



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti
Risorse naturali e Ambiente - DAFNAE

LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE E
TECNOLOGIE ALIMENTARI

Sviluppo di modelli predittivi per migliorare la qualità
alla raccolta del kiwi Dorì (varietà AC1536)

Relatore

Prof. Alessandro Botton

Laureando

NICOLA CATTÀ

Matricola n.

1242397

ANNO ACCADEMICO 2022-23

Sommario

RIASSUNTO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUZIONE	11
1.1 Il kiwi	11
1.2 La qualità del kiwi	13
1.3 Principali fattori che determinano le rese e la qualità del kiwi alla raccolta	19
1.3.1 Sistema di allevamento e densità d'impianto	19
1.3.2 Potatura	20
1.3.3 Impollinazione	22
1.3.4 Fornitura idrica	25
1.3.5 Diradamento.....	28
1.3.6 Temperatura.....	28
1.3.7 Radiazione luminosa.....	30
1.4 Il mercato mondiale del kiwi.....	31
1.5 Il settore del kiwi in Italia: evoluzione dei mercati e nella scelta delle cultivar	32
1.6 Modelli previsionali: approcci e principali applicazioni in ambito agricolo	37
1.7 Modelli previsionali: casi studio sul kiwi e altre colture ortofrutticole	39
1.7.1 Previsioni delle rese dei prodotti ortofrutticoli alla raccolta.....	40
1.7.2 Previsioni dell'epoca di raccolta dei prodotti ortofrutticoli	42
1.7.3 Previsioni della qualità dei prodotti ortofrutticoli alla raccolta	44
2 SCOPO DELLA TESI.....	49
3 MATERIALI E METODI.....	51
3.1 Protocollo di raccolta dati.....	51
3.2 Raccolta dei dati climatici	52
3.3 Modellizzazione dei dati	53
3.3.1 Dati di crescita	54
3.3.2 Rilievi qualitativi in prossimità della raccolta	54

4	RISULTATI E DISCUSSIONE.....	55
4.1	Realizzazione delle curve di accrescimento dei frutti.....	55
4.2	Previsione della data di raccolta.....	58
4.3	Previsione del peso medio dei frutti alla raccolta.....	62
4.4	Previsione della qualità alla raccolta.....	65
4.4.1	Analisi in forma aggregata per anno.....	66
4.4.2	Analisi separate per regione.....	69
5	CONCLUSIONI.....	77
6	PROSPETTIVE FUTURE.....	83
7	BIBLIOGRAFIA.....	85
7.1	Sitografia consultata.....	89
8	APPENDICE.....	91
8.1	Script per il fitting delle curve a doppia sigmoide.....	91
8.2	Script per produrre le matrici con gli indici di correlazione.....	92
8.3	Script per la regressione lineare a singolo predittore.....	93
8.4	Script per la regressione lineare multipla.....	95

RIASSUNTO

Lo scopo di questo elaborato è quello di proporre dei modelli previsionali per predire l'epoca di raccolta, le rese e la qualità del kiwi Dorì (varietà AC1536). I modelli previsionali in ambito agricolo possono essere utili poiché costituiscono un sistema di supporto decisionale per assistere i coltivatori e, più in generale, i vari attori coinvolti nelle filiere frutticole, nelle scelte riguardanti la gestione del pre e post-raccolta. Il presente elaborato mostra solo dei risultati preliminari poiché i modelli necessitano ancora di ulteriori implementazioni. Tali risultati sono stati ottenuti dall'elaborazione statistica di rilievi raccolti nel corso di tre anni (2020, 2021, 2022) e riguardanti l'accrescimento e l'evoluzione dei principali indici di maturazione dei kiwi. Tutte le misurazioni sono state effettuate da tecnici del consorzio Dorì su frutti coltivati in aziende appartenenti ai soci ed ubicate nelle seguenti regioni italiane: Veneto, Piemonte, Emilia-Romagna, Lazio, Campania e Calabria. Le previsioni riguardanti le rese di raccolta, in termini di peso medio, si sono basate sull'analisi delle curve di crescita dei frutti ottenute dai rilievi dei diametri medi misurati a partire dall'epoca di formazione del frutto, cioè dalla fase fenologica 69 (Salinero et al., 2009; fine fioritura, frutto visibile), fino a fine accrescimento. Le previsioni dell'epoca di raccolta si sono basate sull'analisi delle cinetiche di crescita dei frutti e sulle temperature medie misurate nelle diverse fasi di accrescimento. Infine, i risultati preliminari riguardanti le previsioni della qualità media dei frutti si sono basate sulle seguenti misure: SSC (°Brix), consistenza, colore della polpa (Hue), indice Kiwi-Meter, acidità titolabile e sostanza secca. Al fine di sviluppare un modello predittivo per la qualità, sono state calcolate le correlazioni fra ciascuno di questi indicatori e numerosi parametri climatici calcolati su diversi intervalli temporali e riguardanti le temperature (medie, minime e massime) e le radiazioni globali.

