	0,027

Il coefficiente di variazione dei pesi prospettati in questa cultivar (Tabella 19 Parte B) per le tre tesi è pressoché uguale nelle tesi a carico elevato (0,026) e aziendale (0,027) mentre è inferiore nel carico basso (0,013), indice di una minore variabilità dei dati previsionali in questa tesi.

Tabella 20. SunGold (2020): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema “Perfrutto”

SunGold (2020): Forecast of final fruit weight carried out with “Perfrutto” system

Parte A: Previsioni (g) effettuate ogni giorno della misura e relativa differenza (%) rispetto al peso reale finale. Per ogni data, tra parentesi, è indicato il tempo relativo: Giorno Dopo la Piena Fioritura (Day After Full Bloom, DAFB)

Part A: Previsions (g) carried out at each measurement, and differences compared to final fruit weight at harvest. For each data, in brackets, the respective Day After Full Bloom (DAFB) is indicated

	3 lug. (66)		21 lug. (84)		6 ago. (100)		22 ago. (116)		10 set. (135)		18 set. (143)		29 set. (154) raccolta
	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso reale (g)
c. elevato	107	-9,8	108	-8,9	112	-5,6	113	-4,7	115	-3,0	117	-1,3	118,6
c. basso	118	-7,5	119	-6,7	126	-1,3	131	2,7	129	1,1	126	-1,3	127,6
c. aziend.	112	-10,7	113	-9,9	117	-6,7	117	-6,7	120	-4,3	121	-3,5	125,4

Parte B: Peso medio (g) dei frutti previsto nel periodo delle misure, differenza media rispetto al peso finale reale, Deviazioni Standard e Coefficienti di Variazione per le tre tesi

Part B: Medium fruit weight (g) forecasted over the period of measurements, medium difference between forecasted and real final fruit weight at harvest, Standard Deviations and Coefficients of Variation for each trial

	Prev. media	Diff. media	Dev. St.	Coeff. Var.
c. elevato	112,0	-7,3	4,22	0,038
c. basso	124,8	-2,8	6,91	0,055
c. aziend.	116,7	-9,2	3,51	0,030

In SunGold, i valori del peso dei frutti ottenuti dalle previsioni come media delle diverse date sono di 112,0 g (-7,3%) nel carico elevato, 124,8 g (-2,8%) nel carico basso e 116,7 g (-9,2%) nel carico aziendale.

Il coefficiente di variazione dei pesi previsti in questa cultivar (**Tabella 20 Parte B**) per le tre tesi è superiore a quello di Hayward e si osservano valori vicini tra loro per carico elevato (0,038) e carico aziendale (0,030), ma un valore più elevato nel carico basso (0,055), indice di una maggiore variabilità dei dati in quest'ultima tesi.

5.2.1.5 Ripartizione dei frutti in classi commerciali

Come descritto nel capitolo 5.2.1.1, nella Hayward le differenze tra i diversi livelli di diradamento sono molto evidenti se si considera la suddivisione in classi commerciali dei frutti, e ciò si evince anche dalla **Figura 39A**: le percentuali di frutti > 90 g sono crescenti, dal carico elevato (23%) al carico aziendale (54%) e infine al carico basso (72%), e ugualmente nelle classi con peso oltre 115g (2% nel carico elevato, 7 % nel carico aziendale e 20% nel carico basso). Il carico elevato, d'altro canto, favorisce la produzione di circa l'8% di frutti con peso di scarto (<60g) e una percentuale molto elevata (circa 60%) di frutti con peso tra 60 e 85 g aventi un minor valore commerciale. Per quanto riguarda il carico aziendale, gli istogrammi delle classi commerciali dei frutti confermano la posizione intermedia di questa tesi rispetto alle altre. Sia il carico aziendale sia il carico basso producono una percentuale molto bassa (circa 1%) di frutti di scarto.

L'esame delle ripartizioni in classi commerciali dei frutti di SunGold (**Figura 39B**) mette in evidenza che nel carico basso la maggior parte dei frutti (circa l'80%) si colloca nelle classi di calibro compresi tra i 110 e oltre 145 g, mentre nel carico elevato soltanto un 43% dei frutti raggiunge queste classi e nel carico aziendale circa il 70%. Tra le tre tesi, quella del carico elevato presenta la percentuale più elevata (55%) di frutti compresi tra gli 80 e 110 g, ovvero in fasce commerciali meno remunerative (**Tabella 8**).

Tra le tesi, solo il carico basso produce una piccola quota (5%) di frutti nella classe oltre i 145 g e soltanto la tesi di carico elevato risulta produrre frutti di scarto aventi un peso <70 g, sebbene in percentuale molto contenuta (circa 3%).

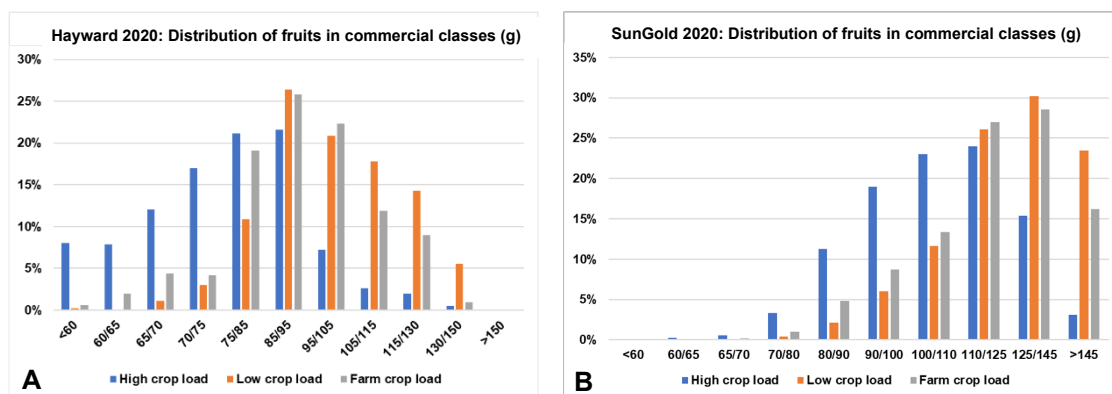


Figura 39. 2020: Hayward (A) e SunGold (B): Distribuzione dei frutti in classi commerciali
2020: Hayward (A) and SunGold (B): Distribution of fruits in commercial classes

5.2.1.6 Parametri qualitativi

I livelli di diradamento, oltre a influenzare le produzioni in termini quantitativi, condizionano anche le caratteristiche chimico-fisiche dei frutti di entrambe le varietà (Tabella 21).

Tabella 21. 2020: Principali parametri qualitativi dei frutti osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento

2020: Main qualitative parameters of fruits observed in both cultivars according to thinning method

Tesi e cultivar	Durezza della polpa (kg/cm ²)	Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (%)	Acidità totale (%)
Hayward				
Carico elevato	7,20 a	8,10 b	17,00 a	1,30 a
Carico basso	6,27 b	9,15 a	18,51 b	1,15 a
Carico az.	6,75 a	8,30 b	17,5 b	1,22 a
Media	6,74	8,52	17,67	1,22
SunGold				
Carico elevato	7,50 a	11,5 a	20,70 b	2,10 a
Carico basso	6,30 b	12,6 b	22,13 a	1,80 a
Carico az.	6,50 b	12,1 b	21,74 b	1,91 a
Media	6,77	12,07	21,52	1,94

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Rispetto al carico basso, nel carico elevato si notano livelli significativamente inferiori dei valori di residuo secco rifrattometrico (Hayward: 8,1 vs 9,15°Brix, SunGold: 11,5 vs 12,6°Brix) e di sostanza secca (Hayward: 17 vs 18,51%, SunGold: 20,7% vs 22,13%) e valori di durezza al penetrometro più elevata (Hayward: 7,2 vs 6,27 kg/cm², SunGold: 7,5 vs 6,3 kg/cm²). Rispetto al carico aziendale di Hayward, i valori dei °Brix sono significativamente più elevati nel carico basso (9,15 vs 8,3), mentre non si riscontrano differenze significative tra queste due tesi per quanto riguarda la sostanza secca.

In SunGold, °Brix e sostanza secca non si differenziano significativamente tra loro, sebbene tali parametri siano leggermente più elevati nel carico basso. La durezza della polpa in Hayward risulta significativamente minore nel carico basso rispetto al carico aziendale (6,27 vs 6,75 kg/cm²), mentre in SunGold non si notano differenze significative per questi parametri.

L'acidità totale è l'unico parametro che non risulta influenzata in modo evidente dalle diverse tesi di diradamento in nessuna delle due cultivar.

5.2.2 Anno 2021

5.2.2.1 Parametri produttivi

Rispetto alle tre tesi del 2020, nelle prove di entrambe le cultivar a partire dal 2021 oltre alle tesi “carico aziendale”, “carico basso” e “carico elevato” è stata introdotta la tesi del *Bud Thinning* descritta nel capitolo 4.2.1.2.

Sono stati anche leggermente modificati i livelli di diradamento come segue:

- carico aziendale di riferimento 100%
- carico elevato 120%
- carico basso 70%
- diradamento fiorale 80% (*Bud Thinning*)

L'azienda, nel 2021, ha adottato un intervento di diradamento più intenso rispetto all'anno precedente. Questo ha comportato una diminuzione per Hayward del 37,4% e per SunGold del 12,7% del numero dei frutti lasciati in pianta rispetto al 2020 e di conseguenza sono variati anche i carichi produttivi delle altre tesi per entrambe le cultivar, sempre calcolati su quelli aziendali (**Tabella 22**).

Per quanto riguarda Hayward, il diradamento più intenso ha comportato un minor numero di frutti per unità di superficie della chioma, quindi una generale riduzione del *Crop Load Index* con valori che risultano significativamente più elevati in carico elevato (38,5) e carico aziendale (32,1), mentre risultano simili in *Bud Thinning* (25,7) e carico basso (22,5).

Le produzioni a pianta e a ettaro sono il risultato della combinazione di carico dei frutti, del loro peso e del numero di piante a ettaro. I valori significativamente più elevati (72,0 kg/pianta) e (36,0 t/h) sono quelli ottenuti con il carico elevato, che però comporta il più basso peso medio del frutto (96,1 g) e soprattutto minori percentuali di frutti con un peso >90 g (67,0%) e >115 g (23,0%).

Segue in ordine decrescente il carico aziendale con produzioni a pianta (68,9 kg) e a ettaro (34,4 t) significativamente inferiori al precedente, ma con un peso medio dei frutti più elevato (106,1 g) che si riflette anche in un incremento percentuale delle classi commerciali dei frutti >90 g (79,0%) e >115 g (40%).

Le produzioni a pianta e a ettaro significativamente più basse (48,9 kg e 24,4 t, rispettivamente) sono indotte dal carico basso, in cui però si ha un notevole incremento del peso medio dei frutti nelle classi commerciali >90 g (86,0%) e >115 g (53,0%).

Infine, il *Bud Thinning* ha fornito produzioni a pianta (58,6 kg) e ad ettaro (29,3 t) più elevate, anche se non in modo significativo rispetto al carico basso, con un peso medio dei frutti più elevato delle altre tesi (116,3 g), come risulta più evidente nella distribuzione in classi commerciali >90 g (93,0%) e >115 g (62,0%).

Anche in SunGold si osserva, come già evidenziato nel 2020, l'incidenza del livello del diradamento sulle produzioni a pianta e quindi anche sulle produzioni a ettaro (Tabella 22). Il carico elevato induce produzioni significativamente più elevate (74,4 kg/pianta) rispetto alle altre tesi; seguono, in ordine decrescente, il carico basso (65,5 kg/pianta) e il carico aziendale (63,3 kg/pianta), simili tra di loro, e infine il *Bud Thinning* (53,0 kg/pianta) diverso da tutte le altre tesi. Il carico basso, nonostante abbia un numero di frutti per pianta inferiore del 30% rispetto al carico aziendale, presenta produzioni elevate (65,5 kg/pianta), inferiori solo al carico elevato, avendo i frutti di peso medio più elevato rispetto a tutte le altre tesi.

Rispetto al carico aziendale, le produzioni percentuali più elevate si sono ottenute nel carico elevato (+17,5%) e carico basso (+3,5%), mentre quelle più basse con il *Bud Thinning* (-16,3%).

Il carico elevato presenta il peso medio dei frutti (136,2 g) più basso di tutte le tesi a confronto. Seguono, in ordine crescente, il carico aziendale (139,1 g), che è statisticamente

simile al carico elevato, il *Bud Thinning* (145,7 g) e il carico basso (152,2 g) che a loro volta non si differenziano tra loro dal punto di vista statistico.

Per quanto riguarda la ripartizione dei frutti in classi commerciali, si confermano le osservazioni del 2020, con il carico elevato e il carico aziendale che presentano le più basse percentuali di frutti nelle classi commerciali >90 e >125g (78 e 45%, 82 e 49%, rispettivamente) a confronto con le tesi sottoposte a diradamento più intenso (carico basso 95 e 79%, *Bud Thinning* 98 e 84%) - cfr. capitolo 5.2.2.5.

Sulla base del numero medio di frutti a pianta nelle varie tesi (455 nel carico aziendale, 546 nel carico elevato, 319 nel carico basso e 364 nel *Bud Thinning*) e della superficie di chioma a disposizione di ciascuna pianta (15,0 m²), si è calcolato il *Crop Load Index* che risulta notevolmente differenziato tra le tesi. I valori significativamente più elevati sono quelli del carico elevato (36,4 frutti/m²) e del carico aziendale (30,3 frutti/m²), seguiti dal *Bud Thinning* (24,3 frutti/m²) e dal carico basso (21,2 frutti/m²), simili tra loro.

Tabella 22. 2021: Principali parametri produttivi osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento

2021: Main productive parameters according to thinning method observed in both cultivars

Cultivar e tesi	Frutti/pianta		N° frutti/ m² chioma Indice	Prod. a pianta (kg)	Prod./ha (t) (500 piante*) (666 piante**)	Peso medio frutto (g)	% frutti > 90g	% frutti >115 g* >125 g**
	n°	%						
Hayward								
Carico elevato	780 a	120	38,5 a	72,0 a	36,0 a	96,1 a	67,0 a	23,0 a
Carico basso	455 b	70	22,5 b	48,9 b	24,4 b	115,5 b	86,0 b	53,0 b
Carico az.	650 c	100	32,1 c	68,9 c	34,4 a	106,1 c	79,0 c	40,0 a
Bud Thinning	520 b	80	25,7 b	58,6 b	29,3 c	116,3 b	93,0 b	62,0 c
Media	601	92	29,7	62,1	31,0	108,50	81,2	44,5
SunGold								
Carico elevato	546 a	120	36,4 a	74,4 a	55,0 a	136,2 a	78,0 a	45,0 a
Carico basso	319 d	70	21,2 cd	65,5 b	48,5 b	152,2 b	95,0 b	79,0 b
Carico az.	455 b	100	30,3 b	63,3 b	46,8 a	139,1 a	82,0 a	49,0 c
Bud Thinning	364 cd	80	24,3 d	53,0 c	39,2 c	145,7 b	98,0 b	84,0 d
Media	421		28,1	64,0	47,4	143,3	88,7	64,5

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

*Hayward

** SunGold

In entrambe le cultivar la % dei frutti indicata rappresenta un sottoinsieme della classe >90g della colonna precedente
In both cultivars the % of fruits indicated represents a subset of the >90g class given in the previous column

5.2.2.2 Curve di accrescimento

Le misurazioni di accrescimento dei frutti mettono in evidenza come i livelli di diradamento, inclusa la tecnica di nuova introduzione, influenzino significativamente il loro sviluppo nel

corso della stagione in entrambe le cultivar, ma in modo più evidente in SunGold rispetto a Hayward (Figura 40A e Figura 40B).

In tutte le tesi di Hayward inizialmente si assiste a una rapida crescita dei frutti fino a raggiungere un “plateau” attorno ai 27 DAFB, da cui poi riparte una crescita più lenta fino alla raccolta. La curva di accrescimento dei frutti nel carico elevato a valori che sono inferiori a quelli delle altre tesi già dalla prima misurazione, soprattutto rispetto a carico basso e *Bud Thinning*, pur manifestando lo stesso andamento di crescita nel corso della stagione.

Nella cultivar SunGold, già all’inizio, è possibile individuare nelle tesi due gruppi: un primo gruppo, costituito dal carico aziendale e dal carico elevato, con più frutti per pianta (455 e 546, rispettivamente) e un secondo gruppo, che comprende il carico basso e il *Bud Thinning*, con meno frutti per pianta (319 e 364) - cfr. Tabella 22.

I frutti del secondo gruppo presentano fin dall’inizio del monitoraggio una lunghezza maggiore del 7,3% rispetto al primo gruppo.

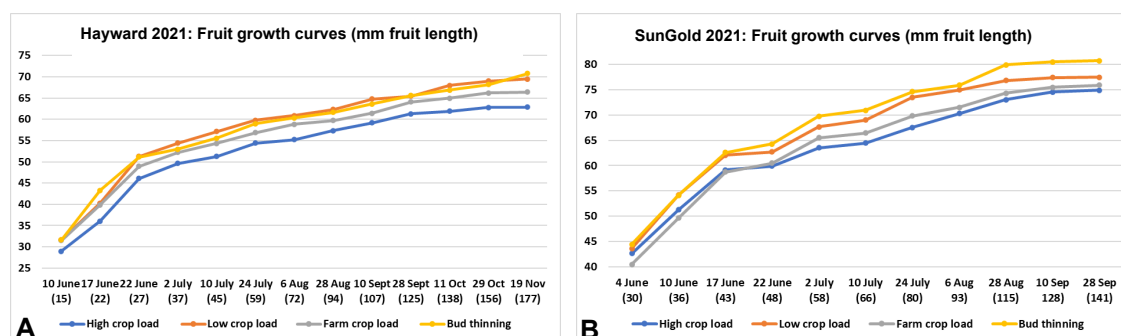


Figura 40. 2021: Curve di accrescimento dei frutti (in mm di lunghezza) di Hayward (A) e SunGold (B) in funzione del diradamento.

Tra parentesi, sotto ogni data di osservazione, si indica il relativo numero del Giorno Dopo la Piena Fioritura.

2021: Fruit growth curves (mm fruit length) of Hayward (A) and SunGold (B) according to thinning method.

In brackets, below each data of observation, indication of the relative Day After Full Bloom (DAFB)

Nei primi 15 giorni delle misurazioni si rileva una crescita rapida dei frutti, distinta per i due gruppi di tesi citate, fino al momento della stasi temporanea (circa 43 DAFB) successivamente alla quale (a 58 DAFB) riparte lo sviluppo del frutto con una progressiva maggiore differenziazione delle curve delle diverse tesi.

In prossimità della raccolta i ritmi di accrescimento si riducono in tutte le tesi, ma in modo più evidente nel carico elevato, nel carico aziendale e nel carico basso rispetto al *Bud Thinning*.

5.2.2.3 Tasso di accrescimento dei frutti

Hayward

Nel 2021 le misurazioni delle dimensioni dei frutti sono iniziate a 15 DAFB (10 giugno) e sono proseguite, a intervalli di 7-10 giorni, fino alla raccolta (19 novembre), per un totale di 13 misure nel corso di 162 giorni.

Nella **Figura 41** si evidenziano i dati di AGR in forte crescita tra 15 e 27 DAFB, con i valori massimi di accrescimento giornaliero di 2,20 g nel carico elevato, 2,88 g nel carico basso, 2,68 g nel carico aziendale e 2,95 g nel *Bud Thinning*. Nelle misure successive, si osserva un calo di AGR fino a 59 DAFB con valori di 0,71 g/giorno nel carico elevato, 0,78 g/giorno nel carico basso, 0,62 g/giorno nel carico aziendale e 0,91 g/giorno nel *Bud Thinning*. Tale decremento prosegue lentamente fino a 94 DAFB in tutte le tesi, seguito da una leggera ripresa di AGR tra 94 e 107 DAFB, ma con valori inferiori ai precedenti incrementi (0,40 g/giorno nel carico elevato, 0,79 g/giorno nel carico basso, 0,50 g/giorno nel carico aziendale e 0,69 g/giorno nel *Bud Thinning*), per poi calare progressivamente fino alla raccolta. Il *Bud Thinning*, in quasi tutti gli intervalli di misura, mostra valori migliori rispetto alle altre tesi, seguito dal carico basso, con l'eccezione del periodo tra 59 e 125 DAFB.

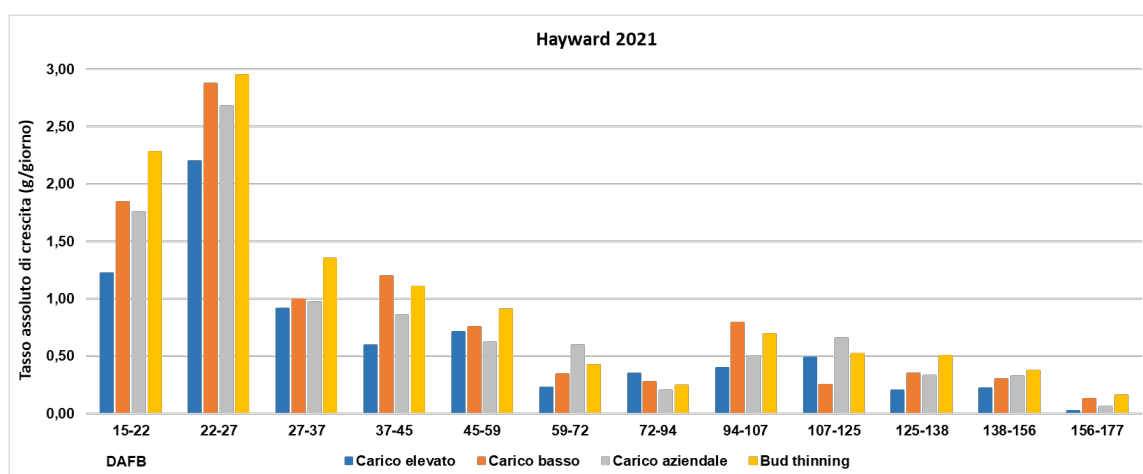


Figura 41. Hayward (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo

Hayward (2021). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day, in the different DAFB intervals of field observations

In generale, i dati di AGR sono significativamente più elevati nel *Bud Thinning* e carico basso rispetto al carico aziendale e carico elevato, come risulta anche in

Tabella 23 sia dai valori della crescita totale (rispettivamente 111,67 - 95,37 - 92,79 e 75,06 g) sia dai valori di crescita media giornaliera (0,69 - 0,59 - 0,57 e 0,46 g/giorno).

I valori di AGR del 1° periodo (fino a 59 DAFB) sono più elevati rispetto a quelli del 2° periodo, come risulta anche dai valori percentuali relativi di tale confronto dove carico basso (60,21%) e *Bud Thinning* (58,86%), simili tra di loro, sono seguiti da carico elevato (57,88%) e carico aziendale (54,91%), che è significativamente più basso rispetto alle altre tesi.

In *SunGold*, le misurazioni delle dimensioni dei frutti nel 2021 sono iniziate un mese dopo la piena fioritura e sono proseguite con 11 misurazioni periodiche durante i successivi 111 giorni, fino alla raccolta effettuata a 141 DAFB.

Nel 2021, i valori di AGR in *SunGold* sono più elevati rispetto al 2020 e sono distribuiti più uniformemente durante la stagione rispetto all'anno precedente (**Figura 42**).

Tabella 23. Hayward (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale Fase 1, parziale Fase 2, % fase 1 su totale.

Hayward (2021). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day: Total, partial Phase 1, partial Phase 2, % Phase 1/Total

	Totale (da 1° mis. a racc.) (15-177 DAFB)		1° periodo (da 15 a 59 DAFB)		1° periodo (da 59 a 177 DAFB)		Valore relativo 1° periodo rispetto al Totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
C. elevato	75,06 d	0,46 d	43,44 d	0,99 d	31,61 d	0,27 c	57,88 b
C. basso	95,37 bc	0,59 bc	57,42 b	1,31 b	37,94 c	0,32 a	60,21 a
C. az.	92,79 c	0,57 c	50,95 c	1,16 c	41,83 b	0,35 a	54,91 c
<i>Bud Thin.</i>	111,67 a	0,69 a	65,73 a	1,49 a	45,94 a	0,39 a	58,86 ab
Media	93,72	0,58	54,39	1,24	39,33	0,33	57,97

I dati relativi alle % prima dell'elaborazione sono stati trasformati in valori angolari.

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

The % data were transformed into angular values before processing.

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

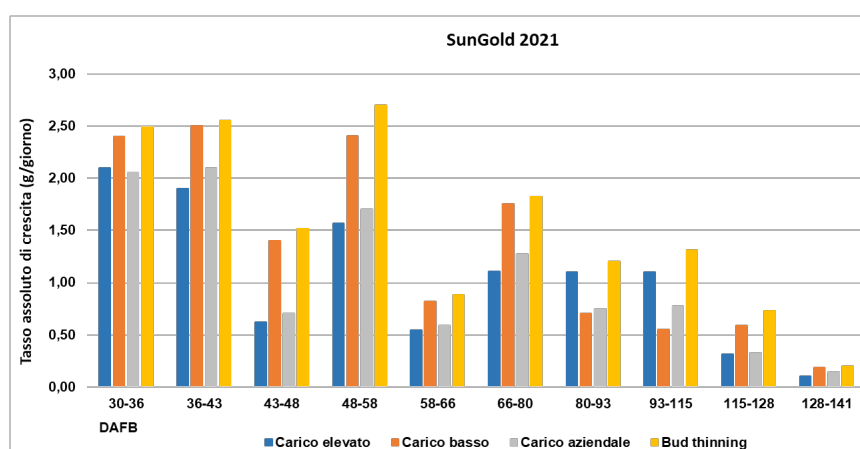


Figura 42. SunGold (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo

SunGold (2021). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day, in the different DAFB intervals of field observations

Tuttavia, si osserva che dopo una crescita iniziale elevata fino a 43 DAFB, con valori da un minimo di 1,9 g/giorno (carico elevato) a un massimo di 2,55 g/giorno (*Bud Thinning*), l'AGR subisce un brusco calo tra 43-48 DAFB raggiungendo un minimo di 0,62 g/giorno nel carico elevato e un massimo di 1,51 g/giorno nel *Bud Thinning*. Successivamente i tassi di crescita presentano delle oscillazioni consistenti, con una ripresa temporanea fino ai valori precedenti (58 DAFB), un nuovo calo (66 DAFB) e un'ultima ripresa a 66-80 DAFB, data a partire dalla quale i valori di AGR calano progressivamente fino alla raccolta.

Il *Bud Thinning*, in tutto il periodo, mostra tassi di accrescimento più elevati rispetto alle altre tesi.

Più specificamente, considerando i tassi di crescita durante l'intera stagione, tutte le tesi si differenziano statisticamente tra di loro (Tabella 24). I valori cumulati totali più elevati si osservano nel *Bud Thinning* (156,40 g), seguiti dal carico basso (126,26 g), carico elevato (108,41 g) e, infine, carico aziendale (102,80 g). Tali dati sono confermati anche dall'AGR medio giornaliero che risulta essere significativamente più elevato nel *Bud Thinning* (1,41 g/giorno) seguito dal carico basso (1,13 g/giorno), carico elevato (0,98 g/giorno) e carico aziendale (0,93 g/giorno).

Tabella 24. SunGold (2021). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.

SunGold (2021) Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day: Total, partial 1° period, partial 2° period, % 1° period/Total

	Totale (da 1° mis. a racc.) (30-141 DAFB)		1° periodo (30-58 DAFB)		2° periodo (58-141 DAFB)		Valore relativo 1° periodo rispetto al Totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
C. elevato	108,41 c	0,98 c	44,68 c	1,60 c	63,73 b	0,77 b	41,21 c
C. basso	125,26 b	1,13 b	62,93 a	2,25 a	62,34 b	0,75 b	50,24 a
C. az.	102,80 d	0,93 c	47,50 c	1,70 b	55,30 c	0,67 c	46,21 b
<i>BudThin.</i>	156,40 a	1,41 a	67,36 a	2,41 c	89,04 a	1,07 a	43,07 c
Media	123,22	1,11	55,62	1,99	67,60	0,81	45,18

I dati relativi alle % prima dell'elaborazione sono stati trasformati in valori angolari.

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

The % data were transformed into angular values before processing.

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Per quanto riguarda i valori di AGR espressi in percentuale tra i periodi di crescita dei frutti, i valori significativamente più elevati si hanno nel carico basso (50,24%) e carico aziendale (46,21%), seguiti da *Bud Thinning* (43,07%) e carico elevato (41,21%), che non si differenziano statisticamente tra loro.

Da questi dati si evince che la crescita dei frutti è inferiore nel 1° periodo rispetto al 2° periodo e questo può essere considerato un evento inconsueto probabilmente legato a una combinazione di fattori colturali e ambientali non spiegabili del 2021 che hanno anche portato a pezzature dei frutti più elevate rispetto agli altri anni.

5.2.2.4 Previsione del peso finale dei frutti

Anche nel 2021, il calcolo previsionale finale del peso dei frutti effettuato con il sistema “Perfrutto” sulla base delle misurazioni effettuate durante la stagione fornisce dei valori che, in generale, sono inferiori a quelli reali e che risultano più attendibili nella cultivar Hayward rispetto alla SunGold (Tabella 25 e Tabella 26).

Tabella 25. Hayward (2021): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema “Perfrutto”

Hayward (2021): Forecast of final fruit weight carried out with “Perfrutto” system

Parte A: Previsioni (g) effettuate ogni giorno della misura e relativa differenza (%) rispetto al peso reale finale. Per ogni data, tra parentesi, è indicato il tempo relativo: Giorno Dopo la Piena Fioritura (Day After Full Bloom, DAFB)

Part A: Previsions (g) carried out at each measurement, and differences compared to final fruit weight at harvest. For each data, in brackets, the respective Day After Full Bloom (DAFB) is indicated

	24 lug. (59)		6 ago. (72)		28 ago. (94)		10 set. (107)		28 set. (125)		11 ott. (138)		29 ott. (156)		19 nov. (177) raccolta
	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso reale (g)
c. elevato	89	-7,4	91	-5,3	93	-3,2	93	-3,2	95	-1,0	95	-1,1	96	-0,1	96,1
c. basso	106	-8,2	109	-5,6	111	-3,9	114	-1,3	116	+0,5	113	-2,2	114	-1,3	115,5
c. aziend.	98	-7,6	103	-2,9	105	-1,0	104	-1,6	105	-1,0	104	-2,0	104	-2,0	106,1
Bud Thin.	109	-6,3	110	-5,4	113	-2,8	116	-0,3	117	+0,6	116	-0,7	115	-1,1	116,3

Parte B: Peso medio (g) dei frutti previsto nel periodo delle misure, differenza media rispetto al peso finale reale (%), Deviazioni Standard e Coefficienti di Variazione per le tre tesi

Part B: Medium fruit weight (g) forecasted over the period of measurements, medium difference between forecasted and real final fruit weight at harvest, Standard Deviations and Coefficients of Variation for each trial

	Prev. media (g)	Diff. media (%)	Dev. St.	Coeff. Var.
c. elevato	93,1	-3,0	2,44	0,026
c. basso	111,9	-3,6	3,30	0,029
c. aziend.	103,3	-2,8	2,32	0,022
Bud Thin.	113,6	-2,7	2,84	0,025

Inoltre, in entrambe le cultivar si confermano le osservazioni del 2020 relative ai più ampi scostamenti percentuali dei pesi previsti rispetto a quelli reali nelle determinazioni delle prime date (60 - 100 DAFB), che poi procedendo nella stagione si riducono (Tabella 25 Parte A e Tabella 26 Parte A).

In Hayward, le differenze vanno da un -8,2% (carico basso, 59 DAFB) a un +0,6% (*Bud Thinning*, 125 DAFB), mentre in SunGold da un -7,3 % (carico aziendale, 58 DAFB) a un +3,6% (carico basso, 80 DAFB) (Tabella 25 Parte B e Tabella 26 Parte B).

I valori del peso dei frutti ottenuti dalle previsioni come media delle diverse date sono di 93,1 g (-3,0%) nel carico elevato, 111,9 g (-3,6%) nel carico basso, 103,3 g (-2,8 %) nel carico aziendale e 113,6 g (-2,7%) nel *Bud Thinning*.

Il coefficiente di variazione dei pesi previsti per Hayward per le tre tesi è pari a 0,026 nel carico elevato, 0,029 nel carico basso e 0,022 nel carico aziendale e 0,025 nel *Bud Thinning* (Tabella 25 Parte B). Si tratta di valori che indicano una ridotta variabilità dei dati.

I valori del peso dei frutti ottenuti dalle previsioni come media delle diverse date sono di 131,6 g (- 4,6 %) nel carico elevato, 144,4 g (-1,3%) nel carico basso, 134,1 g (-5,0%) nel carico aziendale e 151,0 g (-1,2%) nel *Bud Thinning*.

Tabella 26. SunGold (2021): Previsioni del peso finale dei frutti effettuate con il sistema “Perfrutto”

SunGold (2021): Forecast of final fruit weight carried out with “Perfrutto” system

Parte A: Previsioni (g) effettuate ogni giorno della misura e relativa differenza (%) rispetto al peso reale finale. Per ogni data, tra parentesi, è indicato il tempo relativo: Giorno Dopo la Piena Fioritura (Day After Full Bloom, DAFB)

Part A: Previsions (g) carried out at each measurement, and differences compared to final fruit weight at harvest. For each data, in brackets, the respective Day After Full Bloom (DAFB) is indicated

	2 lug. (58)		10 lug. (66)		24 lug. (80)		6 ago. (93)		28 ago. (115)		10 set. (128)		28 set. (141)		6 ott. (149) raccolta
	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso (g)	Diff (%)	Peso reale (g)
c. elevato	127	-6,8	128	-6,0	130	-4,6	132	-3,1	133	-2,3	134	-1,6	137	+0,6	136,2
c. basso	136	-6,7	142	-2,5	151	+3,6	148	+1,6	145	-0,5	146	+0,2	143	-1,9	145,7
c. aziend.	129	-7,3	133	-4,4	136	-2,2	133	-4,4	135	-2,9	136	-2,2	137	-1,5	139,1
Bud Thin.	146	-4,1	148	-2,8	151	-0,8	150	-1,4	156	+2,5	154	+1,2	152	-0,1	152,2

Parte B: Peso medio (g) dei frutti previsto nel periodo delle misure, differenza media rispetto al peso finale reale (%), Deviazioni Standard e Coefficienti di Variazione per le tre tesi

Part B: Medium fruit weight (g) forecasted over the period of measurements, medium difference between forecasted and real final fruit weight at harvest, Standard Deviations and Coefficients of Variation for each trial

	Prev. media (g)	Diff. media (%)	Dev. St.	Coeff. Var.
c. elevato	131,6	-4,6	4,96	0,038
c. basso	144,4	-1,3	4,88	0,034
c. aziend.	134,1	-5,0	6,43	0,048
Bud Thin.	151,0	-1,2	3,19	0,021

I coefficienti di variazione dei pesi previsti nella cultivar SunGold per le tre tesi sono di poco superiori a quelli di Hayward e nelle quattro tesi sono pari a 0,038 nel carico elevato, 0,034 nel carico basso, 0,048 nel carico aziendale e 0,021 nel *Bud Thinning*. I valori sono più elevati rispetto a quelli di Hayward e indicano una più elevata variabilità dei dati in questa

cultivar probabilmente legata a tassi di accrescimento più irregolari nella stagione (Tabella 26 Parte B).

5.2.2.5 Ripartizione dei frutti in classi commerciali

In entrambe le varietà si vede un evidente effetto dei diversi livelli di diradamento che si ripercuote sulla ripartizione dei frutti in classi commerciali.

In Hayward (Figura 43A) appare evidente un generale spostamento del peso dei frutti verso le classi superiori (soprattutto nella fascia tra i 115 e 150 g) nel carico basso e nel *Bud Thinning* (63% dei frutti in entrambe le cultivar), e la completa assenza di scarto (<60 g), che invece è presente sia nel carico aziendale sia nel carico elevato. Queste ultime due tesi tendono a produrre la maggior parte dei frutti nelle classi commerciali tra il 75 e i 115 g: in particolare nel carico elevato, oltre due terzi dei frutti prodotti (67%) si colloca in questa fascia mentre nel carico aziendale circa la metà (51%) di essi.

Anche in SunGold (Figura 43B), il grafico conferma l'esistenza di due gruppi, ovvero il carico aziendale e il carico elevato distinti dal carico basso e *Bud Thinning*. Queste ultime due tesi hanno un numero di frutti significativamente più elevato nelle classi di peso superiori. Per quanto riguarda i frutti con peso >90 g si differenziano statisticamente il carico elevato (78%) e il carico aziendale (82%) dal carico basso (75%) e *Bud Thinning* (98%).

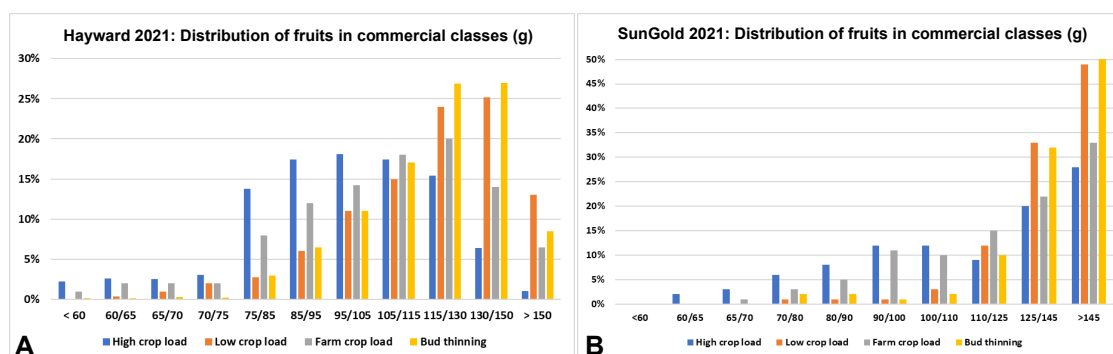


Figura 43. 2021: Distribuzione dei frutti in classi commerciali per Hayward (A) e SunGold (B), in funzione del diradamento

'2021: Distribution of fruits in commercial classes (A: Hayward, B: SunGold), according to thinning method

In particolare, il carico elevato a differenza delle altre tesi presenta anche un 2% di frutti di scarto (<65g) e le più basse percentuali di frutti di pezzatura >125 g (45%); seguono, in ordine crescente, il carico aziendale (49%), il carico basso (79%) e il *Bud Thinning* (84%).

5.2.2.6 Parametri qualitativi

Nel 2021 si confermano i risultati del 2020 che vedono in entrambe le varietà i diversi livelli di diradamento influenzare le caratteristiche chimico-fisiche dei frutti, così come avviene anche nella modalità di diradamento del *Bud Thinning*, introdotta per la prima volta quest'anno nella sperimentazione (Tabella 27).

Tabella 27. 2021: Principali parametri qualitativi dei frutti osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento

2021: Main qualitative parameters of fruits observed in both cultivars, according to thinning method

Cultivar e tesi	Durezza della polpa (kg/cm ²)	Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (%)	Acidità totale (%)
Hayward				
Carico elevato	7,95 a	7,70 a	17,22 b	1,29 a
Carico basso	6,21 b	8,10 b	18,20 a	1,22 a
Carico az.	7,86 a	7,40 a	17,13 b	1,26 a
<i>Bud Thinning</i>	6,11 b	8,26 b	17,47 b	1,20 a
Media	7,03	7,86	17,51	1,24
SunGold				
Carico elevato	6,95 a	10,10 b	21,07 b	1,55 a
Carico basso	5,22 b	11,67 a	22,17 a	1,20 a
Carico az.	6,14 a	10,51 b	21,20 b	1,34 a
<i>Bud Thinning</i>	4,29 c	12,08 a	22,64 a	1,18 a
Media	5,65	11,09	21,77	1,37

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Sia in Hayward sia in SunGold i valori di durezza della polpa aumentano con l'aumentare del carico dei frutti. In Hayward, i valori del carico elevato sono simili a quelli del carico aziendale (7,95-7,86 kg/cm²) e queste due tesi si distinguono in modo significativo dal carico basso (6,21-6,11 kg/cm²) e dal *Bud Thinning* (6,11 kg/cm²), che risultano simili tra loro.

Più evidenti sono le differenze in SunGold, in cui il *Bud Thinning* presenta la durezza della polpa più bassa (4,29 kg/cm²) significativamente diversa dal carico basso (5,22 kg/cm²). Più elevati e simili tra di loro i valori di carico aziendale (6,24 kg/cm²) e carico elevato (6,95 kg/cm²).

Una distinzione in due gruppi significativamente diversi tra loro (carico elevato e carico aziendale da un lato e carico basso e *Bud Thinning* dall'altro) si ha per entrambe le varietà

anche relativamente al contenuto in solidi solubili. In Hayward, i °Brix raggiunti dal primo gruppo (7,7 e 7,4, rispettivamente) rimangono al di sotto della media generale (7,86), mentre quelli del secondo gruppo si collocano al di sopra della stessa, con 8,1 e 8,26°Brix rispettivamente. Lo stesso andamento si osserva anche nella SunGold, nella quale i °Brix sono generalmente più elevati rispetto a Hayward.

Per quanto riguarda il contenuto in sostanza secca dei frutti delle diverse tesi, si vede che i valori più elevati si hanno in SunGold rispetto a Hayward e in entrambe nel carico basso (22,17 - 18,20%). In Hayward, dopo il carico basso, per la sostanza secca seguono in ordine decrescente il *Bud Thinning* (17,47%), il carico elevato (17,22%) e il carico aziendale (17,3%), statisticamente simili tra di loro.

In SunGold, si osservano due gruppi statisticamente diversi, uno composto da *Bud Thinning* (22,64%) e carico basso (22,17%) e l'altro da carico aziendale (21,20%) e carico elevato (21,07%).

Come anche nell'anno precedente, in nessuna delle due cultivar l'acidità totale risulta significativamente influenzata dall'intensità di diradamento.

5.2.3 Anno 2022

5.2.3.1 Parametri produttivi

Nel 2022 sono state ripetute le prove di diradamento dei frutti e il *Bud Thinning* con i diversi carichi produttivi applicati anche nel 2021.

Nella SunGold, il diradamento aziendale dei frutti è stato molto più leggero rispetto agli altri due anni, con la presenza in pianta di un maggior numero di frutti (mediamente +100% rispetto al 2021) e conseguentemente carichi produttivi (n°frutti/m²) particolarmente elevati (**Tabella 28**). In questa cultivar, inoltre, il diradamento del carico basso è passato dal 70% del carico aziendale al 75%.

In Hayward a differenza di SunGold, i livelli di diradamento sono rimasti uguali a quelli del 2021.

In generale, in Hayward il carico produttivo nel 2022 (28,0) è risultato essere inferiore del 40,8% rispetto al 2020 (47,2) e del 5,5% rispetto al 2021 (29,7).

Le produzioni medie a pianta significativamente più consistenti sono state ottenute con il carico elevato (69,7 kg); seguono, nell'ordine e con valori simili tra loro, carico aziendale

(60,9 kg), *Bud Thinning* (58,2 kg) e carico basso (54,1 kg). Tuttavia, il diradamento più intenso non ha ridotto in modo significativo le produzioni a pianta in quanto il minor numero di frutti a pianta del carico basso e del *Bud Thinning* è stato compensato da un maggior peso medio dei frutti rispetto al carico aziendale rispettivamente del 15,6 e 18,5%.

In SunGold, si è osservato che i carichi produttivi sono elevati soprattutto nelle tesi carico elevato (77,6) e carico aziendale (64,7), seguite in ordine decrescente da *Bud Thinning* (51,7) e carico basso (48,5). Le produzioni medie a pianta, correlate al carico produttivo, sono significativamente diverse tra di loro e crescono dalla tesi carico basso (86,2 kg), al carico aziendale (102,6), al *Bud Thinning* (110,8 kg) e al carico elevato (127,3 kg).

L'effetto più evidente del maggior carico produttivo è una riduzione del peso medio dei frutti, che risulta minimo nel carico elevato (105,8 g) e non significativamente diverso nel carico aziendale (109,4 g). I pesi dei frutti crescono nel carico basso (118,5 g) e ancor più nel *Bud Thinning*, dove nonostante un carico superiore al carico basso si è ottenuto il peso medio significativamente più elevato (142,8 g) in quanto l'intervento fatto sui bottoni fiorali, 25 giorni in anticipo rispetto a quello sui frutticini, ha determinato un incremento notevole nella dimensione dei frutti (Antognozzi et al. 1991).

Tabella 28. 2022: Principali parametri produttivi osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento

2022: Main productive parameters observed in both cultivars, according to thinning method

Cultivar e tesi	Frutti/pianta		N° frutti/ m² chioma Indice	Prod. a pianta (kg)	Prod./ha (t) (500 piante*) (666 piante**)	Peso medio frutto (g)	% frutti > 90g	% frutti >115 g* >125 g**
	n°	%						
Hayward								
Carico elevato	737 a	120	36,4 a	69,7 a	34,8 a	97,3 a	49,6 a	4,0 a
Carico basso	430 b	70	21,2 b	54,1 b	27,1 b	118,3 b	78,1 b	31,4 b
Carico az.	615 c	100	30,4 c	60,9 b	30,4 c	102,3 c	58,5 a	7,5a
Bud Thinning	490 b	80	24,2 b	58,2 b	29,1 c	121,2 d	93,1 a	57,8 c
Media	568	92	28,0	60,7	30,3	109,8	69,8	25,2
SunGold								
Carico elevato	1164 a	120	77,6 a	127,3 a	84,8 a	105,8 a	78,1 a	8,2 a
Carico basso	727 b	75	48,5 cd	86,2 b	57,4 c	118,5 b	96,0 c	33,0 b
Carico az.	970 c	100	64,7 b	102,6 c	68,3 b	109,4 a	88,7 b	18,0 c
Bud Thinning	776 b	80	51,7 d	110,8 d	85,9 a	142,8 c	99,0	42,0 d
Media	909		60,6	106,7	74,1	119,1	87,7	22,5

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

*: Hayward

**: SunGold

In entrambe le cultivar la % dei frutti indicata rappresenta un sottoinsieme della classe >90g della colonna precedente

In both cultivars the % of fruits indicated represents a subset of the >90g class given in the previous column

5.2.3.2 Curve di accrescimento

Nella cultivar Hayward, nel 2022 come anche negli ultimi due anni, inizialmente l'accrescimento dei frutti è elevato in tutte le tesi fino a 43 giorni dopo la piena fioritura (DAFB), con valori leggermente più elevati nel carico basso e nel *Bud Thinning* (Figura 44A). Successivamente si evidenzia un rallentamento della crescita dei frutti, con un andamento delle curve molto vicine tra di loro che quasi si sovrappongono nel carico basso e nel *Bud Thinning*, mentre rimangono più distinte del carico aziendale e carico elevato.

A partire da fine agosto (92 DAFB), le curve di accrescimento delle diverse tesi si distinguono maggiormente tra loro, in particolare quella relativa all'accrescimento dei frutti del *Bud Thinning* che conferma questo trend fino al momento della raccolta, seguita da quelle di carico basso, carico aziendale e carico elevato.

Per quanto riguarda SunGold (Figura 44B), i rilievi relativi alla dimensione dei frutti sono iniziati 31 giorni dopo la piena fioritura e, come anche nel 2021, già la prima misurazione ha evidenziato delle differenze tra le tesi a confronto.