I modelli previsionali sull'epoca di raccolta e sul peso medio dei frutti alla raccolta hanno evidenziato un potere predittivo già soddisfacente, mentre i modelli per la previsione della qualità alla raccolta necessitano di ulteriori miglioramenti/implementazioni, soprattutto per quanto riguarda le modalità di raccolta dei dati climatici.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to set up predictive models for harvest date, yield and quality of Dorì kiwifruit (variety AC1536). Modelling in agriculture can be useful to develop decision support system (DSS) to assist growers, and more generally the whole fruit supply chain, in choices of pre and post-harvest management. This thesis shows only preliminary results since the models obtained still needs further implementations. These results were obtained from the statistical processing of data collected in three years (2020, 2021, 2022) and concerning growth and evolution of the main ripening indices of kiwifruit. All measurements were carried out by technicians of Dorì Europe consortium on fruits grown in farms associated with the consortium and located in the following Italian regions: Veneto, Piemonte, Emilia-Romagna, Lazio, Campania and Calabria. Forecasts concerning yields at harvest (i.e. mean weight of the fruit), in terms of average weight, were based on analysis of fruit growth kinetics obtained from surveys of mean diameters measured from fruit set, at phenological phase 69 (Salinero et al., 2009; end of flowering, visible fruit), until harvest. Harvest time predictions were based on analysis of both fruit growth kinetics and average temperatures measured in different growth phases. Finally, the preliminary results regarding predictions of fruit quality at harvest were based on following measures: SSC (°Brix), texture, flesh color (Hue), Kiwi-Meter index, titratable acidity and dry matter. In order to develop a predictive model for quality, correlations were calculated between each of these indicators and numerous climatic parameters calculated over different timeframes and concerning temperatures (mean, minimum and maximum) and global radiation.

The predictive models regarding the harvest date and mean weight of the fruits gave a good prediction power, while the others related to quality at harvest need further improvements/implementations, especially regarding the strategy of collection of climatic data.

1 INTRODUZIONE

1.1 Il kiwi

Il kiwi è una bacca prodotta da piante appartenenti al genere *Actinidia* e facenti parte della famiglia delle *Actinidiaceae*. L'actinidia è una pianta originaria della Cina, dove cresce spontanea nelle regioni centrali e sud-occidentali. Il kiwi fu introdotto in Europa, pur senza apprezzabile successo, dall'esploratore Robert Fortune nel 1847 in seguito ad una spedizione in Oriente organizzata dalla Royal Society of Horticulture di Londra. In un primo momento l'actinidia suscitò un certo interesse fra il pubblico europeo, ma solamente come pianta ornamentale in virtù del suo portamento rampicante, della sua accentuata vigoria e della bellezza del fogliame. A partire dai primi anni del secolo scorso, contemporaneamente alla diffusione nel continente europeo, l'actinidia venne importata anche in America ed in Nuova Zelanda. Proprio in Nuova Zelanda la pianta incontrò condizioni ambientali estremamente favorevoli per la coltivazione e nei primi decenni del XX secolo gli studi del botanico Alexander Allison portarono alla creazione di buona parte delle cultivar ad oggi note. In particolare, nel 1924 venne prodotta la cultivar "Hayward", grazie al vivaista Hayward Wright, che produsse il materiale genetico iniziale da cui verranno selezionati nei decenni successivi i kiwi che consumiamo ancora oggi.



Figura 1 – Un kiwi "Hayward", il più diffuso a livello mondiale (foto tratta da blog.italiafruit.net).

In particolare, negli anni Cinquanta, il botanico Wright ottenne la prima varietà commerciale, la Hayward clone8 plus che attualmente rappresenta il 95% del mercato mondiale (**Figura 1**). La denominazione "kiwi" fu data dai neozelandesi nel 1959 grazie alla somiglianza del frutto

con l'omonimo uccello nazionale della Nuova Zelanda (informazioni tratte da blog.italiafruit.net). Ad oggi sono note circa 70 specie di *Actinidia* in grado di produrre frutti commestibili (Wang et al., 2021). Fra queste le principali sono: *Actinidia deliciosa*, *Actinidia chinensis*, *Actinidia arguta*, *Actinidia kolomikta*, *Actinidia melanandra*, *Actinidia polygama* e *A. eriantha*. Ad ogni modo, le specie di maggior interesse commerciale sono essenzialmente due: *A. deliciosa* e *A. chinensis* (Wang et al., 2021).

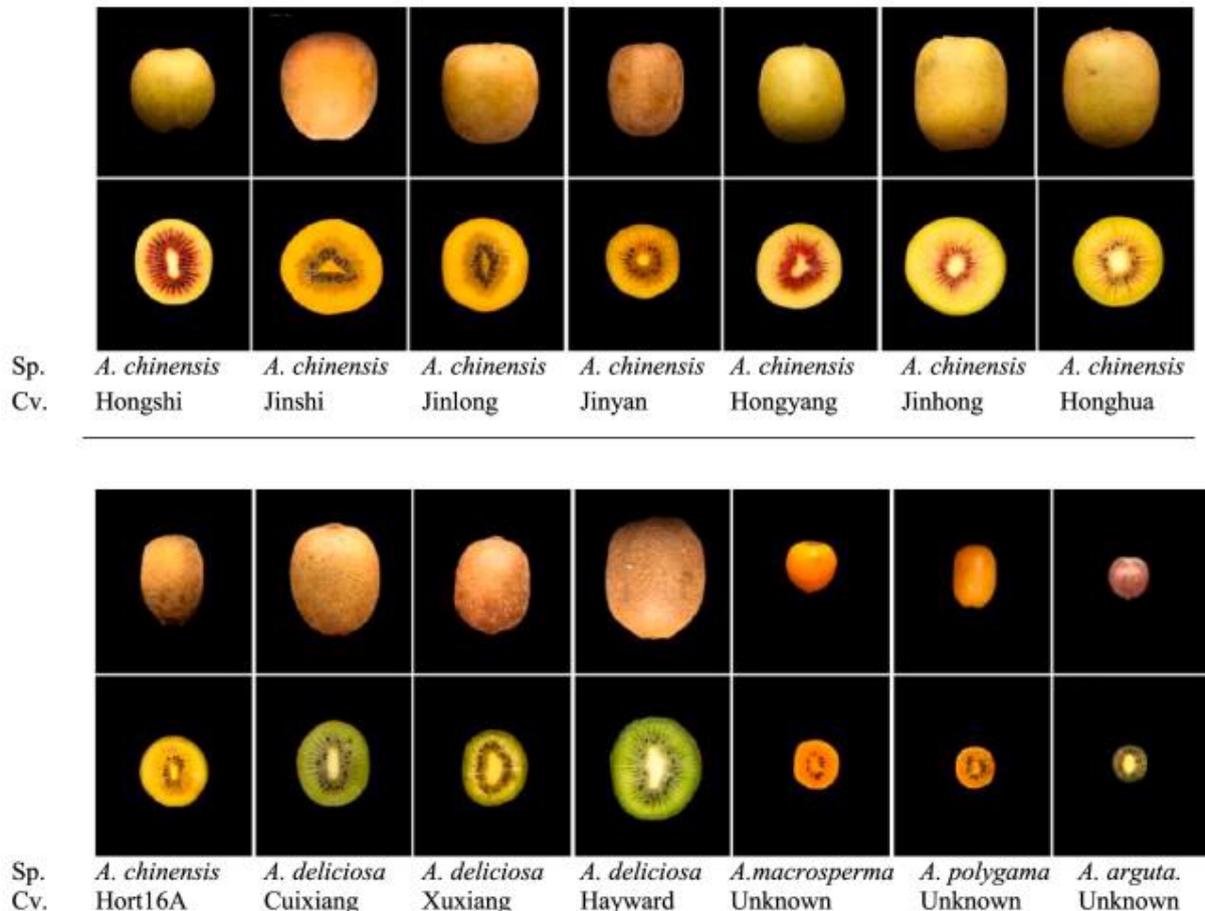


Figura 2 - Dimensione, forma e colore di alcune varietà di frutti appartenenti al genere *Actinidia* (Wang et al., 2021).

Tutte le specie di *Actinidia* presentano un portamento rampicante o prostrato; si tratta di piante perenni e nella maggior parte dei casi decidue, sebbene alcune specie nelle regioni a clima caldo e umido siano sempreverdi. L'actinidia fruttifica sui germogli originati da gemme che si sono sviluppate nell'ascella fogliare durante la stagione precedente. Si tratta di una pianta dioica in quanto i fiori maschili che producono il polline e i fiori femminili che portano gli ovuli sono su piante distinte. Per questo motivo una quota del 10-15% di maschi rispetto al totale delle piante viene generalmente sistemata negli impianti produttivi per garantire

un'impollinazione adeguata (Testolin e Costa, 1989). La necessità di collocare sia individui maschili che femminili all'interno dei frutteti è venuta in parte meno con la recente diffusione dell'impollinazione artificiale.