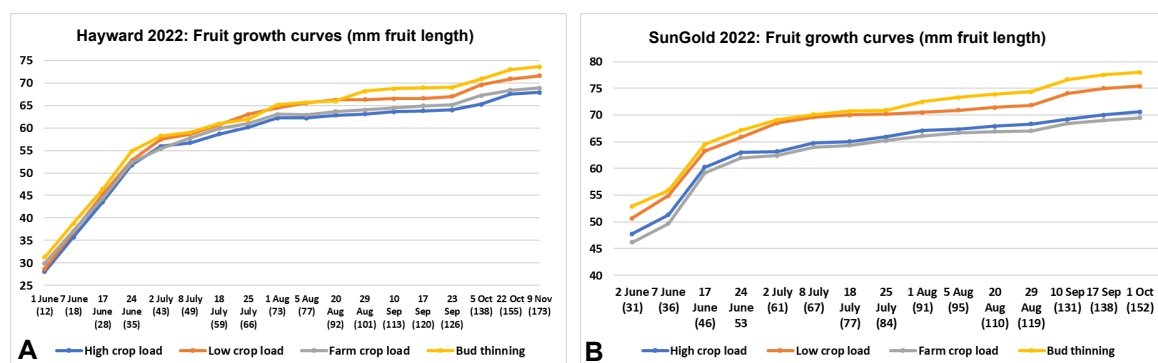


Figura 44. 2022 - Curve di accrescimento dei frutti (in mm di lunghezza) in Hayward (A) e SunGold (B) in funzione del diradamento.

Tra parentesi, sotto ogni data di osservazione, si indica il relativo numero del Giorno Dopo la Piena Fioritura 2022 - Fruit growth curves (mm fruit length) in Hayward (A) and SunGold (B) according to thinning method. In brackets, below each data of observation, indication of the relative Day After Full Bloom (DAFB)

In particolare, e in modo ancor più evidente rispetto al 2021, è possibile distinguere due gruppi: un primo gruppo costituito dalle tesi carico aziendale e carico elevato con un elevato numero di frutti a pianta e un secondo gruppo costituito da carico basso e *Bud Thinning* aventi circa un 20-25% di frutti in meno che mostrano da subito lunghezze più elevate rispetto alle altre due tesi.

Il primo gruppo mostra un ritmo di sviluppo dei frutti minore rispetto al secondo anche se in entrambi abbiamo delle curve, a sigmoide semplice con una fase iniziale di crescita rapida

(fino a 46 DAFB) seguita da una breve stasi e successivamente una ripresa più lenta (da 84 DAFB) che, con modeste oscillazioni continua fino alla raccolta.

Nelle tesi carico aziendale e carico elevato la flessione delle curve è più evidente rispetto a quelle del carico basso e *Bud Thinning*. Il carico elevato presenta costantemente una curva di crescita leggermente più alta rispetto a quella del carico aziendale.

5.2.3.3 Tasso di accrescimento dei frutti

Hayward:

Nel 2022 le misurazioni dei frutti sono iniziate a 12 DAFB, per cui si evidenzia bene l'andamento inizialmente crescente degli AGR (**Figura 45**) che a 43 DAFB raggiungono un massimo (1,27 g/giorno nel carico elevato, 1,75 g/giorno nel carico basso, 1,8 g/giorno nel carico aziendale e 2,02 g/giorno nel *Bud Thinning*) per poi decrescere fino a 49 DAFB con valori di 0,46 g/giorno (carico elevato), 0,76 g/giorno (carico basso), 0,72 g/giorno (carico aziendale) e 0,49 g/giorno (*Bud Thinning*), segnando la fine della fase 1.

Con le misurazioni successive si nota di nuovo un leggero incremento fino a 73 DAFB del tasso di crescita, che raggiunge valori di 0,95 g/giorno nel carico elevato 1,10 g/giorno nel carico basso, 0,93 g/giorno nel carico aziendale e 1,20 g/giorno nel *Bud Thinning*. A partire da 77 DAFB si ha un'immediata e consistente riduzione di AGR verso valori di 0,10 g/giorno nel carico elevato, 0,30 g/giorno nel carico basso, 0,10 g/giorno nel carico aziendale e 0,40 g/giorno nel *Bud Thinning*. Tali modesti tassi di crescita, pur con delle lievi oscillazioni, permangono fino alla raccolta.

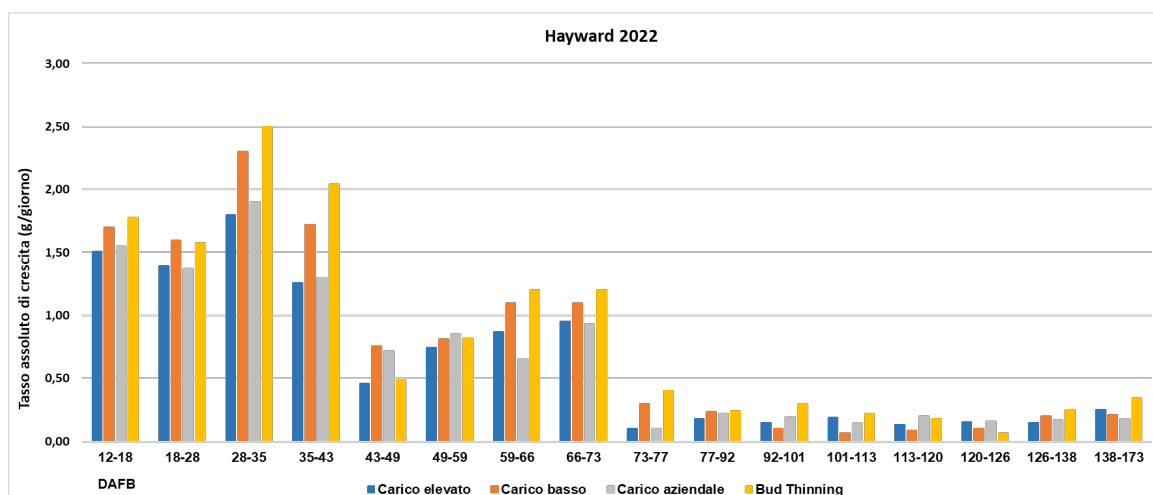


Figura 45. Hayward (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo

Hayward (2022). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day, in the different DAFB intervals of field observations

I valori annuali cumulati della crescita risultano statisticamente diversi tra *Bud Thinning* (115,49 g) e carico basso (101,39 g), seguiti da carico aziendale (88,69 g) e carico elevato (87,71 g) che tra loro risultano simili (Tabella 29). Questo andamento risulta confermato anche nei tassi di crescita giornaliera media ricavati su base annuale, con 0,72 g nel *Bud Thinning* e 0,63 g nel carico basso e 0,55 e 0,54 g rispettivamente nel carico elevato e carico aziendale.

Considerando la ripartizione di AGR durante il periodo di sviluppo del frutto, si evince che i livelli cumulati di crescita sono più elevati nel 1° periodo di crescita rispetto al 2° periodo, con valori diversificati tra le tesi.

In entrambi i periodi il *Bud Thinning* e il carico basso risultano avere i valori di accrescimento cumulati e medi più elevati rispetto a carico aziendale e carico elevato anche se diversamente articolati dal punto di vista statistico.

Considerando i tassi di accrescimento del 1° periodo rispetto al totale annuale, in ordine decrescente, i valori relativi percentuali ammontano a 55,24% nel carico basso, statisticamente più elevato rispetto al carico aziendale (52,70%), *Bud Thinning* (52,14%) e carico elevato (52,06%).

Tabella 29. Hayward (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.

Hayward (2022). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day: Total, partial 1° period, partial 2° period, % 1° period/Total

	Totale (da 1° mis. a racc.) (12-173 DAFB)		1° periodo (da 12 a 43 DAFB)		2° periodo (da 43 a 173 DAFB)		Valore relativo 1° periodo rispetto al Totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
C. elevato	87,71 c	0,54 b	45,66 b	1,47 c	42,05 c	0,32 b	52,06 b
C. basso	101,39 b	0,63 a	56,01 a	1,81 b	45,38 b	0,35 b	55,24 a
C. az.	88,69 c	0,55 b	46,74 b	1,51 b	41,95 c	0,32 b	52,70 b
<i>Bud Thin.</i>	115,49 a	0,72 a	60,21 a	1,94 c	55,28 a	0,43 a	52,14 b
Media	98,32	0,61	52,16	1,68	46,17	0,36	53,03

I dati relativi alle % prima dell'elaborazione sono stati trasformati in valori angolari.

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

The % data were transformed into angular values before processing.

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

SunGold

Nel 2022 i valori di AGR presentano oscillazioni stagionali simili a quelle del 2021, ma comunque con proprie peculiarità distintive (**Figura 46**).

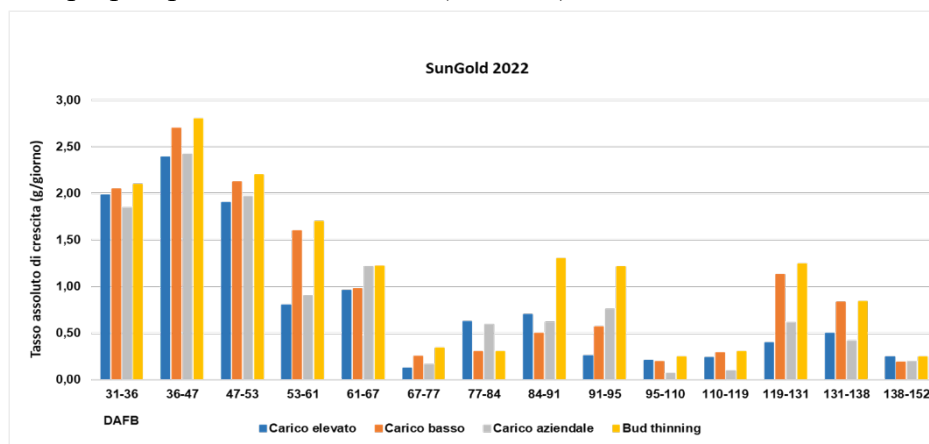


Figura 46. SunGold (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno) negli intervalli DAFB delle misurazioni eseguite in campo

SunGold (2022). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day, in the different DAFB intervals of field observations

A una notevole crescita giornaliera iniziale, con valori che a 47 DAFB raggiungono 2,39 g/giorno nel carico elevato, 2,70 g nel carico basso, 2,42 g nel carico aziendale e 2,80 g nel *Bud Thinning*, segue un lento e progressivo decremento fino a 67 DAFB in cui si raggiungono valori di 0,91 g nel carico elevato, 0,99 g nel carico basso, 1,24 g nel carico aziendale e 1,25 g nel *Bud Thinning*. Tale punto segna la fine del 1° periodo di accrescimento con valori in brusco calo fino a 77 DAFB. Seguono due ulteriori cicli di crescita, più modesti (77 - 95 e 119 - 138 DAFB), l'ultimo dei quali si conclude con la raccolta, intervallati da un periodo di stasi tra 95 e 119 DAFB. Questo andamento stagionale lascia supporre una curva di crescita del frutto a doppia sigmoide.

Come anche nei due anni precedenti, durante la stagione *Bud Thinning* e carico basso si distinguono dal carico aziendale e carico elevato per valori più elevati e ciò risulta evidente nei valori di crescita cumulati dell'anno in cui *Bud Thinning* (125,57 g) e carico basso (109,16 g/giorno) sono anche significativamente diversi tra di loro (**Tabella 30**). I valori di carico elevato (88,19 g) e carico aziendale (87,53 g), sono significativamente inferiori alle altre due tesi e statisticamente simili tra di loro.

Tabella 30. SunGold (2022). Tasso assoluto di crescita dei frutti (g/giorno): Totale, parziale 1° periodo, parziale 2° periodo, % 1° periodo su totale.

SunGold (2022). Absolute Fruit Growth Rate (AGR), expressed in g/day: Total, partial 1° period, partial 2° period, % 1° period/Total

	Totale (da 1° mis. a racc.) (31-152 DAFB)		1° periodo (31-67 DAFB)		2° periodo (da 67 a 152 DAFB)		Valore relativo 1° periodo rispetto al Totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
C. elevato	88,19 c	0,73 b	59,75 c	1,66 a	28,44 c	0,33 c	67,75 a
C. basso	109,16 b	0,91 a	71,32 b	1,98 a	37,84 b	0,45 a	65,34 a
C. az.	87,53 c	0,73 b	62,12 c	1,73 a	25,41 c	0,30 c	70,97 a
Bud Thin.	125,57 a	1,05 a	75,41 a	2,09 b	50,16 a	0,59 a	60,05 b
Media	102,61	0,86	67,15	1,87	42,83	0,42	66,03

I dati relativi alle % prima dell'elaborazione sono stati trasformati in valori angolari.

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

The % data were transformed into angular values before processing.

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Anche i valori medi di AGR sono più elevati nel *Bud Thinning* (1,05 g/giorno) e carico basso (0,91 g/giorno) rispetto al carico elevato e carico aziendale (0,73 g/giorno in ciascuna delle due tesi).

I valori cumulati del 1° periodo di crescita del frutto, in tutte le tesi, sono più elevati rispetto a quelli del 2° periodo e questo viene ben rappresentato dai valori relativi percentuali dove abbiamo il 70,97% per il carico aziendale, il 67,75% per il carico elevato e il 65,34% per il carico basso (tra loro simili) e infine il 60,05 % nel *Bud Thinning*, significativamente diverso dai precedenti.

5.2.3.4. Ripartizione dei frutti in classi commerciali

Il terzo anno di prove conferma ulteriormente in entrambe le cultivar come la suddivisione in classi commerciali dei frutti sia strettamente legata ai diversi livelli di diradamento.

Dalla **Figura 47A** si evince anche come in Hayward il carico aziendale e il carico elevato, a differenza delle altre due tesi, non presentino frutti nelle classi di peso superiori ai 150 g, ma invece frutti di peso inferiori ai 70 g, inclusi quelli di scarto, inferiori a 60 g.

L'effetto positivo del diradamento sulla dimensione dei frutti si evince anche dalle percentuali di frutti con peso medio superiore ai 90 g che risulta significativamente più elevato proprio nel carico basso (78,1%) e ancor più nel *Bud Thinning* (93,1%). Tali differenze si amplificano se si considerano le percentuali di frutti con peso medio superiore ai 115 g.

Il peso finale dei frutti alla raccolta in tutte le tesi è in sintonia con i dati relativi alle curve di accrescimento.

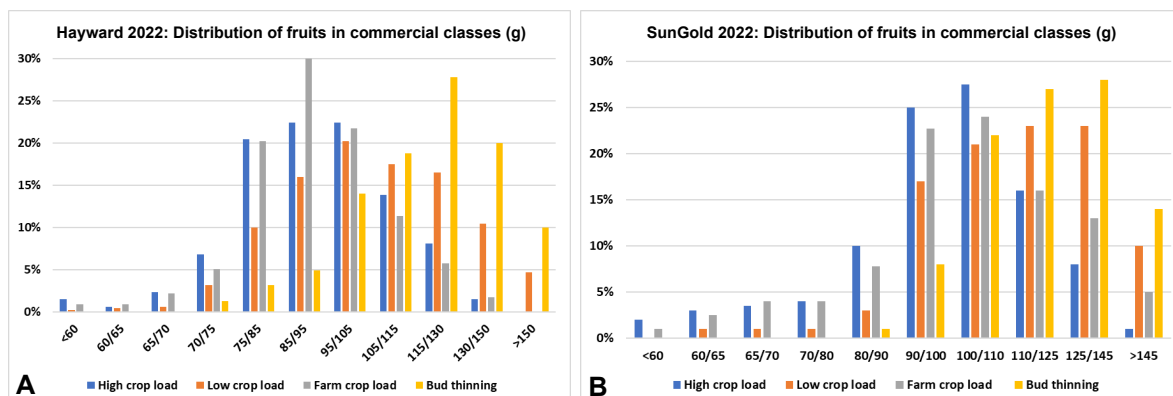


Figura 47. 2022: Distribuzione dei frutti in classi commerciali in Hayward (A) e SunGold (B)
2022: Distribution of fruits in commercial classes (A: Hayward, B: SunGold)

Per quanto riguarda SunGold, questi risultati sono ancora più evidenti (**Figura 47B**). Infatti, in termini di peso il carico basso risulta avere il 96,0% dei frutti nella classe commerciale >90 g e il 53,2% nella classe >125g, valori più elevati del carico aziendale che registra rispettivamente l'88,7% e il 18%. Il *Bud Thinning* si contraddistingue ulteriormente in quanto in questa tesi la percentuale dei frutti >90g è pari al 99% e quella dei frutti >125 g pari al 64%. Questa tesi, inoltre, non presenta frutti nelle classi con peso inferiore a 80-90 g. I dati mettono altresì in evidenza come il carico elevato abbia una bassa percentuale di frutti con calibri >145 g (2%), mentre i frutti sono invece concentrati nelle classi commerciali 90-110 g e inferiori; segue il carico aziendale che ha una distribuzione in classi commerciali intermedia.

5.2.3.5 Parametri qualitativi

La **Tabella 31** mostra come nella cultivar Hayward, anche nel terzo anno di prova, i frutti sviluppatasi nelle tesi di carico elevato e carico aziendale abbiano una durezza al penetrometro significativamente più elevata (rispettivamente 6,81 e 6,4 kg/cm²), indicazione che in queste tesi la maturazione dei frutti tende a essere ritardata rispetto al carico basso (5,14 kg/cm²) e al *Bud Thinning* (5,9 kg/cm²) che risultano simili tra di loro.

Tabella 31. 2022: Principali parametri qualitativi dei frutti osservati in entrambe le cultivar, in funzione del diradamento

2021: Main qualitative parameters of fruits observed in both cultivars, according to thinning method

Tesi e cultivar	Durezza della polpa (kg/cm²)	Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (%)	Acidità totale (%)
Hayward				
Carico elevato	6,81 a	7,15 a	17,10 b	1,53 a
Carico basso	5,14 b	8,65 b	18,38 a	1,37 a
Carico az.	6,40 a	7,48 a	17,25 b	1,59 a
Bud Thinning	5,90 b	8,93 b	18,77 a	1,34 a
Media	6,06	8,05	17,87	1,46
SunGold				
Carico elevato	8,31 a	8,13 a	17,16 c	1,55 a
Carico basso	7,85 b	9,00 b	18,19 b	1,25 a
Carico az.	8,12 a	8,43 a	17,49 a	1,50 a
Bud Thinning	6,87 c	11,82 c	19,1 a	1,20 a
Media	7,79	9,34	17,98	1,37

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Le differenze tra le tesi sono evidenti anche per quanto riguarda le altre caratteristiche qualitative, quali solidi solubili e contenuto in sostanza secca, che risultano significativamente più elevati nel carico basso (8,65°Brix, 18,38 % SS) e nel *Bud Thinning* (8,93°Brix, 18,77% SS), a conferma del fatto osservato già in precedenza che un minor carico di frutti influenza positivamente queste caratteristiche qualitative.

I valori di acidità totale nelle diverse tesi, pur con delle modeste variazioni che evidenziano un trend in cui il carico basso e *Bud Thinning* hanno una minore acidità totale, risultano simili tra di loro e a livelli normali per la cultivar.

In SunGold, le produzioni elevate del 2022 hanno determinato un ritardo nel processo di maturazione dei frutti in pianta rispetto agli altri anni, che risulta evidente dalle caratteristiche fisico-chimiche dei frutti.

La durezza al penetrometro, infatti, ha valori più elevati degli altri due anni, variando da un minimo di 6,87 kg/cm² nel *Bud Thinning* a un massimo di 8,31 kg/cm² nel carico elevato; simile a quest'ultimo è il carico aziendale con 8,12 kg/cm².

Indicativi del ritardo di maturazione sono anche i °Brix e il contenuto in sostanza secca che sono crescenti e in accordo con il minor carico di frutti: carico elevato 8,13° Brix e 17,6 % di SS; carico aziendale 8,43° Brix e 17,49 % di SS; carico basso 9,0° Brix e 18,19% di SS.

Il *Bud Thinning* si differenzia significativamente dalle altre tesi perché risulta più maturo (durezza 6,87 kg/cm²) e con i valori più elevati come °Brix (11,82) e contenuto in sostanza secca (19,1%). Tale risultato è da attribuire sia al minor carico di frutti a pianta ma anche al tipo di diradamento, che è avvenuto circa 25 giorni prima di quello dei frutticini e quindi ha consentito di anticipare la maturazione fisiologica dei frutti.

I valori di acidità totale non risultano statisticamente diversi, anche se comunque i valori di carico elevato e carico aziendale sono più elevati del carico basso e del *Bud Thinning*.

5.2.4 Crop Load Index

Poiché gran parte della produzione di actinidia italiana viene esportata, al di là del rispetto nelle normative per la commercializzazione nazionale e internazionale essa è fortemente condizionata dagli standard qualitativi relativi alle classi commerciali di calibro e alle caratteristiche interne dei frutti proposti dalle associazioni dei produttori e degli esportatori della Nuova Zelanda. Tali standard dipendono dalla gestione colturale e in primo luogo dal carico produttivo, che viene regolato con la potatura per quanto riguarda il numero delle gemme a ettaro ma soprattutto con il diradamento dei frutti e può essere quantificato con il *Crop Load Index* (CLI). In ciascuna cultivar (**Figura 48A****Figura 3**, Hayward e **Figura 48B**, SunGold) tale parametro, calcolato per tutte le tesi di diradamento (11 per ciascuna cultivar) nei tre anni di prova (v. **Tabella 16**, **Tabella 22**, **Tabella 28**) e ordinato in modo crescente, è stato messo in relazione con le relative classi commerciali dei frutti (<65 g; 65 – 115 g; >115 g) e con le produzioni totali a ettaro.

Hayward

Esaminando i dati di *Crop Load Index* (n° frutti/area chioma, pari a 20,25 m²), si evince come all'aumento dei carichi produttivi (CLI da 21,2 a 39,8) corrispondano incrementi delle produzioni a ettaro graduali fino al valore indice di 39,8 (da 27,1 a 36,4 t/ha) e forti oltre questo valore (da 45,5 a 56,9 t/ha).

L'aumento del carico produttivo influenza la ripartizione in classi commerciali dei frutti, riducendo in particolare le percentuali di quelli a più alto valore commerciale (>115 g), che decrescono in modo evidente oltre l'indice di 25,7 e raggiungono i minimi (circa 10 e 6%) con gli indici più elevati (47,4 e 54,5). In modo complementare alla riduzione dei frutti con peso superiore ai 115 g, a partire dal valore dell'indice di 30,4 aumentano le percentuali dei

frutti tra i 65 e 115 g, da un valore medio di 50,2% per i carichi produttivi inferiori a CLI = 30,4 a un valore medio di 81,2% per i carichi più elevati.

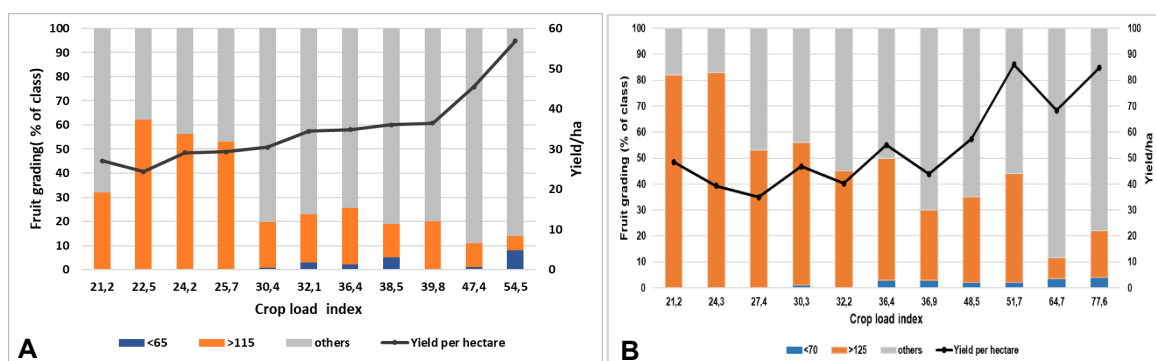


Figura 48. Crop Load Index, Classi commerciali e produzione a ettaro nei tre anni di osservazione. A: Hayward, B: SunGold

Crop Load Index, Fruit Grading and Yield per hectare observed in the three years of trials. A. Hayward, B. SunGold

Fino all'indice 25,7 non ci sono frutti di scarto (<65 g), mentre, anche se in misura modesta, sono presenti in misura variabile (0,9 - 8,0%), con il crescere del *Crop Load Index*.

I risultati relativi all'effetto negativo del carico produttivo sulla dimensione dei frutti sono confermati anche dalla relazione tra il *Crop Load Index* e il peso degli stessi.

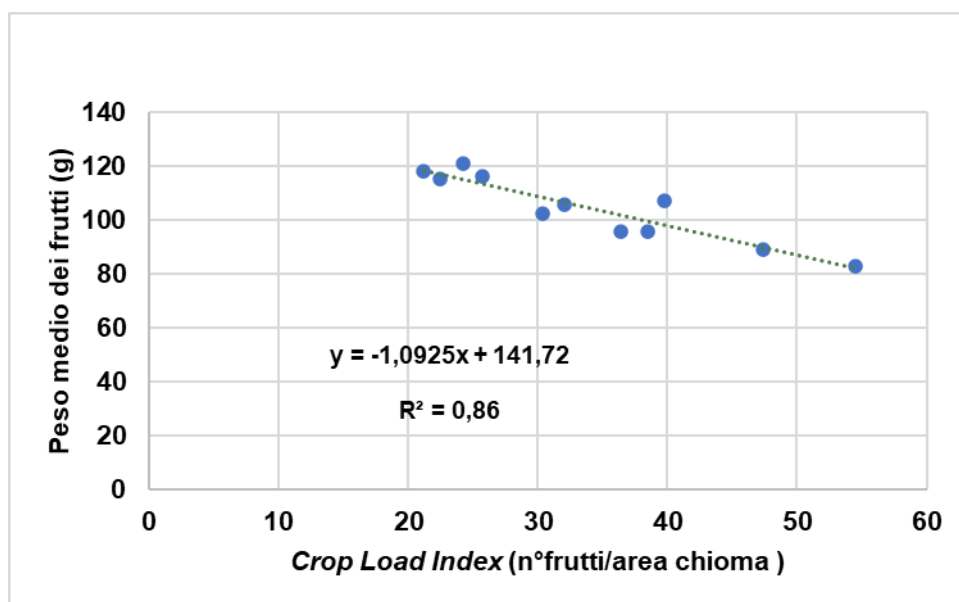


Figura 49. Hayward - Regressione lineare tra Crop Load Index e peso medio dei frutti ($p \leq 0,05$)
Hayward - Linear regression between Crop Load Index and average fruit weight ($p \leq 0,05$)

Fino all'indice 25,7 non ci sono frutti di scarto (<65 g), mentre, anche se in misura modesta, sono presenti in misura variabile (0,9 - 8,0%), con il crescere del *Crop Load Index*.

I risultati relativi all'effetto negativo del carico produttivo sulla dimensione dei frutti sono confermati anche dalla relazione tra il *Crop Load Index* e il peso degli stessi.

È stata infatti trovata (Cooper and Marshal 1991a) una relazione lineare negativa tra i due parametri, con un coefficiente di determinazione (R^2) pari a 0,86. Per ogni unità di aumento del *Crop Load Index* si registra una diminuzione del peso medio dei frutti pari a circa 1,1 g (Figura 49).

SunGold

I valori di *Crop Load Index* in questa cultivar vanno da un minimo di 21,2 (carico basso/2021) a un massimo di 77,6 (carico elevato/2022), un valore più elevato rispetto a Hayward da cui conseguono anche delle produzioni a ettaro più elevate.

Nell'ambito dei carichi produttivi più bassi (CLI da 21,2 a 36,9) le produzioni a ettaro subiscono delle oscillazioni variabili, da un minimo di 34,9 t/ha a un massimo di 55,0 t/ha senza che sia individuabile un trend particolare. Solo a partire da un *Crop Load Index* di 48,5 si evidenzia un sostanziale incremento delle produzioni, che raggiungono un massimo di circa 85,0 t/ha.

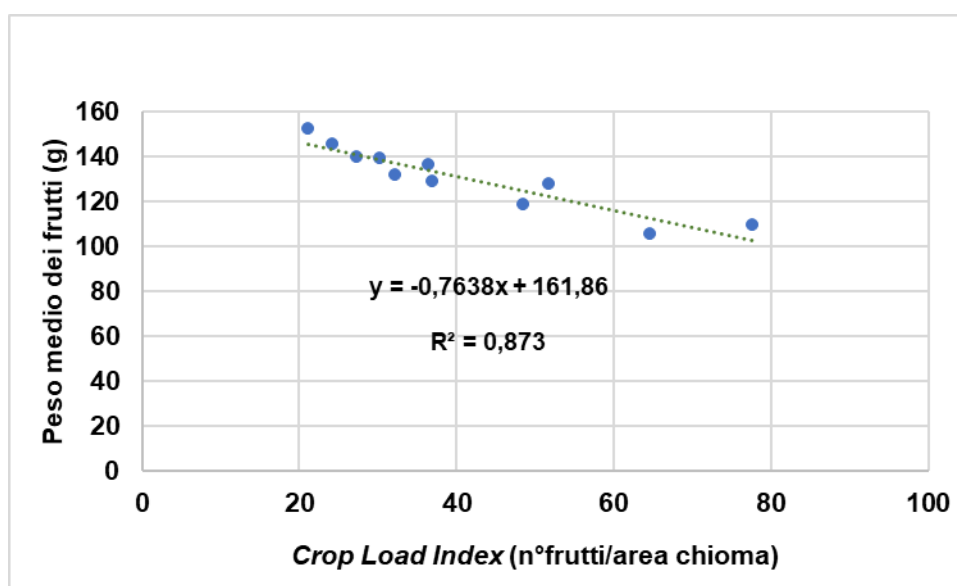


Figura 50. SunGold - Regressione lineare tra Crop Load Index e peso medio dei frutti ($p \leq 0,05$)
SunGold - Linear regression between Crop Load Index and average fruit weight ($p \leq 0,05$)

Inizialmente, quindi, gli incrementi del carico produttivo non determinano un aumento delle produzioni unitarie, ma comunque influenzano negativamente la ripartizione in classi commerciali dei frutti. Inizialmente i frutti >125 g sono circa l'80% ma a partire da un *Crop Load Index* di 27,4 si osserva una netta riduzione di tale valore che mediamente si attesta

attorno al 50%. Successivamente si registra un ulteriore abbassamento, fino a un minimo dell'8,2% al CLI di 77,6. In generale, al ridursi delle percentuali di frutti della classe >125 g aumentano conseguentemente quelli tra 65 e 115 g, che hanno una remunerazione inferiore ai precedenti.

A partire da un valore del *Crop Load Index* di 30,3 si hanno frutti di scarto <70 g che si manifestano anche nei carichi produttivi successivi con un massimo del 4%.

La riduzione del calibro dei frutti determinata dagli incrementi del carico produttivo risulta evidente anche dalla regressione lineare tra quest'ultimo parametro e il peso medio dei frutti (**Figura 50**). L'equazione relativa evidenzia una riduzione del peso medio di circa 0,8 per ogni unità di incremento del *Crop Load Index* e ha un coefficiente di determinazione (R^2) pari a 0,87 che indica una buona relazione tra i parametri esaminati.

5.3 Irrigazione

Le principali fasi fenologiche della cultivar SunGold non sono state influenzate dalle prove di irrigazione e pertanto sono le stesse riportate nel capitolo 5.1, inerente alle prove relative al diradamento (**Tabella 15**).

Nei tre anni le tesi irrigue sono state modificate in funzione dei risultati ottenuti negli anni precedenti, ma facendo sempre riferimento al livello applicato dall'azienda, considerato come restituzione del 100% dell'ETc.

5.3.1 Anno 2020

5.3.1.1 Parametri irrigui e distribuzione dell'acqua nel terreno

Gli interventi irrigui sono stati effettuati sempre in funzione della disponibilità di acqua nel terreno e dei parametri meteorologici.

Le tesi a confronto erano tre e prevedevano la distribuzione, mediante un impianto a goccia a linea singola, del 100%, 80% e 50% dell'evaporato potenziale della coltura (ETc). L'ETc è stato calcolato sulla base dell'evaporato reale (ETo), corretto con appropriati coefficienti colturali stagionali al netto delle precipitazioni (**Tabella 32**).

Il deficit idrico dal punto di vista climatico (differenza tra precipitazioni ed evaporato) si è manifestato a partire da marzo, in anticipo di un mese rispetto agli anni successivi.

Il primo intervento irriguo basato sull'acqua disponibile nel terreno è stato attuato da metà aprile ed è proseguito fino a metà settembre, per un totale di 6.175 m³/ha. Gli apporti più consistenti si sono concentrati nei mesi di luglio (2.147 m³/ha) e agosto (1.957 m³/ha).

I tre volumi applicati (100%, 80%, 50%) hanno influenzato i contenuti idrici del terreno che sono stati determinati effettuando dei carotaggi a diverse distanze (20 - 40 - 60 - 80 - 100 cm) dal centro del filare partendo all'altezza della pianta e a diverse profondità (20 - 40 - 60 cm). I prelievi del terreno (**Figura 51**) sono stati effettuati in estate a fine agosto, dopo un lungo periodo di assenza di precipitazioni che avrebbero potuto influenzare i contenuti idrici del terreno, oltre quelli somministrati attraverso l'irrigazione.

***Tabella 32.** SunGold (2020): Parametri irrigui e apporti idrici applicati dall'azienda
SunGold (2020): Irrigation parameters and farm irrigation volumes applied*

Parametri (mm)	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Sett.	Totale
ET_o	103,2	149,8	161,2	202,8	173,5	119,8	910,3
K_c	0,4	0,91	1,16	1,25	1,25	0,85	
ET_c	41,3	136,3	187,0	253,5	216,9	101,8	936,8
Precipitazione	32,8	32,6	77,8	38,8	21,2	116,2	319,4
Apporto irriguo	8,5	103,8	109,2	214,7	195,7	-14,4	617,5

I risultati dei rilievi, come risulta dai grafici, mettono in evidenza come la riduzione dei volumi idrici apportati tramite irrigazione comporti una progressiva riduzione dell'acqua disponibile a diverse distanze dal centro del filare e a diverse profondità.

La **Figura 51A** evidenzia come nell'irrigazione aziendale (100%) fino alla distanza di 20 e 40 cm dal centro del filare e alle profondità di 20 - 40 cm si osservano contenuti d'acqua che raggiungono i livelli della capacità di campo, con valori che vanno da un massimo di 23,9% a un minimo 21,9%; alle stesse distanze, ma alle profondità di 60 cm, i valori sono del 20,8 e 19,1%. In prossimità dei gocciolatori i contenuti d'acqua superano di molto la capacità di campo con percentuali di acqua del 35 - 40 % creando anche condizioni di saturazione idrica con rischi di asfissia radicale. A distanze maggiori dal filare (60 e 80 cm) e alle profondità di 20 - 40 cm si ha una sensibile riduzione dei contenuti di acqua (in un range tra un massimo di 18,5 e un minimo di 16,0 %), che a 60 cm di profondità raggiungono il punto di appassimento (13,0 - 14,1%). Alla distanza di 100 cm dal centro del filare, i contenuti d'acqua raggiungono il punto di appassimento (profondità 20 cm) o scendono al di sotto di tale livello (profondità 40 - 60 cm).

Nell'irrigazione 80% (**Figura 51B**), alla distanza di 20 cm dal centro del filare e alla profondità di 20-40-60 abbiamo contenuti di acqua simili che vanno da un massimo del 22,5 a un minimo del 20,8%, equiparabili a quelli riscontrati nell'irrigazione 100%.

Alla distanza di 40 cm dal centro del filare si ha un calo sensibile delle percentuali con valori che vanno da un massimo del 18,7% (a 20 cm di profondità) a un minimo del 16,6% (60 cm profondità). A 60 cm dal centro del filare, a tutte le profondità si raggiungono percentuali prossime al punto di appassimento (14,5%). A distanze dal centro del filare superiori (80 - 100 cm) i valori risultano decisamente inferiori a tale limite con valori percentuali più bassi a 20 cm di profondità rispetto a 40 e 60 cm.

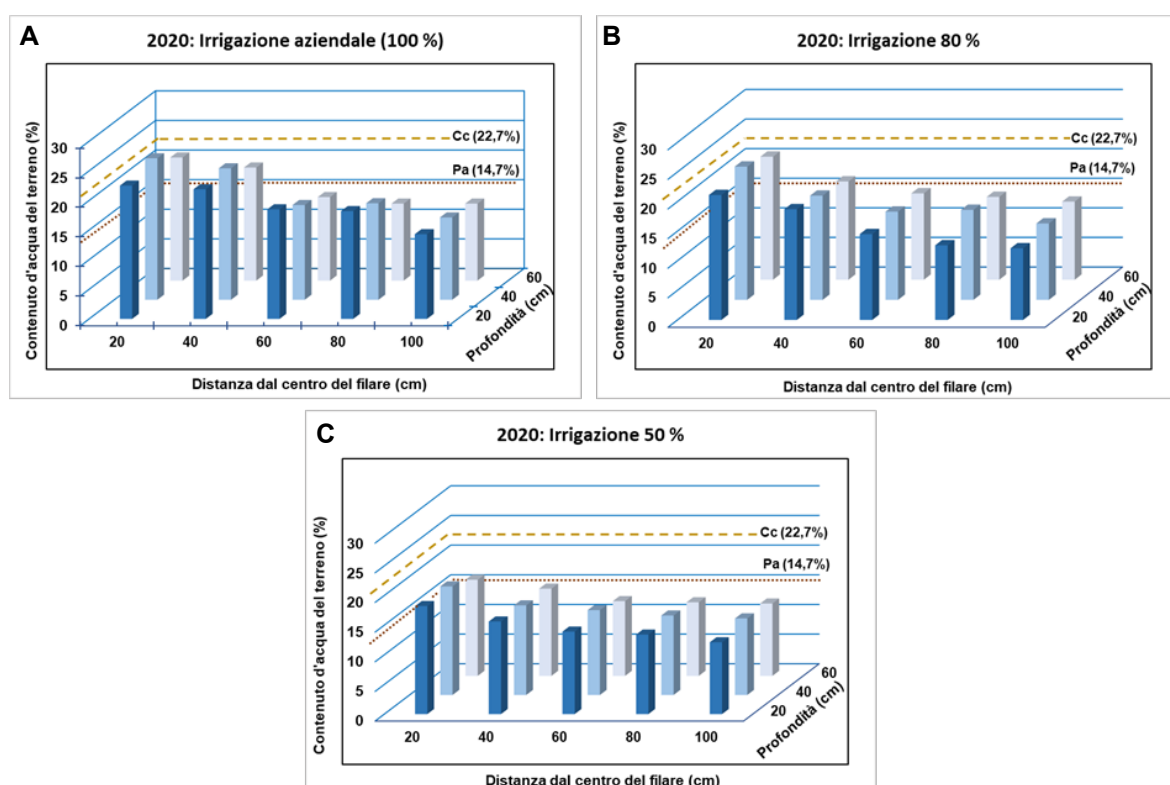


Figura 51. 2020: Effetto dei quantitativi irrigui sulla disponibilità d'acqua nel terreno, a diverse distanze dal filare e a diverse profondità. Cc = capacità di campo; Pa = Punto di appassimento

2020: Effect of irrigation quantities on water availability in the soil, at different distances from the row and at different depths. Cc = Field capacity; Pa = Wilting point

Nell'irrigazione 50% (**Figura 51C**) si sono rilevati, in generale, contenuti idrici più bassi a tutte le distanze e profondità rispetto alle tesi 100% e 80%. Alla distanza di 20 cm dal centro del filare, i contenuti di acqua vanno da un massimo del 19% alla profondità di 20 cm a un minimo del 17,2% a 60 cm. Si tratta di valori mediamente inferiori del 3,5% rispetto alla stessa posizione nell'irrigazione aziendale.

A una distanza di 40 cm si evidenzia una ulteriore riduzione delle percentuali d'acqua, con un massimo del 15,6% alla profondità di 20 cm e un minimo del 14,7% alla profondità di 60

cm. Alle distanze successive (60 - 80 - 100 cm) i contenuti di acqua del terreno sono al di sotto del punto di appassimento, con percentuali che vanno da un massimo del 13,9% a un minimo del 12,1%.

5.3.1.2 Parametri fisiologici

Le misure degli scambi gassosi, assimilazione netta fogliare, traspirazione, conduttanza stomatica e temperatura fogliare (**Figura 52**), effettuate in agosto in concomitanza con i rilievi sul contenuto idrico del terreno e in condizioni di notevole stress ambientale (elevata radiazione solare con media giornaliera di 7195 W/m^2 , massima *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) di $1500 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$, temperatura massima di $31,8^\circ\text{C}$ e deficit evapotraspirativo pari all'evaporato di 5,89 mm, assenza di precipitazioni nei precedenti 30 giorni), hanno messo in evidenza una stretta relazione tra i volumi idrici somministrati e la relativa risposta fisiologica delle piante.

Scambi gassosi

Come si evince dalla **Figura 52A**, l'assimilazione netta fogliare (P_n) più elevata si registra al mattino (ore 9.00) in tutte le tesi, con un valore più elevato ($9,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) nelle piante irrigate al 100%; segue quello delle piante irrigate all'80% ($8,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e, significativamente inferiore, quello delle piante aventi soltanto il 50% dell'acqua a disposizione ($5,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). Nelle piante con irrigazione al 100% e all'80%, l'assimilazione netta si riduce progressivamente nel corso della giornata (rispettivamente, 8,4 e $7,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ alle ore 12.00 e 6,5 e $6,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ alle ore 15), mentre in quelle più stressate i valori rimangono a livello costantemente più basso anche a mezzogiorno ($5,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) e scendono ulteriormente nel pomeriggio ($4,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). I valori di **P_n** , comunque, non si riducono sostanzialmente fino a quando i valori di **g_s** non diminuiscono al di sotto di un valore di $100\text{-}150 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$.

Per quanto riguarda la conduttanza stomatica (g_s) (**Figura 52B**), i valori registrati rispecchiano la diversa disponibilità idrica per le piante con valori più elevati nell'irrigazione 100% ($296 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ al mattino, 280 a mezzogiorno e 275 nel pomeriggio) e 80% ($255 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ al mattino, 243 a mezzogiorno e 235 nel pomeriggio) rispetto al 50% ($218 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ al mattino, 150 a mezzogiorno e 112 nel pomeriggio); risulta, infatti, che il **g_s** risponde più rapidamente di **P_n** alla riduzione dell'irrigazione, come osservato da Mills et al. (2009).

Si osserva che nel corso della giornata *gs* cala in modo modesto nelle tesi con maggiore disponibilità idrica, ma in misura statisticamente significativa nel caso della tesi maggiormente soggetta a stress idrico (irrigazione 50%).

La **Figura 52C** mostra che i valori di Traspirazione (E) al mattino nelle piante irrigate al 100%, 80% e 50% sono relativamente bassi (4,84, 3,60 e 3,78 mmol m² s⁻¹ rispettivamente), a causa della minore intensità luminosa (PAR 900 μmol m² s⁻¹) e di un basso deficit evapotraspirativo. Successivamente crescono fino a mezzogiorno, soprattutto nelle tesi 100% e 80% (5,90 e 4,95 mmol m² s⁻¹) e rimangono stazionari nel pomeriggio (4,88 e 5,05 mmol m² s⁻¹). Nell'irrigazione 50% i valori di E a mezzogiorno (2,8 mmol m² s⁻¹) e nel pomeriggio (2,13 mmol m² s⁻¹) si discostano poco da quelli registrati al mattino (2,2 mmol m² s⁻¹), segno evidente di una limitazione nella disponibilità idrica.

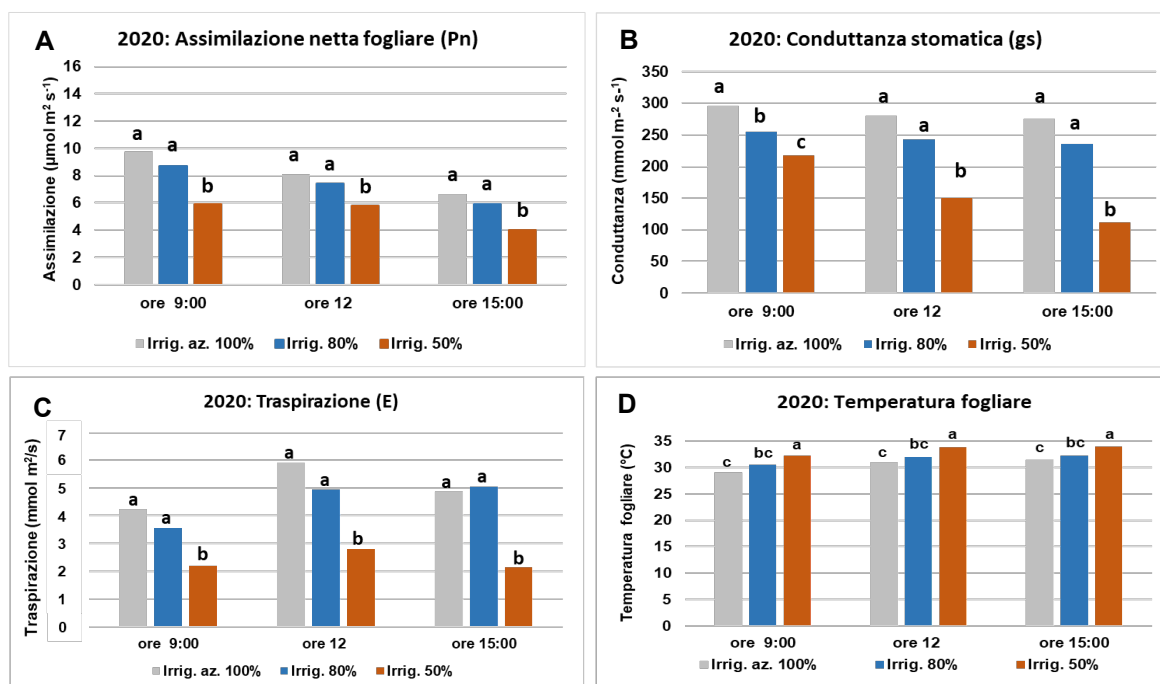


Figura 52. SunGold (2020): Parametri fisiologici rilevati nel corso del giorno in funzione del regime d'irrigazione

SunGold (2020): Physiological parameters observed during the day according to irrigation scheme

Tale comportamento indica un controllo della cultivar SunGold di questo parametro tramite la chiusura degli stomi, similmente a quanto riportato da altri autori per altre cultivar appartenenti alla varietà botanica *chinensis* (Mills et al. 2009, Zhang et al. 2018).

Le quantità irrigue influenzano anche la temperatura fogliare (**Figura 52D**) che risulta essere, come media giornaliera, più elevata nel caso dell'irrigazione 50% (33,4°C), rispetto a irrigazione 80% (31,6°C) e irrigazione 100% (30,5%).

I valori in ciascuna delle tesi sono crescenti dal mattino al pomeriggio. Gli incrementi percentuali di temperatura, nel corso del giorno, rispetto alla tesi di controllo (100%) riguardano la tesi 80% (tra 2,5 e 5,1%) e soprattutto la tesi 50% (tra 7,9 e 10,9%).

Le differenze maggiori si hanno al mattino quando la tesi irrigazione 100%, avendo una conduttanza stomatica e una traspirazione più elevata delle altre tesi, ha conseguentemente anche una temperatura fogliare inferiore (29°C). Nel corso della giornata, con l'aumento della temperatura dell'aria (da 29 a 33°C) crescono anche le temperature fogliari della tesi irrigazione 100% (dai 30°C delle ore 12.00 ai 31°C alle ore 15.00), per cui si riducono le differenze rispetto alle altre tesi.