Le piante di *Actinidia* presentano un fusto legnoso con numerosi tralci di lunghezza variabile portanti sia gemme a legno che gemme miste dalle quali avranno origine germogli fertili. L'apparato fogliare è composto da foglie semplici, decidue, cuoriformi e lungamente picciolate, con caratteristiche che variano leggermente a seconda della posizione occupata sulla pianta. L'apparato radicale è di tipo superficiale; il suo sviluppo e la conformazione sono influenzati da fattori climatici e pedologici. A seconda della specie, i frutti possono essere singoli, a grappoli di 3-5 elementi oppure raggruppati in infruttescenze di 30 o più bacche (Deflorian, 2009). Le dimensioni del frutto variano a seconda della specie e della cultivar così come la forma, la tomentosità, la consistenza e il colore della polpa (**Figura 2**).

1.2 La qualità del kiwi

L'ISO (*International Organization for Standardization*), con l'emanazione della norma internazionale UNI EN ISO 8402:1995 per i Sistemi di Gestione per la qualità (SGQ) ha definito il concetto di qualità come "insieme delle proprietà o delle caratteristiche di un prodotto o servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite". Tali esigenze, nel caso dei prodotti ortofrutticoli e più in generale per gli alimenti, riguardano aspetti nutrizionali, salutistici, igienico-sanitari, economici, ambientali, ecc. Le esigenze e gli obiettivi, per quanto riguarda la qualità dei frutti, spesso differiscono fra i vari soggetti coinvolti nelle filiere e non sempre coincidono con quelle dei consumatori finali. Ne consegue che un prodotto che soddisfa a pieno le esigenze "tecniche" degli operatori della filiera potrebbe non soddisfare gli obiettivi richiesti dal consumatore. Talvolta il mancato soddisfacimento delle esigenze qualitative dei consumatori non è dovuto a negligenza da parte degli operatori di settore ma alle difficoltà nello stabilire quale sia l'effettivo livello di qualità da perseguire e alla complessità che viene riscontrata nel tentare di misurarla con parametri oggettivi. In sintesi, il concetto di qualità dei frutti può essere stabilito su almeno quattro livelli: commerciale (pezzatura, colore, resistenza alle manipolazioni, attitudine alla conservazione), nutrizionale (composizione chimica del prodotto con particolare interesse per il contenuto di vitamine, antiossidanti, elementi minerali e composti bioattivi), sanitario (assenza di residui chimici derivanti da fertilizzanti o fitosanitari) e sensoriale (grado di