Potenziale idrico fogliare

Nel mese di agosto è stata effettuata in diversi giorni una serie di misurazioni del potenziale idrico delle foglie che hanno fornito risultati molto simili tra loro, per cui nella **Figura 53** si riportano quelli delle misurazioni effettuate nello stesso giorno dei rilievi relativi agli scambi gassosi, prima del sorgere del sole (*Predawn Leaf Water Potential*, **Figura 53A**), a mezzogiorno (*Midday Leaf Water Potential*, **Figura 53B**) e nel pomeriggio (**Figura 53C**).

I valori di potenziale ottenuti rispecchiano i livelli di disponibilità idrica con valori di Mpa decrescenti nel corso della giornata e nelle tesi di irrigazione 100% (-0,32, -0,50 e -0,71), 80% (-0,36, -0,83 e -0,78) al 50% (-0,39, -0,94 e -0,89). Mentre nel *Predawn Leaf Water Potential* delle tre tesi i valori sono simili tra loro, in *Midday Leaf Water Potential* i valori dell'irrigazione 100% sono significativamente inferiori alle altre due tesi, che tra loro sono statisticamente simili. Nel pomeriggio aumenta anche il potenziale idrico fogliare della tesi 100%, che quindi risulta statisticamente simile all'irrigazione 80%, mentre rimangono le differenze significative rispetto all'irrigazione 50%.

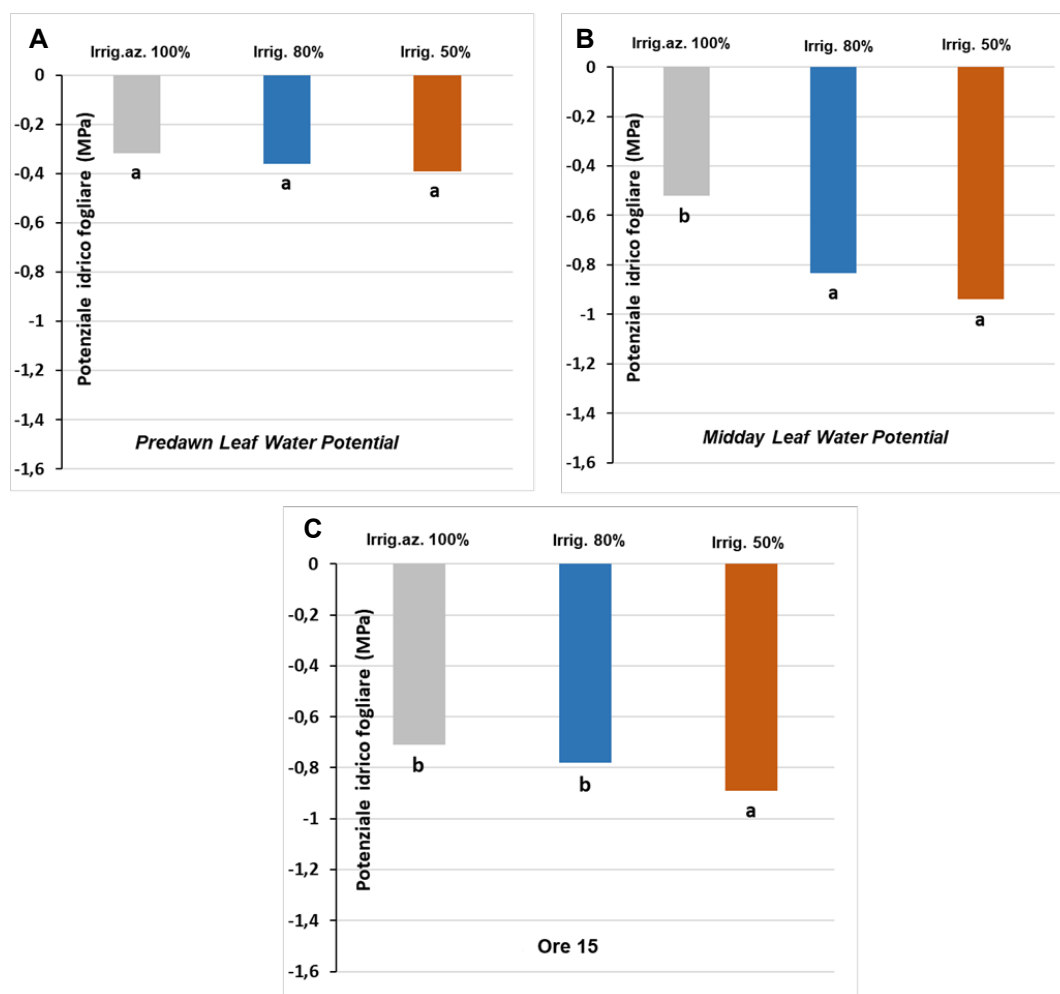


Figura 53. SunGold (2020): Potenziali idrici fogliari rilevati in diversi momenti del giorno, durante il periodo di agosto in funzione dell'irrigazione

SunGold (2020): Leaf Water Potential at different times of the day during August, according to irrigation

5.3.1.3 Parametri produttivi

Come si evince dalla **Tabella 33**, la riduzione dei volumi idrici ha determinato una riduzione della produzione a pianta, che è risultata significativa rispetto alla tesi a 100% (61,62 kg) nella tesi 50% (55,81 kg) ma non in quella da 80% (58,24 kg). Tale risultato si è manifestato anche nella produzione a ettaro (45,6 kg - 41,3 kg - 43,1 kg, rispettivamente).

In generale, la riduzione dei volumi idrici aumenta l'indice di efficienza produttiva (rapporto tra produzione a pianta e area della sezione del tronco) nonostante la riduzione delle produzioni a pianta, in quanto determina allo stesso tempo anche una considerevole riduzione dell'attività vegetativa della pianta e nel caso specifico dell'accrescimento diametrico del tronco. Infatti, con l'irrigazione 100% che ha un indice di produttività di 1,87 si è ottenuta una produzione di 45,6 t/ha, mentre l'irrigazione 80% ha un indice maggiore

(1,96) ma una produzione (43,1 t/ha) minore. Segue l'irrigazione 50% con indice più elevato di 2,05 che però produce una quantità minore in termini di t/ha (41,3).

Tabella 33. *SunGold (2020): Principali parametri produttivi osservati, in funzione dell'irrigazione*
SunGold (2020): Main productive parameters according to irrigation

Tesi	Produzione a pianta (kg)	Indice di efficienza produttiva (kg/cm²)	Prod./ha (t) (666 piante)	Peso medio frutto (g)	% frutti > 90g (%)	% frutti >125 g (%)
Irrig. 100%	61,62 a	1,87 b	45,60 a	124,47 a	96,7 a	69,2 a
Irrig. 80%	58,24 ab	1,96 ab	43,10 ab	123,51 ab	92,7 ab	65,7 a
Irrig. 50%	55,81 b	2,05 a	41,30 b	117,95 b	90,6 b	60,2 b
Media	58,56	1,96	43,33	121,98	93,33	65,03

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

La % dei frutti indicata rappresenta un sottoinsieme della classe >90g della colonna precedente
The % of fruits indicated represents a subset of the >90g class given in the previous column

Poiché nella presente prova di irrigazione, il numero dei frutti a pianta lasciati con il diradamento dall'azienda era uguale per tutte le piante, in tutte le tesi della prova di irrigazione gli effetti dei diversi volumi idrici sulle produzioni a pianta sono da attribuire prevalentemente alle variazioni nel peso medio dei frutti, che risultano infatti progressivamente decrescenti partendo dall'irrigazione 100% (124,47 g), anche se con differenze significative solo nel 50% (117,95 g).

Rispetto all'irrigazione 100%, che mostra il 96% dei frutti con peso oltre 90g e il 69,2% dei frutti con peso oltre 125g, la riduzione dei volumi irrigui del 50% comporta una riduzione significativa di tali percentuali (rispettivamente 90,6% e 60,2%), mentre una diminuzione non significativa nell'irrigazione 80% (rispettivamente 92,7% e 65,7%) non risulta significativa.

Curve di accrescimento e ripartizione dei frutti in classi commerciali

Il minor ritmo di accrescimento dei frutti nelle tesi a ridotto apporto irriguo appare evidente fin dalle prime fasi successive all'allegagione (28 DAFB).

Tale effetto è riportato per la cultivar Hayward da diversi autori (Judd et al. 1989, Miller et al. 1998) che dimostrano come la riduzione della disponibilità idrica nelle fasi successive all'allegagione influenzi negativamente la disponibilità di fotoassimilati in una fase di elevata competizione tra i frutticini.

Come si evince dalle curve di crescita dei frutti riportate nella **Figura 54A**, il mancato accumulo di sostanza secca dovuto alla carenza idrica si mantiene durante l'intera stagione vegetativa fino alla raccolta e non viene recuperato (Judd and McAneney 1987, Prendergast et al. 1987), e questo si evince in particolare nella tesi 50%.

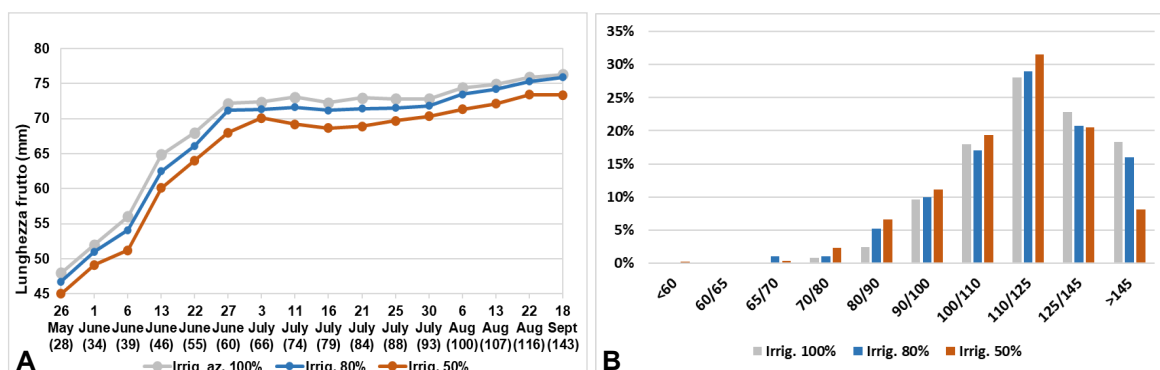


Figura 54. SunGold 2020: Curve di accrescimento dei frutti (A), in mm di lunghezza, e distribuzione dei frutti in classi commerciali (B), in funzione dei volumi idrici somministrati

SunGold 2020: Fruit growth curves (A), in mm fruit length, and distribution of fruits in commercial classes (B), according to irrigation volumes

Gli effetti della riduzione delle quantità d'acqua risultano evidenti anche sulla ripartizione in classi commerciali degli stessi alla raccolta (**Figura 54B**). La tesi 100% ha le maggiori percentuali di frutti nelle classi di peso più elevato (>125 g), seguita dalla tesi 80%, con una suddivisione dei frutti in classi commerciali simile. L'irrigazione al 50% ha minori percentuali di frutti nelle due classi più elevate, ma una loro distribuzione più uniforme nelle classi immediatamente inferiori, che ai fini commerciali è comunque un fatto positivo. Inoltre, si nota che in nessuna delle tesi ci sono frutti di scarto (<60 g), ad eccezione di una percentuale trascurabile nell'irrigazione 50%.

5.3.1.4 Parametri qualitativi

I diversi volumi idrici inducono, in generale, soltanto modesti cambiamenti nelle caratteristiche fisico-chimiche dei frutti (**Tabella 34**).

Con la diminuzione dei volumi idrici i valori di durezza al penetrometro e di acidità totale scendono anche leggermente ma in modo non significativo (aggirandosi tra 6,51 a 6,28 kg/cm² e 1,97 e 1,94%), mentre aumentano i contenuti in solidi solubili (tra 12,0 a 12,6°Brix), fatti che possono essere interpretati come un'induzione all'anticipo della maturazione provocata dalla riduzione idrica. Il parametro che invece cresce maggiormente con i minori apporti idrici è il contenuto in sostanza secca dei frutti, con un incremento che

risulta statisticamente significativo tra le tesi 100% (20,75%) e 50% (22,1%) ma non significativo rispetto all'80% (21,45%). Correlato all'aumento della sostanza secca è l'incremento del peso specifico dei frutti che va da 1,011 g/cm³ nell'irrigazione 100% a 1,025 g/cm³ nell'80 fino al 1,037 g/cm³ nel 50%).

Tabella 34. SunGold (2020): Principali parametri qualitativi dei frutti osservati, in funzione dell'irrigazione
SunGold (2020): Main qualitative parameters of fruits, according to irrigation

	Durezza della polpa (kg/cm²)	Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (%)	Acidità totale (%)	Densità (g/cm³)
Irrig. 100%	6,51 a	12,0 a	20,75 b	1,96 a	1,011 a
Irrig. 80%	6,24 a	12,2 a	21,45 ab	1,97 a	1,025 a
Irrig. 50%	6,28 a	12,6 a	22,10 a	1,94 a	1,037 a
Media	6,34	12,27	21,43	1,96	1,02

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

5.3.2 Anno 2021

Nel secondo anno le tesi a confronto erano quattro e prevedevano apporti idrici sulla base dell'evaporato potenziale della coltura (ETc) del 100% (per l'apporto scelto dall'azienda), 80%, del 50% su linea singola e dell'80% diviso su tre linee. L'ETc è stato calcolato sulla base dell'evaporato potenziale (ETo) e appropriati coefficienti culturali stagionali al netto delle precipitazioni.

5.3.2.1 Parametri irrigui e distribuzione dell'acqua nel terreno

Il deficit idrico dal punto di vista climatico (differenza tra precipitazioni ed evaporato), in relazione all'attività vegetativa dell'actinidia, si è manifestato a partire dal mese di aprile (**Tabella 35**). Il primo intervento irriguo, comunque basato sull'acqua disponibile nel terreno, è stato attuato ai primi di aprile ed è proseguito fino a metà settembre.

I volumi idrici più consistenti sono stati somministrati nei mesi di giugno (1.177 m³/ha), luglio (2.050 m³/ha) e agosto (2.016 m³/ha), con un totale a fine stagione, nella tesi 100% di 6.435 m³/ha.

Le piante in prova di tutte le tesi hanno ricevuto le stesse cure colturali e il carico produttivo a pianta definito con il diradamento aziendale è stato mediamente di 455 frutti a pianta, livello leggermente inferiore a quello del 2020.

Tabella 35. SunGold (2021): Parametri irrigui e apporti idrici applicati dall'azienda

SunGold (2021): Irrigation parameters and farm irrigation volumes applied

Parametri (mm)	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Sett.	Totale
ET _o	82,9	129,8	164,2	179,4	165,9	114,6	836,9
K _c	0,4	0,91	1,16	1,25	1,25	0,85	-
E _t c	33,2	118,1	190,5	224,3	207,4	97,4	870,9
Precipitazione	64,6	30,8	72,8	19,2	5,8	34,2	227,4
Apporto irriguo	-31,4	87,3	117,7	205,0	201,6	63,2	643,5*

*aprile escluso

I tre volumi applicati con linea d'irrigazione singola (100 - 80 - 50%) hanno influenzato i contenuti idrici del terreno (Figura 55) che sono stati determinati nel mese di agosto dopo un periodo di 25 giorni di assenza di precipitazioni in modo da poterli considerare rappresentativi di uno stato reale attribuibile alle sole irrigazioni.

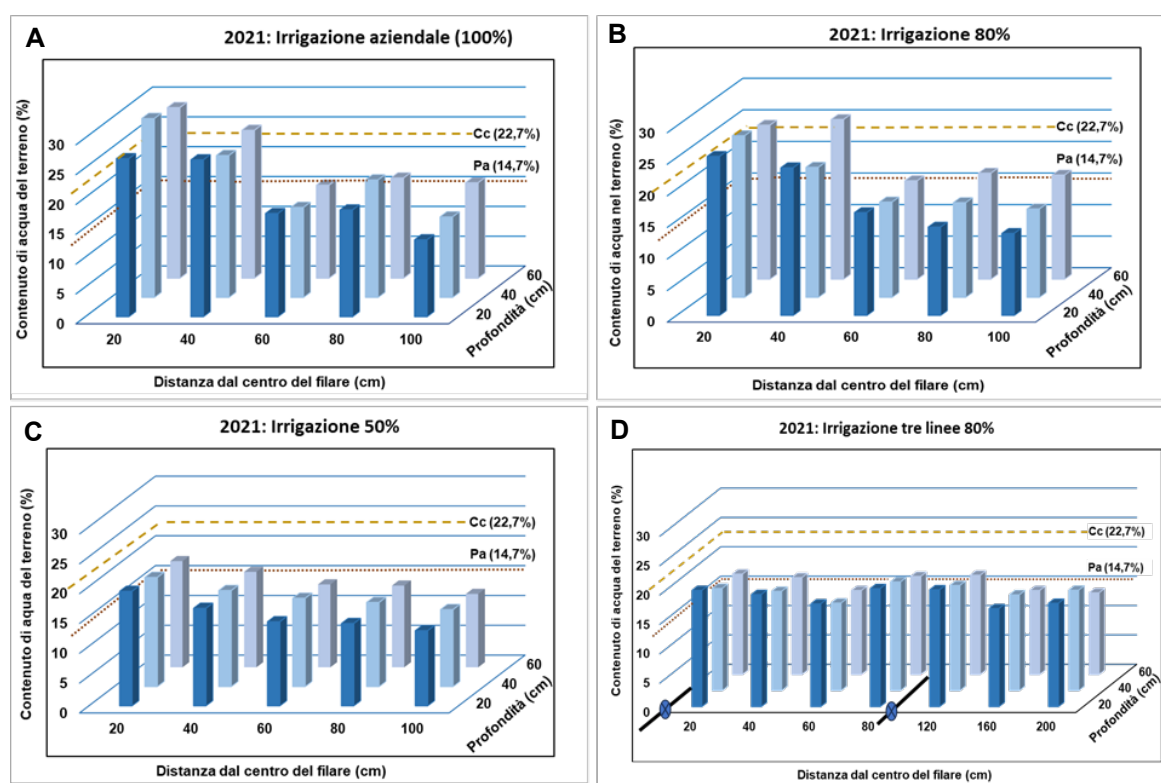


Figura 55. 2021: Effetto di diversi regimi d'irrigazione sulla disponibilità d'acqua nel terreno, a diverse distanze dal filare e a diverse profondità. C c =Capacità di campo; Pa = Punto di appassimento.

2021: Effect of different irrigation schemes on water availability in the soil, at different distances from the row and at different depths. Cc = Field capacity; Pa = Wilting point

I carotaggi sono stati effettuati ortogonalmente a diverse distanze (20 - 40 - 60 - 80 - 100 cm) dal centro del filare sul quale insistono le piante e la linea gocciolante, e a diverse profondità (20 - 40 - 60 cm).

L'irrigazione 100% (**Figura 55A**) determina, alla distanza dal centro del filare di 20 cm i più elevati contenuti percentuali di acqua nel terreno, decisamente superiori alla capacità di campo che a 20 cm di profondità sono del 26,5%, a 40 cm del 34,1% e a 60 cm del 28,6%. Si tratta di valori che in prossimità dei gocciolatori aumentano ulteriormente, creando così situazioni di asfissia (dati non riportati).

A 40 cm dal centro del filare e a 20 cm di profondità si ha una leggera riduzione dei contenuti in acqua che diventa più consistente a 40 cm (26,3%) e a 60 cm di profondità (24,8%). A distanze più elevate (60 cm), i contenuti di acqua diminuiscono bruscamente su valori che vanno da un minimo del 15,1% a un massimo del 17,3%, pur rimanendo al di sopra del punto di appassimento, mentre a una distanza di 100 cm sono inferiori a tale limite.

L'irrigazione 80% (**Figura 55B**) a 20 cm dal centro del filare e alle profondità di 20, 40 e 60 cm evidenzia contenuti d'acqua rispettivamente del 25,2, 25,6 e 24,4 % che sono molto simili (solo circa -1,2%) alla tesi irrigua 100% e di poco al di sotto della capacità di campo. Alla distanza di 40 cm dal centro del filare si evidenziano percentuali d'acqua di poco inferiori a quelle delle distanze precedenti con una maggior variabilità tra le diverse profondità (23,4, 20,6 e 25,3%). A 60 e 80 cm dal filare si ha una riduzione sostanziale dei contenuti d'acqua (-7,4 - 7,8%) rispetto ai valori delle distanze precedenti che sono di poco superiori al punto di appassimento. A 100 cm dal centro del filare le percentuali di acqua sono inferiori al punto di appassimento alle profondità di 20 e 40 cm, ma superiori (16,5%) a 60 cm.

L'irrigazione 50% (**Figura 55C**) induce contenuti di umidità del terreno considerevolmente inferiori alle altre due tesi, con percentuali medie del 18,4% a 20 cm e del 16,1% a 40 cm, che si collocano tra la capacità di campo e il punto di appassimento. Alle distanze di 60 e 80 cm l'umidità media scende rispettivamente a 14,2 e 13,8% con modeste differenze tra le profondità.

A 100 cm dal centro del filare i contenuti di acqua del terreno scendono uniformemente e definitivamente al di sotto del punto di appassimento, raggiungendo il 12,6%.

Considerati i dati relativi alla distribuzione dell'acqua nel terreno rilevati nel 2020, che evidenziano lo scarso apporto al terreno nell'interfilare fornito da un'unica linea di gocciolatori, dati peraltro confermati anche nel 2021, si è introdotta una ulteriore tesi irrigua con tre linee gocciolanti (una al centro sul filare e le altre una per lato a 1,0 m dal filare) con

un volume idrico dell'80%. Le determinazioni (**Figura 55D**) effettuate con i carotaggi del terreno mettono in evidenza come la nuova tecnica di distribuzione, a parità di volumi d'acqua (80%), favorisca una distribuzione più uniforme della stessa nell'interfilare, con minori problemi di saturazione idrica nei punti più prossimi ai gocciolatori (**Figura 56**).



Figura 56. Zone bagnate sotto irrigazione a goccia su linea singola (A) e su tre linee(B)
Wetted area under drip irrigation with one line (A) and three lines (B)

Infatti, alla distanza di 20 cm dal centro del filare il contenuto medio di acqua alle tre profondità è del 18,1%, pari a un -11,6% rispetto all'omologa profondità della tesi irrigua 100%. A 40 del cm dal centro del filare si hanno mediamente percentuali di acqua del 17,5%, con un massimo del 19,1% a 20 cm di profondità e un minimo di 16,5% a 60 cm. A distanze dal filare di 60 cm i valori medi si riducono al 5,6% con un massimo di 17,5% a 20 cm di profondità e un minimo di 14,3% a 60 cm.

Tutti i contenuti di acqua del terreno dell'interfilare, pur nell'ambito della variabilità legata alla distanza dai gocciolatori e alla profondità, rientrano nell'intervallo dell'acqua disponibile.

5.3.2.2 Parametri fisiologici

Scambi gassosi

I volumi di acqua applicati nelle diverse prove (100%, 80%, 50% e tre linee gocciolanti 80%) determinano diversi livelli di disponibilità idrica e influenzano i relativi scambi gassosi delle piante (**Figura 57**).

Considerato che nel mese di agosto non ci sono apporti d'acqua attraverso precipitazioni e che il periodo è quello più critico per la fisiologia legata al fabbisogno idrico, le misurazioni

degli scambi gassosi sono state effettuate in questo periodo, in coincidenza con le determinazioni del contenuto di acqua nel terreno.

Per quanto riguarda l'andamento dell'attività fotosintetica durante l'arco della giornata, essa è significativamente più elevata al mattino e poi si riduce progressivamente con l'aumentare delle temperature. Come si evince dalla **Figura 57A**, i livelli di assimilazione netta fogliare (P_n) medi più elevati della giornata (ore 9.00, 12.00, 15.00) si ottengono con l'irrigazione tre linee ($12,20 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), seguiti dall'irrigazione aziendale 100% ($11,99 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), irrigazione 80% ($10,60 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) e infine irrigazione 50% ($8,63 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$).

Le variazioni giornaliere di P_n più consistenti si registrano nell'irrigazione 50% (da $9,97 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ al mattino a $9,10$ a mezzogiorno e $6,83$ nel pomeriggio) che presenta condizioni di stress più elevato, mentre quelle minori nell'irrigazione tre linee 80%, a riprova di una più equilibrata disponibilità idrica per la pianta (ore 9.00: $13,60 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, ore 12.00: $11,60$, ore 15: $11,4$).

La conduttanza stomatica (g_s) più elevata in tutte le tesi si ha al mattino e considerando l'arco della giornata nell'irrigazione aziendale 100% ($239-195-172 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ rispettivamente, al mattino, a mezzogiorno e nel pomeriggio), seguita da tre linee 80% ($235-205-175 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), irrigazione 80% ($227-184-163 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) e irrigazione 50% ($144-135-126 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) (**Figura 57B**). La conduttanza decresce nel corso della giornata con valori intermedi a mezzogiorno e minimi nel pomeriggio. I valori di g_s significativamente più bassi rispetto a tutte le tesi e che rimangono pressoché uguali nel corso della giornata sono quelli relativi all'irrigazione 50% a conferma delle condizioni di stress di queste piante. Per quanto riguarda la traspirazione (E), la **Figura 57C** evidenzia come i valori più elevati si registrino nell'irrigazione aziendale 100% (mediamente $5,34 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), seguita da irrigazione tre linee 80% ($4,90 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), irrigazione 80% ($4,1 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) e, infine, irrigazione 50% ($3,77 \text{ mmol m}^2 \text{s}^{-1}$). Le variazioni giornaliere più evidenti tra le tesi si notano al mattino e a mezzogiorno mentre si attenuano nel pomeriggio, momento in cui raggiungono i valori più bassi.

I diversi volumi idrici distribuiti influenzano in modo evidente anche la temperatura fogliare (**Figura 57D**), con i valori più bassi e significativamente simili tra loro nell'irrigazione aziendale 100% e irrigazione a tre linee 80% (da un minimo di 28°C alle ore 9.00 a un massimo di $30,8^\circ\text{C}$ alle ore 12.00). Le temperature significativamente più elevate si registrano nell'irrigazione 50%, che presenta temperature elevate in tutto l'arco della giornata ($31,1^\circ\text{C}$ alle ore 9.00, $33,9^\circ\text{C}$ alle ore 12.00 e $31,9^\circ\text{C}$ alle ore 15.00).

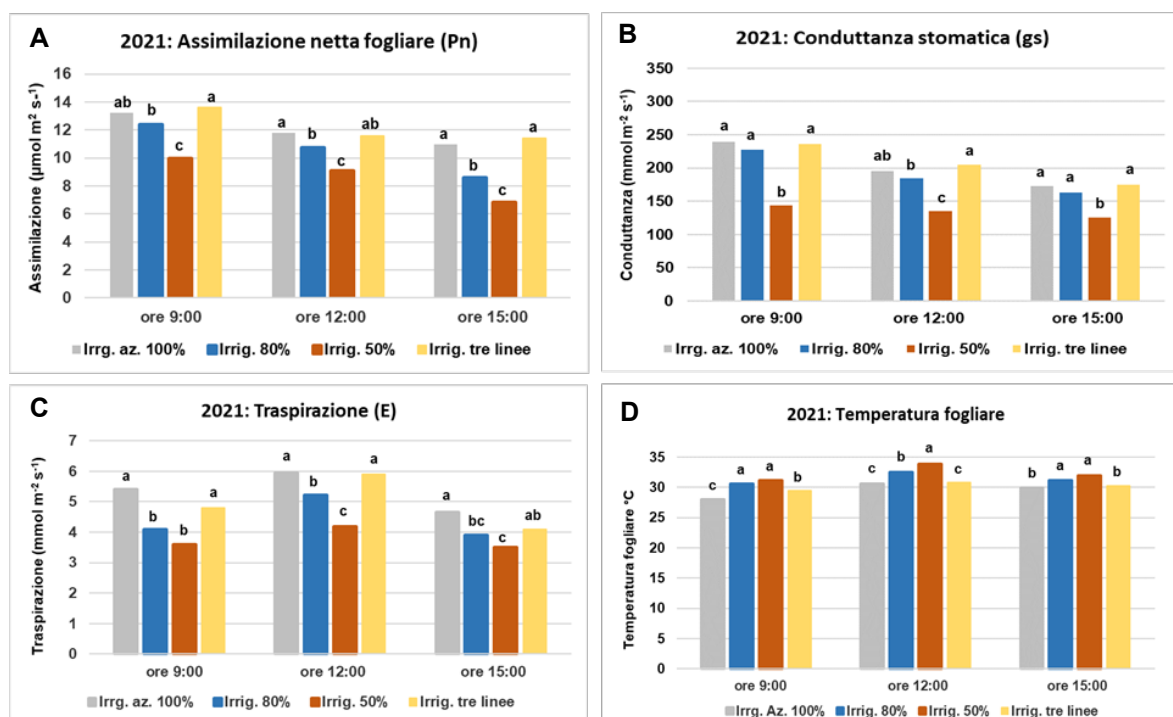


Figura 57. SunGold (2021): Parametri fisiologici rilevati nel corso del giorno in funzione del regime d'irrigazione

SunGold (2021): Physiological parameters observed during the day according to irrigation scheme

Osservando gli incrementi percentuali di temperatura fogliare delle diverse tesi rispetto all'irrigazione az. 100%, si evince che essi risultano più elevati al mattino (irrigazione 80% +9,3%, irrigazione 50% +11,1%, irrigazione tre linee +5,4).

Tali differenze si riducono parzialmente nel corso della giornata (ore 12.00: irrigazione 80% +6,2%, irrigazione 50% +10,8%, irrigazione tre linee +0,6%; ore 15.00: irrigazione 80% +4,3%, irrigazione 50% +6,7%, irrigazione tre linee +1.0%), in quanto aumenta anche la temperatura dell'irrigazione aziendale di riferimento (ore 9.00: 28,0°C, ore 12.00: 30,6°C, ore 15.00: 29.0 °C). Gli effetti della temperatura fogliare al di sopra dei 25°C hanno un ruolo importante negli scambi gassosi dell'actinidia e diventano sostanziali sopra i 30° nella riduzione di **Pn**, sia indirettamente incrementando il deficit di vapore dell'ambiente sia direttamente come riportato in letteratura (Chartzoulakis et al. 1993).

Potenziale idrico delle foglie

Anche nel 2021, le misurazioni di potenziale idrico delle foglie sono state effettuate nel mese di agosto in concomitanza con le misure degli scambi gassosi.

I diversi volumi idrici influenzano il potenziale idrico fogliare misurato prima del sorgere del sole (*Predawn*), alle ore 12,00 (*Midday*) e alle ore 15,00 (**Figura 58**).

Le misurazioni di *Predawn Leaf Water Potential* (Figura 58A) evidenziano come i relativi valori siano relativamente bassi (-0,34, -0,35 e -0,32 Mpa) e simili tra di loro nell'irrigazione aziendale (100%), irrigazione 80% e tre linee (80%), in cui i volumi idrici distribuiti garantiscono una buona o sufficiente disponibilità idrica. Si tratta di valori simili a quelli indicati da altri autori in *A. deliciosa* (Xiloyannis et al. 1996, Morandi et al. 2011).

Potenziali più elevati (-0,48 Mpa) si hanno invece nelle piante con più bassa disponibilità idrica, ovvero quelle irrigate con solo il 50% dell'acqua rispetto alla tesi aziendale di riferimento.

Alle ore 12,00 (Figura 58B) i potenziali idrici aumentano e si evidenzia una differenziazione significativa tra le tesi con i valori più bassi nell'irrigazione aziendale 100% (-0,47 Mpa) seguita dall'irrigazione a tre linee 80% (-0,61 Mpa) e irrigazione su linea singola 80% (-0,71 Mpa). Il valore in assoluto significativamente più elevato si registra nell'irrigazione al 50% (0,94 Mpa).

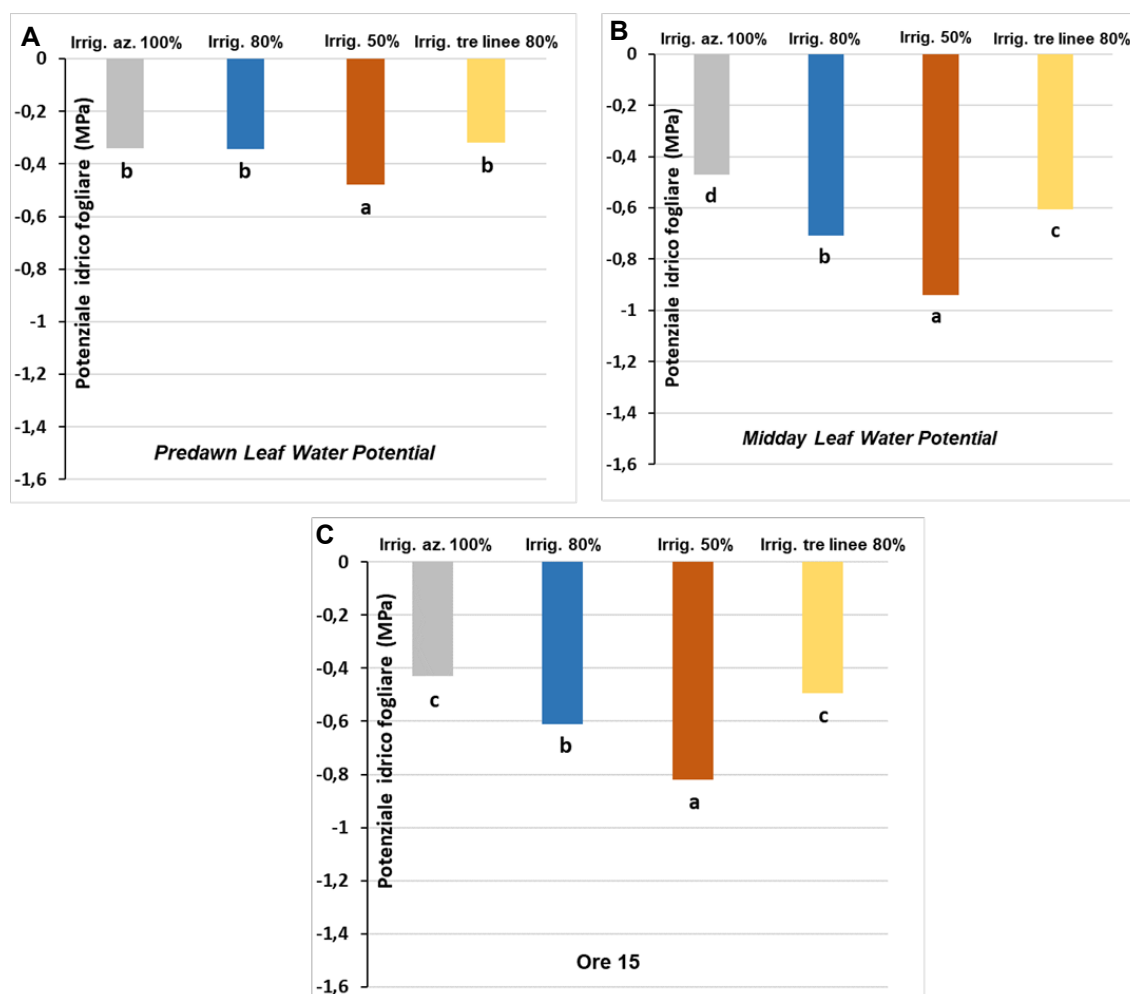


Figura 58. SunGold (2021): Potenziali idrici in diversi momenti del giorno durante il periodo di agosto in funzione dell'irrigazione

SunGold (2021): Leaf Water Potential at different times of the day during August, according to irrigation

Alle ore 15.00 (**Figura 58C**) i potenziali manifestano gli stessi andamenti rilevati nelle diverse tesi alle ore 12.00 ma con tendenza alla diminuzione, probabilmente per effetto di una chiusura degli stomi evidenziata anche da una diminuzione della conduttanza stomatica.

Si tratta comunque di valori inferiori a quelli riportati da altri autori in *A. chinensis* var. *deliciosa* (Chartzoulakis et al. 1993) e in *A. chinensis* var. *chinensis* (Mills et al. 2009, Morandi et al. 2011).

5.3.2.3 Parametri produttivi

Gli aspetti fisiologici monitorati nel corso del 2021 hanno influenzato i risultati agronomici con una evidente differenziazione nelle diverse tesi (**Tabella 36**).

La riduzione dei volumi di acqua somministrata ha determinato una corrispondente riduzione delle produzioni a pianta. L'irrigazione 80% su tre linee, introdotta quest'anno, ha fornito le produzioni a pianta più elevate (59,1 kg/pianta). Segue in ordine decrescente, ma statisticamente simile, l'irrigazione aziendale 100% (57,2 kg/pianta), mentre l'irrigazione al 50% presenta i valori più bassi (42,2 kg/pianta) e si differenzia statisticamente da tutte le altre tesi.

Le produzioni a pianta sono state utilizzate per calcolare le produzioni a ettaro, per le quali valgono gli stessi commenti già fatti per queste ultime. Valori più elevati sono stati raggiunti con l'irrigazione 80% a tre linee (39,35 t), i più bassi con il 50% di apporto irriguo (28,0 t). L'indice di efficienza produttiva, mediamente 1,24 kg/cm², pur non differenziandosi in modo statisticamente significativo nelle diverse tesi, risulta più elevato nell'irrigazione su tre linee 80% (1,28 kg/cm²), dovuto soprattutto alle produzioni più elevate di questa tesi. Seguono in ordine decrescente irrigazione 50% (1,26 kg/cm²) e irrigazione 80% (1,21 kg/cm²), nella quale i valori sono determinati più da un minore accrescimento delle piante che dalle produzioni.

Nel 2021 l'azienda ha effettuato un diradamento più intenso rispetto al 2020 che, combinato a condizioni climatiche particolarmente favorevoli all'accrescimento dei frutti (mediamente 134 g per i frutti delle tesi di irrigazione a linea singola 100%, 80% e 50%), ha determinato in generale una maggiore pezzatura dei frutti rispetto all'anno precedente (121,98 g).

Il peso medio dei frutti più elevato si è ottenuto con l'irrigazione aziendale 100% (147,5 g) che differisce significativamente dall'irrigazione 80% (132,2 g) e irrigazione 50% (122,3 g).

L'irrigazione 80% a tre linee, pur con un volume idrico inferiore del 20% rispetto all'irrigazione aziendale 100% ma distribuita su una zona più estesa intorno alle piante, produce frutti di peso medio statisticamente simile (144,5 g).

Tabella 36. *SunGold (2021): Principali parametri produttivi osservati, in funzione dell'irrigazione*
SunGold (2021): Productive parameters observed, according to irrigation

Tesi	Produzione a pianta (kg)	Indice di efficienza produttiva (kg/cm²)	Prod./ha (t) (666 piante)	Peso medio frutto (g)	% frutti > 90g	% frutti >125 g
Irrig. 100%	57,24 ab	1,19 a	38,12 ab	147,5 a	96,0 a	93,0 a
Irrig. 80%	55,51 b	1,21 a	36,97 b	132,2 b	95,0 a	87,0 b
Irrig. 50%	42,19 c	1,26 a	28,10 c	122,3 c	89,1 b	80,2 c
Irrig. 80% (3 linee)	59,09 a	1,28 a	39,35 a	144,5 a	99,0 a	97,0 a
Media	53,51	1,24	35,64	136,63	94,78	89,3

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, p = 0.05)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, p = 0.05)

La % dei frutti indicata rappresenta un sottoinsieme della classe >90g della colonna precedente

The % of fruits indicated represents a subset of the >90g class given in the previous column

Curve di accrescimento e ripartizione dei frutti in classi commerciali

I volumi idrici hanno differenziato anche l'accrescimento dei frutti fin dall'inizio della loro formazione e poi durante la stagione.

La **Figura 59A** evidenzia la formazione di due gruppi durante l'accrescimento, un primo gruppo con uno sviluppo più rapido costituito dai frutti appartenenti alle tesi irrigazione aziendale (100%) e tre linee (80%), e un secondo gruppo costituito dalle tesi a irrigazione 80% e 50%.

L'influenza dei diversi volumi idrici e del sistema a tre linee sul peso medio dei frutti è evidente anche nella ripartizione in classi commerciali dei frutti (**Figura 59B**).

Considerando i frutti delle classi superiori ai 90g, le differenze tra le tesi sono modeste e non significative (**Tabella 36**), tranne che per l'irrigazione 50%. Differenze più evidenti e statisticamente significative si registrano in tutte le tesi se si considerano i frutti > 110 g, e a tale risultato contribuiscono soprattutto i frutti aventi un peso superiore ai 145 g.

In generale, si evidenzia una forte asimmetria della ripartizione dei frutti verso le classi commerciali elevate, determinata, come già detto precedentemente, da un minor carico di frutti e da condizioni climatiche favorevoli. In particolare, l'irrigazione aziendale e quella a tre linee mostrano una percentuale molto elevata (93 e 97%, rispettivamente) con frutti di

peso oltre i 125g (24 punti percentuali in più rispetto al 2020, nel caso dell'irrigazione aziendale).

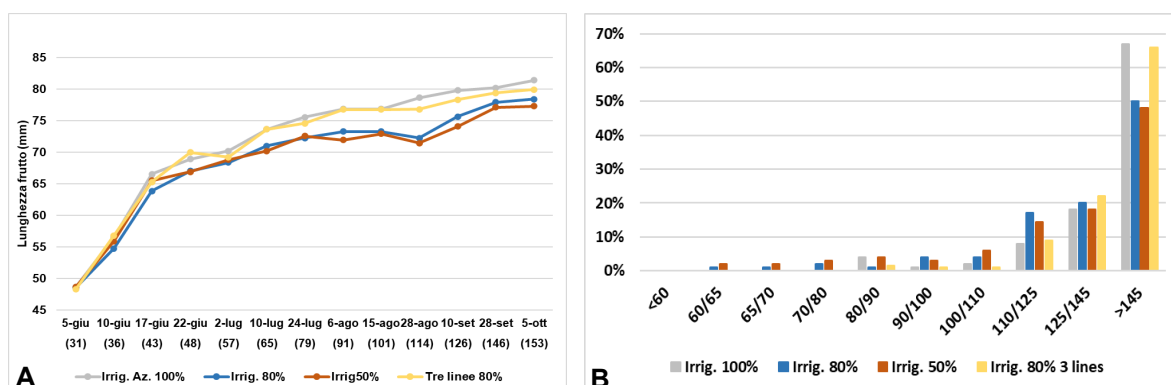


Figura 59. SunGold (2021): Curve di accrescimento dei frutti (A), in mm di lunghezza, e distribuzione dei frutti in classi commerciali (B) in funzione dell'irrigazione.

Tra parentesi, sotto ogni data di osservazione, si indica il relativo numero del *Giorno Dopo la Piena Fioritura*.

SunGold (2021): Fruit growth curves (A), in mm fruit length, and distribution of fruits in commercial classes according to irrigation.

In brackets, below each data of observation, indication of the relative Day After Full Bloom, DAFB)

Anche le due tesi a irrigazione ridotta (80% e 50%) nel 2021 dimostrano percentuali più elevate di frutti nelle classi >125g (80 e 87%, rispettivamente) a confronto con l'anno precedente (60 e 65,7%). Nonostante ciò, nell'irrigazione 80% e 50% si sono ottenute rispetto alle altre tesi anche modeste percentuali di frutti nelle classi commerciali inferiori agli 80g, che sono di scarso valore commerciale.

5.3.2.4 Parametri qualitativi

Per quanto riguarda la durezza al penetrometro (Tabella 37), nell'ambito delle diverse tesi non si evidenziano differenze significative tra quelle a irrigazione su linea singola, ma si nota che l'irrigazione 80% a tre linee mostra una durezza significativamente inferiore (6,8 kg/cm²) rispetto alle altre tesi, indicazione di un anticipo di maturazione. Tale condizione è confermata anche dal contenuto in solidi solubili che nell'irrigazione 3 linee è più elevato (11,3°Brix) rispetto all'irrigazione 100% (10,6°Brix) e 80% (10,8°Brix).

L'irrigazione 50%, come risulta dalla durezza della polpa (7,5 kg/cm²), ritarda la maturazione, ma incrementa il residuo secco rifrattometrico (13,1°Brix).

Tabella 37. SunGold (2021): Principali parametri qualitativi dei frutti osservati, in funzione dell'irrigazione
 SunGold (2021): Main qualitative parameters of fruits observed, according to irrigation

	Durezza della polpa (kg/cm²)	Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (%)	Acidità totale (%)	Densità (g/cm³)
Irrig. 100%	7,35 a	10,6 c	22,0 c	1,46 a	1,023 a
Irrig. 80%	7,20 a	10,8 c	22,3 bc	1,43 a	1,065 a
Irrig. 50%	7,50 a	13,1 a	24,1 a	1,25 b	1,075 a
Irrig. 80 (3 linee)	6,80 b	11,3 b	22,9 b	1,35 b	1,050 a
Media	7,21	11,45	22,83	1,37	1,05

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

La diminuzione dei volumi di adacquamento comporta un corrispondente incremento del contenuto in sostanza secca dei frutti, andando dall'irrigazione aziendale 100% (22,0%) all'irrigazione 80% e irrigazione 80% su tre linee, con il valore significativamente più elevato nell'irrigazione 50%. Conseguentemente all'aumento della sostanza secca si incrementa il peso specifico dei frutti, senza però che si manifestino differenze significative tra le diverse tesi.

L'acidità totale invece diminuisce, differenziando statisticamente l'irrigazione 50% e 80% su tre linee dall'irrigazione 100% e 80%.

5.3.3 Anno 2022

5.3.3.1 Parametri irrigui e distribuzione dell'acqua nel terreno

Nel terzo anno si è mantenuto come riferimento l'irrigazione aziendale (100%), mentre si sono ridotti i volumi idrici nelle altre tesi come indicato di seguito:

- irrigazione 100%;
- irrigazione 80%: si è applicato il 50% dell'irrigazione aziendale;
- irrigazione 50%: si è applicato il 40% dell'irrigazione aziendale;
- irrigazione 80% su tre linee: si è applicato il 65% dell'irrigazione aziendale.

Il deficit idrico dal punto di vista climatico (differenza tra precipitazioni ed evaporato) in funzione della ripresa vegetativa dell'actinidia si è manifestato a partire dal mese di aprile.

Il primo intervento irriguo, comunque basato sull'acqua disponibile nel terreno, è stato attuato a fine aprile ed è proseguito fino a metà settembre.

I volumi idrici più consistenti sono stati somministrati nei mesi di giugno (2.227 m³/ha), luglio (2.556 m³/ha) e agosto (1.576 m³/ha), con un totale a fine stagione, nella tesi 100%, di 7.357 m³ a ettaro. A settembre, nella prima e seconda decade del mese si sono verificate delle precipitazioni rispettivamente di circa 60 e 50 mm che hanno compensato l'ET_o, per cui non è stato necessario irrigare in questo mese (**Tabella 38**).

Tabella 38. SunGold (2022): Parametri irrigui e apporti idrici applicati dall'azienda
SunGold (2022): Irrigation parameters and farm irrigation volumes applied

Parametri (mm)	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Sett.	Totale
ET_o	104,3	153,5	194,7	210,9	169,3	107,1	939,8
Kc	0,4	0,91	1,16	1,25	1,25	0,85	-
Etc	41,7	139,7	225,9	263,6	211,6	91,0	973,5
Precipitazioni	57,4	4,8	3,2	8	54	110,4	237,8
Apporto irriguo	-15,7	134,9	222,7	255,6	157,6	-19,4	735,7*

*aprile escluso

Le piante in prova di tutte le tesi hanno ricevuto le stesse cure colturali e il carico produttivo a pianta, definito con il diradamento, è stato mediamente di 970 frutti a pianta, livello nettamente superiore a quelli sia del 2020 (482) sia del 2021 (455).