soddisfazione del consumatore) (Hilaire et al., 2000). Sebbene a livello commerciale il valore qualitativo di un prodotto ortofrutticolo sia principalmente determinato da caratteristiche come pezzatura, peso, intensità ed uniformità di colorazione, resistenza alle manipolazioni ed attitudine alla conservazione, le attenzioni della filiera ortofrutticola si stanno incentrando sempre di più verso caratteristiche che potremmo definire intrinseche e che hanno grandi ripercussioni sull'accettabilità gustativa ed organolettica del consumatore. Per caratteristiche intrinseche si intendono tutte quelle proprietà che non sono determinabili immediatamente e che rappresentano la qualità sensoriale del prodotto come il contenuto zuccherino, la concentrazione di acidi organici ed il livello dei composti volatili che concorrono a definire l'aroma.

In un articolo scientifico del 2018 viene proposta una nuova definizione di qualità per i prodotti ortofrutticoli nella quale la qualità viene descritta come sintesi dinamica delle proprietà chimico-fisiche e delle relative percezioni in evoluzione da parte del consumatore finale (Kyriacou e Rouphael, 2018). In questa definizione viene evidenziata l'importanza del consumatore nel definire, tramite la propria percezione, il livello di qualità che genera un soddisfacimento e che può determinare in buona parte il successo del prodotto sul mercato. Sebbene vi sia un certo grado di complessità nel definire un concetto univoco di "qualità" per i prodotti ortofrutticoli, a livello normativo comunitario esiste un livello minimo di "qualità regolamentata" alla quale i prodotti ortofrutticoli devono essere conformi per poter essere commercializzati. Nello specifico, le norme che riguardano la commercializzazione dei kiwi destinati al consumo fresco sono contenute nel Regolamento Europeo UE n. 543/2011 (Allegato I; parte 3), modificato nel 2013 tramite il Regolamento di Esecuzione UE n. 594/2013. Questo Regolamento definisce le caratteristiche minime di qualità, di maturazione, la classificazione, le tolleranze rispetto ai requisiti minimi, le disposizioni riguardanti la calibrazione, la presentazione, l'identificazione e le indicazioni di origine. Per quanto riguarda le caratteristiche minime di qualità, i kiwi, dopo il condizionamento e l'imballaggio, devono essere: interi, sani, puliti, privi di parassiti, esenti da danni alla polpa, sufficientemente sodi, ben formati, privi di umidità esterna anormale, privi di odore e/o sapore estranei. Inoltre, lo sviluppo e lo stato dei kiwi devono essere tali da consentire il trasporto e le operazioni connesse, nonché l'arrivo a destinazione in condizioni idonee. Secondo il Regolamento UE n. 543/2011, i kiwi devono avere un grado di sviluppo e uno stato di maturazione sufficiente, ovvero devono aver raggiunto almeno 6.2°Brix o presentare un tenore medio di sostanza

secca pari al 15% nella fase di condizionamento in modo da poter raggiungere 9.5°Brix al momento dell'entrata nella catena di distribuzione.

I valori nutrizionali delle specie *Actinidia deliciosa* e *Actinidia chinensis* sono molto simili fra loro (**Tabella 1**). Se si considerano le proprietà salutistiche, entrambe le specie sono un importante fonte di vitamina A, C, E, K ed acido folico o vitamina B9. I kiwi contengono inoltre dei livelli apprezzabili di sali minerali (soprattutto potassio, calcio, fosforo, magnesio), fibre e varie molecole fitochimiche con effetti benefici, fra cui carotenoidi, flavonoidi, antocianine e luteina (Drummond, 2013).

Tabella 1 - Composizione nutrizionale di *A. deliciosa* e *A. chinensis* (Satpal et al., 2021).