I volumi idrici adottati influenzano i contenuti d'acqua del terreno, che, per poter essere considerati rappresentativi di una situazione di equilibrio nell'ambito del bilancio idrico complessivo, sono stati determinati nella prima decade di agosto ovvero in assenza di precipitazioni nei 30 giorni precedenti.

Nell'irrigazione aziendale 100% (**Figura 60A**) a 20 cm dal centro del filare, si hanno i contenuti d'acqua più elevati, ovvero 26,3% alla profondità di 20 cm, 24,8% alla profondità di 40 cm e 23,4% alla profondità di 60 cm, livelli ben oltre la capacità di campo con probabili situazioni di saturazione idrica subito al di sotto dei gocciolatori (dati non riportati).

Alla distanza di 40 cm le percentuali d'acqua disponibile scendono mediamente del 2,9% fino a valori prossimi alla capacità di campo (23,6 - 22,1 - 20,2%). Alle distanze di 60 e 80 cm i valori scendono ulteriormente del 5,8%, attestandosi su un valore medio del 16,1%, mentre a 100 cm dal centro del filare si raggiunge a quasi tutte le profondità il punto di appassimento.

I volumi irrigui del 50% e 40% (**Figura 60B** e **Figura 60C**) determinano profili di acqua nel terreno comparabili tra di loro. A 20 cm dal centro del filare si hanno percentuali medie di acqua del 23,2% nell'irrigazione 50% e del 20,2% nell'irrigazione 40% che si traducono in

una riduzione rispetto all'irrigazione aziendale rispettivamente dell'1,6% e del 4,2%, senza differenze consistenti tra le diverse profondità. A 40 cm dal centro del filare i contenuti di acqua del terreno diminuiscono considerevolmente, con valori medi del 17,7% in irrigazione 50% e 16,9% in irrigazione 40%; la riduzione rispetto alla distanza 20 cm è del 5,5% in irrigazione 50% e del 3,3% in irrigazione 40%. A 60 cm dal centro del filare si ha un'ulteriore riduzione, anche se più modesta, delle percentuali medie di acqua, dell'1,8% in irrigazione 50% e dello 0,6% in irrigazione 40%. Alle distanze successive 80 cm e 90/100 cm si raggiungono contenuti di acqua prossimi o sotto il punto di appassimento. A partire dalla distanza dal centro del filare di 40 cm si rilevano valori percentuali di acqua leggermente superiori alla profondità 60 cm rispetto a 20 e 40.

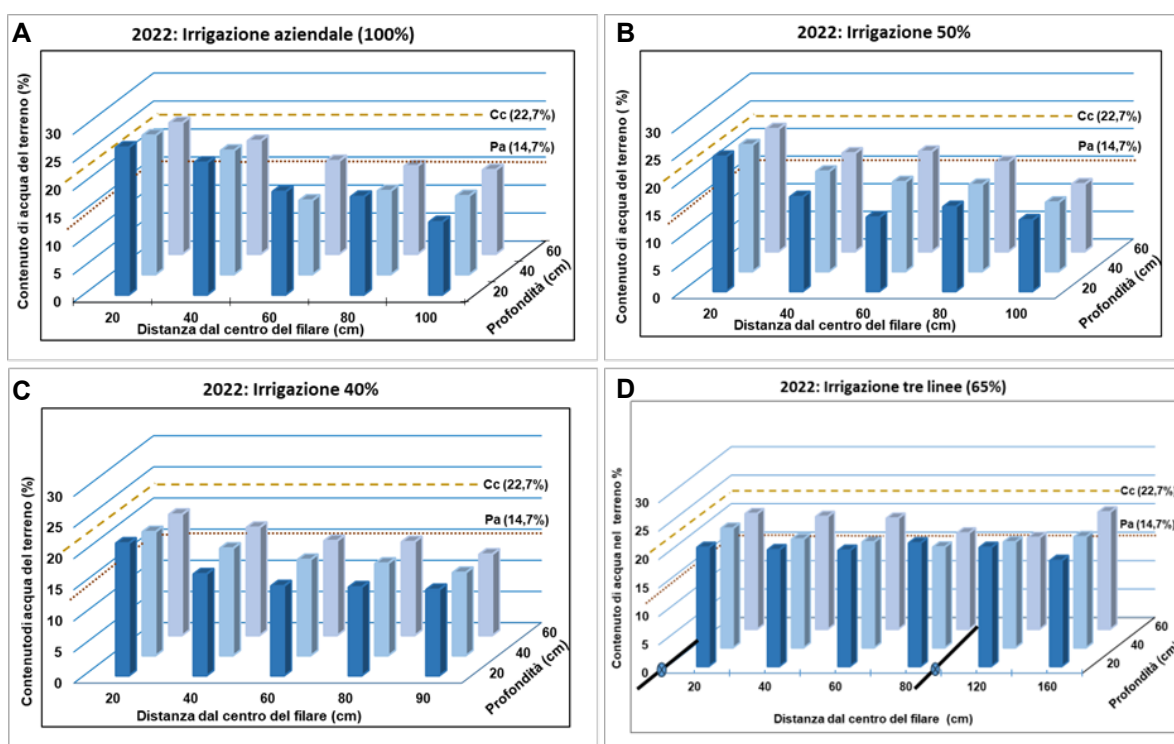


Figura 60. 2022: Effetto di diversi regimi d'irrigazione sulla disponibilità d'acqua nel terreno, a diverse distanze dal filare e a diverse profondità. Cc = Capacità di campo; Pa = Punto di appassimento

2022: Effect of different irrigation schemes on water availability in the soil, at different distances from the row and at different depths. Cc = Field capacity; Pa = Wilting point

Nell'irrigazione tre linee 65% (Figura 60D), grazie alla presenza di due linee di gocciolatori paralleli alla linea centrale nell'interfilare a 100 cm, si ha una distribuzione più uniforme dell'acqua tra le file rispetto alle altre tesi. A 20 cm dal centro del filare il contenuto medio d'acqua è pari al 20,7%, inferiore del 4,1% a quello della omologa distanza nell'irrigazione aziendale 100%. Alle distanze successive si hanno percentuali medie di acqua del 19,8% a 40 cm dal centro del filare, 19,5% a 60 cm, 18,8% a 80 cm, 18,5% a 120 cm e 17,9% a 160

cm. Nell'ambito di ciascuna posizione, i contenuti di acqua alla profondità di 60 cm sono leggermente più elevati rispetto a 40 e 20 cm.

5.3.3.2 Parametri fisiologici

Scambi gassosi

I volumi idrici adottati hanno influenzato i diversi parametri fisiologici legati agli scambi gassosi. In particolare, si vede in **Figura 61** che le tesi a maggiore disponibilità idrica (irrigazione aziendale 100%) e l'irrigazione tre linee (65%) si sono differenziate dalle altre nelle quali i volumi d'acqua sono notevolmente ridotti, quali l'irrigazione 50% e l'irrigazione 40%).

L'assimilazione netta fogliare (***Pn***) (**Figura 61A**) risulta simile nell'irrigazione aziendale (100%) e irrigazione tre linee (65%) e presenta valori di $11,8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ di poco inferiori a quelli del 2021 ($13,2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Nell'arco della giornata i valori di ***Pn*** tendono a ridursi, anche se in modo non consistente, a mezzogiorno ($10,10 - 10,80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e raggiungono il minimo nel pomeriggio ($9,70 - 9,90 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Nel caso delle tesi di irrigazione 50% e 40%, il ***Pn*** risulta significativamente inferiore alle altre due tesi già al mattino ($9,50 - 8,9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e le riduzioni nel corso della giornata sono molto più consistenti raggiungendo un minimo nel pomeriggio ($5,8 - 4,9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

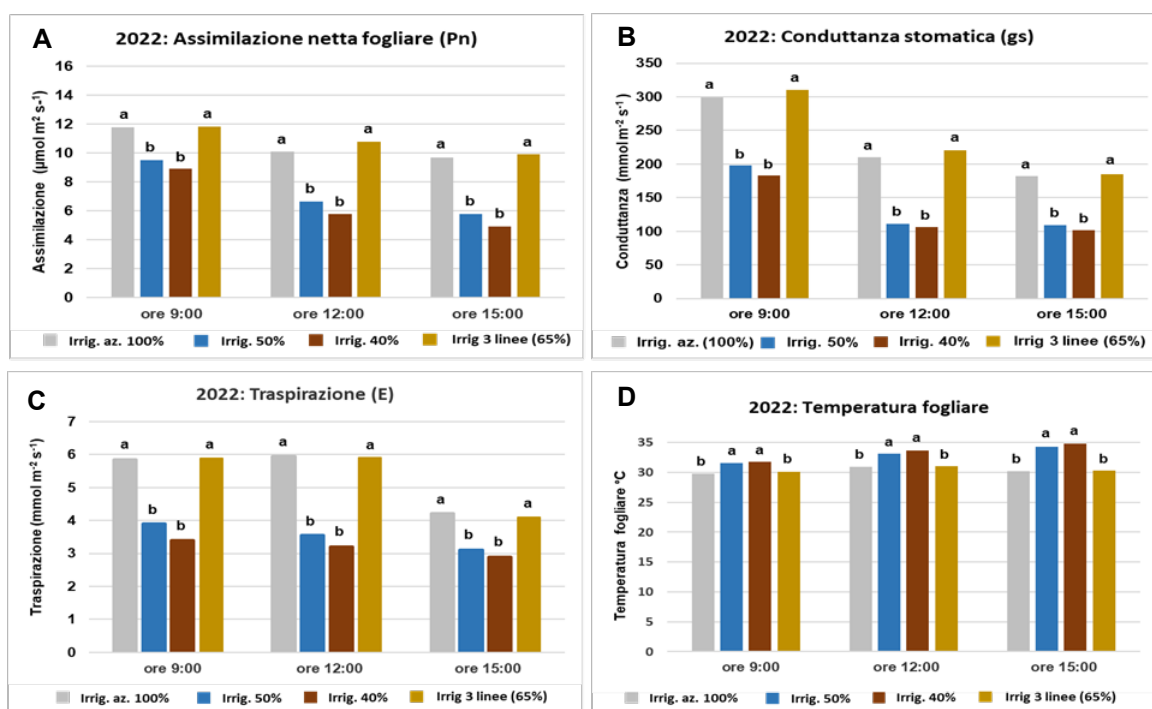


Figura 61. SunGold (2022): Parametri fisiologici rilevati nel corso del giorno in funzione del regime d'irrigazione

SunGold (2022): Physiological parameters observed during the day according to irrigation scheme

Tale diverso comportamento tra i due gruppi di tesi risulta evidente anche nelle misure di conduttanza stomatica (g_s) (Figura 61B) che, nell'irrigazione 50% e 40% risultano significativamente inferiori rispetto a irrigazione 100% e irrigazione tre linee 65%, a causa della chiusura degli stomi, come si evince dai valori di conduttanza stomatica bassi fin dal mattino (125 - 113 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Tali valori sono in ulteriore calo durante la giornata fino a raggiungere un minimo di 109 - 102 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La riduzione di **P_n** variabile nelle tesi è in generale strettamente legata alla riduzione della conduttanza stomatica, ma anche la temperatura fogliare gioca un ruolo importante, soprattutto nelle tesi più stressate.

La traspirazione (E) è strettamente legata alla apertura e chiusura degli stomi e quindi alla conduttanza stomatica. I valori di E nell'irrigazione aziendale e tre linee 65% sono significativamente più elevati al mattino (5,85 - 5,89 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a mezzogiorno (5,95 - 5,91 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) rispetto a irrigazione 50% (mattino 3,91 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); mezzogiorno 3,56 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a irrigazione 40% (mattino 3,41 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) mezzogiorno 3,21 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nel pomeriggio si evidenzia una riduzione di E in tutte le tesi con valori di 4,22 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in irrigazione 100% e 4,10 in irrigazione tre linee 65%, che hanno comunque valori significativamente più elevati rispetto a irrigazione 50% (3,10 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e irrigazione 40% (2,90 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Risulta evidente che i volumi idrici del 50% e 40% comportano un incremento significativo delle temperature fogliari (Figura 61D) nel corso della giornata. Rispetto a irrigazione aziendale 100% (mattino 29,8°C; mezzogiorno 30,9°C; pomeriggio 30,2°C) e irrigazione tre linee 65% (mattino 30,1°C; mezzogiorno 31,0°C; pomeriggio 30,3°C), le temperature indotte da irrigazione 50% sono al mattino 31,6°C, a mezzogiorno 33,10°C e nel pomeriggio 34,3°C, mentre da irrigazione 40% al mattino 31,8°C, a mezzogiorno 33,70°C e nel pomeriggio 34,8°C.

Rispetto alle temperature dell'irrigazione aziendale 100% gli incrementi percentuali delle temperature nel corso della giornata nella tesi 50% sono + 6% ore 9.00, +7,1% ore 12.00, +13,5% ore 15.00; nell'irrigazione 40% +6,7% ore 9.00, +9,1% ore 12.00, +15,2% ore 15.00. Si tratta di temperature molto alte che, come riportato da altri autori (Chartzoulakis et al. 1993, Li. et al 2022), deprimono l'attività fotosintetica con la chiusura degli stomi e che allo stesso tempo possono danneggiare il sistema fotosintetico.

Potenziale idrico delle foglie

Per quanto riguarda i valori del *Predawn Leaf Water Potential*, nelle piante aventi una piena disponibilità idrica, essi si attestano tra -0,30 e -0,35 Mpa, ma risultano più elevati nei volumi idrici 50% e 40% con minore disponibilità idrica (tra -0,35 e -0,45; dati non riportati).

In actinidia le differenze tra i potenziali delle piante non stressate e quelle stressate sono comunque di modesta entità rispetto a quelle rilevabili in altre specie frutticole quali melo (-0,5 -2,5 Mpa, Mills et al. 1996, De Swaef et al. 2009), pesco (-0,9 - 2,6 Mpa, Hand et al. 1982, De Swaef et al. 2009).

Si tratta infatti di una specie isoidrica (Xiloyannis et al. 2005, Boini et al. 2022), piante il cui sistema conduttore permette di trasferire alle foglie quasi tutta l'acqua assorbita e che sono in grado di mantenere un potenziale fogliare giornaliero minimo indipendentemente dal *Predawn Leaf Water Potential* (Hochberg et al. 2018), senza le forti oscillazioni che caratterizzano invece le specie anisoidriche (melo, pesco, susino, mandorlo ecc).

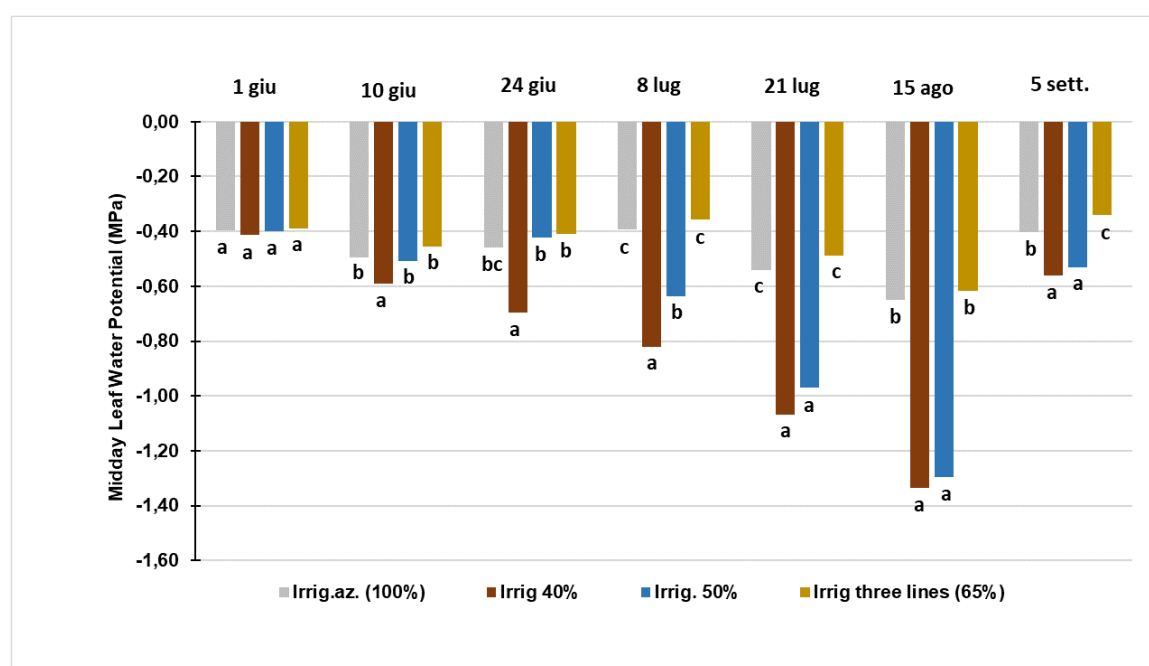


Figura 62. SunGold (2022): Potenziale idrico fogliare (MLWP) a mezzogiorno in funzione dell'irrigazione, tra giugno e settembre

SunGold (2022): Midday Leaf Water Potential according to irrigation, between June and September

I dati raccolti nel corso della stagione 2022 e rappresentati nella **Figura 62** mettono in evidenza come nell'irrigazione aziendale (100%) e tre linee (65%) i valori di MLWP siano relativamente bassi, rispettivamente -0,36-0,65 Mpa e -0,31-0,62. Le oscillazioni legate allo stadio vegetativo e soprattutto alle condizioni micro-ambientali sono relativamente modeste.

Diverso è il caso dell'irrigazione 50% e 40% in cui i valori di MLWP, soprattutto nei mesi di luglio e agosto, sono significativamente più elevati rispetto alle altre due tesi irrigue, con valori massimi rispettivamente di -1,30 e -1,33 Mpa nel mese di agosto quando lo stress idrico diventa più elevato anche per l'innalzamento delle temperature ambientali e delle foglie. Nel 2022 si sono registrate anche a fine giugno temperature massime molto vicine a quelle di luglio e agosto, per cui anche in questo mese si sono evidenziati incrementi di MLWP, soprattutto nelle tesi con minore disponibilità idrica. A settembre, i valori di MLWP nell'irrigazione aziendale (100%) e a tre linee (65%) tornano ai valori degli inizi di giugno, mentre nell'irrigazione 50% e 40 % i valori sono ancora significativamente più elevati. Dall'esame dei dati di MLWP è possibile ricavare una prima "baseline" minima di riferimento di questo parametro per distinguere uno stato di sufficiente disponibilità idrica da uno stato di inizio di possibili condizioni di stress, che può essere quantificata in -0,5 -0,6 Mpa.

5.3.3.3 Dendrometria

Nell'ultimo anno della prova di irrigazione, dalla fine di giugno alla seconda decade di settembre (periodo compreso tra il Giorni Giuliani 172 e 260, ovvero dal 22 giugno al 18 settembre), è stato condotto uno studio sulle variazioni giornaliere del diametro dei tronchi delle piante per ciascuna delle quattro tesi irrigue (irrigazione aziendale 100%, 50%, 40% e tre linee 65%) cui corrispondono diversi livelli di disponibilità idrica per la pianta (capitolo 4.2.2.2), al fine di valutare la loro attitudine e sensibilità a misurare lo stato idrico delle piante, in funzione dell'irrigazione.

Nella **Figura 63** sono rappresentati i valori della massima contrazione giornaliera dei tronchi (*Maximum Daily Shrinkage*, MDS) relativi all'irrigazione aziendale 100% e irrigazione 40%, mentre la **Figura 64** riporta quelli relativi all'irrigazione tre linee (65%) e irrigazione 50%.

Entrambi i grafici riportano anche i valori di deficit di pressione di vapore dell'aria (*Vapor Pressure Deficit*, VPD) calcolati sulla base dei dati di temperatura e umidità relativa dell'aria registrati in prossimità delle piante in prova. In generale, dai dati riportati nei grafici si evince come pur con valori assoluti diversi in funzione delle tesi le oscillazioni di MDS sono molto simili.

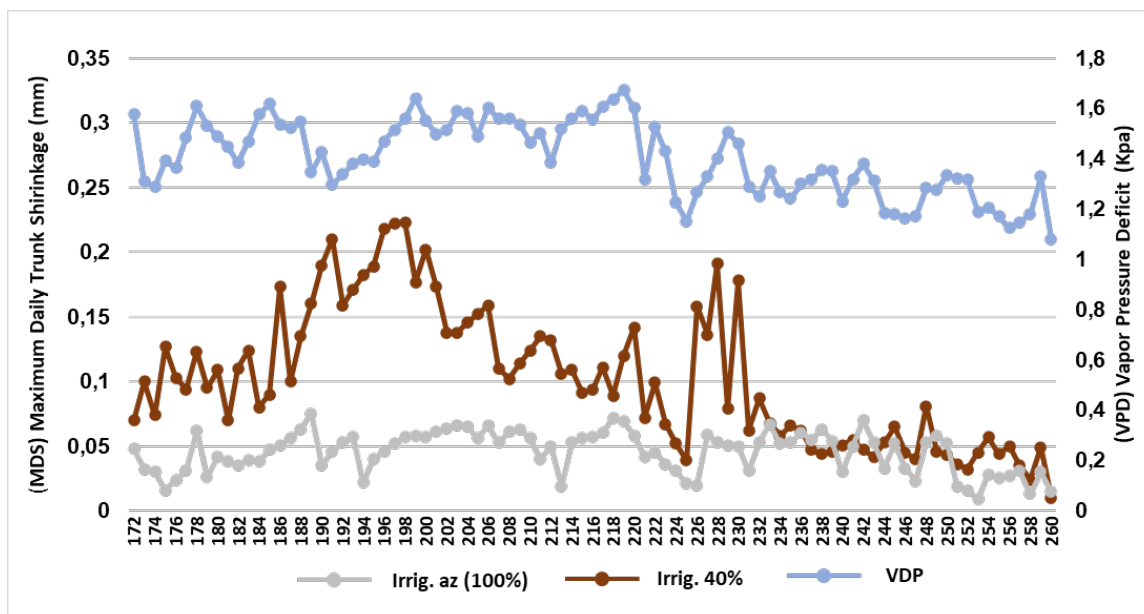


Figura 63. SunGold (2022): Variazioni giornaliere di MDS nei diversi regimi di irrigazione (100% e 40%) e andamento giornaliero del Vapor Pressure Deficit (deficit di pressione di vapore dell'aria – VDP). Il periodo rappresentato è compreso tra il 172° e 260° Giorno Giuliano (22 giugno - 18 settembre)

SunGold (2022): Daily variations in MDS under different irrigation regimes (100% and 40%) and related daily VDP. The period represented is comprised between 172nd and 260th Julian Day (22 June-18 September)

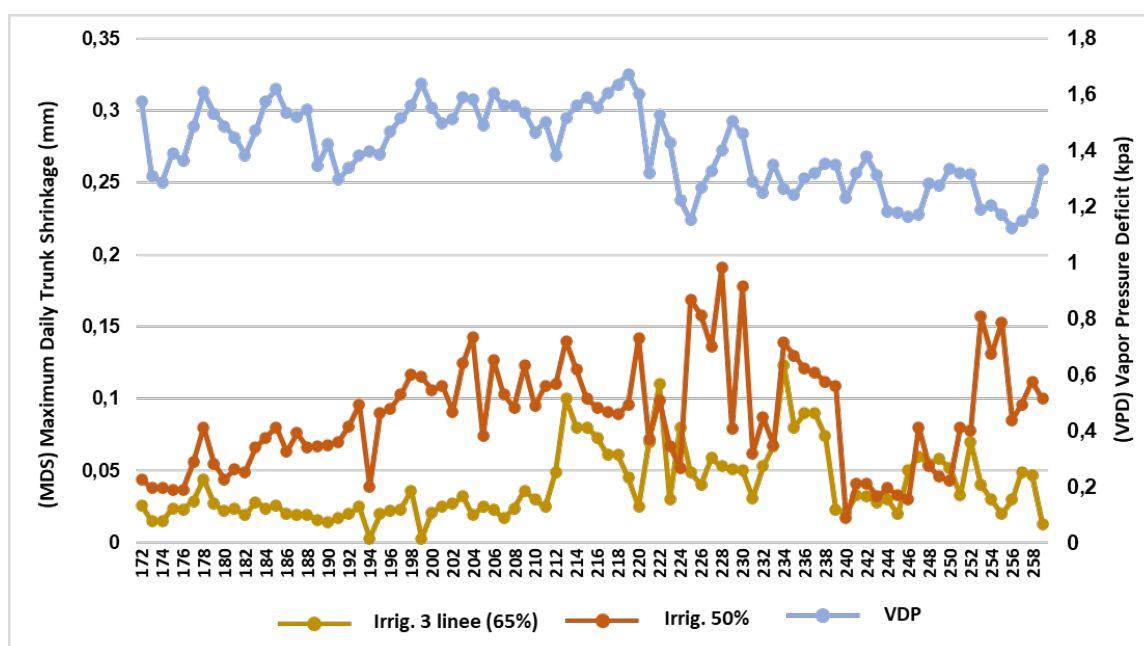


Figura 64. SunGold (2022): Variazioni giornaliere di MDS nei diversi regimi di irrigazione (65% e 50%) e andamento giornaliero del Vapor Pressure Deficit (deficit di pressione di vapore dell'aria – VDP). Il periodo rappresentato è compreso tra il 172° e 260° Giorno Giuliano (22 giugno - 18 settembre)

SunGold (2022): Daily variations in MDS under different irrigation regimes (65% and 50%) and related daily VDP. The period represented is comprised between 172nd and 260th Julian Day (2 June-18 September)

L'irrigazione aziendale (100%) e tre linee (65%) presentano i valori più bassi con minori oscillazioni giornaliere. L'irrigazione 50% si differenzia in modo evidente da quella a tre linee (65%) nell'intero periodo di osservazione, ovvero in corrispondenza di condizioni ambientali più stressanti, mentre successivamente le differenze si annullano perché si attenuano anche gli eccessi climatici (dati non riportati).

L'irrigazione 40% si caratterizza per valori di MDS più elevati rispetto all'irrigazione aziendale (100%), ma anche rispetto all'irrigazione 50%, con oscillazioni molto più elevate, indice di maggiore stress idrico delle piante.

Spesso le oscillazioni giornaliere oltre che alle condizioni microclimatiche sono dovute anche alla gestione dell'irrigazione da parte dell'azienda che per motivi di turni irrigui non dipendenti dalla propria volontà, è stata costretta a cambi di orari o variazioni giornaliere nella distribuzione dell'acqua. Questo aspetto mette in evidenza l'estrema sensibilità del sistema di misura delle variazioni del tronco legato allo stato fisiologico della pianta, ma anche in relazione alle variabili colturali e ambientali.

Il *Vapor Pressure Deficit* (VPD) è il principale motore del trasporto dell'acqua nelle piante e influenza la apertura degli stomi e gli scambi gassosi per cui, definire il legame tra questo parametro e le differenze tra il valore massimo e minimo delle variazioni di dimensione del tronco (MDS) risulta di notevole interesse teorico e pratico (De Swaef et al. 2009).

I dati per le regressioni sono: per il VPD quelli calcolati utilizzando i dati micrometeorologici registrati in prossimità delle piante su cui erano montati i dendrometri mentre i valori di MDS sono quelli registrati dai datalogger.

Sono state quindi calcolate le regressioni tra i valori di MDS dell'irrigazione aziendale 100% e le variazioni giornaliere del tronco ricavandone una equazione lineare con un coefficiente di determinazione pari a 0.91 (**Figura 65A**).

La stessa procedura di calcolo è stata adottata per irrigazione 50% e irrigazione 40% (**Figura 65B** e **Figura 65C**) ricavando dei coefficienti di determinazione inferiori a quelli dell'irrigazione aziendale 100%. La regressione di MDS su VPD nell'irrigazione tre linee (65%) mette in evidenza una relazione meno stretta tra le due variabili (**Figura 65D**), come risulta dal coefficiente di determinazione (0,70), e questo può essere legato al fatto che la maggior uniformità di distribuzione dell'acqua nel terreno a vantaggio dell'apparato radicale rende la pianta meno condizionata dalle condizioni ambientali.

Si è poi proceduto a relazionare i dati relativi al MDS con i valori di *Midday Leaf Water Potential* (MLWP) che, come affermato sopra, rappresenta bene lo stato idrico delle piante.

Alle date riportate nella **Tabella 39** su ciascuna delle piante oggetto della prova è stato misurato il (MLWP) e calcolato per lo stesso giorno la massima variazione di diametro del tronco (*Maximum Diameter Shrinkage* - MDS).

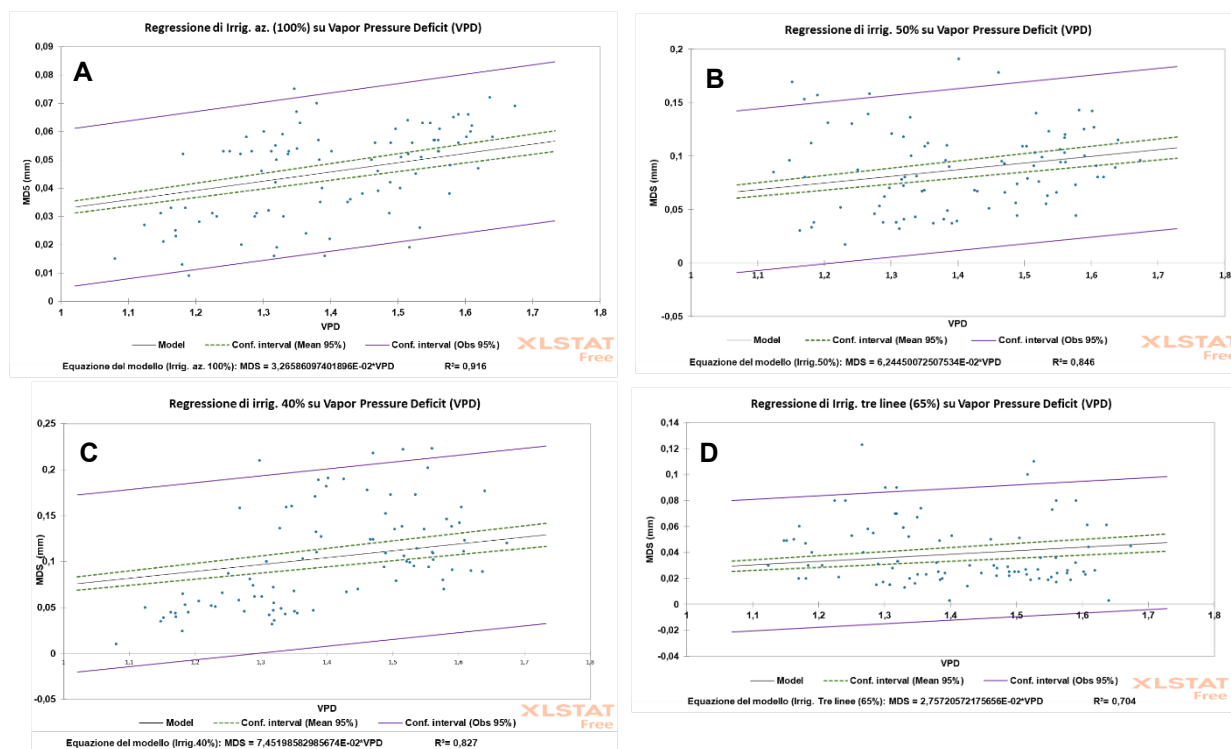


Figura 65. SunGold (2022): Modelli di regressione del MDS sul VPD in funzione delle diverse tipologie d'irrigazione

SunGold (2022): Regression models for MDS and VDP according to irrigation

La regressione di MDS verso MLWP (**Figura 66**) mostra come aumentando il livello di stress (valori di MLWP più negativi) c'è un progressivo aumento di MDS con un coefficiente di determinazione $R^2 = 0,86$ simile a quello rilevato da altri autori (Silva and Ferreira 2014, Molz and Klepper 1973).

Tabella 39. SunGold (2022): Midday Leaf Water Potential (MLWP) di diversi volumi irrigui e relativi Maximum Daily Shrinkage (MDS)

SunGold (2022): Midday Leaf Water Potential (MLWP) at different irrigation regimes and related Maximum Daily Shrinkage (MDS)

Date	Julian Day	Irrig. az. 100%		Irrig. 40%		Irrig. 50%		Irrig. 3 linee (65%)	
		MLWP (Mpa)	MDS (mm)	MLWP (Mpa)	MDS (mm)	MLWP (Mpa)	MDS (mm)	MLWP (Mpa)	MDS (mm)
24 giu.	175	-0,46	0,016	-0,70	0,127	-0,42	0,037	-0,41	0,024
08 lug.	189	-0,39	0,075	-0,82	0,160	-0,64	0,067	-0,36	0,016
21 lug.	202	-0,54	0,064	-1,07	0,138	-0,97	0,091	-0,49	0,027
15 ago.	227	-0,65	0,059	-1,33	0,136	-1,30	0,136	-0,62	0,059
05 sett.	248	-0,40	0,053	-0,56	0,081	-0,53	0,055	-0,34	0,053

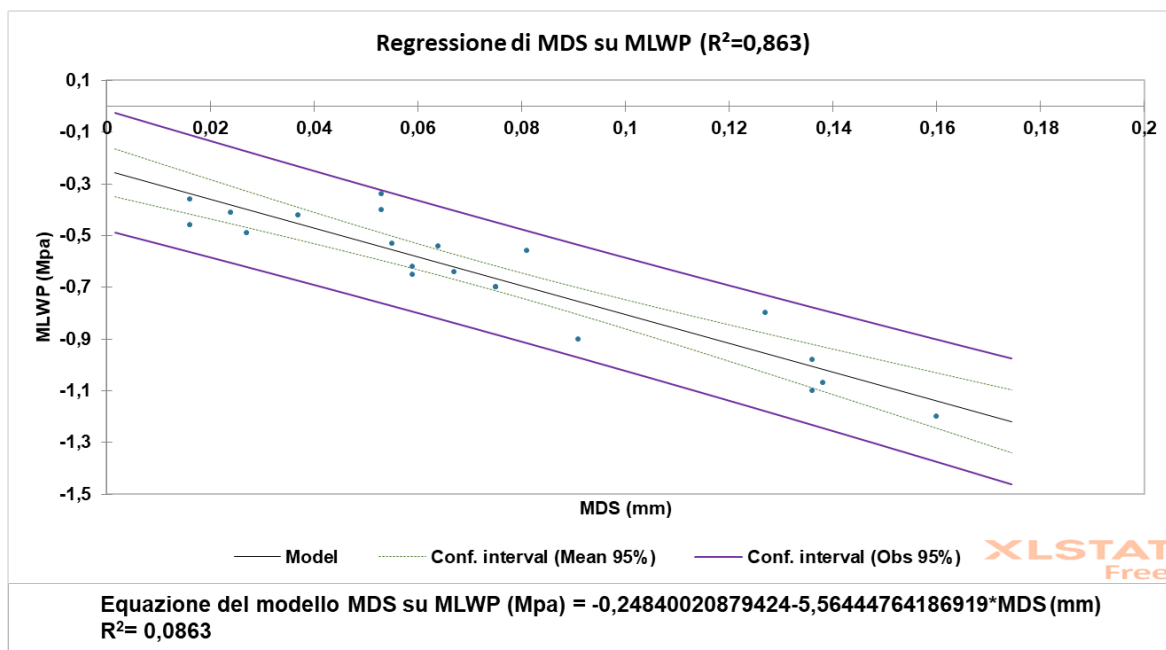


Figura 66. 2022 - Modello di regressione di MDS sul MLWP
 2022 - Regression model MDS on MLWP

5.3.3.4 Sviluppo del sistema radicale nel terreno

Irrigazione aziendale (100%)

Come risulta dalla **Figura 67A** appare evidente sulla fila la presenza, non particolarmente elevata, di radici fini con $\varnothing < 2$ mm ($5,0 \text{ g/dm}^3$) alla distanza di 30 cm dalla pianta sotto il gocciolatore, che aumenta a 60 cm dalla pianta ($18,9 \text{ g/dm}^3$) allontanandosi dal gocciolatore e include radici fini e anche grosse con $\varnothing > 2$ mm.

Sulla fila, a 90 e 120 cm in prossimità del gocciolatore (100 cm) le radici sono praticamente assenti ($0,93 \text{ g/dm}^3$). A 150 e 180 cm, sempre in vicinanza di un altro gocciolatore (150 cm) non sono state rilevate radici a 10 e 20 cm di profondità, mentre sono presenti a profondità oltre i 30 cm in quantità di $24,2 \text{ g/dm}^3$ a 150 cm di distanza e solo di $2,3 \text{ g/dm}^3$ a 180 cm. Allontanandosi dal punto goccia a 240 cm sulla fila si è trovata una maggiore concentrazione sia di radici sia fini sia grosse ($13,9 \text{ g/dm}^3$).

Si ritiene che queste circostanze siano da attribuire a condizioni di asfissia radicale, confermata sia dalla presenza nei fori di carotaggio di acqua libera sia dal ritrovamento nei campioni di terreno di parti di radice morte.

Esaminando i risultati dei campioni di terreno prelevati a varie distanze nell'interfilare (**Figura 67B**) ancora una volta si osserva una ridotta presenza di radici a 30 cm dal centro del filare in prossimità del gocciolatore, soprattutto fino 20 cm di profondità ($0,19 \text{ g/dm}^3$) con

un leggero incremento a livelli più profondi ($1,61 \text{ g/dm}^3$). A 60 cm dal centro del filare allontanandosi dal gocciolatore le quantità di radici aumentano ($3,44 \text{ g/dm}^3$).

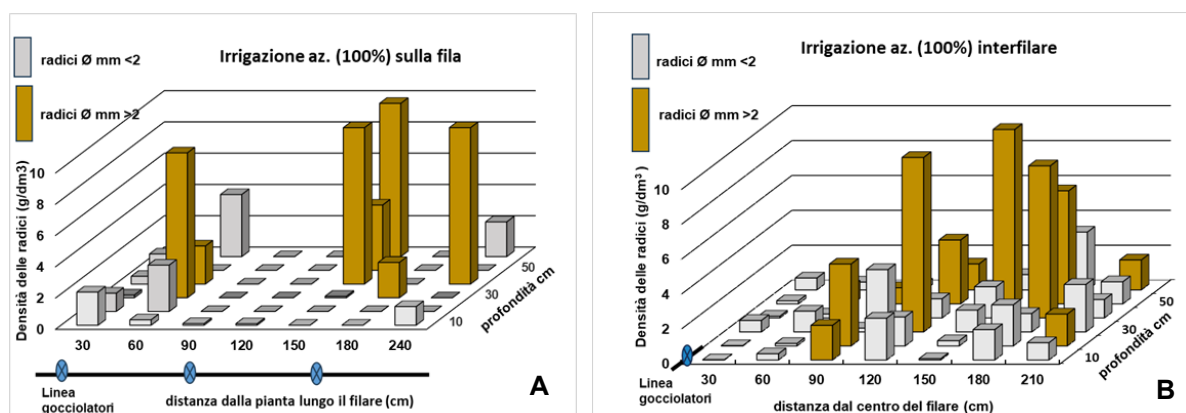


Figura 67 Irrigazione aziendale (100%): Distribuzione delle radici di SunGold sulla fila (A) e nell'interfilare (B), a diverse distanze dalla pianta e a diverse profondità. Sono indicati le linee gocciolanti in entrambi i diagrammi.

Farm irrigation (100%): Distribution of SunGold roots on the row (A) and in the alleyway (B), at different distances from the plant and at different depths. Dripping lines are indicated in both diagrams.

Una presenza maggiore di radici sia fini che grosse si nota invece alla distanza di 90 cm dal centro del filare ($10,9 \text{ g/dm}^3$) e 120 cm ($24,1 \text{ g/dm}^3$).

Alle distanze successive dal centro del filare le densità di radici nel terreno aumentano soprattutto a profondità maggiori, nonostante i contenuti di acqua siano spesso vicini o sotto il punto di appassimento, ma evidentemente migliori per lo sviluppo del sistema radicale ancorché affidato prevalentemente alle riserve idriche accumulate con le precipitazioni.

La quantità di radici a 150 cm dal centro del filare è di $14,7 \text{ g/dm}^3$, a 180 cm è di $23,7 \text{ g/dm}^3$ e a 210 cm di $9,6 \text{ g/dm}^3$. La proporzione tra radici fini e grosse si equivale con maggior presenza di queste ultime a maggiori profondità.

Irrigazione tre linee (80%)

L'esame della densità radicale effettuato con carotaggi sulla fila centrale mette in evidenza la differenza dell'irrigazione a tre linee rispetto a quella aziendale tradizionale su unica linea, con la presenza di una maggiore quantità di radici sia fini che grosse.

La loro rappresentazione nel grafico (**Figura 68A**), proprio in ragione della loro quantità e tipologia è diversa da quella degli altri grafici, nel senso che per ciascuna distanza ci sono due serie di istogrammi uno per le radici fini e uno per le radici grosse.

Alla distanza di 30 cm dalla pianta sulla fila la densità delle radici fini è di $12,5 \text{ g/dm}^3$ mentre quella delle radici grosse è di $112,9 \text{ g/dm}^3$.

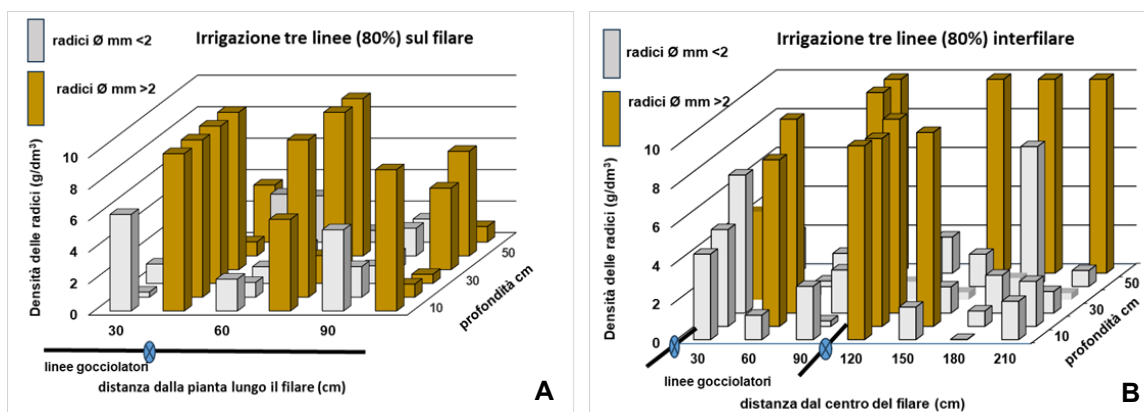


Figura 68 Irrigazione tre linee (80%): Distribuzione delle radici di SunGold sulla fila (A) e nell'interfilare (B), a diverse distanze dalla pianta e a diverse profondità. Sono indicati le linee gocciolanti in entrambi i diagrammi. In Fig. 68A, per ciascuna distanza dalla pianta gli istogrammi indicando le radici > 2 mm e < 2 mm sono rappresentati in modo affiancato.

Three lines irrigation (80%): Distribution of SunGold roots along the row (A) and in the alleyway (B), at different distances from the plant and at different depths. Dripping lines are indicated in both diagrams. In Fig. 68A, histograms indicating roots > 2 mm and < 2 mm are represented side by side for each distance from the plant.

A 60 cm sul filare è stata trovata una densità di radici fini pari a 12,4 g/dm³ e di 72,8 g/dm³ di radici grosse. A 90 cm sul filare ci sono 12,4 g/dm³ di radici fini e 23,2 g/dm³ di radici grosse. Quello che in generale risulta evidente è che la distribuzione delle radici è abbastanza uniforme anche in prossimità del gocciolatore (50 cm dalla pianta), segno evidente che il volume totale di acqua è meglio distribuito tra i gocciolatori e non crea fenomeni localizzati di asfissia.

Dai campioni di terreno prelevati nell'interfilare (**Figura 68B**) la densità di radici risulta ancora elevata e abbastanza uniforme alle diverse distanze e profondità. Questi risultati sono giustificati da una distribuzione uniforme dell'acqua nel terreno che, come evidenziato precedentemente, è a livelli tali da consentire lo sviluppo del sistema radicale in un ambiente edafico con un corretto rapporto aria/acqua. Alla distanza di 30 cm dal centro del filare abbiamo una densità radicale di 26,4 g/dm³ con prevalenza di radici fini. A 60 cm dal centro del filare abbiamo una prevalenza di radici grosse pari a 28,2 g/dm³. A 90 e 120 cm, distanze tra le quali passa la linea di irrigazione laterale aggiuntiva, abbiamo un notevole incremento della densità radicale, pari rispettivamente a 63,4 g/dm³ e 47,7 g/dm³, segno evidente del suo effetto positivo sullo sviluppo radicale. Questo effetto continua anche alla distanza di 150 dal centro del filare con 75,9 g/dm³ di radici. Alla distanza di 180 cm dal centro del filare si osservano ancora elevate densità radicali (82,4 g/dm³) a profondità superiori ai 20 cm. A 210 cm dal centro del filare c'è ancora una buona presenza di radici, che sono fini (6,6 g/dm³) nei primi 40 cm di profondità e grosse oltre i 50 cm (35,5 g/dm³)

5.3.3.5 Parametri produttivi

Il diradamento molto più leggero rispetto agli anni precedenti ha determinato in generale produzioni a pianta (mediamente 86,05 kg rispetto ai 58,56 e i 53,51 kg degli anni 2020 e 2021) e a ettaro (mediamente 57,3 t rispetto ai 43,33 e 35,64 t del 2020 e 2021) più elevate, ma nello stesso tempo una diminuzione del peso dei frutti (103,6 g rispetto ai valori medi di 121,98 g del 2020 e dei 136,63 g del 2021) (Tabella 40).

Le produzioni a pianta più elevate si sono registrate nell'irrigazione 65% su tre linee (98,3 kg/pianta e in quella al 100% (94,2%) con una differenza non statisticamente significativa tra le due tesi.

Ciò nonostante, il risultato è rilevante dal punto di vista agronomico, in quanto con un volume di adacquamento inferiore del 35% rispetto al riferimento aziendale si sono ottenute produzioni più elevate, grazie al metodo di distribuzione “allargato” ai lati del filare.

Tabella 40. SunGold (2022): Principali parametri produttivi osservati, in funzione dell'irrigazione
SunGold (2022): Productive parameters observed, according to irrigation

Tesi	Prod. a pianta (kg)	Indice di efficienza produttiva (kg/cm ²)	Prod./ha (666 piante) (t)	Peso medio frutto (g)	% frutti > 90g	% frutti >125 g
Irrig. 100%	94,20 a	1,65 b	62,73 a	109,1 a	96,7 a	64,6 b
Irrig. 50%	79,66 b	1,50 c	53,05 b	100,2 b	66,5 b	19,0 d
Irrig. 40%	72,03 c	1,45 c	47,97 c	91,3 c	48,2 c	11,7 c
Irrig. 65% (3 linee)	98,29 a	1,91 a	65,46 a	113,8 a	98,7 a	68,7 a
Media	86,05	1,63	57,3	103,6	77,53	41

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

La % dei frutti indicata rappresenta un sottoinsieme della classe >90g della colonna precedente

The % of fruits indicated represents a subset of the >90g class given in the previous column

La riduzione dei volumi idrici nelle altre tesi ha comportato una corrispondente riduzione delle produzioni, che è risultata significativa sia nell'irrigazione 50% (79,7 kg/pianta) sia nell'irrigazione 40% (72,0 kg/pianta).