Nutriente	<i>A. deliciosa</i> (valore per 100 g)	<i>A. chinensis</i> (valori per 100g)
Acqua (g)	83.07	83.22
Proteine totali (g)	1.14	1.23
Energia (kcal/KJ)	61/255	60/251
Grassi (g)	0.52	0.56
Carboidrati (g)	14.66	14.23
Fibre (g)	3.0	2.0
Zuccheri (g)	8.99	10.98

Le misurazioni strumentali e analitiche degli attributi chimico-fisici della frutta stabiliscono una qualità "misurata", non esaustiva della qualità totale, ma che permette una standardizzazione e una classificazione sulla base di valori soglia. Tali misurazioni determinano, almeno in parte, il valore commerciale del frutto e riguardano parametri come la consistenza, il contenuto zuccherino, l'acidità, il contenuto di clorofilla ed il colore. Normalmente, i cambiamenti chimico-fisici che si verificano durante il processo di maturazione dei kiwi determinano una diminuzione della consistenza e dell'acidità dei frutti ed un aumento della concentrazione degli zuccheri e del tasso di degradazione dell'amido. Questi parametri rappresentano degli importanti indici di qualità e dello stato di maturazione dei kiwi e spesso vengono monitorati per definire l'epoca di raccolta più adatta in funzione della destinazione d'uso del prodotto, del regime di conservazione a cui i frutti sono destinati e della varietà allevata. La determinazione della qualità finale ed il livello di maturazione raggiunto alla raccolta sono estremamente importanti in quanto influenzano il decorso e la conservabilità post-raccolta dei kiwi nonché il raggiungimento degli attributi di colore, sapore

ed aroma che definiscono l'accettabilità da parte del consumatore finale (Noferini et al., 2013).

In generale, i metodi analitici per la determinazione dei parametri qualitativi e degli indici di maturazione possono essere suddivisi in metodi distruttivi e metodi non distruttivi. I principali metodi distruttivi utilizzati per il kiwi sono rappresentati dalle tecniche analitiche di determinazione della consistenza, del grado zuccherino, della concentrazione di acidi organici e del colore. La durezza o consistenza della polpa può essere facilmente determinata tramite l'utilizzo di uno specifico dinamometro, detto penetrometro, che misura la forza necessaria affinché un puntale di 8 o 11 mm di diametro penetri la polpa del frutto dopo aver rimosso una porzione di epidermide. Le unità di misura per esprimere la consistenza sono i chilogrammi o libbre per unità di superficie (kg/m^2 , kg/cm^2 , lbs/m^2 , lbs/cm^2) oppure i Newton. La consistenza della polpa tende a diminuire con il procedere dei fenomeni legati alla maturazione e costituisce un indice importante per modulare la durata della frigoconservazione. I frutti con un grado di consistenza vicino ai $2.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ andrebbero infatti commercializzati nel più breve tempo possibile (Noferini et al., 2002).

Il grado zuccherino può essere determinato mediante uno strumento chiamato rifrattometro che misura il contenuto di solidi solubili o sostanza secca solubile (residuo secco rifrattometrico o, in inglese, SSC - Soluble Solids Content) presente in un succo, sfruttando la proprietà dei liquidi zuccherini di deviare la luce. Il residuo secco rifrattometrico si esprime in gradi Brix ed è una misura approssimativa del contenuto totale di zuccheri solubili (glucosio, fruttosio e saccarosio), essendo questi i principali costituenti della sostanza secca nei kiwi, ed in generale nei frutti maturi. Il contenuto di amido solubile non contribuisce alla determinazione del grado Brix e non viene rilevato tramite il rifrattometro.

Sul succo estratto dopo spremitura è inoltre possibile determinare analiticamente l'acidità titolabile o l'acidità libera totale. Tale misura viene generalmente determinata sottoponendo i campioni di succo, dopo filtrazione, ad una titolazione acido-base con una soluzione di idrossido di sodio (di solito NaOH 0.1 N) fino alla neutralizzazione degli acidi presenti nel succo. Il punto di neutralizzazione si verifica a pH 8.1 e può essere osservato tramite l'uso di un pHmetro oppure tramite l'utilizzo di un indicatore come la fenolftaleina.