Le produzioni a pianta hanno determinato le produzioni a ettaro, che, come quelle a pianta, sono risultate più elevate rispetto a quelle comunemente suggerite (30 t/ha) per le cultivar a polpa gialla dai bollettini tecnici di Apofruit (Marocchi 2012).

Gli indici di efficienza produttiva più elevati e tra loro simili dal punto di vista statistico si sono ottenuti con l'irrigazione 65% su tre linee (1,91 kg/cm²) e con l'irrigazione 100% (1,65 kg/cm²), determinati prevalentemente dalle produzioni elevate.

Nelle tesi irrigazione 50% e irrigazione 40% i valori dell'indice sono significativamente meno elevati (1,50-1,45 kg/cm²) a causa delle minori produzioni ma anche del minor accrescimento dell'area trasversale dei tronchi.

Le tesi in prova si differenziano tra di loro oltre che per la produzione anche per il peso medio dei frutti. I frutti di peso medio significativamente più elevati si sono ottenuti con l'irrigazione 65% su tre linee (113,8 g), seguiti in ordine decrescente e significativamente diversi dall'irrigazione 100% (109,1 g), 50% (100,2 g) e 40% (91,3 g).

Le differenze indotte sulle dimensioni dei frutti dai diversi volumi idrici sono ancor più evidenti se si considerano le ripartizioni in classi commerciali.

Curve di accrescimento e ripartizione dei frutti in classi commerciali

Il minor ritmo di accrescimento dei frutti nelle tesi a ridotto apporto irriguo (irrig. 40 e 50%) rispetto a quella aziendale (100% di riferimento) appare evidente fin dalle prime fasi successive all'allegagione, ma anche in tempi successivi (**Figura 69A**).

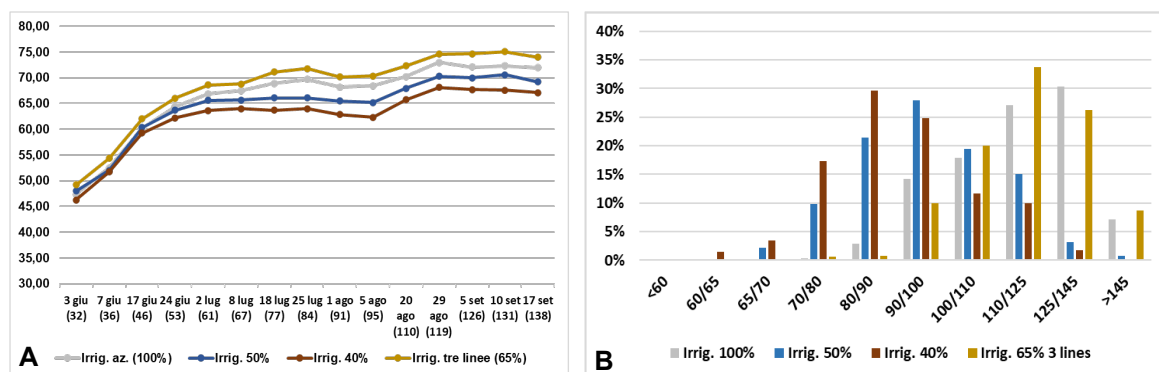


Figura 69. SunGold (2022): Curve di accrescimento dei frutti (A), in mm di lunghezza, e distribuzione dei frutti in classi commerciali (B), in funzione dell'irrigazione.

Tra parentesi, sotto ogni data di osservazione, si indica il relativo numero del Giorno Dopo la Piena Fioritura.

SunGold (2022): Fruit growth curves (A), in mm fruit length, and distribution of fruits in commercial classes (B), according to irrigation.

In brackets, below each data of observation, indication of the relative Day After Full Bloom, DAFB)

Tale risultato è in accordo con quanto riportato in letteratura per la cultivar 'Hayward' da diversi autori (Judd et al. 1989; Miller et al. 1998) che dimostrano come la riduzione della disponibilità idrica nelle fasi successive all'allegagione influenzi negativamente la

disponibilità di fotoassimilati per i frutticini e la loro crescita con conseguenze che si protraggono per tutta la stagione, fino alla raccolta senza alcuna possibilità di recupero (Judd and McAneney 1987, Prendergast et al. 1987).

Da rilevare la crescita iniziale più elevata dei frutti dell'irrigazione tre linee (65%), rispetto all'irrigazione 40 e 50%, ma anche rispetto all'irrigazione aziendale (100%), con un andamento che pur con oscillazioni si amplifica fino a luglio e rimane costante fino alla raccolta, indice evidente di come tale tesi di irrigazione garantisca una migliore disponibilità idrica alle piante.

Dalla **Figura 69 (B)** si evince come la riduzione dei volumi idrici influenzi negativamente la produzione di frutti appartenenti a classi commerciali dei frutti desiderati (>90g), comportando in particolare un incremento di quelle inferiori poco remunerate o anche considerate di scarto dal punto di vista commerciale.

L'irrigazione 65% su tre linee e l'irrigazione 100% hanno i valori percentuali di frutti nella classe >90g simili tra di loro (98,7-96,7) e significativamente più elevati rispetto all'irrigazione 50% (66,5) e 40% (48,2).

Le differenze tra le tesi irrigue risultano più evidenti e significative se si considerano i frutti superiori a 110 g. I valori percentuali più elevati si hanno in irrigazione 65% su tre linee (68,7); seguono, nell'ordine, irrigazione aziendale 100% (64,6), irrigazione 50% (19,0) e irrigazione 40% (11,7).

5.3.3.6 Parametri qualitativi

Il carico di frutti più elevato del 2022 rispetto agli altri anni, oltre a ridurne in modo significativo la dimensione, ne ha condizionato anche le caratteristiche chimico-fisiche (**Tabella 41**). Infatti, indipendentemente dall'effetto dell'irrigazione nelle diverse tesi, tutti i parametri risultano influenzati negativamente. Durezza della polpa più elevata e grado zuccherino, sostanza secca, acidità totale e densità ridotte indicano un ritardo della maturazione e una minore generale qualità dei frutti.

La durezza della polpa è mediamente di 7,89 kg/cm² rispetto a 6,34 kg/cm² nel 2020 e 7,21 kg/cm² nel 2021. Come anche negli anni precedenti, valori più elevati si sono ottenuti nell'irrigazione 100% (8,07 kg/cm²), che mette in evidenza un ritardo nella maturazione dei frutti rispetto alle altre tesi, che appare ancor più evidente se si considerano gli altri parametri.

Tabella 41. SunGold (2022): Principali parametri qualitativi dei frutti osservati, in funzione dell'irrigazione
 SunGold (2022): Main qualitative parameters observed, according to irrigation

	Durezza della polpa (kg/cm²)	Solidi solubili (°Brix)	Sostanza secca (%)	Acidità totale (%)	Densità (g/cm³)
Irrig. 100%	8,07 a	8,85 c	17,78 a	1,62 a	0,945 a
Irrig. 50%	7,79 b	9,42 b	16,81 b	1,27 b	0,929 a
Irrig. 40%	7,70 b	9,32 b	15,98 b	1,25 b	0,925 a
Irrig. 65% (3 linee)	7,99 b	10,92 a	17,95 a	1,58 a	0,980 a
Media	7,89	9,63	17,13	1,43	0,95

Per ogni cultivar, in ciascuna colonna i valori contrassegnati da lettere uguali non sono statisticamente diversi tra loro (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

For each cultivar, in each column, means followed by the same letter do not differ statistically among themselves (Tukey's HSD test, $p = 0.05$)

Il grado rifrattometrico (solidi solubili) significativamente più elevato si è ottenuto con l'irrigazione 65% su tre linee (10,9 °Brix), seguita da irrigazione 50% (9,4°Brix) e irrigazione 40% (9,3°Brix), simili tra di loro, e infine dall'irrigazione 100% con il valore più basso (8,8°Brix).

I contenuti percentuali in sostanza secca più elevati e simili tra di loro si sono ottenuti con irrigazione 65% su tre linee (17,9%) e irrigazione 100% (17,8%), mentre i minori volumi idrici (50 % e 40%) hanno indotto i contenuti significativamente più bassi (rispettivamente 16,8 e 15,9 %).

I valori percentuali di acidità totale più elevata e simili tra di loro si sono ottenuti con l'irrigazione 100% (1,62) e irrigazione 65% su tre linee (1,58) e sono legati, come per la durezza, a un ritardo della maturazione rispetto alle altre due tesi, che registrano valori significativamente più bassi e simili tra di loro.

La densità dei frutti rispetto agli altri anni risulta inferiore a 1 ed è condizionato soprattutto dal carico produttivo elevato e dai conseguenti minori contenuti in sostanza secca, con differenze tra le diverse tesi statisticamente non significative ma comunque evidenti tra i volumi di irrigazione più elevati rispetto a quelli più bassi.

6. DISCUSSIONE

6.1 Fenologia

Le due cultivar di actinidia Hayward e SunGold, appartenendo rispettivamente alle specie *A. chinensis* var. *deliciosa* e *A. chinensis* var. *chinensis*, oltre a presentare caratteristiche distintive dal punto di vista morfologico, agronomico e produttivo hanno anche un comportamento diverso dal punto di vista della fenologia come evidenziato anche in altre cultivar appartenenti alle due varietà botaniche (Wall et al. 2008).

SunGold anticipa il germogliamento e la fioritura rispetto a Hayward dai 16 ai 20 giorni e questo è da attribuire alle loro diverse esigenze in fabbisogno in unità di freddo (*Chilling Units*, CU) e unità di caldo (*Growing Degree Hours*, GDH). SunGold ha un fabbisogno in freddo di circa 600 CU e un GDH di 7.750 ore, mentre Hayward ha un fabbisogno in freddo superiore alle 900 CU e di un GDH di circa 9.150.

Le minori esigenze in CU di SunGold rispetto a Hayward rendono la prima cultivar più adatta alle condizioni climatiche dell'Agro Pontino anche nell'ottica di ulteriori probabili incrementi futuri delle temperature in seguito al cambiamento climatico. La cultivar Hayward, peraltro, senza interventi chimici che favoriscano l'interruzione della dormienza (Fabbroni 2009) potrebbe sempre più andare incontro a riduzione della fertilità delle gemme e aumento delle percentuali di anomalie fiorali e frutti deformi (Zhao et al. 2017).

Analizzando l'andamento delle fasi fenologiche verificatesi all'interno dell'Azienda Martella nel corso dei tre anni, si evince che nel 2020 le principali date fenologiche di Hayward e SunGold sono risultate coerenti con quelle tipiche dell'area di coltivazione e delle descrizioni varietali di riferimento per il presente lavoro (capitolo 1.1.4), mentre in entrambe le cultivar esse risultano ritardate negli altri due anni, soprattutto per quanto riguarda l'epoca di germogliamento e della fioritura. Questi ritardi probabilmente sono dovuti al diverso accumulo di CU e di GDH nei mesi antecedenti alla ripresa vegetativa (Morley-Bunker and Salinger 1987).

Le epoche di raccolta invece non si differenziano in modo significativo per le due cultivar nei tre anni di prova, nonostante una certa variabilità delle condizioni climatiche negli anni della sperimentazione in quanto vengono decise sulla base di una serie di parametri qualitativi dei frutti (quali °Brix, sostanza secca, colore della polpa) che però consentono un certo margine di discrezionalità. Si deve comunque ricordare che lo stato di maturazione

fisiologica del frutto alla raccolta e le relative caratteristiche fisico-chimiche hanno un notevole impatto sulla sua conservazione (Kader 1999, Famiani et al. 2012) e apprezzamento finale da parte del consumatore (Beever and Hopkirk 1990, Crisosto et al. 2012).

6.2 Diradamento

Durante i tre anni (2020, 2021, 2022) di sperimentazione, i livelli di diradamento adottati e i risultanti carichi produttivi delle piante (carico elevato, carico basso, *Bud Thinning*) sono stati determinati utilizzando come parametro di riferimento quello effettuato dall'azienda (carico aziendale). L'azienda ha effettuato questi interventi con diversa intensità negli anni e anche nelle due cultivar (Hayward rispetto a SunGold), con conseguente diversificazione del numero dei frutti lasciati in pianta anche nelle altre tesi.

In Hayward, il livello aziendale prevedeva un numero medio di 960 - 650 - 615 frutti rispettivamente per il 2020, 2021 e 2022 (riduzione del circa 30% nel 2021 e 2022 rispetto al 2020), mentre in SunGold, il 2022 ha visto quasi il doppio dei frutti in pianta rispetto ai due anni precedenti (970 nel 2022 vs 482 nel 2020 e 455 nel 2021).

Come esposto nei capitoli precedenti, nel 2020 il diradamento è stato effettuato prevedendo tre tesi, ovvero carico aziendale (100%), carico elevato (115%) e carico basso (85%), mentre negli altri due anni è stato inserito anche il *Bud Thinning*, in cui il numero dei frutti era fissato all'80%.

6.2.1 Parametri produttivi

Nonostante le variazioni sull'intensità del diradamento dovute alle decisioni aziendali, nell'insieme dei tre anni è possibile individuare differenze di comportamento tra le due cultivar appartenenti a due varietà botaniche diverse e, all'interno di queste, l'effetto della differenziazione del carico nelle diverse tesi sui vari parametri produttivi (produzione a pianta, produzione a ettaro, peso medio dei frutti e loro ripartizione in classi commerciali di calibro).

6.2.1.1 Hayward

Produzioni a pianta ed ettaro

In generale, le produzioni a pianta e a ettaro del 2020 sono mediamente superiori del 49,3% rispetto al 2021 e del 52,8% rispetto al 2022, risultando più elevate rispetto a quelle ammesse dal disciplinare di produzione “IGP Kiwi Latina” (2004) che fissa il limite a 33,0 t/ha.

Il maggior numero di frutti a pianta lasciati nel 2020 ha determinato differenze significative sia nelle produzioni a pianta sia nelle produzioni a ettaro tra tutte le tesi. Le produzioni più elevate a pianta (113,8 kg) e a ettaro (56,9 t) si sono ottenute con il carico elevato, seguito in ordine decrescente da carico aziendale (91,1 kg/pianta e 45,5 t/ha) e carico basso (72,9 kg/pianta, 36,4 t/ha).

Negli anni 2021 e 2022 i risultati ottenuti sono più articolati in termini numerici e statistici. Nel 2021 le produzioni a pianta e a ettaro significativamente più elevate (72,0 kg/pianta e 36,0 t/ha) si sono ottenute con il carico elevato, seguito in ordine decrescente dal carico aziendale (68,9 kg/pianta, 34 t/ha), simile al precedente, e dal *Bud Thinning* (58,6 kg/pianta, 29,3 t/ha), che per le produzioni a pianta (58,6 kg) risulta simile al carico basso (49,9 kg) ma inferiore per produzione a ettaro (9,3 t/ha contro 24,4 t/ha).

Nel 2022 il carico elevato si differenzia significativamente da tutte le altre tesi per quanto riguarda le produzioni a pianta (69,7 kg), seguito in ordine decrescente da carico aziendale (69,9 kg), *Bud Thinning* (58,2 kg) e carico basso (54,1 kg). Per quanto riguarda invece le produzioni a ettaro, nel 2022 il carico elevato (34,8 t) e il carico basso (27,1 t) si differenziano dalle altre due tesi, ovvero carico aziendale (30,4 t) e *Bud Thinning* (29,1 t) che invece risultano simili tra di loro. Il *Bud Thinning* (diradamento dei bottoni fiorali) rispetto al carico basso (diradamento dei frutticini) presenta produzioni unitarie più elevate sia perché esso ha un carico potenziale di frutti superiore del 10%, ma soprattutto perché induce frutti a peso più elevato, come riportato da altri autori per Hayward (Newsheen et al. 2020) e per la cv Bruno (Lahav et al. 1989), entrambe appartenenti ad *A. chinensis* var. *deliciosa*.

Peso medio dei frutti

Nel 2020 si sono ottenuti nel complesso i pesi medi dei frutti più bassi del triennio (93,3 g contro 105,9 g del 2021 e 109,8 g del 2021); questo andamento si osserva anche se si confrontano i tre anni tra di loro, confermando per ciascuna tesi di diradamento la relazione

lineare negativa tra numero dei frutti per pianta e il loro peso riscontrata sia in *A. chinensis* var. *deliciosa* (Lahav et al. 1989), sia in *A. arguta* (Pescie e Strik 2004).

Il carico basso consente di ottenere, nei tre anni, pesi medi dei frutti significativamente più elevati rispetto al carico aziendale e ciò soprattutto nel 2021 (+ 8,8%) e nel 2022 (+15,6%). Anche il *Bud Thinning* induce i pesi medi dei frutti significativamente più elevati rispetto al carico aziendale (+9,6% nel 2021 e +18% nel 2022) e in misura minore anche rispetto al carico basso (+0,7% nel 2021 e +2,4% nel 2022).

Distribuzione in classi commerciali dei frutti

Nell'ambito di ciascuna tesi e nei tre anni la ripartizione in classi commerciali del peso dei frutti può considerarsi avere una distribuzione di tipo "normale" come riportato anche da altri autori (Judd and McAneney 1985, McAneney et al. 1989), mentre invece si differenziano tra di loro a seconda dei diversi livelli di diradamento.

Nel 2020, anno in cui il carico dei frutti a pianta è più elevato rispetto al 2021 e 2022, si evidenzia in generale una frequenza maggiore di frutti nelle classi inferiori ai 70 g e una percentuale di frutti di scarto (peso < 65g) che è dell'1 % nel carico basso, ma cresce al 7% nel carico aziendale e raggiunge il 28% nel carico elevato.

Nello stesso tempo anche il numero dei frutti nelle classi > 90g è in media del 50% e in quelle > 115 g è del 10%, nettamente inferiore alle relative percentuali ottenute negli altri due anni.

Nel 2021 e 2022 in generale si riduce il numero dei frutti con peso < 70 g (1 - 8%) e anche lo scarto dei frutti con peso < 65g (2-5%), mentre aumenta il numero dei frutti nelle classi commerciali più elevate. In particolare, nel carico basso le classi >90g sono mediamente dell'82% e quelle del > 115% del 42%; nel *Bud Thinning* >90g del 93% e >115 g del 60%.

I dati relativi al peso medio e classi di calibro commerciale mettono in evidenza come tali parametri siano strettamente legati agli indici di carico produttivo, come anche esposto nel capitolo 6.2.2.

6.2.1.2 SunGold

Produzioni a pianta ed ettaro

La diversificazione del diradamento e i relativi carichi produttivi influenzano in modo significativo le produzioni per pianta e per ettaro.

Nel 2020 si sono ottenute le produzioni medie a pianta più basse del triennio (mediamente 59,6 kg/pianta) che hanno dato luogo a una produzione media unitaria a ettaro di 39,7 t/ha. Anche le produzioni per pianta e per ettaro delle diverse tesi, che risultano significativamente diverse tra di loro, sono quelle più basse registrate nel triennio; in ordine decrescente, il carico elevato (65,8 kg/pianta e 43,8 t/ha), il carico aziendale (60,5 kg/pianta e 40,3 t/ha) e il carico basso (52,4 kg/pianta, 34,9 t/ha).

Nel 2021 in generale a fronte di un diradamento meno intenso rispetto al 2020 (-13%) si sono ottenute produzioni a pianta (64,0 kg) e a ettaro (47,4 t) più elevate rispettivamente del 7,4% e 19,4%.

Questo risultato è da attribuire a un incremento del peso dei frutti che è mediamente del 15,7%, ma anche alla variabilità legata a fattori stagionali e climatici (Clinch 1984, Van Oostrom 1985, Snelgar et al. 1986, Cooper and Marshall 1990b).

Nel 2022 si sono avute le produzioni a pianta e unitarie a ettaro più elevate rispetto al 2020 (+79,0%, +86,4%) e anche al 2021 (+66,7%, +56,1%) e questo è dovuto a un livello di diradamento notevolmente più leggero rispetto agli altri anni che si evidenzia sia dal numero dei frutti lasciato a pianta (+88,5% rispetto al 2020 e +115,9% rispetto al 2021) sia dagli indici di carico produttivo pressoché doppi rispetto agli anni precedenti.

Peso medio dei frutti

Il diradamento influenza in modo evidente il peso dei frutti nei tre anni a seconda del numero di frutti lasciato per pianta in ciascun anno e a seconda delle diverse tesi.

Le minori dimensioni dei frutti in media, si sono ottenute nel 2022 (119,1 g), seguito dal 2020 con 123,8 g e dal 2021 con 143,3 g.

In ciascun anno, il carico elevato con un +15 - +20% di frutti rispetto al carico aziendale produce sempre i frutti di minor peso rispetto alle altre tesi, a prescindere dal numero dei frutti in assoluto per pianta.

Il carico basso con un -15 -25% di frutti rispetto a quello aziendale, ha fornito i frutti di maggior peso nell'ambito delle tesi di diradamento classico post-fioritura.

Incrementando il carico produttivo si ha una significativa riduzione del peso medio dei frutti, come rilevato anche da altri autori (Burge et al. 1987, Cooper and Marshall 1987, Snelgar and Thorp 1988, Lahav et al. 1989, Richardson and McAneney 1990, Antognozzi et al. 1991, Inglese and Gullo 1992, Famiani et al. 2012).

Il peso medio dei frutti è influenzato in modo significativo oltre che dall'intensità del diradamento anche dall'epoca in cui viene effettuato.

Infatti, nel 2021 e 2022, anni in cui è stato introdotto il *Bud Thinning*, con l'intervento su giovani germogli e bottoni fiorali in periodo prefiorale, sono stati ottenuti frutti di peso significativamente più elevato rispetto a tutte le tesi, inclusa la tesi a carico basso in cui il numero dei frutti è addirittura inferiore del 5-10%, confermando l'efficacia di tale pratica, anche nel caso di produzioni molto elevate (Lahav et al. 1989).

In SunGold si conferma quanto osservato anche in Hayward, che il diradamento prima della fioritura o comunque a uno stadio precoce (entro i 30 - 40 giorni dalla piena fioritura) è la tecnica più efficace per incrementare la dimensione dei frutti (Hall et al. 1996, Antognozzi et al. 1991, Lahav et al. 1989), probabilmente perché favorisce la divisione cellulare iniziale e il successivo aumento della dimensione delle cellule nei tessuti del pericarpo (Richardson et al. 1997) e consente inoltre l'afflusso supplementare di carboidrati ai singoli frutti.

Distribuzione in classi commerciali dei frutti

I diversi livelli di diradamento oltre che il peso medio dei frutti determinano una loro diversa distribuzione in classi commerciali, aspetto che è di notevole importanza ai fini commerciali e per il reddito aziendale, considerando che tra i parametri di liquidazione del prodotto il principale fattore è la dimensione dei frutti (Cooper et al. 1988, Kiwifruit Book 2018).

La ripartizione generale in classi commerciali dei frutti è diversa nei tre anni, con frequenze più elevate nelle classi di dimensione maggiore dei frutti nel 2020 e 2021 mentre nel 2022, anno caratterizzato da un elevato carico di frutti, la curva di distribuzione delle classi è più uniforme e tende ad avere un andamento prossimo a una distribuzione di tipo "normale" dal punto di vista statistico (McAneney et al. 1989) a causa di un effetto limitato del diradamento.

Considerando le classi inferiori, non risultano frutti di scarto con peso < 65 g nel 2020 e 2021 mentre invece sono presenti nell'anno 2022, con frutti nella classe 60/65. Per quanto riguarda le classi superiori mediamente le percentuali di frutti > 90 g sono uguali nel 2021 e 2022 (87,5%) e leggermente superiori nel 2020 (91,7%).

Le differenze maggiori invece, in generale si hanno nella classe >125g, con il valore più basso nel 2022 (22,5%), intermedio nel 2020 (42,0%) e più elevato nel 2021 (65,2%).

Nell'ambito di ciascun anno le tre tesi a carico basso presentano le maggiori percentuali di frutti nella classe >125g (rispettivamente 54%, 79% e 33%) e questo è ancor più evidente nel *Bud Thinning*, con l'84% nel 2021 e il 42% nel 2022, anno in cui le produzioni sono molto elevate.

Entrambe le cultivar, quindi, confermano che con l'aumentare del numero di frutti in pianta, pur aumentando le produzioni totali a ettaro dovuto alla quantità totale dei frutti prodotti, incrementa notevolmente la percentuale di frutti con dimensione relativamente piccola e poco remunerata e inoltre un'elevata percentuale di essi considerata come scarto da un punto di vista commerciale.

La scelta sul numero di frutti lasciati in pianta adottata dall'azienda Martella, ma anche in molte altre, risente ancora della tendenza recente da parte dei frutticoltori di produrre alte quantità ad ettaro (cfr. capitolo 4.1.2.2), non ponendo nella giusta considerazione la necessità di puntare a classi di calibro di maggior qualità come richiesto dal mercato (Ricipiuti 2022).

6.2.2 Crop Load Index

I risultati ottenuti nelle cultivar Hayward e SunGold nei tre anni mettono in evidenza come il peso medio dei frutti e la distribuzione in classi commerciali dei frutti sia strettamente legata alla gestione del numero dei frutti a pianta in funzione della superficie della chioma, definito attraverso il *Crop Load Index*.

Rispetto a SunGold, nella cultivar Hayward è più evidente e regolare sia l'aumento progressivo delle produzioni, sia la riduzione del peso dei frutti in funzione dell'incremento del carico produttivo, e ciò è probabilmente attribuibile a distanze di impianto più ampie (4,5 x 4,5 m) che garantiscono un rapporto foglie/frutti (Lai 1987, Lai et al. 1989a e 1989b) più favorevole e non deficitario nella competizione per gli assimilati tra i diversi organi della pianta (Minchin et al. 2010).

Nella cultivar SunGold le produzioni a ettaro sono comunque più elevate con un range da 34,9 a 85,9 t/ha rispetto a Hayward che va da 24,4 a 36,0 t/ha e questo è dovuto al suo più elevato peso medio dei frutti per intrinseche caratteristiche varietali.

In entrambe le cultivar gli incrementi di carico produttivo determinano una riduzione pressoché lineare del peso medio e un peggioramento delle classi commerciali di frutti più idonee al mercato.

Nelle condizioni pedoclimatiche e colturali della prova, onde evitare un peggioramento qualitativo della produzione e una conseguente riduzione del ritorno economico, è preferibile non superare il *Crop Load Index* di 25 frutti/m² di chioma pari a 506 frutti per pianta in Hayward e l'indice di 36 frutti/m² di chioma pari a 540 frutti per pianta in SunGold.

Queste conclusioni non sono completamente in linea con quanto riportato da altri autori (Cooper and Marshall 1991a) che suggeriscono indici più elevati (40 frutti/m²). Si deve però ricordare che questi risultati si riferiscono alle condizioni colturali e climatiche della Nuova Zelanda, dove le produzioni a ettaro possono essere superiori anche del 25% rispetto all'Italia (Zespry Gold Supply Performance 2023).

6.2.3 Curve e tassi di accrescimento dei frutti

La dimensione dei frutti alla raccolta, nell'actinidia, dipende da un notevole numero di fattori ambientali, quali temperatura (Morgan et al. 1985b), precipitazioni (Sale 1981) e colturali (Judd et al. 1986), che possono anche variare da un anno all'altro (Hall et al. 1996), ma, nonostante ciò, il monitoraggio dell'accrescimento può essere un utile indicatore delle tecniche di gestione adottate nell'impianto considerata anche la sensibilità dello sviluppo dei frutti a diverse forme di stress (Green et al. 1990).

Come esposto nel capitolo 1.2.2.4, la curva di accrescimento del frutto non è lineare nel tempo (Hopping 1976a, Judd and McAneney 1987), ma per convenzione si è assunto di approssimare la curva di crescita a due fasi lineari (fase 1 e fase 3) ciascuna caratterizzata da tassi di crescita costanti (Trought 1985), intervallata da una fase di rallentamento (fase 2) dello sviluppo (sigmoide semplice).

Nella presente sperimentazione, l'esame delle curve di accrescimento delle prove di diradamento nel loro insieme, mette in evidenza come il loro andamento risulti in genere caratterizzato dalle tre fasi (Hall et al. 2006), ma il punto di cambiamento non è sempre ben definito e costante e varia a seconda della cultivar e dell'anno, per cui non necessariamente i loro profili sono facilmente confrontabili o sovrapponibili.

La cultivar Hayward nel 2020, oltre a una prima sigmoide, presenta ulteriori rallentamenti e riprese degli accrescimenti, comportamenti che non risultano evidente nel 2021 e 2022.

La cultivar SunGold presenta una sigmoide semplice nel 2020, ma ulteriori crescite e rallentamenti nel 2021 che fanno supporre una doppia sigmoide nel 2021; nel 2022, a parte la sigmoide semplice iniziale, non si evidenziano ulteriori variazioni di rilievo nelle curve.

In ciascun anno sono invece evidenti le differenze di altezza delle curve in funzione delle diverse tesi di diradamento. In generale si distinguono per valori di accrescimento più elevati *Bud Thinning* e carico basso dal carico elevato e carico aziendale.

Dai dati delle curve di accrescimento dipendono anche i tassi di crescita dei frutti (*Absolute Growth Rate*, AGR) che si sviluppano durante la stagione e che, nel caso della cultivar

Hayward, sono stati descritti da diversi autori (Lai 1987, Bebbington et al. 2009, Abedi Gheshlaghi 2021), mentre nella SunGold, cultivar di nuova introduzione, per ora sono stati osservati soltanto in un lavoro molto recente (Boini et al. 2022).

Tabella 42. Hayward e SunGold (2020-2022). Tassi cumulati annuali e medi di crescita dei frutti (grammi/giorno) per tesi

Annual cumulated and average of Absolute Fruit Growth Rates (AGR), expressed in grams/day, per trial

	Totale (da 1° mis. a racc.)		1° periodo		2° periodo		Valore relativo 1° periodo rispetto a totale (%)
	cumulata	media	cumulata	media	cumulata	media	
Hayward							
C. elevato	75,84 d	0,49 c	37,98 d	1,23 d	37,86 d	0,30 c	50,08 b
C. basso	94,52 b	0,61 b	47,92 b	1,54 b	46,60 b	0,38 b	50,70 b
C. az.	84,92 c	0,54 c	41,98 c	1,36 c	42,94 c	0,35 c	49,43 b
Bud Thin.	113,58 a	0,70 a	62,97 a	1,72 a	50,61 a	0,41 a	55,44 a
Media triennio	92,21	0,58	47,71	1,46	44,50	0,36	51,41
SunGold							
C. elevato	82,08 b	0,70 c	46,55 c	1,52 d	35,53 c	0,42 c	58,71 b
C. basso	103,98 a	0,88 b	60,77 b	2,00 b	43,21 b	0,50 b	58,44 b
C. az.	82,65 b	0,70 c	50,75 b	1,67 c	31,90 d	0,37 c	61,40 a
Bud Thin.	140,99 a	1,23 a	71,38 a	2,25 a	69,60 a	0,83 a	50,63 c
Media triennio	102,42	0,88	57,36	1,86	45,06	0,53	56,80

Nelle prove oggetto del presente lavoro, l'andamento di AGR risulta in generale meglio definito nella cultivar Hayward, in cui sono più evidenti, soprattutto nel 2020 e nel 2022 (Tabella 42) due periodi con tassi di crescita più elevati seguiti da un periodo finale fino alla raccolta, con valori di questo parametro molto bassi. Nel 2021 invece, a un periodo iniziale e breve di AGR elevato ne segue uno contrassegnato da una rapida caduta di questo parametro con valori successivi decrescenti fino alla raccolta, caratterizzati da modeste oscillazioni.

La cultivar SunGold, negli anni 2020 e 2021, pur evidenziando inizialmente un periodo con valori di AGR elevati, successivamente manifesta un andamento decrescente fino alla raccolta, con oscillazioni irregolari e comunque non riferite specificatamente alle tesi e/o a motivi ben precisi. Nel 2021 anche la SunGold come la Hayward presenta un andamento di AGR diverso da quello degli altri due anni, con almeno due periodi di crescita più intensa oltre a quello iniziale e conseguente incremento non comune del peso dei frutti. Queste variazioni stagionali della dimensione dei frutti apparentemente inesplicabili sono

comunque eventi ricorrenti osservati già in passato da diversi autori (Cooper and Marshall 1991b, Hall et al. 1996).

L'AGR medio annuo di Hayward varia nei diversi anni e nelle diverse tesi, con i valori più bassi nel triennio nel carico elevato (0,49 g/giorno) e carico aziendale (0,54 g/giorno), e i valori più elevati nel carico basso (0,61 g/giorno) e *Bud Thinning* (0,70 g/giorno). Si tratta di valori che sono simili a quelli medi (0,63 g/giorno) riportati in letteratura per la stessa cultivar in Nuova Zelanda (Hall et al. 1996). L'AGR nei due periodi di crescita dei frutti risulta anch'esso variabile negli anni e nelle tesi, con un valore medio di 1,46 g/giorno nel 1° periodo e di 0,36 g/giorno nel 2° periodo, valori che sono di poco inferiori a quelli riportati da Hall et al. (1996) per la Nuova Zelanda (1,55 g/giorno nel 1° periodo), o più bassi (0,42 g/giorno nel 2° periodo). Si evidenziano inoltre tassi di crescita nel 1° periodo che solo in alcune tesi (carico basso e carico elevato) sono di poco superiori a quelli del 2° periodo mentre come media generale il 1° periodo rappresenta il 51,41% della crescita cumulata dalla fioritura alla raccolta, a differenza di quanto riportato in letteratura che per questa fase indica valori attorno al 75%.

Anche l'AGR annuo medio di SunGold varia nei diversi anni e nelle diverse tesi, con i valori più bassi nel triennio nel carico elevato e carico aziendale che hanno lo stesso valore (0,70 g/giorno), rispetto al carico basso (0,88 g/giorno) e *Bud Thinning* (1,23 g/giorno). Per questa cultivar abbiamo come riferimento solo il dato di una ricerca sull'irrigazione nel Nord Italia (Boini et al. 2022) che riporta un dato medio inferiore a quelli citati pari a 0,53 g/giorno.

Per quanto riguarda la ripartizione dei tassi di crescita tra i periodi, il valore per il 1° periodo è pari al 56,80 %, che è più elevato rispetto a quello registrato in Hayward.

I valori medi annui di AGR inferiori di Hayward nell'Agro Pontino rispetto a quelli riportati in letteratura per la Nuova Zelanda, a parità di altre condizioni, sono probabilmente attribuibili alle condizioni ambientali, soprattutto di temperatura, a cui è sottoposto il frutto dalla fioritura fino ai 10 - 15 giorni successivi, sia come influenza diretta sui processi di moltiplicazione ed espansione cellulare (Hopping 1976a, Hall et al. 1996), sia per l'effetto di ritardo del passaggio dalla fase 1 alla fase 2 che è stato dimostrato incidere negativamente sulla dimensione finale del frutto (Bebbington et al. 2009).

6.2.4 Previsione del peso finale dei frutti

A partire dagli anni duemila si è fatta strada l'idea innovativa del frutto come “elemento diagnostico d'eccellenza” per descrivere lo stato fisiologico della pianta, per cui l'acquisizione delle sue performance di crescita costituisce uno strumento importante per interpretare e valutare correttamente la validità degli interventi colturali messi in atto in campo (Corelli Grappadelli et al. 2017).

La dimensione dei frutti è un importante attributo per tutte le piante da frutto ma lo è ancora di più nell'actinidia che, destinata principalmente all'esportazione, deve rispettare standard di qualità elevati stabiliti a livello internazionale e voluti fortemente dalla Nuova Zelanda che peraltro tramite le sue organizzazioni di produttori ed esportatori controlla anche una quota importante della produzione italiana.

Secondo dati neozelandesi, una riduzione del 10% della media del peso alla raccolta comporta una riduzione stimata del reddito per l'agricoltore tra il 22% (Richardson and McAneney 1990) e il 28% (Snelgar et al. 1992).

L'abilità di predire il peso medio dei frutti costituisce quindi un supporto importante, da un lato per l'azienda per quanto riguarda le scelte colturali, dall'altro anche per i centri di raccolta per la pianificazione del confezionamento, trasporto e commercializzazione del prodotto.

Il sistema “Perfrutto”, in accordo con quanto riportato in letteratura (Hall et al. 1996), utilizza le misurazioni dei frutti per ottenere una ragionevole accuratezza delle previsioni finali a partire dai 50-60 giorni DAFB sia in Hayward sia in SunGold.

I risultati ottenuti nella presente sperimentazione però mettono in evidenza che fino a circa 100 giorni DAFB ci sono ancora criticità nelle previsioni dei pesi dei frutti; infatti, lo scostamento e la variabilità di questi valori sono più elevati rispetto a quelli delle successive date. Le previsioni del peso medio dei frutti in entrambe le cultivar sono sottostimate mediamente del 3,0% rispetto ai valori finali degli stessi. L'attendibilità delle previsioni, definita tramite il coefficiente di variazione, è più elevata in Hayward rispetto a SunGold e questo è probabilmente legato al ciclo produttivo più breve di quest'ultima cultivar che è più soggetta a eventuali carenze nella tecnica colturale e agli effetti di condizioni ambientali sfavorevoli, senza l'opportunità di un possibile recupero. Un altro probabile motivo per la minore precisione dei dati previsionali elaborati per SunGold è la minore quantità di dati storici per le cultivar gialle (*A. chinensis* var. *chinensis*) a disposizione per la definizione

degli algoritmi di previsione, in particolare per SunGold, cultivar di più recente introduzione rispetto a Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*) (Hall et al. 1997 e 2002).

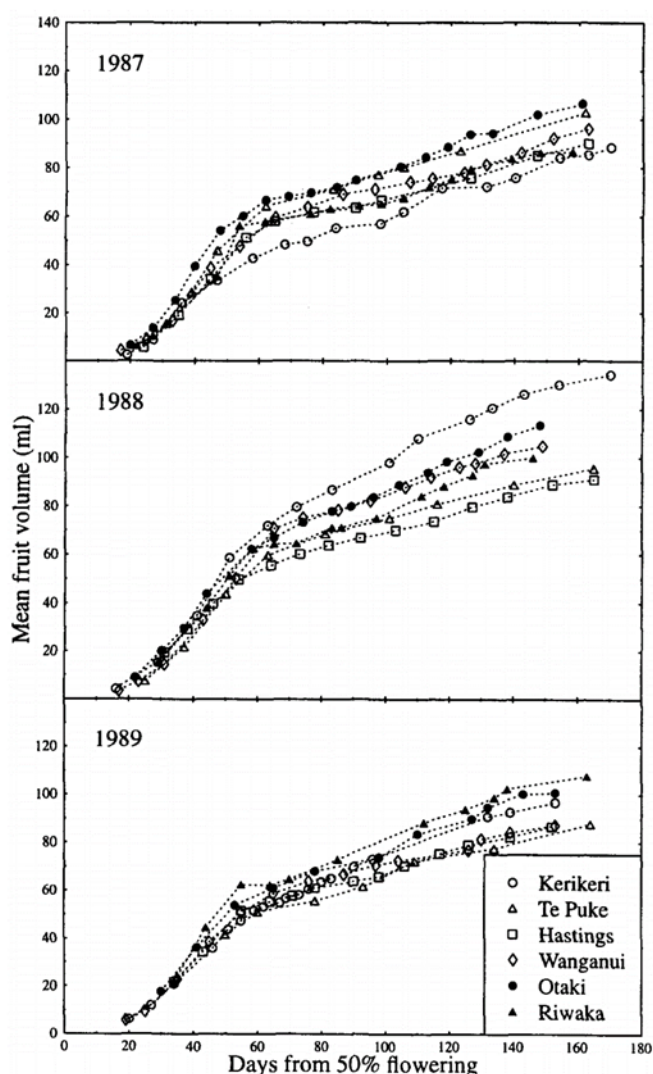


Figura 70. Variazione delle curve di crescita di Hayward (*A. deliciosa*) in 6 diverse località della Nuova Zelanda e tre anni, a partire da 20 giorni DAFB

Variation of fruit growth curves in Hayward (*A. deliciosa*) in six locations in New Zealand and 3 years, starting from 20 days DAFB.

-modificato da/modified from: Hall et al. 1997

In generale, nei due anni di osservazione, le curve di crescita e i relativi dati di dimensione dei frutti utilizzati per le previsioni variano a seconda della cultivar, tesi e anno.

Numerosi sono i fattori che possono influenzare l'accrescimento dei frutti, quali l'impollinazione (Hopping 1990), il carico produttivo per pianta (Lahav et al. 1989, Richardson and McAneney 1990, Cooper and Marshall 1991b, Snelgar et al. 1991), il *water deficit* (Prendergast et al. 1987, Judd et al. 1989, McAneney et al. 1991), l'area fogliare (Cooper and Marshall 1991b, Tombesi et al. 1994), l'intercettazione e distribuzione della

luce (Grant and Ryugo 1984, Morgan et al. 1985a, Snelgar and Hopkirk 1988, Snelgar et al. 1992) e l'andamento stagionale delle temperature (Snelgar et al. 2005, Bebbington et al. 2009). Alcuni di questi fattori possono estendere i loro effetti oltre la stagione nella quale si sono manifestati (Manson et al. 1994), con la conseguenza che le curve di accrescimento possono cambiare per la stessa cultivar a seconda dell'area di coltivazione ma anche da un anno all'altro, come illustrato nella **Figura 70**.

I risultati ottenuti confermano quanto anche riportato in letteratura (Hall et al. 1996), per cui l'attività di previsione del peso finale dei frutti sulla base di misurazioni precoci richiede, per una maggiore accuratezza, la disponibilità del maggior numero possibile di dati di misurazione dei frutti, specifici per cultivar e aree omogenee di coltivazione.

6.2.5 Parametri qualitativi

Le dimensioni e le caratteristiche qualitative dei frutti (contenuto in solidi solubili, sostanza secca, acidità totale titolabile) oltre che determinare il livello di gradimento da parte dei consumatori (Jaeger et al. 2003, Crisosto et al 2012), stabiliscono il valore del prodotto e la remunerazione dell'azienda (Cooper and Marshall 1991b).

I diversi livelli di diradamento e i relativi carichi produttivi influenzano in modo significativo i parametri qualitativi dei frutti. In generale i risultati ottenuti nel triennio di osservazioni hanno messo in evidenza come la cultivar SunGold rispetto a Hayward presenti mediamente un più elevato contenuto di solidi solubili (+2,6%), sostanza secca (+2,8%) e una leggermente maggiore acidità (+0,3%).

6.2.5.1 Hayward

In ciascun anno sono evidenti le differenze tra le diverse tesi, mentre quelle tra gli anni sono in generale meno marcate e prevalentemente legate alle condizioni climatiche, come riportato anche da altri autori (Snelgar et al. 2005).

Durezza al penetrometro

La durezza al penetrometro dei frutti alla raccolta, nei tre anni, varia dai 6 agli 8 kg/cm², valori che sono in linea con quanto previsto dal Disciplinare di produzione "Kiwi IGP Latina" (2004). La durezza dei frutti delle tesi più diradate, carico basso (5,14-6,21 kg/cm² e *Bud Thinning* (5,9-6,11 kg/cm²) è sempre significativamente inferiore a quella delle tesi

meno diradate, carico aziendale (6.40-7,86 kg/cm²) e carico elevato (6.81-7,25 kg/cm²), ad indicare un certo ritardo nella maturazione di queste ultime. La durezza può essere considerata un buon indicatore dello stato di maturazione fisiologico del prodotto (Feng et al. 2003) oltre che un fattore importante per la sua conservazione dopo la raccolta. I valori rilevati in tutti gli anni e in tutte le tesi sono stati tali da garantire una buona conservazione dei frutti senza rischi di precoce “rammollimento” dei frutti (MacRae et al. 1992).

Solidi solubili

Nei tre anni il contenuto medio in solidi solubili misurato con il rifrattometro e utilizzato da molto tempo come indice di maturità per Hayward (Asami et al. 1988), varia dai 7,1° ai 9,1°Brix. In tutte le tesi supera il valore minimo di 6,2°Brix assunto come standard a livello commerciale (Richardson et al. 1997, Watt 1999, Reg. CE 1673/2004) e risulta influenzato negativamente dal carico produttivo. Il contenuto in solidi solubili è comunque influenzato anche dalle temperature nelle ultime settimane che precedono la raccolta. In particolare, è stato dimostrato che temperature inferiori a 20 - 22°C nelle 2-3 settimane prima della raccolta (a prescindere dalle loro oscillazioni giornaliere), accoppiate con il raggiungimento di una soglia minima del 5% dei SS, ne determinano l'incremento rispetto ad altre situazioni in cui le temperature sono più elevate (Salinger and Morley-Bunker 1988, Kempler et al. 1992). È questo il caso dell'anno 2020 in cui i valori medi di SS (8,52 °Brix) sono stati più elevati rispetto agli altri due anni (7,86 - 8,05 °Brix) nonostante i carichi produttivi più elevati che in generale deprimono questo parametro (Famiani et al. 2012). Nel 2021 e 2022 non si sono verificati sensibili abbassamenti di temperatura in preraccolta, per cui i valori di SS sono stati maggiormente condizionati, in senso negativo, dai carichi produttivi.

Nei tre anni il carico elevato e il carico aziendale, nei quali il diradamento è stato meno intenso, presentano i valori di SS simili tra loro e significativamente inferiori a quelli del carico basso e *Bud Thinning*, a conferma dell'influenza positiva del diradamento su tale parametro (Famiani et al. 2012).

Sostanza secca

I dati relativi alla sostanza secca mettono in evidenza come mediamente, nei tre anni, tale parametro risulti piuttosto simile (17,67 - 17,51 - 17,87%) e non pare influenzato dall'andamento stagionale come confermato da altri autori (Snelgar et al. 2005), variando in misura minore rispetto ai solidi solubili. In ciascun anno si registrano invece valori più elevati nel carico basso e *Bud Thinning* rispetto al carico elevato e carico aziendale in quanto

c'è una minore competizione interna riguardo agli assimilati (Woodward 2006) a cui si aggiunge una correlazione positiva tra peso dei frutti e sostanza secca (Lescourret and Genard 2003). Il contenuto in sostanza secca, oltre che caratterizzare in generale la qualità dei frutti, ne determina anche la migliore conservabilità (Famiani et al. 2012).

Acidità totale

Per quanto riguarda l'acidità totale, espressa come percentuale di acido citrico, i valori riscontrati nei tre anni e tra le diverse tesi sono simili e in un *range* da 1,15 a 1,59, congruo con quanto riportato in altre ricerche effettuate in Italia (Famiani et al. 2012) e in Nuova Zelanda (MacRae et al. 1989, Marsh et al. 2004), ma inferiori a quelli riportati in Israele e California (Benarie et al. 1982, Crisosto 2001). È comunque evidente un declino dell'acidità in funzione di carichi produttivi decrescenti e dell'incremento del peso dei frutti e di DM (Woodward 2006).

6.2.5.2 SunGold

Anche in questa cultivar, i diversi carichi produttivi ottenuti con il diradamento influenzano in modo significativo le caratteristiche chimico fisiche dei frutti con differenze legate alla stagione, condizioni climatiche e condizioni colturali (Woodward 2006).

Durezza al penetrometro

Nei tre anni la durezza al penetrometro varia da un minimo di 4,3 kg/cm² a un massimo di 8,3 kg/cm² con valori medi per anno di 6,8 kg/cm² nel 2020, 5,6 kg/cm² nel 2021 e 7,8 kg/cm² nel 2022, dati che rispecchiano lo stato di maturazione dei frutti, evidenziando le relazioni con il livello e la modalità di diradamento e con l'andamento stagionale. Tali dati non si discostano da quelli analoghi per SunGold riportati in letteratura (Kiwi fruit tech tip. 2023). Alla tesi carico elevato, nei tre anni, corrispondono valori di durezza al penetrometro (7,5 - 6,95 - 8,31 kg/cm²) significativamente più elevati rispetto al carico basso (6,30- 5,22-7,85 kg/cm²), ma simili al carico aziendale (6,50- 6,14- 8,12 kg/cm²).

Solidi solubili

I valori di tale parametro negli anni e nelle diverse tesi variano da un minimo di 8,42 a un massimo di 12,6 °Brix, con valori medi di 12,1 °Brix nel 2020, 11,1°Brix nel 2021 e 9,34° Brix nel 2022. Il valore di quest'ultimo anno è nettamente inferiore ed è legato ai carichi

produttivi quasi doppi rispetto agli altri anni che ritardano la maturazione e inducono anche un abbassamento del contenuto in solidi solubili.

In tutti gli anni dai valori più elevati in SS si evidenzia l'effetto di anticipo sulla maturazione del *Bud Thinning* e di incremento nella sostanza secca anche nel caso di un maggior numero di frutti a pianta dovuto alla precocità di intervento di tale tecnica (Lahav 1989) che interagisce favorevolmente con i processi di riproduzione e favorisce un inteso e precoce accumulo di carboidrati (Reid et al. 1982). Le variazioni negli anni, oltre che dalla conduzione colturale e in particolare dalle modalità del diradamento sono influenzate anche dall'andamento delle temperature nelle ultime settimane che precedono la raccolta. A questo proposito è stato proposto un modello di accumulo lineare di SS in funzione di valori di temperatura media al di sotto sotto dei 22°C a partire però dal raggiungimento nei frutti di un livello minimo del 5% momento successivo al quale la pianta per equilibri biochimici interni inizia a convertire l'amido in complessi solubili (Salinger e Morley-Bunker 1988, Kempler et al. 1992).

Questo sembra essere il caso del contenuto in SS dei frutti di SunGold nel 2020, anno in cui questo parametro risulta essere più elevato rispetto agli altri due anni proprio per gli abbassamenti di temperatura verificatisi in quell'anno nel periodo antecedente la raccolta. Il contenuto in solidi solubili (°Brix) pur essendo considerato un indice di maturità affidabile (Harman 1981) e di facile utilizzo in campo, è stato praticamente sostituito dal contenuto in sostanza secca (Scott et al. 1986), parametro di riferimento principale inserito anche nel disciplinare della Zespri (Taste Zespri Grade, TZG, 2017), che prevede per SunGold un contenuto minimo del 15,9%.

Sostanza secca

I valori medi più elevati di sostanza secca si sono ottenuti nel 2020 (21,5%) e nel 2021 (21,8%) rispetto al 2022 (17,9%), anno in cui i carichi produttivi erano doppi rispetto agli anni precedenti. Nell'ambito dei tre anni il carico elevato (20,70 - 21,07 - 17,16%) e il carico aziendale (21,74 - 22,64 - 17,49%) hanno significativamente ridotto tale parametro (Woodward 2006), mentre il *Bud Thinning* lo ha incrementato sia perché essendo un intervento molto precoce sortisce gli effetti già citati a proposito dell'anticipo di maturazione ma anche per la esistenza di una correlazione positiva tra sostanza secca e peso medio del frutto, riportata anche da altri autori (Lescouret e Genard 2003).

Il contenuto in sostanza secca dei frutti aumenta ritardando la raccolta (Famiani et al. 2012) ed è considerato un parametro molto importante ai fini della conservazione dei frutti

(Tagliavini et al. 1995); infatti, bassi contenuti in sostanza secca predispongono a diversi disordini di post raccolta (Davie 1997, Clark et al. 2004).

Acidità totale

I valori totali di acidità titolabile totale sono mediamente più elevati nel 2020 rispetto agli altri due anni probabilmente per un ritardo nella maturazione che si evidenzia maggiormente nelle tesi con carico elevato. I valori di acidità rilevata, con un range da un minimo di 1,18 a un massimo di 2,10%) senza differenziazioni significative tra le varie tesi rientrano comunque in quelli considerati normali per SunGold (Zhang et al. 2020).

In entrambe le cultivar si conferma che un diradamento più forte rispetto a quello aziendale attualmente adottato risulta in una significativamente più ridotta durezza al penetrometro della polpa, più elevati contenuti in solidi solubili e più elevata percentuale in sostanza secca, quindi una migliore performance in tutti i parametri fisico-chimici considerati importanti da un punto di vista remunerativo.

6.2.6 Aspetti economici del diradamento a livello aziendale

Il diradamento è dettato da esigenze di mercato che richiede standard di qualità in termini di peso dei frutti e caratteristiche chimico-fisiche sempre più elevate.

Tale tecnica, come più volte ricordato nei precedenti capitoli, è spesso gestita in modo poco razionale sia per i tempi di intervento sia per le modalità e l'intensità di esecuzione, non basati su elementi oggettivi quali il numero di fiori/frutti iniziali e il carico finale da portare alla maturazione.

I risultati economici finali spesso non in linea con le aspettative in quanto non basati su una attenta programmazione, dei frutti, ma lasciati alla casualità con la conseguenza che eventuali problematiche si evidenziano solo al momento della raccolta/conferimento finale del prodotto.

Al fine di rimarcare, oltre agli aspetti più prettamente agronomici, anche quelli economici, si è ritenuto di stimare per le prove di diradamento sia di Hayward sia di SunGold la remunerazione del prodotto ottenuto sulla base del “listino prezzi” di Apofruit, una delle principali cooperative operanti a livello nazionale nel comparto actinidia (cfr. capitolo 1.2.1.1, Tab. 8).

Per uniformare i confronti tra le tesi e gli anni ed evitare le interferenze dovute alle variazioni di mercato è stato utilizzato il solo listino del 2021 per i calcoli di tutti gli anni. Il prezzo finale utilizzato per la remunerazione a ettaro in euro deriva dalla media ponderata dei prezzi delle singole classi commerciali di calibro. Nel caso di SunGold il prezzo include anche il Taste Zespri Grade (TZG) incentivo proporzionale al contenuto in sostanza secca dei frutti (da 16,5 a 19,0%) che in funzione di tale parametro va da un minimo di 0 a un massimo di 60 centesimi per kg.

Esaminando i dati delle **Tabelle 43 e 44** si evince che, in generale, la remunerazione di SunGold per tonnellata è mediamente superiore del 24% rispetto a quella per Hayward.

Tabella 43. Hayward: Remunerazione del prodotto (€/ha) in funzione del diradamento
Remuneration of the product (€/ha) according to thinning

	Produzione (t/ha) al netto dello scarto <65 g	Remunerazione €/t	€/ha	Differenza remunerazione rispetto al carico aziendale €/ha %	
2020					
Carico elevato	47,8	0.801	38.287	- 7.929	- 17,2
Carico basso	36,4	1.335	48.594	+ 2.378	+ 5,1
Carico aziendale	44,1	1.048	46.216	-	
2021					
Carico elevato	36,0	0.899	29.414	- 5.300	- 15,3
Carico basso	24,4	1.524	37.185	+ 2.471	+ 7,1
Carico aziendale	34,4	1.109	34.714	-	-
<i>Bud Thinning</i>	29,3	1.551	45.444	+ 10.730	+ 30,9
2022					
Carico elevato	34,8	0.871	29.345	- 6.593	- 18,4
Carico basso	27,1	1.429	38.730	+ 2792	+ 7,8
Carico aziendale	30,4	1.205	35.938	-	-
<i>Bud Thinning</i>	29,1	1.520	44.261	+ 8.323	+ 23,1
Media triennio	33,9	1.208	38.839		

Come esposto nel capitolo 5, in Hayward nei tre anni si nota una certa variabilità delle produzioni a ettaro e delle caratteristiche dei frutti legata non solo alle tesi di diradamento, ma anche alle condizioni agro-pedoclimatiche con conseguenti effetti sulle classi commerciali e sul prezzo del prodotto.

Il carico elevato comporta una riduzione del valore della produzione, rispetto al carico aziendale, da un minimo del 15,3% nel 2021 a un massimo del 18,4% nel 2022.

Valori di poco superiori al carico aziendale (dal 5,1% al 7,8%) si ottengono con il carico basso, mentre molto più elevati sono quelli con il *Bud Thinning*, in particolare nel 2021 in

cui si raggiunge un + 30,9% che si riduce al 23,1% nel 2022, a causa di un carico di frutti particolarmente elevato in tutte le tesi.

Nella cultivar SunGold i valori totali delle produzioni sono più elevati rispetto a Hayward, ma le differenze tra le tesi, almeno negli anni 2021 e 2022, sono meno evidenti, probabilmente in ragione del fatto che, per le proprie caratteristiche varietali, la cultivar gialla presenta frutti di peso più elevato.

In questi due anni il carico elevato riduce il valore della produzione dell'8,5% rispetto al carico aziendale mentre il carico basso lo incrementa dal 4,9 al 5,3%, e il *Bud Thinning* raggiunge il + 10,7% (nel solo anno 2021).

Nell'anno 2022 anche in SunGold il carico dei frutti è più elevato rispetto agli altri anni e ciò ha determinato un'amplificazione delle differenze tra le tesi, in particolare una riduzione del valore della produzione del 13,5% nel carico elevato e un incremento del 35,3% nel *Bud Thinning*.

Tabella 44. SunGold: Remunerazione del prodotto (€/ha) in funzione del diradamento

SunGold: Remuneration of the product according to thinning method

	Produzione (t/ha) al netto dello scarto <70 g	Remunerazione		Differenza remunerazione rispetto carico aziendale	
		€/t	€/ha	€/ha	%
2020					
Carico elevato	42,4	1.280	54.273	- 5013	- 8,5
Carico basso	34,9	1.789	62.460	+ 3.174	+ 5,3
Carico aziendale	39,3	1.508	59.286	-	-
2021					
Carico elevato	55,0	1.167	64.234	- 5.792	- 8,3
Carico basso	48,5	1.516	73.527	+ 3.501	+ 4,9
Carico aziendale	46,8	1.496	70.026	-	-
Bud Thinning	39,2	1.977	77.531	+ 7.505	+ 10,7
2022					
Carico elevato	83,9	1.014	85.150	- 10.567	- 13,5
Carico basso	57,4	1.767	101.429	+ 2.712	+ 3,0
Carico aziendale	65,6	1.478	98.429	-	-
Bud Thinning	85,9	1.550	133.145	+ 34.716	+ 35,3
Media triennio	54,44	1.503	79.953		

Sia in Hayward sia in Sungold si conferma che carichi elevati hanno un effetto negativo sul peso del frutto con conseguente riduzione del relativo valore economico che viene invece incrementato dal carico basso, anche se in misura inferiore rispetto al *Bud Thinning*.

Quest'ultima tecnica consente in entrambe le cultivar di ottenere i migliori risultati dal punto di vista agronomico ma anche economico, in quanto, oltre a incrementare la pezzatura dei frutti, ne migliora anche le caratteristiche qualitative (contenuto in sostanza secca) che, soprattutto nella SunGold, trovano una ulteriore incentivazione economica per la presenza del sopracitato *Taste Zespri Grade* (TZG).

6.3 Irrigazione

Nei tre anni di prova il volume irriguo di riferimento utilizzato per differenziare le tesi è stato quello dell'irrigazione aziendale (irrigazione 100%), derivato dall'evapotraspirazione potenziale (ET_o) applicando dei coefficienti colturali mensili (aprile: 0,4; maggio: 0,91; giugno: 1,16; luglio: 1,25; agosto: 1,25; settembre: 0,85) che consentono di calcolare l'evapotraspirazione potenziale della coltura (ET_c) e la relativa restituzione idrica. Nel caso specifico, si sono adottati i coefficienti colturali proposti dal sistema "Irrinet" (Anconelli et al. 2009), che sono inferiori a quelli riportati da Xiloyannis et al. (1996).

I volumi di acqua di riferimento, determinati sulla base dei criteri sopra descritti, nei tre anni sono risultati crescenti per effetto delle variabili climatiche, passando da 6.175 m³/ha del 2020 ai 7.357 m³/ha del 2022, con valori intermedi di 6.435 m³/ha del 2021. Si tratta di volumi simili a quelli comunemente somministrati in Agro Pontino (Padulazzi et al. 2017, Cacioppo 2017) e nella media anche rispetto a quelli suggeriti da un *Decision Support System* (DDS) messo a punto sulla base di un modello sviluppato dalla FAO (Feres et al. 2012, Xiloyannis et al. 2012b), definito genericamente per l'actinidia (praticamente per Hayward) senza distinzione tra cultivar appartenenti alle due varietà botaniche diverse (var. *deliciosa*, var. *chinensis*).

Nelle prove del dottorato, partendo da tale base si sono quindi ridotti a vari livelli tali volumi d'acqua al fine di valutare dal punto di vista quantitativo e qualitativo (ripartizione in classi commerciali e caratteristiche fisico-chimiche sui frutti) i loro effetti sulla produzione.

6.3.1 Volumi irrigui, risultati produttivi e relativi aspetti economici

Il terreno dell'Azienda Martella, classificato sulla base della tessitura di tipo sabbioso-limoso (cfr. capitolo 4.1.2.4), come molti altri terreni dell'Agro Pontino (Tacconi et al. 2019a), può presentare problemi strutturali e di areazione per eventuali eccessi idrici, anche alla luce del fatto che la capacità di campo è del 22,7% e il punto di appassimento del 14,1%, con un contenuto di acqua disponibile nel terreno relativamente limitato, pari all'8,6%.

Si tratta di valori relativamente bassi se si considera che, secondo Phocaides (2000), le piante arboree in condizioni ottimali riescono a utilizzare un 40 - 60% di tale frazione che viene definita come *Readily Available Water*. Una ridotta quantità di acqua disponibile, inoltre, significa che una quota importante di quella che si somministra con l'irrigazione può

diventare di tipo gravitazionale e competere con l'aria presente nel terreno, creando condizioni di asfissia.

Al fine di verificare le implicazioni economiche dei diversi livelli di irrigazione utilizzati è stato calcolato il prezzo medio a tonnellata e il valore finale, sulla base della ripartizione in peso per classi di calibro commerciale della produzione applicando i relativi valori riportati dal listino della cooperativa (**Tabella 45**). Al fine di una valutazione omogenea dei risultati economici ottenuti non influenzata dalle variazioni di prezzo annuali si è ritenuto di applicare a tutto il triennio i valori di listino relativi al 2021 riportati nella Tabella 8.

Tabella 45. SunGold: remunerazione (€/ha) dei frutti in funzione dell'irrigazione (listino prezzi 2021)
SunGold: remuneration (€/a) of fruits according to irrigation scheme (2021 price list)

	Produzione t/ha	Remunerazione €/t	Remunerazione €/ha	Diff. remuneraz. (€/ha) rispetto all'irrigazione aziendale (%)
2020				
Irr. aziendale	45,6	1.528	69.697	
Irr. 80%	43,1	1.534	66.158	-5,6
Irr. 50%	41,3	1.449	59.840	-14,1
2021				
Irr. aziendale	38,12	1.722	65.641	
Irr. 80%	36,97	1.706	63.094	-3,9
Irr. 50%	28,1	1.780	50.018	-23,8
Irr 3 linee (80%)	39,35	1.775	69.866	+6,4
2022				
Irr. aziendale	62,73	1.502	94.196	
Irr. 50%	53,05	1.320	70.077	-25,6
Irr. 40%	47,97	1.180	56.584	-39,9
Irr. 3 linee (65%)	65,46	1.565	102.475	+ 8,9

6.3.1.1 Irrigazione aziendale (100%)

Nei tre anni, a distanze di 20 e 40 cm dal centro del filare si osservano i contenuti di acqua del terreno più elevati rispetto a tutte le altre tesi e che vanno da un minimo del 19% a un massimo del 34%, prossimi o superiori alla capacità di campo e che comportano fenomeni di ristagno idrico ai quali, anche se temporanei (4 ore), le piante di actinidia sono

particolarmente sensibili, con danni irreversibili se tale situazione si protrae nel tempo (Smith et al. 1990, Ermacora et al. 2020).

La conferma di questa criticità risulta dall'esame della distribuzione delle radici nel terreno, la cui concentrazione sulla fila sotto i gocciolatori è modesta ($<5 \text{ g/dm}^3$) o assente mentre aumenta allontanandosi dagli stessi. Anche nell'interfilare, alla distanza di 30 cm dal gocciolatore, si ha una bassa concentrazione di radici ($0,19 \text{ g/dm}^3$) che progressivamente aumenta a 60 cm ($3,44 \text{ g/dm}^3$), 90 cm ($10,9 \text{ g/dm}^3$) e 120 cm ($24,1 \text{ g/dm}^3$).

L'irrigazione aziendale 100% in tutti i tre anni di prova fornisce le produzioni a pianta (61,6 - 57,4 - 94,2 kg) e a ettaro (45,6 - 38,1 - 62,7 t) più elevate di tutte le tesi tranne che nell'irrigazione a tre linee 80% nel 2021 (59,1 kg/pianta; 39,3 t/ha) e 65% nel 2022 (98,3 kg/pianta, 65,5 t/ha). Il peso medio dei frutti (124,5 - 147,5 - 109,1 g) risulta più elevato rispetto alle altre tesi tranne irrigazione tre linee 80 e 65% (144,5 e 113,8 g), così come risulta più favorevole la ripartizione dei frutti nelle classi commerciali ($>90 \text{ g}$: 96,7 - 96,0 - 96,7%; $>125 \text{ g}$: 69,2 - 93,0 - 64,6%).

A fronte di buone pezzature dei frutti, l'irrigazione aziendale 100% presenta però caratteristiche fisico-chimiche dei frutti peggiori, in particolare nei solidi solubili (0,2 - 2,1°Brix) e nella sostanza secca (0 - 1,3%); quest'ultimo parametro, essendo una componente sempre più importante nella liquidazione finale del prodotto (per esempio Taste Zespri Grade - TZG), può ridurre anche in modo sostanziale i margini di profitto dell'azienda.

Nel complesso, l'irrigazione aziendale 100% con la piena restituzione dell'ETc (mediamente $6.655 \text{ m}^3/\text{ha}$ all'anno), pur consentendo produzioni in termini di quantità e calibri dei frutti più elevate anche se non sempre significativamente in termini statistici, presenta numerosi inconvenienti. In particolare, la distribuzione di maggiori quantità d'acqua (in media da 1.330 a 2.394 m^3) crea una serie di problemi: sostenibilità ambientale, per la scarsità delle risorse idriche; aumento delle spese aziendali, in quanto il costo dell'acqua da pozzo artesiano a causa degli incrementi dell'energia elettrica negli ultimi anni è quintuplicato, arrivando anche a 1,0 euro a m^3 (Caprotti 2023); l'anossia radicale fino alla morte della pianta (Tacconi et al. 2015) che in alcuni terreni può essere determinata dalla distribuzione a goccia monolinea del 10% dell'ETc.

6.3.1.2 Irrigazione 80%

Allo scopo di valutare la possibilità e gli effetti della riduzione dei consumi idrici rispetto a quella aziendale di riferimento, negli anni 2020 e 2021 si è introdotta la tesi irrigazione 80%. I contenuti di acqua del terreno in questa tesi, a 20 cm dal centro del filare e alle diverse profondità (20 - 40 - 60 cm) sono di poco al di sotto della capacità di campo, da un minimo del 20,8% a un massimo del 25,6 %. A una distanza di 40 cm dal centro del filare si ha un calo dei contenuti d'acqua rispetto alla distanza precedente, con valori che vanno da un minimo del 16% a un massimo del 25%.

Si tratta di valori non molto diversi da quelli dell'irrigazione aziendale 100%, a significare che la riduzione del 20% del volume d'acqua distribuito non determina sostanziali variazioni nell'acqua disponibile per le piante, ma al contrario evita eccessi idrici che saturano il terreno.

Dal punto di vista produttivo, nei due anni si ha una riduzione, anche se non significativa, delle produzioni a pianta (58,2 e 55,5 kg, ovvero -5,5% e -3,2%) e delle produzioni a ettaro (43,1 e 36,9 t pari a -5,5% e -3,0%) rispetto all'irrigazione aziendale 100%. Il peso medio dei frutti è inferiore (123,5 e 132,2 g pari a -5,5 e -3,0%) anche se non in modo significativo nei due anni.

Il peso medio dei frutti è inferiore (123,5 - 132,2 g pari a -5,5 e - 10%) anche se non in modo significativo nei due anni. La ripartizione nelle classi commerciali dei frutti (>90 g: 92,7 – 95,0; >125 g: 65,7 - 87,0), pur numericamente meno favorevole rispetto all'irrigazione aziendale 100%, non lo è in termini statistici.

La ripartizione nelle classi commerciali dei frutti (>90 g: 92,7 – 95,0; >125 g: 65,7 - 87,0), pur numericamente meno favorevole rispetto all'irrigazione aziendale 100%, non lo è in termini statistici.

Per quanto riguarda le caratteristiche chimico-fisiche, le differenze rispetto alla tesi di riferimento sono modeste e statisticamente non significative.

Valutando in termini economici l'irrigazione 80% rispetto all'irrigazione aziendale 100% (Tabella 45), nei due anni 2020 (-3.539 €) e 2021 non produce differenze significative nei valori liquidati (-3.539 € e -2.547€, rispettivamente). Tuttavia, ai fini di un bilancio tra costi e ricavi aziendali (che va oltre le finalità della presente attività sperimentale), andrebbero considerati i maggiori costi dell'acqua d'irrigazione e della manodopera per la raccolta dei frutti.

In sostanza, nelle condizioni della prova, l'irrigazione 80% soprattutto sul lungo periodo risulta agronomicamente preferibile all'irrigazione 100%, in quanto crea comunque minori problemi di longevità dell'impianto senza che vi siano significative riduzioni di reddito alla luce degli incrementi dei costi dell'acqua e della sempre maggiore esigenza di qualità del prodotto. Inoltre, nel territorio Pontino caratterizzato da terreni con cattiva sistemazione idraulica e caratteristiche fisico-chimiche favorevoli a ristagno e anossia, concausa della “moria del kiwi” (Tacconi et al. 2019a), una riduzione dei volumi idrici è sicuramente positiva.

6.2.1.3 Irrigazione 50% e Irrigazione 40%

Nel 2020 e 2021 erano state allestite soltanto le prove a 50%, mentre quella al 40% è stata aggiunta per il solo anno 2022.

Nei primi due anni (solo tesi 50%), si sono rilevati contenuti idrici generalmente più bassi a tutte le distanze e profondità rispetto alle tesi 100% e 80%.

Nel 2020, alla distanza di 20 cm dal centro del filare i contenuti in acqua vanno da un minimo del 17,2% a un massimo del 19,0%; si tratta di valori mediamente inferiori del 3,5% rispetto alla stessa posizione dell'irrigazione aziendale 100%. A una distanza di 40 cm si evidenzia una ulteriore riduzione delle percentuali d'acqua con valori che vanno da un minimo del 14,7% a un massimo del 16,3%.

Alle distanze successive dal centro del filare (60 - 80 - 100 cm) si ha un ulteriore calo dei contenuti d'acqua, con valori prossimi (14,3%) o inferiori (12,2%) al punto di appassimento. La minore disponibilità idrica ha influenzato le produzioni a pianta (55,8 kg) nel 2020, che sono diverse dall'irrigazione aziendale 100%, ma simili a quelle dell'irrigazione 80%; la stessa osservazione vale anche per il peso medio dei frutti (117,9 g) e per la ripartizione in classi commerciali dei frutti (>90g: 90,6%; >125g: 60,2%).

Nel 2021, le produzioni a pianta (42,2 kg) e a ettaro (28,1 t) sono inferiori a quelle del 2020, per il minor numero di frutti che è stato lasciato su tali piante che già erano sottoposte a una riduzione di acqua nell'anno precedente, ma che hanno fornito un peso medio del frutto (122,3 g) e calibri mediamente più elevati (>90 g: 89,1%; >125 g: 80,2%).

In entrambi gli anni la riduzione dei volumi idrici ha incrementato il contenuto in solidi solubili (+0,6, +2,5 °Brix) e in sostanza secca (+ 1,35, + 2,1%) rispetto all'irrigazione 100%. Nel 2022 sono state valutate tra l'altro una tesi di irrigazione 50% e una tesi irrigazione 40% derivate rispettivamente dalla tesi irrigazione 80% e dalla tesi irrigazione 50% del 2021.

Nell'irrigazione 50% rispetto all'irrigazione aziendale 100% si ha solo una modesta diminuzione delle percentuali di acqua alla distanza di 20 cm dal centro del filare, con valori medi del 23,2%; le riduzioni diventano più consistenti oltre i 40 cm da un minimo del 13,4% a un massimo del 18,1%, fino a scendere al di sotto del punto di appassimento a 100 cm dal filare (12,2%).

Anche nel passaggio dall'irrigazione 50% del 2021 all'irrigazione 40% del 2022 non si hanno sostanziali cambiamenti dei contenuti idrici a 20 cm (20,2%) e a 40 cm (16,9%) dal centro del filare, con valori che comunque sono quelli più bassi di tutte le altre tesi. A 60 - 80 - 90 cm dal centro del filare, inoltre, pur con modeste variazioni a seconda delle profondità, le percentuali di acqua sono prossime (15,4%) o sotto il punto di appassimento (13,0%).

Dal punto di vista produttivo il 2022 è caratterizzato da un carico di frutti a pianta superiore di circa il 70% rispetto a quello degli altri due anni e questo ha determinato in tutte le tesi (irrigazione aziendale 100%, irrigazione 50%, irrigazione 40%) un aumento significativo delle produzioni a pianta (94,2 - 79,6 - 72,0 kg) e delle produzioni a ettaro (62,7 - 53,0 - 47,9 t).

I pesi medi dei frutti sono decrescenti nell'ordine (109,1 - 100,2 - 91,3 g) e significativamente diversi tra di loro, così come è diversa la distribuzione in classi commerciali (>90g: 96,7 - 66,5 - 48,2 %; >125g: 64,6 - 19 - 11,7%).

Merita di essere evidenziato che, per quanto riguarda le caratteristiche chimico-fisiche dei frutti nel 2022, gli elevati carichi produttivi associati ai minori volumi idrici hanno determinato più elevati contenuti in solidi solubili (9,3 - 9,4°Brix), ma parimenti una riduzione della sostanza secca (- 1,0, -1,8%).

In termini economici l'irrigazione 50% comporta un minor valore della produzione rispetto all'irrigazione aziendale 100% di 9.857 € nel 2020 e 15.623 € nel 2021. In quest'ultimo caso, parte della riduzione è da attribuire al minor numero di frutti per ettaro piuttosto che a un effetto diretto dell'irrigazione.

Nelle attuali condizioni di coltivazione con elevate produzioni a ettaro e stringenti requisiti di qualità del prodotto in termini di pezzatura, l'irrigazione 50% e 40% non possono essere considerate agronomicamente ed economicamente valide.

6.3.1.4 Irrigazione tre linee (80% - 65%)

Verificata nel 2020 la notevole riduzione dei contenuti d'acqua nel terreno mano a mano che ci si allontana dal centro del filare e dalla linea dei gocciolatori procedendo verso l'interfilare, a partire dal 2021 si è ritenuto di introdurre l'irrigazione a tre linee con un volume idrico del 80%, e del 65% nel 2022, con lo scopo di allargare l'area di bagnatura nell'interfilare utilizzando due linee di gocciolatori supplementari, installate lateralmente alla distanza di 1 metro dalla fila centrale.

In entrambi gli anni (2021 e 2022) questo sistema di irrigazione ha determinato una distribuzione più uniforme dell'acqua nell'area dell'interfilare, riducendo soprattutto gli eccessi in prossimità della linea dei gocciolatori sul filare. A 20 cm dal centro del filare, infatti, abbiamo contenuti medi d'acqua del 18,1 - 20,7% contro il 29,7 - 24,8% dell'irrigazione aziendale; a 40 cm dalla fila centrale i livelli di acqua medi sono del 17,5 - 19,8% contro il 24,9 - 24,8%, con minori possibilità di asfissia legate a eccessi idrici. A 60 cm dal centro del filare c'è un leggero calo delle percentuali di acqua (15,6 - 19,5%) che risalgono alla distanza di 80 cm (18,4 - 18,8%) e 120 cm (18,2 - 18,5%) ai due lati della linea d'irrigazione suppletiva. A distanze di 160 e 200 cm i contenuti di acqua diminuiscono nuovamente, ma rimangono comunque, salvo qualche eccezione, sopra il punto di appassimento.

Una distribuzione dell'acqua più uniforme, ottenuta con le tre linee rispetto all'irrigazione aziendale 100% monolinea, crea condizioni favorevoli alla crescita delle radici di tipo strutturali sia grosse > 2 mm sia sottili <2 mm (Van Oostrom 1985), con maggiori densità delle radici per dm³ sia sulla fila sia nell'interfilare a tutte le distanze e a tutte le profondità. Rispetto all'irrigazione aziendale 100% è stata trovata la presenza di radici anche sotto i gocciolatori, segno evidente che l'acqua è distribuita in modo migliore e non crea fenomeni localizzati di asfissia.

Nell'interfilare a 90 e 120 cm, distanze in mezzo alle quali passa la linea di irrigazione laterale aggiuntiva, c'è un notevole incremento (+50%) della densità radicale rispetto alla distanza a 60 cm dal centro del filare, segno evidente dello stimolo positivo indotto dai punti goccia aggiuntivi.

Tale effetto positivo si estende ulteriormente fino a distanze di 210 cm. Si tratta di un risultato ottenuto in due sole stagioni vegetative, indicativo della capacità dell'apparato radicale dell'actinidia, raggiunta l'età matura, di colonizzare rapidamente nuovi volumi di terreno se le condizioni edafiche sono favorevoli (Gandar and Hughes 1988).

Le migliori condizioni edafiche (rapporto aria/acqua nel terreno) determinate dall'irrigazione a tre linee (85% nel primo anno, 2021) di adozione hanno consentito più elevate produzioni a pianta (59,1 kg) e a ettaro (39,3 t), significative rispetto all'irrigazione 50 % e 80%, ma non rispetto all'irrigazione aziendale 100% (57,4 kg/p, 38,1 t/ha). Il peso medio dei frutti (144,5 g) è risultato significativamente più elevato rispetto all'irrigazione 50% e 80%, ma simile (147,5 g) all' irrigazione aziendale 100%. Le classi commerciali dei frutti hanno comunque valori più elevati in irrigazione tre linee 85% (>90g: 99,0%, >125%: 97,0%) rispetto a quella aziendale (>90g: 96,0%. 93,0%) nonostante il carico di frutti sia del 5,4% superiore.



Figura 71. SunGold: Evidente differenza nella pezzatura dei frutti tra irrigazione 3 linee (sinistra) e irrigazione aziendale (destra)
SunGold: Evident differences in fruit size under 3 lines irrigation (left) and farm irrigation 100% (right)

Nel 2022, a parità di sistema di distribuzione su tre linee, il volume idrico è stato ridotto dall'85% al 65%. Il numero di frutti a pianta, per scelta dell'azienda, è risultato più elevato passando mediamente dai 391 ai 869 frutti, con un incremento del 72% rispetto a quello dell'anno precedente e ciò ha determinato conseguenti maggiori produzioni in tutte le tesi. Le produzioni a pianta (98,3 kg) e a ettaro (65,5 t) ancora una volta significativamente più elevate rispetto a irrigazione 50% e 80%, si sono ottenute con irrigazione tre linee 65%, simili a quelle di irrigazione aziendale 100% (94,20 kg/p, 62,7 t/ha)

In entrambi gli anni l'irrigazione a tre linee tende ad anticipare la maturazione dei frutti e indurre più elevati contenuti in solidi solubili (11,3 - 10,9 °Brix) e sostanza secca (22,9 - 17,95) rispetto all'irrigazione aziendale 100% (10,6 - 8,85°Brix; 22,0 - 17,8 %).

Nella presente sperimentazione, il valore della produzione sulla base di quantità e classi commerciali dei frutti, è maggiore rispetto al carico aziendale 100%, di 4.225 euro/ha nel 2021 e di 8.279/ha nel 2022.

In sintesi, l'irrigazione a tre linee ha fornito i migliori risultati non solo produttivi (quantità e classi commerciali dei frutti) ed economici rispetto a tutte le tesi anche a prescindere dal carico produttivo, ma anche qualitativi (solidi solubili e sostanza secca) come anche riportato da altri autori (Quartieri et. al. 2022) con un notevole risparmio di acqua (20-35%).

Con questo metodo di distribuzione si ottengono i vantaggi del sistema a “spruzzo” e misto “goccia/ spruzzo” (uniforme e migliore distribuzione dell'acqua) quali la possibilità di adottare di turni giornalieri o intergiornalieri in modo da meglio soddisfare le esigenze evapotraspirative dell'actinidia anche nell'arco dello stesso giorno (Torres-Ruiz et al. 2016), senza gli inconvenienti di questi metodi quali la necessità di portate elevate di acqua, i possibili fenomeni di anossia temporanei, l'intralcio alle operazioni colturali (Quartieri et al. 2022).

6.3.2 Parametri fisiologici

6.3.2.1 Scambi gassosi

Le conoscenze sul comportamento fisiologico dell'actinidia sono piuttosto ampie per quanto riguarda *A. chinensis* var. *deliciosa* (Antognozzi et al. 1994, Antognozzi et al. 1996), introdotta in coltivazione da molti anni, ma scarse su *A. chinensis* var. *chinensis* le cui cultivar sono di introduzione molto più recente.

Pertanto, le informazioni sul comportamento di Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*) per quanto riguarda gli scambi gassosi non sono univoche. Diversi autori (Judd et al. 1986 e 1989; Buwalda and Smith 1990) hanno trovato che questa cultivar mostra elevati livelli di traspirazione e uno scarso controllo degli stomi, e anche Chartzoulakis et al. (1991) confermano un mancato controllo della traspirazione in questa varietà, nonostante una riduzione della conduttanza stomatica, ipotizzando che questo sia attribuibile a uno scarso controllo epidermico legato a stomi non funzionali e/o insufficiente cutinizzazione delle foglie. In contrasto con tali risultati Gucci et al. (1997) riportano che in prove in vaso Hayward non mostra valori molto negativi di *Midday Leaf Water Potential* in condizioni di stress idrico per una effettiva chiusura degli stomi finalizzata alla conservazione dell'acqua.

Per quanto riguarda *A. chinensis*, le informazioni disponibili sul comportamento fisiologico della specie sono molto più limitate. Mills et al. (2009) evidenziano che Hort16A (*A. chinensis*), al contrario di quanto pubblicato da diversi autori su cultivar di *A. deliciosa*, ha un buon controllo degli stomi, che diminuiscono la traspirazione senza una significativa riduzione dell'attività fotosintetica per valori di conduttanza stomatica superiori ai 100 mmol m² s⁻¹.

Altri autori (Zhang et al. 2018) riportano per semenzali della cultivar 'Hong Yang' (*A. chinensis*) un comportamento tollerante nei confronti di lievi o moderate condizioni di stress idrico mediante chiusura degli stomi e riduzione dell'attività fotosintetica. Più recentemente (Boini et al. 2022), sono state studiate le esigenze idriche e le relative risposte fisiologiche della cultivar SunGold, confermando un controllo stomatico sugli scambi gassosi, ma evidenziando la sua sensibilità a ridotte disponibilità idriche che condizionano direttamente l'accrescimento dei frutti.

Nella presente sperimentazione, i diversi volumi d'irrigazione e le conseguenti variazioni nella disponibilità idrica per le piante hanno influenzato i diversi parametri legati agli scambi gassosi.

In irrigazione aziendale 100% i valori di ***Pn*** (9,7 - 13,2 - 11,8 μmol m² s⁻¹) e di ***gs*** (296 - 239 - 299 μmol m² s⁻¹) nei tre anni sono generalmente più elevati al mattino e più bassi a mezzogiorno (***Pn***: 8,1 - 11,8 - 10,1 μmol m² s⁻¹; ***gs***: 280 - 195 - 125 mmol m² s⁻¹), in difformità con quanto riportato da Boini et al. (2022), probabilmente per le condizioni microclimatiche diverse nelle due sperimentazioni. Infatti, in queste prove il sistema di irrigazione utilizzato è quello a goccia, mentre nel lavoro sopracitato è di tipo misto (a goccia e a spruzzo), un sistema che riduce il VPD e la temperatura fogliare creando condizioni più favorevoli all'attività fotosintetica, con valori più elevati rispetto alla presente prova. Le temperature fogliari e il loro andamento giornaliero nell'irrigazione aziendale (100%) non differiscono di molto tra loro nei tre anni di osservazione, variando da un minimo di 28,0 a un massimo di 31,5°C.

I volumi di irrigazione 80% adottati nel 2020 e 2021 comportano in generale una riduzione non significativa di ***Pn*** rispetto all'irrigazione aziendale (100%), con i valori che sono nei due anni più elevati al mattino (8,7 - 12,4 μmol m² s⁻¹) e più bassi nel pomeriggio (5,8 - 8,6 μmol m² s⁻¹). Anche la conduttanza stomatica (255 - 227 mmol m² s⁻¹) e la traspirazione (3,55 - 4,1 mmol m² s⁻¹) non diminuiscono in modo significativo, ma rispondono rapidamente alla riduzione dell'irrigazione, ma risponde rapidamente alla riduzione dell'irrigazione come anche osservato da Mills et al. (2009). La minore assimilazione indotta

da una riduzione del 20% del volume d'acqua distribuita non determina comunque perdite significative della produzione e/o peggioramenti qualitativi dei frutti in termini di classi commerciali in quanto il rapporto foglie/frutti elevato consente di saturare comunque la richiesta di carboidrati dei frutti (Minchin et al 2010).

I volumi irrigui 50%, adottati nei tre anni, determinano una riduzione significativa di tutti i parametri fisiologici (***Pn***, ***gs***, ***E***). I valori di ***Pn*** sono già bassi al mattino (5,9 - 9,9 - 8,9 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) e si riducono ulteriormente a mezzogiorno (5,8 - 9,1 - 9,5 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) con l'aumento delle temperature e nel pomeriggio (4,0 - 6,8 - 4,9 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$). Nel 2020 si osserva anche una riduzione particolarmente evidente nella conduttanza stomatica dal mattino (218 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) rispetto al pomeriggio (112 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), mentre negli anni 2021 e 2022 tali valori sono già bassi al mattino (144 - 125 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) e calano ulteriormente nel pomeriggio (126 - 102 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), raggiungendo valori prossimi a quello limite per l'attività fotosintetica (Mills et al. 2009). Anche la traspirazione (***E***) nell'irrigazione 50% presenta valori molto bassi (2,2 - 3,6 - 3,4 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) che crescono in misura molto limitata a mezzogiorno (2,8 - 4,2 - 3,5 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) rispetto alle altre tesi e calano leggermente nel pomeriggio (2,1 - 3,5 - 3,14 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) mantenendosi quasi costanti nell'arco della giornata. Gli effetti di questo quadro fisiologico hanno effetti negativi significativi sull'attività produttiva della pianta in termini di quantità e di dimensione dei frutti.

La tesi aggiuntiva introdotta nel 2021 e 2022, che prevede la distribuzione dell'acqua irrigua su tre linee gocciolanti con volumi di adacquamento rispettivamente dell'80% nel 2021 e del 65% nel 2022, ha evidenziato effetti significativi sui parametri fisiologici, che risultano uguali o migliori di quelli dell'irrigazione aziendale (100%), con un risparmio di acqua rispettivamente del 20% e del 35%. I valori di ***Pn*** al mattino (13,6 - 11,8 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), a mezzogiorno (11,6 - 10,8 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) e nel pomeriggio (11,4 - 9,9 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) risultano simili a quelli dell'irrigazione aziendale (100%) e comunque migliori in valore assoluto rispetto a tutte le altre tesi in tutto l'arco della giornata.

I valori di ***gs***, ad eccezione del mattino (235 - 310 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) quando sono simili all'irrigazione aziendale (100%), a mezzogiorno (205 - 220 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) e nel pomeriggio (175 - 185 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) sono più elevati rispetto a questa tesi anche se non in modo statisticamente significativo, indice di uno stato idrico più equilibrato della pianta nell'irrigazione tre linee. I valori di traspirazione (***E***) al mattino (4,8 - 5,9 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$), a mezzogiorno (5,9 - 5,9 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) e nel pomeriggio (4,1 - 4,1 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) rispecchiano l'andamento di ***gs*** e consentono alla pianta di mantenere la temperatura fogliare entro limiti favorevoli all'attività di assimilazione fotosintetica. I parametri citati hanno infatti un

impatto diretto sulla temperatura fogliare e questa a sua volta ha effetti immediati sulla funzionalità del sistema fotosintetico (Chartzoulakis et al. 1993, Li et al. 2022).

Come si evince dai dati dei tre anni, la riduzione dei volumi idrici determina indirettamente un incremento delle temperature fogliari, che risulta significativo rispetto all'irrigazione aziendale (100%) in tutte le tesi tranne per l'irrigazione 80% nel 2020 e per l'irrigazione a tre linee (80%, 65%) del 2021 e 2022. Gli incrementi di temperatura fogliare sono particolarmente evidenti nelle irrigazioni 50% e 40% nelle quali vanno da un minimo di 1,9°C a un massimo di 4,6°C. Si tratta di differenze che indicano condizioni di stress da moderato a elevato (Gucci et al. 1997).

Le temperature fogliari elevate (superiori ai 25°C) comportano comunque una riduzione di **Pn** per possibili danneggiamenti del sistema fotosintetico (Chartzoulakis et al. 1993) che nel corso della stagione può sommarsi agli effetti all'invecchiamento fisiologico delle foglie (Kitajima et al 1997).

Una ricerca sulla risposta alle alte temperature di alcune specie di *Actinidia* (Li et al. 2022), confermando la riduzione di **Pn** a temperature superiori ai 25 - 28°C, ha evidenziato come la cultivar Jintao (*A. chinensis* var. *chinensis*) riesca a sopportare meglio le alte temperature rispetto alla cultivar Jinkui (*A. chinensis* var. *deliciosa*). La diversa sensibilità alle alte temperature delle specie di actinidia e la conseguente riduzione di **Pn** hanno importanti implicazioni nella scelta varietale e nelle tecniche di irrigazione, che possono avere un ruolo importante nel contenere la temperatura della chioma ed evitare potenziali danni all'apparato fogliare che nei casi estremi può comportare necrosi e loro caduta anticipata (Gucci et al. 1997).

I parametri relativi agli scambi gassosi, in particolare assimilazione netta (**Pn**) e conduttanza stomatica (**gs**) e traspirazione (E), rispondono molto bene alle reali condizioni di stato idrico di SunGold, ma la loro misurazione richiede strumentazioni costose e utilizzatori addestrati e non sono di uso pratico; nonostante ciò, possono essere utilizzati per calibrare in modo specifico in micro aree altri tipi di sensori quali i dendrometri o attrezzature portatili per la misura dei potenziali idrici fogliari.

6.3.2.2 Potenziale idrico

In generale i valori di potenziale idrico fogliare (LWP) rilevati in queste sperimentazioni sulla cultivar Sun Gold (*A. chinensis*) sia per le piante irrigate con restituzione totale in base alla evapotraspirazione potenziale (Etc) quali irrigazione aziendale 100% (-0,43 ÷ 0,71 Mpa)

sia per quelle con minore disponibilità idrica ($-0,39 \div 0,94$ Mpa), sono nettamente inferiori a quelli riportati in letteratura da diversi autori (Chartzoulakis et al. 1993, Gucci et al. 1996) per la cultivar Hayward appartenente ad *A. deliciosa* ($-1,20 \div -1,84$ Mpa) o a quelli rilevabili in altre specie frutticole quali melo ($-0,5 \div -2,5$ Mpa, Mills et al. 1996, De Swaef et al. 2009), pesco ($-0,9 \div -2,6$ Mpa, Hand et al. 1982, De Swaef et al. 2009).

I valori di LWP sono invece vicini a quelli riportati in bibliografia per Hort16A (Mills et al. 2009), altra cultivar a polpa gialla appartenente alla specie *A. chinensis* ($0,12 \div -1,1$ Mpa), ma superiori ($-0,08 \div -0,34$ Mpa) a quelli riportati per SunGold da Boini et al. (2022). In quest'ultimo caso, come già precisato nei commenti sugli scambi gassosi, i sistemi di irrigazione delle due prove non sono uguali (goccia verso misto goccia/spruzzo) e ciò giustifica le differenze di potenziale fogliare misurate.

Le misure di potenziale idrico effettuate prima del sorgere del sole (*Predawn Leaf Water Potential* - PLWP) nel 2020 e 2021 evidenziano valori che vanno da un minimo di $-0,32$ Mpa nell'irrigazione aziendale 100% a un massimo di $-0,48$ Mpa in irrigazione 50%, un range relativamente limitato che tra l'altro non riflette i risultati di altri parametri fisiologici, in particolare quelli della conduttanza stomatica. Questo è in accordo con il fatto che SunGold, nonostante abbia un maggior controllo degli stomi rispetto a Hayward (Boini et al. 2022), appartiene come *Actinidia* sp. al gruppo di piante definite "isoidriche" (Xiloyannis et al. 2005, Boini et al. 2022). Il PLWP in SunGold non riesce quindi a rappresentare il reale stato idrico della pianta come invece avviene in altre specie frutticole (Xiloyannis et al. 2005).

I rilievi di potenziale idrico fogliare effettuati nel 2020 e 2021 alle ore 12.00 (*Midday Leaf Water Potential* - MLWP) hanno invece meglio del precedente parametro messo in evidenza le differenze tra piante pienamente irrigate (irrigazione aziendale 100%) e piante con riduzione della disponibilità idrica (irrigazione 80% e irrigazione 50%).

Nel 2022, al fine di definire meglio questo parametro, si sono effettuate le misure di *Midday Leaf Water Potential* (MLWP) durante l'intera stagione da giugno a settembre. In tale arco di tempo è stato possibile monitorare il comportamento di SunGold sottoposta a diversi volumi idrici, con lo scopo di definire un livello base di MLWP al di sopra del quale considerare la pianta in condizioni di stress.

Sulla base dei dati raccolti, si ritiene che tale limite possa essere considerato pari a $-0,6$ MPa, in accordo con quanto riportato da Boini et al. (2022) e inferiore a quello indicato da altri autori per *A. deliciosa* (Van Oostrom 1985, Judd et al. 1986, Dick 1987).

Le misure di MLWP possono essere effettuate con la camera portatile per le misure di potenziale idrico utilizzata nelle prove del dottorato, che non richiede bombole di aria compressa o azoto ed è di uso facile anche per tecnici agricoltori.

Per quanto riguarda le relazioni tra MLWP e i parametri relativi agli scambi gassosi, esse risultano particolarmente evidenti per *Pn*, *gs* ed E, nei casi di condizioni di stress medio o elevato.

6.3.2.3 Dendrometria

L'analisi della contrazione del diametro del tronco proposta nel passato (Klepper 1968, Klepper et al. 1971) come indicatore dello stato idrico della pianta ha trovato largo uso nelle specie frutticole (Cohen et al. 2001, Marsal et al. 2002, Intrigliolo and Castel 2007) e negli agrumi (Ortuño et al. 2009). Sulla base di queste esperienze e in particolare di quelle sulla vite (Intrigliolo and Castel 2007), specie avente un tronco di tipo sarmentoso simile a quello dell'actinidia, si è ritenuto di verificare la risposta delle misure dendrometriche, in funzione dello stato idrico, anche in quest'ultima specie e specificatamente in SunGold (*A. chinensis* var. *chinensis*).