In commercio esiste uno strumento completamente automatizzato, denominato "Pimprenelle", in grado di misurare contemporaneamente, su di un campione di 30 frutti, il peso, il residuo secco rifrattometrico, l'acidità titolabile, la consistenza e la succosità

sintetizzando i singoli valori analitici in un unico indice numerico finale denominato “Indice Top”. La crescente diffusione di questo strumento in diversi magazzini italiani, soprattutto per individuare il momento più idoneo per la commercializzazione dei frutti, ha permesso di uniformare le misurazioni e di renderle confrontabili superando almeno in parte la variabilità dei risultati analitici che generalmente si può riscontrare nell’utilizzo di strumentazioni non sempre identiche e di tipo manuale (Fadanelli et al., 2019).

La colorazione della polpa dei kiwi viene generalmente determinata mediante l’utilizzo dei colorimetri e viene espressa numericamente con la misura dell’angolo di Hue (angolo di tonalità o tinta). Questo parametro viene convenzionalmente utilizzato per stabilire il momento ottimale per la raccolta nel caso dei frutti a polpa gialla della specie *Actinidia chinensis*. L’intensità della colorazione gialla della polpa è dovuta alla degradazione della clorofilla e all’aumento della sintesi di carotenoidi che si verificano nelle fasi finali del processo di maturazione (Noferini et al., 2013). La degradazione della clorofilla, con conseguente “smascheramento” della colorazione tipica dei pigmenti carotenoidi è un fenomeno legato all’attività enzimatica delle clorofillasi che vengono indotte e regolate dagli ormoni endogeni e da stimoli ambientali come temperatura, luce e nutrienti (Minchin et al., 2003). La composizione dei carotenoidi nei frutti maturi della varietà “Hort16A” è caratterizzata da una prevalenza di β -carotene, luteina e carotenoidi esterificati (Mcghie e Ainge, 2001). È stato stabilito, per la cultivar a polpa gialla “Hort16A”, un valore ottimale di 104° Hue in corrispondenza del quale la polpa assume una colorazione giallo dorato e la qualità organolettica dei frutti raggiunge un livello ottimale (Noferini et al., 2013). Tale valore di riferimento può essere considerato valido anche per altre varietà di *Actinidia chinensis* coltivate sul territorio italiano. Purtroppo, la determinazione analitica del colore mediante i colorimetri comporta la distruzione dei frutti.

In generale, le tecniche distruttive precedentemente citate, oltre a comportare delle perdite di prodotto, non forniscono un’informazione in tempi brevi e soprattutto si basano spesso su protocolli che non contemplano una numerosità del campione tale da rappresentare in maniera adeguata le caratteristiche di maturazione (uniforme o eterogenea) dell’intera partita di frutti considerata. Ciò è dovuto essenzialmente alla grande variabilità delle caratteristiche qualitative dei frutti collocati su piante diverse o in diverse porzioni di chioma della stessa pianta (Smith et al., 1994). Le difficoltà nello stabilire in modo appropriato e rappresentativo

il grado di maturazione dei frutti della partita che si vuole analizzare comporta successive problematiche nella gestione della conservazione e delle fasi di commercializzazione.