La sperimentazione condotta nel corso del 2022 ha fornito risultati molto soddisfacenti confermando la validità dell'utilizzo di MDS delle variazioni di diametro del tronco come indicatore dello stato idrico della pianta, ma anche come sistema di monitoraggio molto sensibile della disponibilità idrica del terreno, come riportato anche da altri autori (Cohen et al. 2001, Goldhamer et al. 1999). I tronchi sui quali sono stati installati i dendrometri sono di piante aventi una età di circa 8 anni con buone variazioni di diametro, per cui non sono state evidenziate le difficoltà segnalate da Silva and Ferreira (2014) che hanno operato su piante di 24 anni di età.

L'elaborazione dei dati evidenzia la relazione lineare tra *Maximum Daily Trunk Shrinkage* e il *Midday Leaf Water Potential*, confermando come le variazioni di diametro del tronco siano strettamente legate al potenziale fogliare (Molz and Klepper 1973).

I dati di MDS possono trovare una utile applicazione anche in una gestione giornaliera dell'irrigazione a goccia su tre linee provvedendo all'irrigazione nel pomeriggio quando le condizioni ambientali sono più stressanti (Torres-Ruiz et al. 2016), al fine di sostenere la traspirazione (E) e la capacità assimilativa delle foglie che incide direttamente sulla crescita dei frutti soprattutto nei periodi di maggior competizione con gli altri organi della pianta (Minchin et al. 2010).

Si tratta di risultati che vanno ulteriormente verificati effettuando le misurazioni anche al periodo di accrescimento iniziale dei frutti per verificare l'influenza di altri fattori sul MDS che non incidano direttamente sullo stato idrico della pianta (Intrigliolo and Castel 2007).

6.3.4 Monitoraggio dello stato idrico delle piante

I contenuti percentuali in acqua del terreno ottenuti con i sensori ECH₂O EC-5 non sono comparabili con quelli ottenuti per via gravimetrica (cap. 5.3) per varie ragioni, tra le quali il fatto di essere di tipo volumetrico mentre i secondi sono basati sul peso.

Secondo le istruzioni della Meter Inc. i valori di lettura dei sensori hanno un range da 0 (completa assenza di acqua) a 50% (livello di saturazione idrica) partendo dal principio che un terreno "normale" è composto per il 50% da componente minerale e organica mentre il rimanente 50% può essere occupato da aria e acqua.

I sensori in ciascuna prova sono sovrapposti, posti a diverse profondità (20 - 40 - 60 cm), e posizionati secondo uno stesso criterio (a 20 cm dalla linea centrale del filare e a 30 cm dal gocciolatore) senza tener conto, perché di difficile definizione iniziale, che il profilo di penetrazione e diffusione dell'acqua irrigua è influenzato dalle caratteristiche idrologiche del terreno e dai volumi di distribuzione che sono differenziati nelle diverse tesi. In ogni caso, l'esame dei dati ottenuti si presta ad alcune considerazioni:

Irrigazione 100%

Nell'anno 2022 si è distribuito un maggiore volume di acqua pari al +14,3 % rispetto al 2021 (7.357 m³/ha rispetto a 6.435 m³/ha) e questo risulta evidente soprattutto nella tesi a irrigazione aziendale (100%) che, oltre ad avere valori percentuali più elevati, presenta anche un andamento crescente dei contenuti di acqua durante la stagione a tutte le profondità senza mostrare peraltro le oscillazioni presenti invece nel 2021.

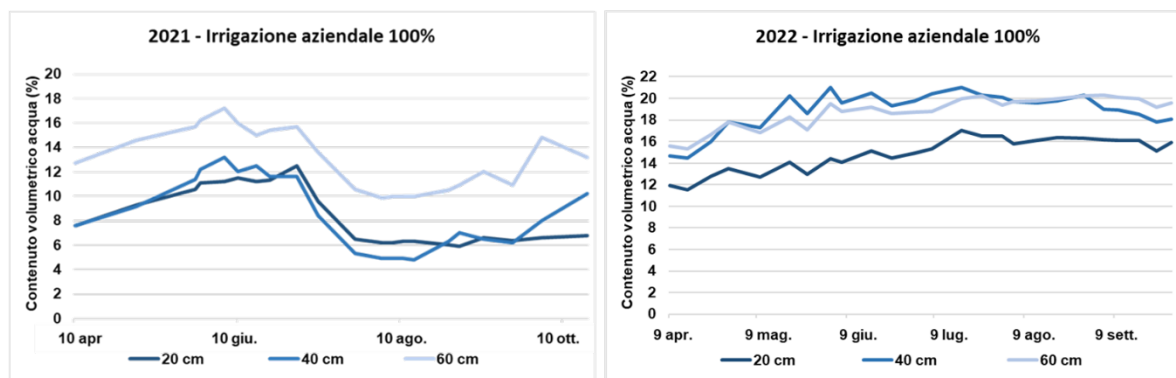


Figura 72. Contenuti di acqua nel terreno (% volume) a diverse profondità sotto il regime dell'irrigazione aziendale (100%)
Water content in the soil (volume %) at different depths under farm irrigation (100%)

Un dato rilevante in questa tesi, in entrambi gli anni, è il contenuto di acqua più elevato presente alle profondità di 40 e 60 cm rispetto a 20 cm (**Figura 72**), segno evidente di somministrazione in eccesso di acqua, in questo strato che ha determinato il passaggio allo strato sottostante secondo il “modello a serbatoi” (Ritchie and Otter 1985, Knisel and Davis 1999) - **Figura 73**.



Figura 73. SunGold: Eccessi di acqua percolati dallo strato di 20 cm di profondità (A) a profondità più basse (B)
SunGold: Excess water percolating from a soil depth of 20 cm (A) to lower depths (B)

Anche i sensori di umidità del terreno confermano quindi condizioni di saturazione idrica nella tesi irrigua aziendale e conseguenti fenomeni di asfissia radicale che determinano un mancato sviluppo o morte delle radici (Smith et al. 1990) e possono concorrere al fenomeno della “moria” (Sorrenti et al. 2016).

Irrigazione 80/50%

Nel 2021 la tesi irrigazione 80% mostra un contenuto di acqua più elevato alla profondità di 20 cm rispetto a quello rilevato a 40 e 60 cm (che risultano simili tra di loro) e inoltre una caduta dei valori a partire dal mese di luglio, probabilmente legata ai valori elevati di evapotraspirazione.

Nel 2022 anche la tesi irrigazione 50% presenta alla profondità di 20 cm più elevate percentuali d’acqua rispetto a quelle rilevate a 40 e 60 cm, con oscillazioni evidenti durante la stagione ma senza cali definitivi come quello registrato dall’irrigazione 80% nel 2021 (**Figura 74**).

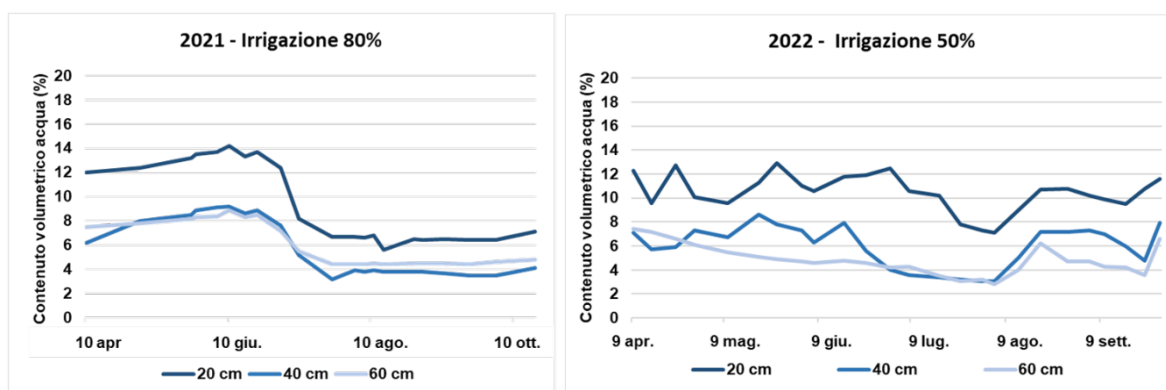


Figura 74. Contenuti di acqua nel terreno (% volume) a diverse profondità sotto il regime dell'irrigazione ridotta (80/50%)
Water content in the soil (volume %) at different depths under reduced irrigation (80/50%)

Irrigazione 50/40%

Sia l'irrigazione 50% dell'anno 2021 sia l'irrigazione 40% del 2022 evidenziano contenuti di acqua simili a 20 - 40 - 60 cm di profondità e decrescenti dall'inizio a fine stagione (**Figura 75**), segno evidente che i volumi d'acqua somministrata sono molto al di sotto della capacità di campo di ogni livello e che quindi non ci sono stati passaggi dal livello superiore a quello inferiore.

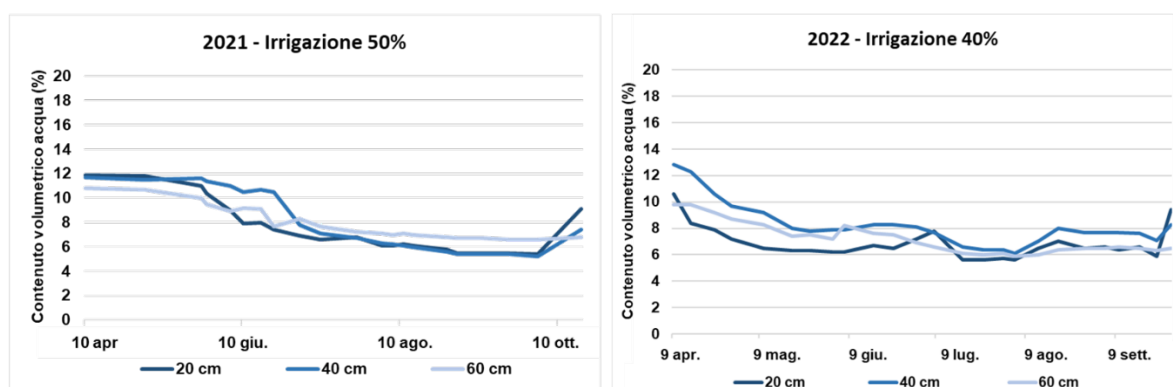


Figura 75. Contenuti di acqua nel terreno (% volume) a diverse profondità sotto il regime dell'irrigazione ridotta (50/40%)
Water content in the soil (volume %) at different depths under reduced irrigation (50/40%)

I risultati ottenuti consentono di affermare che i sensori utilizzati per determinare i contenuti di acqua del terreno che si basano sulla misura della costanza dielettrica utilizzando la tecnologia FDR sono in grado di rilevare le variazioni di umidità del terreno ma non forniscono un valore reale dell'acqua presente, per cui è necessaria una calibrazione specifica per il terreno in cui vengono utilizzati (Sakaki et al. 2008).

Altro fattore di notevole importanza per una precisa determinazione dei contenuti idrici è il corretto posizionamento dei sensori il cui concetto proposto da Soulis and Elmaloglou (2016) è sintetizzato nel termine *Time Stable Representative Position* (TSRP). I sensori

dovrebbero cioè essere collocati in zone rappresentative dello sviluppo dell'apparato radicale tenendo conto delle caratteristiche fisiche e idrologiche del terreno, della posizione e della portata dei gocciolatori, del tipo di sensore, delle condizioni ambientali e delle caratteristiche fisiche e idrologiche del terreno.

Le informazioni assunte durante le prove hanno messo in evidenza che nelle condizioni di terreno e di sistema d'irrigazione a goccia con una sola linea nelle quali si è operato è consigliabile posizionare una prima serie di sensori a diverse profondità (20 - 40 - 60 cm) alla distanza di 20 cm dalla fila e dal gocciolatore e una seconda serie a 40 cm dalla fila.

Nel caso di più linee, sarebbe opportuno ripetere la stessa configurazione di cui sopra distanziando i sensori a 20 e 40 cm dalla linea aggiuntiva e relativi gocciolatori.

Il posizionamento dei sensori non può essere comunque generalizzato ad altre situazioni, ma va contestualizzato alle caratteristiche del terreno, al sistema d'irrigazione e alla distribuzione delle radici, elementi che andrebbero acquisiti tramite indagini sito specifiche.

7. CONCLUSIONI

La coltivazione dell'actinidia in Italia è stata introdotta negli anni '70 e, essendo una specie completamente nuova, le sue tecniche colturali hanno subito nel tempo una costante evoluzione avvalendosi negli anni del contributo di tecnici e ricercatori a livello nazionale e internazionale. L'intensificazione colturale con impianti aventi un numero elevato di piante e gemme a ettaro e l'impiego consistente di fattori di produzione quali acqua e fertilizzanti con impatto negativo sull'ambiente hanno lasciato lentamente il posto a un concetto di gestione più sostenibile delle risorse mediante l'utilizzazione di nuove conoscenze e tecnologie in grado di ottimizzare il loro impiego e ottenere produzioni adeguate ai mercati dal punto di vista quantitativo e qualitativo. In questo contesto, applicando i concetti e le metodologie della frutticoltura di precisione nella presente sperimentazione si sono acquisite tutte le informazioni disponibili di tipo ambientale, colturale e fisiologico da applicare su due piantagioni contigue di actinidia rappresentate da una cultivar a polpa verde, Hayward (*Actinidia chinensis* var. *deliciosa*), e una a polpa gialla, SunGold (*A. chinensis* var. *chinensis*), situate in Italia Centrale, più precisamente nell'Agro Pontino, allo scopo di evidenziarne le criticità e di definire gli interventi possibili per affrontarle.

In tale ottica, sono stati individuati due aspetti che attualmente si ritengono prioritari nella coltivazione dell'actinidia nell'ambiente considerato: il diradamento e l'irrigazione.

Il diradamento è un'operazione importante che regola il numero dei frutti a pianta e a ettaro, finalizzata a ottenere soprattutto pesi dei frutti adeguati alle relative classi di calibro richieste dai mercati. Tale pratica è stata molto trascurata nel passato in quanto le produzioni a livello nazionale e internazionale non coprivano la domanda per cui all'offerta non si richiedevano particolari requisiti di qualità fisico-chimiche del frutto, situazione che ora è radicalmente mutata e richiede particolare attenzione per avere buoni risultati economici a livello aziendale.

Nella presente sperimentazione, il diradamento è stato affrontato variando la sua intensità rispetto a quella comunemente utilizzata (100%) nell'areale di coltivazione dove si sono svolte le prove, con livelli che vanno da un minimo del 70% a un massimo del 120%. Allo stesso tempo, si è considerata anche l'epoca di intervento e la modalità della sua esecuzione (*Bud Thinning*: eliminazione di germogli, bottoni fiorali e fiori, seguito da eventuale intervento correttivo sui frutticini). Le variabili citate hanno avuto conseguenze dirette sulle

produzioni a pianta e a ettaro, sulla suddivisione dei frutti in classi commerciali di calibro, sulle loro caratteristiche chimico fisiche e da ultimo, sulla liquidazione finale del prodotto. In generale, la riduzione del carico produttivo basata sul diradamento dei frutticini dopo l'allegagione ha incrementato le classi di pezzatura più elevata ma, riducendo le quantità a ettaro, non sempre ha consentito un'adeguata compensazione economica.

L'intervento invece che in entrambe le cultivar e in tutti casi ha consentito vantaggi in termini di dimensione dei frutti e di liquidazione del prodotto è stato il *Bud Thinning*, confermando che tutti gli interventi precoci sugli organi della pianta preposti alla riproduzione sono molto efficaci, come peraltro anche le operazioni di diradamento classico dei frutticini, purché eseguite il più presto possibile dopo l'allegagione.

Il frutto, oltre ad essere il principale elemento su cui è concentrata tutta l'attenzione del frutticoltore nei suoi interventi colturali, nell'ultimo decennio con il diffondersi dell'agricoltura di precisione è diventato un "elemento diagnostico" d'eccellenza per tecnici e ricercatori, nella convinzione che esaminare le sue performance di crescita costituisce il modo migliore per interpretare e valutare correttamente le tecniche colturali messe in atto in campo.

In questa prospettiva, le prove di diradamento sono state accompagnate da un attento monitoraggio dello sviluppo dei frutti durante la stagione, utilizzato per verificare gli effetti sugli accrescimenti delle diverse tesi ma anche per una attività previsionale sulla dimensione finale dei frutti alla raccolta utile per decidere degli interventi colturali o attuare delle correzioni tempestive nei casi di scostamenti rispetto alle aspettative. I risultati ottenuti evidenziano in entrambe le varietà - in modo più marcato in SunGold che in Hayward - relazioni molto strette tra livelli e modalità di diradamento, curve di accrescimento dei frutti e risultati produttivi finali in termini di peso medio e pezzatura dei frutti.

Le attività in campo svolte nel triennio 2020-2022 hanno messo in evidenza che, oltre a non esistere ufficiali indicazioni sito-specifiche sui livelli di diradamento, mancano anche le informazioni di base sulla densità dei frutticini in pianta e sul controllo post-esecuzione, con la conseguenza che l'operazione di verifica dei frutti lasciati in pianta spesso non è adeguata o che nel migliore dei casi richiede interventi suppletivi costosi in termini di manodopera e scarsamente efficaci, perché tardivi rispetto all'accrescimento dei frutti che avviene per il 50% nei 40 - 60 giorni dopo la fioritura. Una possibile soluzione potrebbe venire da una branca dell'agricoltura di precisione basata sull'acquisizione di immagini in campo con conteggio dei frutti tramite software di analisi di immagini in grado di stimare precocemente

il numero di frutti nella chioma in pre e post diradamento, dando in questo modo all'operazione connotati di maggiore affidabilità.

L'irrigazione è un altro aspetto della tecnica colturale dell'actinidia per la quale esiste un'ampia letteratura che però riguarda soprattutto la Hayward (*A. chinensis* var. *deliciosa*), principale e quasi esclusiva cultivar commercialmente diffusa fino a dieci anni fa. Da allora, sono state introdotte nuove cultivar anche a polpa gialla che hanno caratteristiche morfologiche, fenologiche e comportamenti fisiologici diversi dalla Hayward ma per le quali, generalmente, si continua ad applicare gli stessi criteri di irrigazione della cultivar iniziale. Tra le varietà a polpa gialla spicca la neo-introdotta SunGold, per cui si è ritenuto di studiare il suo comportamento fenologico, agronomico, produttivo e fisiologico anche in funzione di diversi volumi idrici con distribuzione sul filare (40 - 50 - 80%) rispetto all'irrigazione aziendale 100% basata sulla completa restituzione dell'evaporato potenziale della coltura (ETc) in funzione dei coefficienti colturali mensili (Kc) tra aprile e settembre applicati dall'azienda, messa a confronto anche con una distribuzione irrigua su tre linee (una centrale e due laterali), con volumi di 80 e 65% rispettivamente nel 2021 e 2022.

I risultati ottenuti mettono in evidenza che, almeno in termini quantitativi, le produzioni a pianta e a ettaro e il peso medio dei frutti sono più elevati con i volumi aziendali del 100%, ma non di molto superiori all'irrigazione 80% anche su monolinea, per cui in un'ottica di risparmio delle risorse idriche, di incrementi futuri del costo dell'acqua ($> 1,0 \text{ €/m}^3$) e considerando la diffusione della "moria del kiwi" (che ormai compromette estese superfici coltivate in Italia), la riduzione del 20 % dell'acqua è sicuramente un'opzione ragionevole e necessaria. Tale convinzione è supportata dai rilievi sui contenuti di acqua nel terreno effettuati nel corso della sperimentazione, che sono eccessivamente elevati in vicinanza della linea centrale di irrigazione a goccia e impediscono lo sviluppo delle radici per stati di anossia in tali zone di terreno.

Volumi idrici del 50% e 40%, nelle attuali condizioni di coltivazione e mercato, non sono agronomicamente ed economicamente validi a meno di non rivedere i sistemi di impianto e carico di gemme e, di conseguenza, ridurre le produzioni a ettaro.

Notevoli sono invece stati i risultati ottenuti con la distribuzione dell'acqua irrigua su tre linee (sia a 80 sia a 65%), che garantiscono contenuti ottimali dell'acqua nel terreno sia sulla fila sia tra le file, un dato confermato da una più uniforme distribuzione delle radici nel terreno incluse nelle aree sottostanti ai gocciolatori. Queste migliori condizioni edafiche rispetto alle altre tesi si traducono anche in produzioni, pesi medi dei frutti e relative classi

commerciali superiori all'irrigazione aziendale 100%, con un notevole risparmio dell'acqua (20- 35%).

Come nelle tesi di diradamento, le prove di irrigazione sono state affiancate dal monitoraggio dello sviluppo dei frutti oltre che da misurazioni degli scambi, gassosi (*Pn*, *gs*, *E*, temperatura fogliare) e del potenziale idrico fogliare. La cultivar SunGold ha confermato almeno in parte di avere un comportamento isoidrico, con valori di *Predawn Leaf Water Potential* che non si differenziano in modo significativo anche nelle tesi a più bassa disponibilità idrica, ragione per cui questo parametro non può essere indicativo dello stato idrico della pianta. Diverso è il caso del *Midday Stem Water Potential*, dove le differenze tra le tesi irrigue sono più evidenti e che può quindi rappresentare un parametro valido e pratico di misura dello stato idrico della pianta mediante l'uso di una camera di pressione portatile per misure di potenziale idrico fogliare che non necessitano di bombole di aria o gas inerti ausiliari.

Molto interessante e con buone prospettive di sviluppo future è l'impiego dei dendrometri, sensori che registrano le variazioni giornaliere di diametro del tronco, utilizzati già in altre specie frutticole e nella vite e che, hanno trovato nella qui descritta sperimentazione una delle prime utilizzazioni in una varietà botanica a polpa gialla (*A. chinensis* var. *chinensis*), sulla base della letteratura fino ad oggi disponibile.

Questo tipo di sensore anche nell'actinidia si è dimostrato molto sensibile alle variazioni giornaliere di disponibilità d'acqua e al *Vapour Pressure Deficit*, per cui il suo impiego è proponibile nelle nuove tecniche di irrigazione a goccia su base giornaliera con interventi nei momenti di maggiore deficit evapotraspirativo.

La presente tesi di dottorato, oltre all'intento di apportare un contributo innovativo alle tecniche colturali dell'actinidia, ha comportato una ampia ricerca bibliografica sugli argomenti trattati che è da considerare come ulteriore contributo di conoscenza nella gestione colturale della specie.

RIFERIMENTI

1. Bibliografia

ABEDI GHESHLAGHI E. 2021. Predicting the final fruit size of kiwifruit cv 'Hayward' using mathematical equations. *Plant Productions* 44(3):433-446

ALLEN R.G., PEREIRA R.S., RAES D. and M. SMITH 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage. FAO, Roma, p. 56

AMIRI Z., GHEYSARI M., MOSADEGGHI M.R., AMIRI S AND M.S. TABATABAEI 2022. An attempt to find a suitable place for soil moisture sensor in a drip irrigation system. *Information Processing in Agriculture* 9:254-265

ANCONELLI S., MANNINI P., ROSSI F. e O. FACINI 2009. Come gestire l'irrigazione per risparmiare l'acqua. *Agricoltura*, dicembre. Pag 35-37

ANDERSON J.L. and SEELEY S.D. 1992. Modelling strategy in pomology: Development of the Utah models. *Acta Horticulturae* 313:297-306.

ANDERSON J.L., RICHARDSON E.A. and C.D. KESNER 1986. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *Acta Horticulturae* 184:71-75.

ANONYMOUS 1973. Un aperçu sur la culture du yang tao (*Actinidia chinensis*) dans le monde. *L'Arboriculture Fruitière* 237:14

ANTOGNOZZI E.A., TOMBESI A. and A. PALLIOTTI 1991. Relationship between leaf area, leaf area index and fruiting in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Acta Horticulturae* 297:435-439.

ANTOGNOZZI E., PALLIOTTI A. e A. TOMBESI 1994. Andamento stagionale dell'attività fotosintetica in *Actinidia deliciosa*. Atti "II Giornate Scientifiche S.O.I.", San Benedetto del Tronto, pag. 55-56.

ANTOGNOZZI E., FAMIANI F., PALLIOTTI A., PROIETTI P. e A. TOMBESI 1996. Fotosintesi in *Actinidia deliciosa*: andamento stagionale e giornaliero ed influenza della posizione delle foglie. *Italus Hortus* 1:3-9.

ARNOLDUS-HUYZENDVELD A., PEROTTO C. e P. SARANDRE 2009. I suoli della provincia di Latina. Carta, database e applicazioni. A cura della Provincia di Latina, Settore Pianificazione Urbanistica e Territoriale. Gangemi Editore spa, Roma

ASAMI I., TANAKA Y. and M. AOKI. 1988. Studies on the quality evaluation of kiwifruit. Chemical composition and a non-destructive quality evaluation method for kiwifruit. *Research Bulletin of the Aichi-Ken Agricultural Research Center*, 20;309-316.

ASSAR P., ESHGHI S., TAFAZOLI E., RAHEMI M., MONFARED A.S. and Y.G. KHAZAEIPOUL 2008. Hayward Kiwifruit Characteristics as Affected by Naphthalene Acetic Acid and Girdling.

Short Communication. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology 2 (1):35-37.

ATKINS A.M. 1948. Introduction of Chinese gooseberry. The New Zealand Gardener 4: 795.

AYERS R.S. and WESTCOT D.W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Food and Agriculture Organization, Rome.

BARBATTINI R., GREATTI M., ZANDIGIACOMO P., COSTA, G., TESTOLIN R. e G.VIZZOTO 1994. Pronubi dell'actinidia e loro contributo all'impollinazione della coltura. Atti XVII Congresso Nazionale Italiano Entomologi, Udine 1994:855-858.

BARDI L. 2020. Early kiwifruit decline: a soil-borne disease syndrome or a climate change effect on plant - soil relations? Frontiers in Agronomy 2.
<https://doi.org/10.3389/fagro.2020.00003>

BEBBINGTON M., HALL A.J., LAI C.D and R. ZITIKIS 2009. Dynamics and phases of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) growth curves. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 37:3, 179-188, DOI: 10.1080/01140670909510263

BEEVER D.J. and HOPKIRK G. 1990. Fruit development and fruit physiology. In: Kiwifruit Science and Management. I. J. Warrington & G. C. Weston (eds.), Ray Richards, Auckland, pp. 97-126.

BEIKIRCHER B., DE CESARE C. and S. MAYR 2013. Hydraulics of high-yield orchard trees: A case study. Tree Physiology 33:1296–1307

BELLAVI J. 2012. Prediction of storage potential and firmness loss of Hayward kiwifruit along the supply chains in India. MSc Thesis, Massey University, Albany campus, New Zealand

BELLINI E. e MONASTRA F. 1986. Propagazione, problemi vivaistici, scelta varietale e miglioramento genetico dell'actinidia. Proceedings National Meeting sulla coltura dell'actinidia. Società Orticola Italiana, Verona, 29 April. Pp. 43-83

BEN-GAL A., COHEN Y., PEETERS A., NAOR A., NEZER Y., OHANA-LEVI N., BAHAT I., KATZ L., SHAKED B., LINKER R., YULZARY S. and V. ALCHANATIS. 2022. Precision drip irrigation for horticulture. Acta Horticulturae 1335, 267-274 DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1335.32

BEN HAMOUDA G., TOMOZEIU R., PAVAN V., ANTOLINI G., SNYDER R.L. and VENTURA F. 2021. Impacts of climate change and rising atmospheric CO₂ on future projected reference evapotranspiration in Emilia-Romagna (Italy). Theoretical and Applied Climatology 146:801-820

BENARIE R., GROSS J. and L. SONEGO 1982. Changes in ripening parameters and pigments of the Chinese Gooseberry (Kiwi) during ripening and storage. Scientia Horticulturae 18 (1):65-70

BENGE J.R. 1999. Storage potential of kiwifruit from alternative production systems. PhD thesis, Massey University, New Zealand.

BERINGER T., KULAK M., MÜLLER C., SCHAPHOFF S. and Y. JANS 2020. First process-based simulations of climate change impacts on global tea production indicate large effects in the World's major producer countries. *Environmental Research Letters* 15(3), 34023, doi:10.1088/1748- 9326/ab649b

BIASI R. e COSTA G. 1984. Aspetti e problemi dell'impollinazione dell'actinidia. *Frutticoltura* 9-10:45-50.

BIASI R., COSTA G. and P.J. MANSON 1993. Light influences on kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) quality. *Acta Horticulturae* 379:245-251

BIEL C., SAVÉ R., GRAU B., ARANDA X., DE HERRALDE F. and J. CASADESUS 2008. Scheduling irrigation based on soil and plant sensors in *Platanus hispanica* submitted to root restriction. *Proceedings of the European Congress of Arboriculture*, Turin (Italia)

BISAGLIA C. 2018. Agricoltura di precisione in Italia: un'opportunità di aggiornamento delle agrotecniche, di sviluppo professionale e di efficienza del settore. *Associazione Alessandro Bartola Agriregioeuropa*. Anno 14 Numero 53

BLACK M. 2012. The kiwifruit (*Actinidia* sp.) vine root system: responses to vine manipulations. *Doctorate of Philosophy*, University of Waikato – New Zealand

BLACK M.Z., PATTERSON K.J., GOULD K.S. and CLEARWATER M.J. 2012. Physiological responses of kiwifruit vines (*Actinidia chinensis* Planch. var. *chinensis*) to trunk girdling and root pruning. *New Zealand Journal of Crop Horticultural Sciences* 40 (1):31-41 <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.603343>

BLANCHET P. 1985. Fertilité et croissance du kiwi (*Actinidia chinensis* Pi.). *Fruits* 40(10):647-658.

BLANCHET, P. 1986. La taille longue du kiwi (variété Hayward) (Long pruning of kiwifruit (cultivar Hayward)). *Arboriculture Fruitière* 32(380):47-49.

BLANCO V. and KALCSITS L. 2023. Long-term validation of continuous measurements of trunk water potential and trunk diameter indicate different diurnal patterns for pear under water limitations. *Agricultural Water Managment* 281, 108257.

BLASI C. 1994. Fitoclimatologia del Lazio. *Fitosociologia* 27:5-30 (inedita)

BOINI A., CAVALLINA L., PERULLI G., BRESILLA K., BORTOLOTTI G., MORANDI B., CORELLI GRAPPADELLI L. and L. MANFRINI 2022. *Actinidia chinensis*, physiological and productive performance under water stress condition. *Acta Horticulturae* 1346:43-50. DOI 10.17660/ActaHortic.2022.1346.6

BONINI V. 1973. Coltivazione di actinidia nel Polesine. *Informatore di Ortoflorofrutticoltura* 14 (23–24):3-6.

BUONO V., MASTROLEO M., LUCCHI C., D'AMATO G., MANFRINI L. and B. MORANDI 2022. Field-testing of a decision support system (DSS) to optimize irrigation management of

kiwifruit in Italy: a comparison with current farm management. *Acta Horticulturae* 1335:355-362 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1335.44>

BURDON J., MCLEOD D., LALLU N., GAMBLE J., PETLEY M. and A. GUNSON 2004. Consumer evaluation of “Hayward” kiwifruit of different at-harvest dry matter contents. *Postharvest Biology and Technology* 34:245-255

BURGE G., SPENCE C.B. and R.R. MARSHALL 1987. Kiwifruit: effects of thinning on fruit size, vegetative growth, and return bloom. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 15:317-324.

BUWALDA J.G. and SMITH G.S. 1988. A mathematical model for predicting annual fertiliser requirements of kiwifruit vines. *Scientia Horticulturae* 37(1-2):71-86.

BUWALDA J.G. and SMITH G.S. 1990. Acquisition and utilization of carbon, mineral nutrients, and water by the kiwifruit vine. *Horticultural Reviews* 12:307-347. <https://doi.org/10.1002/9781118060858.ch7>

CACIOPPO O. 2006. Il kiwi compie 100 anni. *Kiwi Informa Anno II N. 7-9* luglio-settembre. Pp. 4-85.

CACIOPPO, O. 2017. Kiwi in Agro Pontino: Irrigazione, Consumi idrici e falda freatica. *Kiwi Informa Anno XIII N. 1-3* gennaio-marzo e 4-6 aprile-giugno. Pp. 4-6

CACIOPPO O. 2020. Il Kiwi bicolore a Latina: Bilancio di 5 anni (2016-2020) con tecnica culturale evoluta ed alta redditività. *Kiwi Informa Anno XVI N. 9-12* ottobre-dicembre. Pp. 4-21.

CACIOPPO O. 2021. L’actinidia nell’area IGP Kiwi Latina. *Kiwi Informa Anno XVII N. 10-12* ottobre-dicembre. Pp: 14-44

CAPROTTI G. 2023. Agricoltura, costi fuori controllo per l’acqua. <https://www.giuseppecaprotti.it/agricoltura-costi-fuori-controllo-per-lacqua/>

CARAFFINI B. 1971. Una prova di coltivazione di *Actinidia chinensis*. *L’Informatore Agrario* 27(29): 6003-6006

CARAFFINI B. 1973. Qualche notizia sull’actinidia. *L’Informatore Agrario* 29(41):13873-13877.

CARAFFINI B. 1975. I produttori di Actinidia devono organizzarsi. *L’Informatore Agrario* 31(5):18213-18217

CHANDEL J.S., RANA R.K. and A.S. REHALIA 2004. Comparative performance of drip and surface methods of irrigation in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* Chev.) cv. Allison. *Acta Hort.* 662:205-211

CHARTZOULAKIS K., MICHELAKIS N. and VOUGIOUKALOU V. 1991. Growth and production of kiwi under different irrigation systems. *Fruits* 46(1):75-81

CHARTZOULAKIS K., NOITSAKIS B. and I. THERIOS 1993. Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits. *Irrigation Science* 14:1-5

CLARK C.J., MCGONE V.A., DE SILVA H.N., MANNING M.A., BURDON J. and A.D. MOWAT. 2004. Prediction of storage disorders of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) based on visible-NIR spectral characteristics at harvest. *Postharvest Biology and Technology* 32:147-158.

CLINCH P.G. 1984. Kiwifruit pollination by honeybees. 1. Tauranga observations, 1978-81. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 12:29-38.

COGGIATTI S. 1967. Fiori, frutti, foglie ornamentale in una sola pianta: *Actinidia chinensis*. *Fiori* 10:98-100.

COGGIATTI S. 1971. *Actinidia chinensis* una pianta esotica ricca di vitamina C. *L'Italia Agricola* 108(10):935-941

COHEN M., GOLDHAMER D., FERERES E, GIRONA J. and M. MATA. 2001. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits with continuous monitoring of trunk monitor fluctuations. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76:55-60

CONDON J.M. 1992. Aspects of kiwifruit stem structure in relation to transport. *Acta Horticulturae* 297:419-426.

CONEJERO W., ALACRÓN J.J., GARCÍA-ORELLANA Y., NICOLÁS E. and A. TORRECILLAS 2007. Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors for irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Tree Physiology* 27, 1753-1759

COOMBE B.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual Review of Plant Physiology* 27: 207-228

COOPER K.M and MARSHALL R.R. 1987. Ten thousand trays per hectare – can it be consistently achieved. *New Zealand Kiwifruit*, February 1987:8-9

COOPER K.M. and MARSHALL R.R. 1989. Low leaf level limit grower returns. *New Zealand Kiwifruit*, February 21

COOPER K.M. and MARSHALL R. 1990a. Flat and Fasciated Kiwifruit. *Acta Horticulturae* 282:308-308. DOI: 10.17660/ActaHortic.1990.282.38
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.282.38>

COOPER K.M. and MARSHALL R.R. 1990b. Improving fruit size through croploading and canopy development. National Research Conference 1990. *New Zealand Kiwifruit Special Publication* No. 3:17-19

COOPER K.M. and MARSHALL R. 1991. Crop loading and canopy management. *Acta Horticulturae* 297:501-508.

COOPER K.M., MARSHALL R.R. and T.A. ATKINS 1988. Controlling fruit size for profit. National Research Conference. *New Zealand Kiwifruit Special Publication* n. 2:7-8

CORELLI GRAPPADELLI L., MANFRINI L. e M. MARIANI 2006. Controllo e gestione della fruttificazione con la melicoltura di precisione. *Rivista Di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 11:38 – 43

CORELLI GRAPPADELLI L. e PALLOTTI G. 2008. Pericoltura di precisione: esperienze di previsione di crescita del frutto e produttività dell'impianto. *Italus Hortus* 15 (6):60 – 64

CORELLI GRAPPADELLI L., LAKSO A.N. and J.A. FLORE J.A. 1994. Early Season Patterns of Carbohydrate Partitioning in Exposed and Shaded Apple Branches. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119:596 - 603

CORELLI GRAPPADELLI L., MORANDI B., ZIBORDI M., MANFRINI L., PIERPAOLI E., ANCONELLI S., GALLI F. e P. LOSCIALE 2013. Nuove conoscenze fisiologiche per un'irrigazione più precisa. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 10:36-44.

CORELLI GRAPPADELLI L., MANFRINI L. e M. MARIANI 2017. Controllo e gestione della fruttificazione con la melicoltura di precisione. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 11:38 - 43

COSTA G. and TESTOLIN R. 1997. Effect of reducing between-row spacing in kiwifruit orchards. *Acta Horticulturae* 444:163-168. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.444.23

COSTA G. and TESTOLIN R. 2022. Recent changes in the kiwifruit (*Actinidia* spp.) industry since its introduction: Italy as a case study. *Acta Horticulturae* 1332. DOI 10.17660/ActaHortic.2022.1332.1

COSTA G., SUCCI F., BIASI R. and O. MISEROCCHI 1987. Vegetative and cropping performance of kiwifruit (cv. Hayward) as related to pruning length and bud number. *Proceedings of the First International Symposium on Kiwi. Acta Horticulturae* 282:113-118

COSTA G., VIZZOTTO G. and R. TESTOLIN 1991. Kiwifruit: variations in vegetative gradient and cropping performance as related to cane orientation. *Advances in Horticultural Science* 5:15-18

COSTA G., TESTOLIN R. and G. VIZZOTTO 1993. Kiwifruit pollination: an unbiased estimate of wind and bee contribution. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 21:189-195

COSTA G., VIZZOTTO G. and O. LAIN 1997. Fruiting performance of kiwifruit cv. Hayward affected by use of cyanamide. *Acta Horticulturae* 444:473-478

CRISOSTO C.H. and CRISOSTO G.M. 2001. Understanding consumer acceptance of early harvested 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology & Technology*, vol. 22 (3):205-213

CRISOSTO G.M., HASEY J., ZEGBE J.A. and C.H. CRISOSTO 2012. New quality index based on dry matter and acidity proposed for Hayward kiwifruit. *California Agriculture* April 2012 DOI: 10.3733/ca.v066n02p70

CURRIE M.B. 1997. Source-sink relations in kiwifruit: Carbohydrate and hormone effects on fruit growth at the cell, organ and whole plant level. PhD Thesis, Massey University, Palmerston North, New Zealand

DAVIE I.J. 1997. Role of calcium and mechanical damage in the development of localized premature softening in cold stored kiwifruit [PhD Thesis]. Massey University, Palmerston North, New Zealand.

DE MARINIS I. 2023. Produzione kiwi Italia: novità dal settore. <https://www.fruitjournal.com/produzione-kiwi-italia-novita-dal-settore/> (ultimo accesso 06/05/2023)

DE SWAEF T., STEPPE K. and R. LEMEUR. 2009. Determining reference values for stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in young apple trees based on plant responses to water deficit. *Agricultural Water Management* 96:541–550

DICHIO B., BALDASSARRE R., NUZZO V., BIASI R. AND C. XILOYANNIS C. 1999. Hydraulic conductivity and xylem structure in young kiwifruit vines. *Acta Horticulturae* 498:159-164

DICHIO B., MONTANARO G., SOFO A. AND C. XILOYANNIS 2013. Stem and whole-plant hydraulics in olive (*Olea europaea*) and kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Trees* 27:183-191

DICHIO B., MINNINI A.N., XILOYANNIS E., TUZIO A.C. and C. XILOYANNIS 2020. Gestire la risorsa idrica in modo efficiente - serve un cambio di passo. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura* 6:32-42

DICK J.K 1987. Gas exchange in orchard grown kiwifruit vines. MSc Thesis, University of Waikato, Hamilton.

DÖLL P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change* 54:269-293

DONATI I., CELLINI A., SANGIORGIO D., CALDERA E., SORRENTI G. and F. SPINELLI 2020. Pathogens associated to kiwifruit vine decline in Italy. *Agriculture* 10 (4), 119 <https://doi.org/10.3390/agriculture10040119>.

ERMACORA P., CIPRIANI G., SAVIAN F., TESTOLIN R., TOSI L. and G. TACCONI. 2020. Moria del kiwi, capire le cause per mettere in atto i rimedi. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 7:18-23

EYNARD I. e MANNINI F. 1978. Esperienze di coltivazione dell'actinidia in Piemonte. *Proceedings National Meeting, L'actinidia*. Società Orticola Italiana, Torino, 27 October. Pp. 35-40.

FABBRONI C. 2009. Kiwifruit bud release from dormancy: effect of exogenous cytokinins [Dissertation thesis]. Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Colture arboree ed agrosistemi forestali ornamentali e paesaggistici, 21 Ciclo.

FAIRCHILD D. 1913. Some Asiatic Actinidias. In: Circular 110 (Miscellaneous Papers). Bureau of Plant Industry, United States Department of Agriculture. Washington, Government Printing Office. Pp. 7-12 + 2 plates.

FALKENMARK M. 1989. Water scarcity and food production. In: Pimentel D., Hall C.W. (eds). *Food and Natural Resources*. San Diego (CA): Academic Press. Pp. 164-191.

FAMIANI F., ANTOGNOZZI E., BOCO M., TOMBESI A., ATTISTELLI A., MOSCATELLO S., SPACCINO L., SFAKIOTAKIS E. and J. PORLINGIS. 1997. Effects of altered source-sink relationships on fruit development and quality in *Actinidia deliciosa*. *Acta Horticulturae* 444:355–360.

FAMIANI F., ROSAPANE F., PROIETTI P., PROSPERI M. and F MAROCCHI 2005. Effects of artificial pollination on development and quality of fruits of Hort16A actinidia cultivar (*Actinidia chinensis* Planch). *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura*

FAMIANI F., BALDICCHI A., FARINELLI D., CRUZ-CASTILLO J.G., MAROCCHI F., MASTROLEO M., MOSCATELLO S., PROIETTI S. and A. BATTISTELLI 2012. Yield affects qualitative kiwifruit characteristics and dry matter content may be an indicator of both quality and storability. *Scientia Horticulturae* 146:124-130

FEBI A. 2016. Kiwi veronese, redditività? Più prodotto e meno costi. <https://www.larena.it/argomenti/economia/kiwi-veronese-redditivit%C3%A0-pi%C3%B9-prodotti-e-meno-costi-1.4913939>

FENAROLI L. 1971. Kokuwa e Yang-tao le piante della salute. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 33(10-11):17-34.

FENAROLI L. 1972a. Ancora sulle Actinidie. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 34(3-4):61-62.

FENAROLI L. 1972b. Un frutto d'avvenire: Actinidia. *Notizie sul genere e sua coltivazione*. Edagricole, Bologna.

FENG J., MACKAY B.R. and K. MAGUIRE 2003. Variation in Firmness in packed Hayward kiwifruit". *Acta Horticulturae* 610:211-218

FERERES, E. and GOLDHAMER, D.A. 2003. Suitability of stem diameter variations and water potential as indicators for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 78. 139-144. 10.1080/14620316.2003.11511596.

FERERES E., GOLDHAMER D.A, and V.O. SADRAS 2012. Yield response to water of fruit trees and vines: guidelines. In: *Crop Yield Response to Water*. Irrigation and Drainage Paper n. 66. P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes, eds. (Rome, Italy: FAO): 246-295.

FERGUSON A.R. 1984. Kiwifruit: a botanical review. *Horticultural Reviews* 6:1-64

FERGUSON A.R. 2004. 1904 – the year that kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) came to New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 32, 3-27.

FERGUSON A.R. 2013. Kiwifruit: The Wild and the Cultivated Plants. *Advances in Food and Nutrition Research* 68:15-30

FERGUSON A.R. 2016. Botanical description. In: Testolin R., Huang H.-W. and A.R. Ferguson (eds). *The Kiwifruit Genome*. Springer, Berlin, pp. 1-13.

FERGUSON A.R. and BOLLARD E.G. 1990. Domestication of the kiwifruit. In: Warrington I.J. and Weston G. C. (eds): Kiwifruit: science and management. Auckland, Ray Richards Publisher in association with the New Zealand Society for Horticultural Science. Pp. 165-246.

FERGUSON A.R. and STANLEY R. 2003. Kiwifruit. In: Caballero B., Trugo L. and Finglas P. (eds) Encyclopaedia of Food Sciences and Nutrition. Academic Press, London, pp. 3425-3431.

FERGUSON A.R. and HUANG H.W. 2007. Genetic resources of kiwifruit: domestication and breeding. Horticultural Reviews 33:1-121

FIDEGHELLI C. 2023. Panorama della actinidicoltura mondiale, situazione e prospettive. Kiwi Informa N. 10-12 Anno XVIII ottobre-dicembre e N. 1-3 Anno XIX gennaio-marzo. Pp. 13-20

FLEXAS J., ESCALONA J.M. and MEDRANO H. 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapes. Plant, Cell & Environment 22:39-48

FULTON A., SALINAS M., MONTORO A. and D. GOLDHAMER. 2014. Evaluation of trunk or scaffold shrinkage in walnut as an indicator of orchard water status. California Walnut Marketing Board Annual Report.

GAGO J., DOUTHE C., COOPMAN R.E., GALLEGO P.P., RIBAS-CARBO M., FLEXAS J., ESCALONA J. and H. MEDRANO 2015. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. Agricultural Water Management 153:9-19

GALLEGO P.P., MARTINEZ A. and I. ZARRA 1997. Analysis of the growth kinetic of fruits of *Actinidia deliciosa*. Biologia Plantarum 39(4): 615-622

GANDAR P.W. and HUGHES K.A. 1988. Kiwifruit root systems I. Root-length densities. New Zealand Journal of Experimental Agriculture 16:35-46.

GARCÍA-TEJERA O., LOPEZ-BERNAL A., ORGAZ F., TESTI L. and F.J. VILLALOBOS 2021. The pitfalls of water potential for irrigation scheduling. Agricultural Water Management 243,106522

GASIC K., PREECE J. E. and D. KARP 2020. Register of New Fruit and Nut Cultivars List 50, HortScience 55(7):1164-1201.

GIANNERINI G. 2022. IRRINET: Sistema di irrigazione informatica per la gestione delle acque agricole in Emilia-Romagna, Italia. Climate-ADAPT Nov 22
https://climate-adapt.eea.europa.eu/it/metadata/case-studies/irrinet-it-irrigation-system-for-agricultural-water-management-in-emilia-romagna-italy?set_language=it

GIORGI F. and LIONELLO P. 2008. Climate change projections for the Mediterranean Region. Global and Planetary Change 63 (2-3):90-104

GIORGIO V., TESTOLIN R. and A. STANDARDI 1987. Flowering and fruiting in pergola-trained kiwifruit. Proceedings First International Symposium on Kiwi. Acta Horticulturae 282:133-142.

GOLDHAMER D., FERERES E., MATA M., GIRONA J. and M. COHEN 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. Journal of the American Society of Horticultural Sciences 124:437-444

GRANT J.A. and RYUGO K. 1984. Influence of within canopy shading on fruit size, shoot growth and return bloom in kiwi fruit. Journal of the American Society for Horticultural Sciences 109(6):799-802

GREATTI M and R. BARBATTINI. 1997. Plantaciones de kiwi y su polinización. Vida Apícola n °82 marzo-aprile <http://www.apicolturaonline.it/kiwisupol.pdf> (ultimo accesso 18/06/2023)

GREEN S.R., MCNAUGHTON K.G. and B.E. CLOTHIER 1989. Observations of night-time water use in kiwifruit vines and apple trees. Agricultural and Forest Meteorology 48:251-261.

GREEN A.E., MCANENEY K.J. and M.S. ASTILL 1990. An instrument for measuring kiwifruit size. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 18:115-120

GUCCI R., MASSAI R., XILOYANNIS C. and J.A. FLORE 1996. The Effect of Drought and Vapour Pressure Deficit on Gas Exchange of Young Kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) Vines. Annals of Botany 77: 605-613

GUCCI R., MASSAI R. and C. XILOYANNIS 1997. Mechanisms of drought avoidance in kiwifruit vines. Acta Horticulturae 444:312-315.

HALL A.J. AND MCPHERSON H.G. 1997. Predicting fruit maturation in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). Journal of Horticultural Science 72: 949-960.

HALL A.J., MCPHERSON H.G., CRAWFORD R.A. and N.G. SEAGER 1996. Using early season measurements to estimate fruit volume at harvest in kiwifruit. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 24:379-391.

HALL A.J., MINCHIN P.E.H. AND SNELGAR W.P. 2002. Using scaled growth curves to make predictions: pitfalls and solutions. Acta Horticulturae 584: 133-139.

HALL A.J., RICHARDSON A.C. AND W.P. SNELGAR 2006. Modelling fruit development in Hayward kiwifruit. Acta Horticulturae 707: 41-47.

HAND J.M., YOUNG E and A.C. VASCONCELOS 1982. Leaf Water Potential, Stomatal Resistance, and Photosynthetic Response to Water Stress in Peach Seedlings. Plant Physiology 69(5):1051-1054

HARMAN J.E. 1981. Kiwifruit Maturity. The Orchardist of New Zealand, vol. May:126-128.

HEINE R.W. 1971. Hydraulic conductivity in trees. Journal of Experimental Botany 22 (72):503-511

HENRY A. 1983. Notes on economic botany of China. Shanghai, Presbyterian Mission Press. 2nd facsimile ed. 1986. Kilkenny, Ireland, Boethius Press

HOCHBERG U., ROCKWELL F.E., HOLBROOK N.M and H. COCHARD 2018. Iso/Anisohydry: A Plant– Environment Interaction Rather Than a Simple Hydraulic Trait. Trends in Plant Science 23(2):112-120

HOLZAPFEL E., MERIO R., MARIÑO M. and R. MATTA 2000. Water production functions in kiwi. Irrigation Science 19:73–79 (2000). <https://doi.org/10.1007/s002710050003>

HOPKIRK G., BEEVER D.J. AND C.M. TRIGGS. 1986. Variation in soluble solids concentration in kiwifruit at harvest. New Zealand Journal of Agricultural Research 29:475-484

HOPKIRK G., WHITE A. and R.J. SEELEY 1994. Dry matter as an indicator of fruit maturity HortResearch Client Report No 94/326.

HOPPING M.E. 1976a. Structure and development of fruit and seeds in Chinese gooseberry (*A. chinensis* Planch). New Zealand Journal of Botany, 14 (1):63-68 DOI: 10.1080/0028825X.1976.10428651

HOPPING M.E. 1976b. Effect of exogenous auxins gibberellins and cytokinins on fruit development in Chinese gooseberry (*A. chinensis* Planch). New Zealand Journal of Botany 14:69-75

HOPPING M.E. 1986. Kiwifruit. In: Monselise S.P. (ed.): CRC Handbook of Fruit Set and Development. pp 217-232. CRC Press, Boca Raton

HOPPING M.E. 1990. Floral biology, pollination and fruit set. in: Kiwifruit science and management. Warrington, I. J. and Weston, G. C. (eds). Auckland, Ray Richards Pp. 71-76.

HOPPING M.E. and HACKING N.J.A. 1983. A comparison of pollen application methods for the artificial pollination of kiwifruit. Acta Horticulturae 139:41-50.

HUANG H., WANG Y., ZHANG Z., JIANG Z. and S. WANG 2004. Actinidia Germplasm Resources and Kiwifruit Industry in China. HortScience 39(6):1165-1172

HUANG S., DING J., DENG D. et al. 2013. Draft genome of the kiwifruit *Actinidia chinensis*. Nature Communications 4, 2640. <https://doi.org/10.1038/ncomms3640>

HUANG Z., HEJAZI M., TANG Q., VERNON C.R., LIU Y., CHEN M. and K. CALVIN 2019. Global agricultural green and blue water consumption under future climate and land use changes. Journal of Hydrology, 574:242–256, doi:10.1016/j.jhydrol.2019.04.046

HUCK M.B and KLEPPER B. 1976. Water relations of cotton. II: Continuous estimates of plant water potential from stem diameter measurements. Agronomy Journal 69:593-597

HUGHES K.A. and GANDAR P.W. 1989. Kiwifruit root systems 2. Root weights, New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 17(2):137-144, DOI: 10.1080/01140671.1989.10428022

INGLESE P. and GULLO G. 1992. Influence of pruning length and bud load on plant fertility, yield and fruit characteristics of “Hayward” kiwifruit. *Acta Horticulturae* 297:451–458

INTRIGLIOLO D. and CASTEL J. 2007. Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. *Irrigation Science*. 26. 49-59. DOI: 10.1007/s00271-007-0071-2.

ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA (ISTAT) 2019. Utilizzo e Qualità della Risorsa Idrica in Italia.

JAEGER S., ROSSITER K.L., WISMER W.V. and F.R. HARKER 2003. Consumer-driven product development in the kiwifruit industry. *Food Quality and Preference Journal* 14:187-198

JAMES VEITCH & SONS, LTD 1904. Novelties offered by James Veitch & Sons Ltd., Royal Exotic Nursery, Chelsea, SW. Chelsea [London]

JONES H.G. 1983. Plants and microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Third Edition. Cambridge University Press. ISBN: 978-0-521-27959-8

JONES H.G. 1990. Plant water relations and implications for irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 278:67-76.

JUDD M.J. and MCANENEY K.J. 1985. Kiwifruit water use. Proceedings of the Ruakura Horticultural Conference: Kiwifruit, Hamilton, New Zealand. Ministry of Agriculture and Fisheries. Pp, 27-31.

JUDD M.J. and MCANENEY K.J. 1987. Economic analysis of kiwifruit irrigation in a humid climate. *Advances in Irrigation* 4:307-330

JUDD M.J., MCANENEY K.J. AND M.C.T. TROUGHT 1986. Water use by sheltered kiwifruit vines under advective conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 29:83-29

JUDD M.J., MCANENEY K.J. and K.S. HAINES 1989. Influence of water stress on kiwifruit growth. *Irrigation Science*

JUMA N.G. 2001. Introduction to soil science and soil resources. The pedosphere and its dynamics: a systems approach to soil science. Salman Productions. ISBN:1896263100

KADER A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae* 485:203-208

KANWAL S., KHAN M.A., SALEEM S., TAHIR M.N., MUNTAHA S.T., SAMREEN T., JAVED S., NAZIR M.Z. and B. SHAHZAD 2022. Integration of Precision Agriculture Techniques for Pest Management. *Environmental Science Processes* 2022, 23, 19. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022023019>

KATERJI N. 1997. Les indicateurs de l'état hydrique de la plante. In: *L'eau dans l'espace rural: Production végétale et qualité de l'eau*. Ch. Riou et al. (eds). Aupelf-UREF/INRA éditions, pp 169-177

KATERRIJ N., MASTRORILLI M. and G. RANA 2006. Analysis and improvement of water use efficiency for crops cultivated in the Mediterranean regions: the state of the art. *Séminaires Méditerranéens* 72:11-46.

KEMPLER C., KABALUK J.T. and P.M.A. TOIVONEN 1992. Effect of environment and harvest date on maturation and ripening of kiwifruit in British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science* 72:863-869

KING M.J. and FERGUSON A.M. 1991. Collection and use of dry pollen for pollination of kiwifruit, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 19(4):385-389

KITAJIMA K., MULKEY S.S. and S. J. WB 1997. Decline of Photosynthetic Capacity with Leaf Age in Relation to Leaf Longevities for Five Tropical Canopy Tree Species. *American Journal of Botany* 84(5): 702–708. 1997.

KLEPPER B. 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiology* 48:683-685

KLEPPER B., BROWNING V.D. and H.M. TAYLOR 1971. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiology* 48:683-685

KNISEL W.G. AND F.M. DAVIS 1999. GLEAMS version 3.0 user manual. Report SEWRL-WGK/FMD-050199, USDA-ARS-SEWRL, Tifton, GA.

KOZLOWSKI T.T. 1967. Diurnal variations in stem diameters of small trees. *Botanical Gazette* 128:60–68.

LAHAV W., KORKIN A. and G. ADAR 1989. Thinning stage influences fruit size and yield of kiwifruit. *HortScience* 24:438–440.

LAI R. 1987. Leaf-fruit relationship in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang et A.R. Ferguson): a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Plant Physiology at Massey University, Palmerston North, New Zealand

LAI R., WOOLEY D.J. and G.S. LAWES 1989a. Effect of leaf to fruit ratio on fruit growth of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Scientia Horticulturae* 39:247-255

LAI R., WOOLEY D.J. and G.S. LAWES 1989b. Fruit growth in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*): Patterns of assimilate distribution between laterals. *Scientia Horticulturae* 40:43-52

LAKSO A.N., CORELLI GRAPPADELLI L., BARNARD J. and M.B. GOFFINET 1995. An expolinear model of the growth pattern of the apple fruit. *Journal of Horticultural Science* 70:389 - 394

LEKSHMI S.U., SINGH D.N. and M.S. BAGHINI 2014. A critical review of soil moisture measurement. *Measurement* 54:92-105

LESCOURRET F. and GENARD M. 2003. A multi-level theory of competition for resources applied to fruit production. *Ecoscience*, 10(3): 334-341.

LEVIN A.D. 2019. Re-evaluating pressure chamber methods of water status determination in field-grown grapevine (*Vitis* spp.). Agricultural Water Management. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.03.026

LI D., XIE X., LIU X., CHENG C., GUO W., ZHONG C. and A. ATAĞ 2022. Effects of Short-Term High Temperature on Gas Exchange in Kiwifruits (*Actinidia* spp.). Biology 11, 1686. <https://doi.org/10.3390/biology11111686>

LIANG C.F. 1975. Classification of *Actinidia chinensis* Planch. [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 13(4):32-35.

LIANG C.F. 1983. On the distribution of *Actinidia*. Guangxi Flora Guihaia 3:229-248.

LIANG C.F. and FERGUSON A.R. 1984. *Actinidia deliciosa*. Guihaia 4(3):181

LIANG C.F. and FERGUSON A.R. 1986. The botanical nomenclature of the kiwifruit and related taxa. New Zealand Journal of Botany 24(1):183-184

LINSLEY-NOKES G.C. and ALLAN P. 1987. Effects of winter temperatures on flower development in two clones of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C.F. Liang et A.R. Ferguson). Scientia Horticulturae 33: 249-260.

LIONAKIS SAM. and SCHWABE W.W. 1984. Bud dormancy in the kiwi, *Actinidia chinensis* Planch. Annals of Botany 54:467–484.

LOLLETTI DANIELE Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Centro di Ricerca Olivicoltura Frutticoltura Agrumicoltura (CREA-OFA), comunicazione personale 16/03/2023

MACRAE E.A., LALLU N., SEARLE A.N. and J. H. BOWEN 1989. Changes in the softening and composition of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) affected by maturity at harvest and postharvest treatments. Journal of the Science of Food and Agriculture (49):413- 430.

MACRAE E., QUICK W.P., BENKER C. and M. STITT 1992. Carbohydrate metabolism during postharvest ripening in kiwifruit. Planta Oct;188(3):314-23. doi: 10.1007/BF00192797.

MANFRINI L., MORANDI B., ZIBORDI M., LOSCIALE P., PIERPAOLI E., BASTÍAS R., TAYLOR J. e L. CORELLI GRAPPADELLI 2011. Melicoltura di precisione: analisi spaziale del carico produttivo in relazione al diradamento dei frutti. Rivista di Frutticoltura e di Ortofrutticoltura 73:38-42

MANFRINI L., PIERPAOLI E., TAYLOR J.A., MORANDI B., LOSCIALE P., ZIBORDI M., CORELLI GRAPPADELLI L. and R. BASTÍAS 2012. Precision fruit growing: how to collect and interpret data on seasonal variation in apple orchards. Acta Horticulturae 932:461-469.

MANSON P.J., SNELGAR W.P. and B.M. STOWELL 1994. Proximity to shelterbelts influences flowering and yield of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). Journal of Horticultural Science 69: 205-212

MARLETTO F. 1978. Funzione dell'ape nell'impollinazione dell'actinidia. Atti Incontro Frutticolo SOI: La Actinidia, Turin 1978: 127-130.

MAROCCHI F. 2012. Diradamento e impollinazione: importanza delle pratiche nel Kiwi. ApoFruit Notizie Anno XXIX no. 2 marzo-aprile

MARSAL J., MATA M., ARBONES A., RUFAT J. and J. GIRONA 2002. Regulated deficit irrigation and rectification of irrigation scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. European Journal of Agronomy 17:111-122

MARSH K.B., ATTANAYAKE S., WALKER S., GUNSON A., BOLDINGH H.L. and E.A. MACRAE 2004. Acidity and taste in kiwifruit. Postharvest Biology & Technology 32 (2):159-168.

MAUGHAN T., DROST D. and ALLE L.N. 2015. Vegetable Irrigation: Sweet Pepper and Tomato <https://www.researchgate.net/publication/308895714>

MAZZAGLIA A., STUDHOLME D.J., TARATUFOLO M.C., CAI R., ALMEIDA N.F., GOODMAN T. et al. 2012. *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* (PSA) Isolates from Recent Bacterial Canker of Kiwifruit Outbreaks Belong to the Same Genetic Lineage. PLoS ONE 7(5): e36518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036518>

MCANENEY K.J and JUDD M.J 1983. Observations on kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) root exploration, root pressure, hydraulic pressure, hydraulic conductivity and water uptake. New Zealand Journal of Agricultural Research 26:507-510

MCANENEY K.J., RICHARDSON A.C. and A.E. GREEN 1989. Kiwifruit fruit size distributions. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 17(3):297-299, DOI: 10.1080/01140671.1989.10428047

MCANENEY K.J., PRENDERGAST P.T. and M.S. ASTILL. 1991. Irrigation management for optimum kiwifruit size. Acta Horticulturae 297: 269-275.

MEKHALFI M.L, NICOLÒ C., IANNIELLO I., CALAMITA F., GOLLE R., BARAZZUOL M. and F. MELGANI 2020. Vision System for Automatic On-Tree Kiwifruit Counting and Yield Estimation. Sensors 2020, 20, 4214. <https://doi.org/10.3390/s20154214>

MERLO A.M. 2023. Una vecchia agronomia come possibile soluzione della moria del kiwi. Convegno nazionale kiwitaly-actinidicoltura nel contesto del cambiamento climatico e moria del kiwi. Campoverde 25 aprile

MESIRCA D. 1973. L' *Actinidia chinensis* alla ribalta frutticola: come, dove e quando coltivare la pianta della salute. Informatore Agrario 29(37):13583-13587

MILLER S.A., SMITH G.S., BOLDINGH H.L. and A. JOHANSSON 1998. Effects of water stress on fruit quality attributes of kiwifruit. Annals of Botany (Lond.) 81:73-81.

MILLER S.A., BROOM F.D., THORP T.G. and A.M. BARNET 2001. Effect of leader pruning on vine architecture, productivity and fruit quality in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward). Scientia Horticulturae 91:189-199.

MILLS T.M., LI J. and BEHBOUDIAN M.H. 2009. Physiological responses of 'Gold' kiwifruit (*Actinidia chinensis*) to reduced irrigation. Journal of the American Society of Horticultural Science 134(6):677-683

MILLS T.M., BEHBOUDIAN M.H. and B.E. CLOTHIER 1996. Water relations, growth, and the composition of ‘Braeburn’ apple fruit under deficit irrigation. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 121:286–291

MINCHIN, P.E.H., SNELGAR W.P., BLATTMANN P. and A.J. HALL 2010. Competition between fruit and vegetative growth in Hayward kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 38-2:101-112.

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI. 1999. Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi chimica del terreno” *Gazzetta Ufficiale (GU) della Repubblica Italiana* n. 185

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI 2004. IGP “Kiwi Latina 2004”. Iscrizione della denominazione «Kiwi Latina» nel registro delle denominazioni di origine protette e delle indicazioni geografiche protette. *GU Serie Generale* n. 223 del 22-09-2004.

MOLZ F.J. and KLEPPER B. 1972. Radial propagation of water potential in stems. *Agronomy Journal* 64:469-473.

MOLZ F.J. and KLEPPER B. 1973. On the mechanisms of water-stress-induced stem deformation. *Agronomy Journal* 65:304-306

MONASTRA F., CHIARIOTTI A., COLORIO G. e G. PROIETTI 1997. Comparison of three irrigation systems of pergola-trained kiwifruit orchards. *Acta Horticulturae* 444 (1): 335-342

MORANDI B., MANFRINI L., ZIBORDI M., NOFERINI M., FIORI G. and L.C. GRAPPADELLI 2007a. A low-cost device for accurate and continuous measurements of fruit diameter. *HortScience* 42:1380–1382.

MORANDI B., LOSCIALE P., MANFRINI L., STUDHALTER L. e L. CORELLI GRAPPADELLI 2007b. La crescita del kiwi durante il suo stadio finale. *Italus Hortus* 14:83 – 83

MORANDI B., MANFRINI L., ZIBORDI M., LOSCIALE P. and L. CORELLI GRAPPADELLI 2011. Effects of Drought Stress on the Growth, Water Relations and Vascular Flows of Young ‘Summerkiwi’ Fruit. *Acta Horticulturae* 922:355-359

MORENO F., FERNÁNDEZ J.E., CLOTHIER B.E. and S.R. GREEN 2006. Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant Soil* 184:85-96

MORGAN D.C. 1988. The architecture and radiation regime of a kiwifruit stand. MSc Thesis, Massey University, Palmerston North

MORGAN D.C., STANLEY C.J. and I.J. WARRINGTON 1985a. The effects of simulated daylight and shade-light on vegetative and reproductive growth in kiwifruit and grapevine. *Journal of Horticultural Science* 60:473-484

MORGAN D.C., WARRINGTON I.J. and E.A. HALLIGAN 1985b. Effect of temperature and photosynthetic photon flux density on vegetative growth of kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 28:1, 109-116, DOI: 10.1080/00288233.1985.10427003

MORLEY-BUNKER M.J. and SALINGER M.J. 1987. Kiwifruit development the effect of temperature on budburst and flowering. *Weather and Climate* 7:26-31

NAOR A. and COHEN S. 2003. Sensibility and Variability of Maximum Trunk Shrinkage, Midday Stem Water Potential and Transpiration rate, in response to withholding irrigation from field-grown apple trees. *HortScience* (38) 4:547-551

NAZIR N., NISAR S., KHALIL A., BANDAY S., MAJID S., BHAT S.A., MUBARAK S., WANI T.F. and S. ASHRAF 2020. Effect of Crop Load Manipulation by Thinning and Summer Pruning on Yield and Physical Parameters in Kiwi Fruit (*Actinidia deliciosa* Chev.) cv. Hayward. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Special Issue n.11: 2522-2531

NEW ZEALAND KIWIFRUIT GROWERS 2017. Taste Zespri Grade. Fact Sheet n. 3

NEW ZEALAND KIWIFRUIT GROWERS 2019. The kiwi fruit book 2019. <https://www.nzkgi.org.nz/the-kiwifruit-book-2019/>

NEW ZEALAND KIWIFRUIT GROWERS 2021. Kiwi fruit book. Chapter 5.

NOWSHEEN N., SHEMOO N., AROOSA K., SHAFAT B., SHABEENA M., SHAHZAD A.B, SHAZIA M., TAJAMUL F.W. and A. SHAHIDA. 2020. Effect of Crop Load Manipulation by Thinning and Summer Pruning on Yield and Physical Parameters in Kiwi Fruit (*Actinidia deliciosa* Chev.) cv. Hayward. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Special Issue 11:2522-2531

NUZZO V., LAIN O. and C. GIULIVO 1987. Techniques and experimental approaches in water relations studies in kiwi. *International Symposium on Kiwi*. Abstracts, p. 64. Edizioni Libreria Progetti, Padova

OKUSE I. and RYUGO K. 1981. Compositional changes in the developing of Hayward kiwifruit in California. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 106:73-76.

OLESEN J.E. and BINDI M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16 (4):239-262

ORTUÑO M.F., BRITO J.J., GARCÍA-ORELLANA Y., CONEJERO W. and A. TORRECILLAS 2009. Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential reference equations for irrigation scheduling of lemon trees. *Irrigation Science*, 27:121-127

ORTUÑO M.F., CONEJERO W., MORENO F., MORIANA A., INTRIGLIOLO D.S., BIEL C., MELLISHO C.D., PEREZ-PASTOR A., DOMINGO R., RUIZ-SANCHEZ M.C., CASADESUS J., BONANY J. and A. TORRECILLAS 2010. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agricultural Water Management* 97:1–11

PADULAZZI R., VONA R. e G. TACCONI 2017. Impostazione e gestione di un impianto di fertirrigazione a goccia. *Kiwi Informa Anno 13- n° 1-3 e 4-6*.

PAGÁN E., PÉREZ-PASTOR A., DOMINGO R., NORTES P.A. y G. EGEA 2007. Programación del riego deficitario en almendro con dendrómetros. Optimización del uso del agua. XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona (España). Pp. 83-84

PAGÁN E., PÉREZ-PASTOR A., DOMINGO R., CONESA M.R., ROBLES J.M., BOTÍA P., GARCÍA OLLER I. and M. CARO 2008. Feasibility study of the maximum daily trunk shrinkage for scheduling mandarin trees irrigation. *Italian Journal of Agronomy* 3:691–692

PALMER-JONES T. and CLINCH P.G. 1974. Observations on the pollination of Chinese gooseberries variety Hayward. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 2:455-458.

PALMER-JONES T. and CLINCH P. G. 1975. Honeybees essential for kiwifruit pollination. *The Orchardist of New Zealand* 48:347

PESCIE M.A. and STRIK B.C. 2004. Thinning before Bloom Affects Fruit Size and Yield of Hardy Kiwifruit. *HortScience* 39(6):1243-1245

PHOCAIDES A. 2000. Technical handbook on pressurized irrigation techniques. <https://www.fao.org/3/a1336e/a1336e.pdf>

PIERCE F.J., ROBERT P.C. and G. MANGOLD 1994. Site-specific management: The pros, the cons, and the realities. *Proceedings of the International Crop Management Conference*, Iowa State University. Pp. 17-21. Iowa State University Press.

PIERCE F.J. and SADLER E.J. 1997. The State of Site-Specific Management for Agriculture. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

PLANCHON J.E. 1847. Sur la nouvelle famille des Cochlospermées. *London Journal of Botany* 6:294-311.

PRATT H.K. and REID M.S. 1974. Chinese gooseberry: seasonal patterns in fruit growth and maturation, ripening, respiration and the role of ethylene. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 25:747–757.

PRENDERGAST P., MCANENEY K., ASTILL M.S., WILSON A.D. and R.F. BARBER 1987. Water extraction and fruit expansion by kiwifruit. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 15:345-350.

PYKE N.B. and ALSPACH P.A. 1986. Inter-relationship of fruit weight, seed number and seed weight in kiwifruit. *New Zealand Journal of Agricultural Science* 20:153-156.

QUARTIERI M., TOSELLI M., BALDI E., POLIDORI G., GERMANI M.A., NOFERINI M. and E. XILOYANNIS 2022. Effect of the method and volume of irrigation on yield and fruit quality of yellow fleshed kiwifruit in northern Italy. *Acta Hortic.* 1332. DOI 10.17660/ActaHortic.2022.1332.28

RASHEED M.W., TANG J., SARWAR A., SHAH S., SADDIQUE N., KHAN M.U., KHAN M. I., NAWAZ S, SHAMSHIRI R.R., AZIZ M. AND M. SULTAN 2022. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: A comprehensive review. *Sustainability* 14, 11538.

<https://doi.org/10.3390/su141811538>

REID M.S., HEATHERBELL D.A. and H.K. PRATT 1982. Seasonal patterns in chemical composition of the fruit of *Actinidia chinensis*. Journal of the American Society of Horticultural Science 107:316-319.

REID J.B., TATE K.G. AND N.S. BROWN 1991. Effects of flooding and alluvium deposition on kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 19, 247–257.

REY M., FERRADÁS Y., MARTÍNEZ Ó. and M.V. GONZÁLEZ 2020. *Actinidia* spp. Kiwifruit. In: Biotechnology of Fruit and Nut Crops, 2nd Edition. CAB International 2020. Eds: R.E. Litz, F. Pliego-Alfaro and J.I. Hormaza.

RICHARDSON A.C. and MCANENEY K. 1990. Influence of fruit number and fruit weight and yield of kiwifruit. Scientia Horticulturae 42:233-241.

RICHARDSON E.A., SEELEY S.D. and D.R. WALKER 1974. A model for estimating the completion of rest for ‘Redhaven’ and ‘Elberta’ peach trees. HortScience 9:331-332.

RICHARDSON A.C., MCANENEY K. J. and TEE. DAWSON 1997. Carbohydrate dynamics in kiwifruit. Journal of Horticultural Sciences 72: 907-917.

RICHARDSON A.C., BOLDINGH H.L., MCATEE P.A., GUNASEELAN K., LUO Z., ATKINSON R.G., DAVID K.M., BURDON J.N. and R.J. SCHAFFER 2011. Fruit development of the diploid kiwifruit, *Actinidia chinensis* ‘Hort16A’. BMC Plant Biology 11:182 <http://www.biomedcentral.com/1471-2229/11/182>

RICIPIUTI, C. 2022. Ottimismo sui prezzi per chi ha calibri elevati *FreshPlaza.it* <https://www.freshplaza.it/article/9472854/ottimismo-sui-prezzi-per-chi-ha-calibri-elevati/> (ultimo accesso 18/06/2023)

RIGO G. 2023. Moria del kiwi, esperienze nel Nord Italia. Convegno nazionale alle Grugnone 2022 “L’Actinidicoltura italiana: quale futuro in un contesto del cambiamento climatico, dei costi di produzioni elevati e della moria del kiwi?” KiwiInforma Anno 18°- no. 10-12/22 e Anno 19° n° 1.3/2023

RITCHIE J.T. and S. OTTER 1985. Description and performance of CERES-Wheat: A user-oriented wheat yield model. In: W.O. Willis (ed.). ARS Wheat Yield Project. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service. ARS-38. Washington, DC., pp. 159-175.

ROBERT P., RUST R. and W. LARSON 1994. Site-specific Management for Agricultural Systems. Proceedings of the 2nd International Conference on Precision Agriculture, 1994, Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

SAKAKI T., LIMSUWAT A., SMITS K.M. and T.H. ILLANGASEKARE 2008. Empirical two-point a-mixing model for calibrating the ECH2O EC-5 soil moisture sensor in sands. Water Resources Research 44(4). DOI: 10.1029/2008WR006870

SALINGER, M.J. and MORLEY-BUNKER, M.J. 1988. The effect of climate on kiwifruit flowering and maturity. New Zealand kiwifruit special publication 2, 46-47.

SAMPLE D.J., OWEN J.S. and S. BARLOW 2016. Understanding soil moisture sensor: a fact sheet for irrigation professionals in Virginia. Virginia State University, Virginia Cooperative Extension, Publication BSE-198P

SALE P.R. 1981. Kiwifruit Management Techniques. Nutrition, Irrigation and Soil Management. Media Services, Ministry of Agriculture, Aglink.

SAVÈ R and SERRANO L. 1986. Some physiological and growth responses of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) to flooding. *Physiologia Plantarum* 66:75-78

SCARASCIA MUGNOZZA G.T. 2001. Dossier CNR Agricoltura Sostenibile: “La sostenibilità è una sfida globale”

SCOTT K.J., SPRAGGON S.A. and R.L. MCBRIDE. 1986. Two new maturity tests for kiwifruit. *CSIRO Food Research Quarterly*, Australia, 46:25-31.

SHACKEL K. 2023. The Pressure Chamber, a.k.a. "The Bomb" by Ken Shackel. Available on the UC Fruit and Nut Research and Information Center web page (<http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/crops/pressure-chamber.shtml>)

SILVA R. and FERREIRA M.I. 2014. A new microdendrometric index to quantify water status in kiwifruit. *Acta Horticulturae* 1038:43-50.

SMITH G.S., GREEN T.G.A. and J.G. BUWALDA 1988. Too few roots-too much water. New Zealand Kiwifruit Special Publication 2:15-18. New Zealand Kiwifruit Authority, Auckland.

SMITH G.S., JUDD M.J., MILLER S.A. and J.G. BUWALDA 1990. Recovery of kiwifruit vines from transient waterlogging of the root system. *New Phytologist* 115 (2), 325–333 <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00459.x>. PubMed

SMITH G.S., GRAVETT I., EDWARDS C., CURTIS J.P. and J.G. BUWALDA 1994. Spatial Analysis of the Canopy of Kiwifruit Vines as it relates to the Physical, Chemical and Postharvest Attributes of the Fruit. *Annals of Botany* 73:99-111.

SNELGAR W.P. and HOPKIRK G. 1988. Effect of overhead shading on yield and fruit quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Journal of Horticultural Sciences* 63(4):731-742

SNELGAR W.P. and THORP T.G. 1988. Leaf area, final fruit weight and productivity in kiwifruit. *Scientia Horticulturae* 36: 241-249

SNELGAR W.P., THORPE T.G. and K.J. PATTERSON 1986. Optimal leaf:fruit ratios for fruit growth in kiwifruit. *Acta Horticulturae* 175:115-120.

SNELGAR W.P., MANSON P.J. and G. HOPKIRK. 1991. Effect of overhead shading on fruit size and yield potential of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Journal of Horticultural Science* 66: 261–273

SNELGAR W. P., MANSON P. J. and P.J. MARTIN 1992. Influence of time of shading on flowering and yield of kiwifruit vines. *Journal of Horticultural Sciences* 57:481-487.

SNELGAR W.P., HALL A.J., FERGUSON A.R. and P. BLATTMANN 2005. Temperature influences growth and maturation of fruit on Hayward kiwifruit vines. *Functional Plant Biology* 32(7): pp. 631-642.

SNOWBALL A.M. and WALTON E.F. 1992. Flowering in kiwifruit. *New Zealand Kiwifruit. Special Publication No. 4*:25-28.

SORRENTI G., TOSELLI M., REGGIDORI G., SPINELLI F., TOSI L., GIACOPINI A. e G. TACCONI, 2016. Implicazioni della gestione idrica nella “moria del kiwi” del veronese. *Frutticoltura* 3:

SOULIS K.X. and ELMALOGLOU S. 2016. Optimum Soil Water Content Sensors Placement in Drip Irrigation Scheduling Systems: Concept of Time Stable Representative Positions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142 (11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001093](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001093)

SOULIS K.X., ELMALOGLOU S. and N. DERCAS 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based on drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management* 148:258-268

SOYEZ J.L. 1968. Une nouvelle spéculation arboricole: le yang-tao (*Actinidia chinensis* Pl.). *L'Arboriculture Fruitière* 178:17-28.

SPORTELLI G.F. 2022. Kiwi, l'andamento della coltura negli ultimi 20 anni <https://terraevita.edagricole.it/frutticoltura-orticoltura/kiwi-landamento-della-coltura-in-italia-negli-ultimi-20-anni/>

STAFFILANI F. e TAROCCO P. 2017. Campionamento della rete di monitoraggio dei suoli. *Manuali tecnici del servizio geologico sismico e dei suoli. Regione Emilia-Romagna.*

STAFFORD J.V. 1996. Essential technology for precision agriculture. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): *Precision Agriculture. Proceedings of the third International Conference on Precision Agriculture*, pp. 595–604. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.

STRICKLAND R.M, ESS D.R. and S.D. PARSONS 1999. Precision Farming and Precision Pest Management: The Power of New Crop Production Technologies. *Journal of Nematology* 30:431-435.

TACCONI G., CACIOPPO O. e G. VITTONI 2013. Determinazione dello stadio florale ottimale in relazione alla tipologia di impollinazione in actinidia. *Kiwi Informa* 1-3

TACCONI G., TOSI L., GIACOPINI A., BERTACCINI A., MAZZUCCHI U., FAVARON F. et al. 2015. Vine decline in kiwifruit: climate change and effect on waterlogging and *Phytophthora* in North Italy. *Acta Hort.* 1096, 93–97 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1096.7>.

TACCONI G., MICHELOTTI V., CACIOPPO O. and G. VITTONI 2016. Kiwifruit pollination: the interaction between pollen quality, pollination systems and flowering stage. *Journal of Berry Research* 6:417-426 DOI:10.3233/JBR-160138 IOS Press 417

TACCONI G., GIACOPINI A., VITTONI G., NARI L., SPADARO D., SAVIAN F., ERMACORA P., SARO S., MORONE C., BARDI L. and L. TOSI. 2019a. Il punto sulla moria del kiwi a 8 anni dalla sua comparsa. *L'Informatore Agrario* 21:34-36.

TACCONI G., GIACOPINI A., VITTONI G., NAN L., SPADARO D., SAVIAN F., ERMACORA P., SARO S., MORONE C., BARDI L. e L. TOSI 2019b. “Moria del kiwi”: Situazione disastrosa al Nord, preoccupante nel resto d'Italia. *KiwiInforma Anno 14 n. 4-6*:21-23

TAGLIAVINI M., TOSELLI M., MARANGONI B., STAMPI G. and F. PELLICONI. 1995. Nutritional status of kiwifruit affects yield and fruit storage. *Acta Horticulturae* 383: 227-237.

TAYLOR J.A., PRAAT J.P. and A.F. BOLLEN 2007. Spatial variability of kiwifruit quality in orchards and its implications for sampling and mapping. *Journal of Horticultural Sciences* 42:246-250

TESTOLIN R. 1990. Kiwifruit Yield Efficiency, Plant Density, and Bud number per surface unit. *Journal of the American Society of Horticultural Sciences* 115(5):704-707.

TESTOLIN R. 1991. Male density and arrangement in kiwifruit orchards. *Scientia Horticulturae* 48:41-50.

TESTOLIN R. 2014. Voglia di cambiare: il kiwi verso un nuovo panorama varietale. *Frutticoltura* 1-2:8-10

TESTOLIN, R. e VIZZOTTO G. 1992. La progettazione dell'impianto di actinidia. *Atti Giornate Scientifiche SOI, Ravello*, pag 300-301

TESTOLIN R. and FERGUSON A.R. 2009. Kiwifruit production and marketing in Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 37:1-32

TESTOLIN R., VIZZOTO G. and G. COSTA 1991. Kiwifruit pollination by wind and insects in Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 19:381-384.

THAKUR A. and CHANDEL J.S. 2004. Effect of Thinning on Fruit Yield, Size and Quality of Kiwifruit cv. Allison. *Acta Horticulturae* 662:359-364

TIWARI K.N. 2007. Breaking yield barriers and stagnation through site-specific nutrient management. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 55:444-454

TOMBESI A., ANTOGNOZZI E. and A. PALLIOTTI 1993b. Influence of assimilate availability on translocation and sink strength in kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 21:177-182.

TOMBESI A., ANTOGNOZZI E. and A. PALLIOTTI 1994. Optimum leaf area index in T-bar trained kiwifruit vines. *Journal of Horticultural Science* 69:339-350.

TORRES RUIZ J.M., PERULLI, G.D., MANFRINI L., ZIBORDI M., LOPEZ VELASCOO G.; ANCONELLI S., PIERPAOLI E, CORELLI GRAPPADELLI L AND 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* 166:101-110

TOSI L. e TACCONI G. 2019. Esperienze sulla moria del kiwi. Giornata S.O.I., Gruppo di lavoro actinidia 2019. “L’actinidia al tempo del cambiamento climatico” Latina 19 marzo.

TOSI L., TACCONI G. e A. GIACOPINI 2015. La moria del kiwi, situazione e prospettive. *L’Informatore Agrario* 44:67

TROUGHT M.C.T. 1985. Scheme requirements for apple, kiwifruit, and cherry crops: The effect of soil type and irrigation system. *New Zealand Society of Soil Science. Proceedings of Soil Dynamics and Land Use Seminar*:180-200

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) 2018. Soil survey manual. Handbook n°18 <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-survey-manual>

VAN OOSTROM A.J. 1985. Kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch.) water use characteristics, and physiological responses to the presence and absence of irrigation in an Ohinepanea loamy sand. Unpublished MSc thesis, University of Waikato, New Zealand.

VALENZUELA L. and GODOY P. 1990. La raiz del kiwi: actividad, interacción con el resto de la planta y participación en la producción. *Revista de Fruticultura* 11: 71-80

VASILAKAKIS M.K., PAPADOPOULOS K. and E. PAPAGEORGIOU 1997. Factors affecting the fruit size of Hayward kiwifruit. *Acta Horticulturae* 444:419-424.

VISCARRA ROSSEL R.A., ADAMCHUK V.I., SUDDUTH K.A, MCKENZIE N.J. AND C. LOBSE 2011. Proximal Soil Sensing: An Effective Approach for Soil Measurements in Space and Time. *Advances in Agronomy* 113:237-282

VITAGLIANO C., TESTOLIN R. e J. YOUSSEF 1983. Osservazioni su alcuni fattori influenzanti la rizogenesi di talee legnose e semilegnose di actinidia (*Actinidia chinensis* Pl.). *Proceedings National Meeting, II Incontro frutticolo sull’actinidia. Orticola Italiana, Udine, 12-13 October. Pp.* 611-637.

VIZZOTTO G., BOMBEN C. E G. COSTA 1996. Controllo chimico del germogliamento in *Actinidia deliciosa*. *Convegno Nazionale ‘La coltura dell’actinidia’* pag 235 -241

WALL C., DOZIER W., EBEL R.C., WILKINS B., WOODS F. and W. FOSHEE 2008. Vegetative and floral chilling requirements of four new kiwi cultivars of *Actinidia chinensis* and *A. deliciosa*. *HortScience* 43:644-647.

WALTON E.F. and DE JONG T.M. 1990. Growth and compositional changes in kiwifruit berries from three Californian locations. *Annals of Botany* 66 (3):285-298.

WANG T. and A.P. GLEAVE 2012. Applications of Biotechnology in Kiwifruit (*Actinidia*). In: *Agbo Ec* (ed.). *Innovations in Biotechnology*. DOI: 10.5772/2450.

WATT D. 1999. Segregation technologies and their application. Rotorua, New Zealand.

WOODWARD, T.J. 2006. Variation in Hayward kiwifruit quality characteristics. PhD Thesis. University of Waikato, New Zealand.

XILOYANNIS C. e MONTANARO G. 2004. Irrigazione e concimazione dell'actinidia <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29031/5XiloyannisCILE..pdf?sequence=1>

XILOYANNIS C., NUZZO V., DICHIO B. and G. CELANO 1996. Esigenze idriche e nutrizionali dell'actinidia. Atti Convegno Nazionale: La coltura dell'actinidia. Faenza, 10-12 ottobre.

XILOYANNIS C., MASSAI R. and B. DICHIO 2005. L'acqua e la tecnica dell'irrigazione. In: C. Fideghelli C. e Sansavini S. (eds.) Il pesco. Edagricole, Bologna. Pp. 145-171.

XILOYANNIS C., MONTANARO G. and B. DICHIO 2012a. Irrigation in Mediterranean Fruit Tree Orchards. Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments 15:321-342

XILOYANNIS C., MONTANARO G. and B. DICHIO 2012b. Kiwifruit. In: Crop Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper n. 66, P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, and D. Raes, eds. (Rome, Italy: FAO), p. 488-497

YOUSSEF J. e BERGAMINI A. 1979. L'actinidia (kiwi-yang tao) e la sua coltivazione. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura 41(7-8):13-67

ZHANG Y., CHEN Q. and H. TANG 2018. Variation on Photosynthetic Performance in Kiwifruit Seedling During Drought Stress and Rewatering. Advances in Biological Sciences Research (5):56-59.

ZHANG H., ZHAO Q., LAN T., GENG T., GAO C., YUAN Q., ZHANG Q., XU P., SUN X., LIU X. and T. MA 2020. Comparative Analysis of Physicochemical Characteristics, Nutritional and Functional Components and Antioxidant Capacity of Fifteen Kiwifruit (*Actinidia*) Foods 10(9):1267.

ZHAO T., LI D., LI L., HAN F., LIU X., ZHANG P., CHEN M. and C. ZHONG 2017. The Differentiation of Chilling Requirements of Kiwifruit Cultivars Related to Ploidy Variation. HortScience 52(12):1676-1679

ZUCCHERELLI G. 1974. Prova di coltivazione dell'*Actinidia chinensis*. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura 36(9):21-25.

ZUCCHERELLI G. 1977. Il problema varietale dell'*Actinidia chinensis*. Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura 39(1):3-7.

ZUCCHERELLI G. e ZUCCHERELLI G. 1981. L'actinidia: pianta da frutto e da giardino. Bologna, Edagricole.

2. Sitografia

AGRICOLUS <https://www.agricolus.com/>

AGRONOTIZIE Frutticoltura di precisione: più produzione e redditività con PerFrutto
<https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agronomia/2016/11/17/frutticoltura-di-precisione-piu-produzione-e-redditivita-con-perfrutto/51892>

CODEX ALIMENTARIUS (Standard for Kiwifruit CXS 338-2020): https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B338-2020%252FCXS_338e.pdf

COMMUNITY PLANT VARIETY OFFICE (CPVO): Variety Register
<https://online.plantvarieties.eu/publicConsultationDocuments?registerId=20100375&speciesIds=ACT05>

CONFAGRICOLTURA 2020. Moria del kiwi. Confagricoltura chiede sinergie per sconfiggere la misteriosa malattia. <https://www.confagricoltura.it/ita/area-stampa/comunicati/mor%C3%ACa-del-kiwi.-confagricoltura-chiede-sinergie-per-sconfiggere-la-misteriosa-malattia#:~:text=Confagricoltura%20chiede%20sinergie%20per%20sconfiggere%20la%20misteriosa%20malattia,-14%20settembre%202020&text=Le%20piante%20di%20actinidia%20muoiono,apparato%20radicale%20per%20motivi%20sconosciuti.>

DISCIPLINARE DELL'INDICAZIONE GEOGRAFICA PROTETTA KIWI LATINA. Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali 2004 e ss.mm. del 27 febbraio 2018. Gazzetta Ufficiale (GU) Serie Generale n. 63 del 17/03/2018 (https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2018-03-16&atto.codiceRedazionale=18A01804&elenco30giorni=true)

DISCIPLINARE REGIONE PIEMONTE 2023 PRODUZIONE INTEGRATA
<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/agricoltura/servizi-fitosanitari-pan/disciplinari-produzione-integrata-2023#>

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) 2014. Uso dell'acqua in Europa - Quantità e qualità esposte a grandi sfide
<https://www.eea.europa.eu/downloads/fcb237c3b24646758866f8e02d68d506/1620729315/uso-dell2019acqua-in-europa-2014.pdf>

FAO STATISTICAL DATABASES (FAOSTAT): <https://www.fao.org/faostat/en>

IRRINET Regione Emilia-Romagna https://www.irriframe.it/irriframe/home/index_er

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. REPORTS (2023)
<https://www.ipcc.ch/reports/>

INTERNATIONAL SOCIETY ON PRECISION AGRICULTURE (ISPA). <https://www.ispag.org/>

ISMEA-IAMB 2009. Cambiamenti climatici e risorse idriche nella regione mediterranea <https://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/D.825b34c712e040d00b3c/P/BLOB%3AID%3D4610/E/pdf?mode=inline>

ISMEA, M. SCHIANO 2023. Frutta Fresca https://www.ismeamercati.it/flex/files/1/3/5/D.65a34fd318728ea0d90e/2023_02_02_SchedaFrutta.pdf

ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA (ISTAT) <http://dati.istat.it/Index.aspx>

KIWI FRUIT TECH TIP. 2023. Traveyan's growing a better future. <https://trevelyan.co.nz/kiwifruit-techtip-week-15/>

KIWIFRUIT BOOK 2018. New Zealand Kiwifruit Growers <https://www.nzkgi.org.nz/wp-content/uploads/2018/12/2018-Kiwifruit-Book.pdf>.

KIWIPOLLEN NEW ZEALAND 2023. Helping growers achieve their ultimate pollination. <https://www.kiwipollen.com/>

OECD. Guideline on objective test to determine quality of fruit and vegetables, dry and dried produce. 2018. OECD fruit and vegetables scheme. <https://www.oecd.org/agriculture/fruit-vegetables/>

REGOLAMENTO (CE) N. 1673/2004 DELLA COMMISSIONE DEL 24 SETTEMBRE 2004 che stabilisce la norma di commercializzazione applicabile ai kiwi <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:300:0005:0010:IT:PDF> (ultimo accesso 18/06/2023)

REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) N. 543/2011 DELLA COMMISSIONE DEL 7 GIUGNO 2011 recante modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 1234/2007 nei settori degli ortofrutticoli freschi e degli ortofrutticoli trasformati <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:157:0001:0163:IT:PDF>

REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) N. 594/2013 DELLA COMMISSIONE DEL 21 GIUGNO 2013 che modifica il regolamento di esecuzione (UE) n. 543/2011 per quanto riguarda le norme di commercializzazione nel settore ortofrutticolo e rettifica lo stesso regolamento <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0594>

SIARL Lazio <https://www.siarl-lazio.it/>

STAMPA ITALIANA <https://www.stampaitaliana.online/made-in-italy/kiwi-loro-verde-che-cresce-a-latina-e-nel-basso-lazio/>

TASTE ZESPRI GRADE (TZG) 2017. New Zealand Kiwifruit Growers Fact Sheet n° 3 May https://www.nzkgi.org.nz/wp-content/uploads/2017/05/NZKGI-Factsheet_FS-3-TZG.pdf

TUPU.NZ 2021. Land use fact sheet: kiwifruit <https://www.tupu.nz/en/fact-sheets/kiwifruit>

UNECE STANDARD FFV-46 CONCERNING THE MARKETING AND COMMERCIAL QUALITY CONTROL OF KIWIFRUIT. 2017 EDITION.

https://unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/standard/fresh/FFV-Std/English/46_Kiwifruit.pdf

UNIVERSITAT DE LLEIDA, RESEARCH GROUP ON AGROICT & PRECISION AGRICULTURE (GRAP).

<https://www.grap.udl.cat/en/presentacio/que-fem/definicions-agricultura-de-precisio/>

ZESPRI-FIVE-YEAR-OUTLOOK-2023.

<https://www.zespri.com/en-NZ/publications/5-year-outlook>

ZESPRY GROUP LIMITED, 2023.

ZGS Performance <https://zespriproducervote.zespri.com/zgs-performance>

ZESPRY GOLD SUPPLY PERFORMANCE 2023. Zespri Gold Limited.
<https://zespriproducervote.zespri.com/zgs-performanceS Overview>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio sinceramente il Prof. Rosario Muleo per il prezioso sostegno scientifico e la sua costante disponibilità come tutor che hanno reso possibile lo svolgimento e la positiva conclusione del dottorato.

Ringrazio inoltre il Dr. Paolo Martella che ha messo a disposizione gli impianti di actinidia dell'azienda Martella Società Agricola e il relativo personale tecnico, che hanno consentito la realizzazione del programma di ricerca.

Ringrazio infine il Servizio Agrometeorologico della Regione Lazio (SIARL) per aver messo a disposizione con tempestività i dati meteorologici relativi al territorio delle attività di ricerca.