Lo sviluppo e la diffusione delle tecniche analitiche di tipo non distruttivo potrebbe migliorare la validità delle misure necessarie a definire la qualità dei kiwi poiché consentirebbe di eseguire le misure su un numero maggiore di campioni e di ripeterle nel tempo sugli stessi campioni per monitorare in maniera più precisa l'evoluzione fisiologica dei principali indici di maturazione. Tra le tecniche non distruttive attualmente disponibili, la spettroscopia nel visibile (VIS) e nel vicino infrarosso (NIR) rappresenta una delle soluzioni più valide e maggiormente sperimentate negli ultimi dieci anni (Noferini et al., 2013). Uno strumento recente basato sulla tecnologia (VIS/NIR) è il DA-Meter™ dal quale è stata sviluppata una versione specifica per il kiwi denominata Kiwi-Meter™. Questo strumento genera un indice DA che consiste nella differenza di assorbanza del campione a due diverse lunghezze d'onda ben definite. L'indice DA quantifica la concentrazione di clorofilla presente nei frutti. Il Kiwi-Meter™ dispone di due differenti tipologie di settaggio, una per i kiwi a polpa verde ed una per quelli a polpa gialla (Huang et al., 2022). Le lunghezze d'onda utilizzate per calcolare l'indice DA sono quelle vicine al picco di assorbimento della clorofilla di tipo a e sono state leggermente modificate nel tempo e tra dispositivi diversi: in particolare, sono state selezionate come riferimento 540, 640 e 800 nm e successivamente 560, 640 e 750 nm (Costa et al., 2010). Per i frutti di *Actinidia chinensis* delle varietà "Jintao" e "Dori" (AC1536) è stato riportato che il Kiwi-Meter™ è in grado di fornire importanti indicazioni riguardanti sia lo stato di maturazione che l'andamento fisiologico della maturazione al fine di ottimizzare l'epoca di raccolta (Rocchi et al., 2016). Le possibilità d'impiego del Kiwi-Meter™ per stabilire una data di raccolta in funzione del grado di maturazione dei frutti dipendono da quali parametri qualitativi consideriamo importanti per identificare l'effettivo stato di maturazione e da quale rapporto di correlazione ci sia fra questi parametri e l'indice DA. In pratica, affinché il Kiwi-Meter™ possa essere utile nel sostituire le tecniche distruttive, deve esserci una stretta correlazione fra l'indice DA e i valori di consistenza, colore e °Brix che possono essere utilizzati per stabilire il momento in cui i frutti presentano le caratteristiche ideali per essere raccolti. Tuttavia, non in tutti i casi tali correlazioni sussistono in modo soddisfacente e questo dipende molto dal tipo di cultivar e dall'area geografica di coltivazione (Huang et al., 2022).

1.3 Principali fattori che determinano le rese e la qualità del kiwi alla raccolta

La qualità finale e la resa del kiwi dipendono essenzialmente da fattori genetici, pedo-climatici ed agronomici che, nel periodo pre-raccolta, modulano la crescita e la maturazione dei frutti fino al momento della raccolta. Il livello di qualità ottenuto alla raccolta viene successivamente gestito ed assicurato durante le operazioni di selezione, sanitizzazione, lavorazione, conservazione e confezionamento che si svolgono nel post-raccolta e fino al momento del consumo.

In particolare, fra le tecniche agronomiche, quello che hanno le maggiori ripercussioni in termini di rese e qualità sono: la scelta del sistema di allevamento, la potatura, l'impollinazione, la fornitura idrica e il diradamento. I parametri climatici di maggior impatto sulla produttività e qualità del kiwi sono le temperature e la radiazione luminosa solare (Xiloyannis et al., 2022)

1.3.1 Sistema di allevamento e densità d'impianto

In Italia, i due sistemi di allevamento più diffusi sono il "tendone" e la "doppia pergoletta" (**Figura 3**), con differenze a livello regionale (Testolin, 2014). Il sistema a "tendone" è più diffuso nel centro e sud Italia poiché sostanzialmente era la forma utilizzata per l'uva da tavola al momento in cui iniziò la coltivazione del kiwi in alcune di queste zone. Questa forma di allevamento prevede, per ogni pianta, la presenza di quattro cordoni o tralci principali dai quali avranno origine i tralci produttivi. Sia i tralci principali che le ramificazioni produttive sono sostenuti da un reticolo di cavi a maglia quadrata posto ad un'altezza di circa 1.8-2 m. Il sistema a "doppia pergoletta", detto anche "barra a T" è il sistema più diffuso nel nord Italia (Testolin e Ferguson, 2009). In questa forma di allevamento, dal tronco di ciascuna pianta hanno origine due tralci o cordoni permanenti, uno su ciascun lato del tronco, che vengono legati ad un filo centrale posto ad un'altezza di circa 1.7 – 2 m. I tralci produttivi che si originano dai cordoni permanenti sono invece fissati su due fili laterali posti entrambi alla distanza di circa 80-100 cm dal filo centrale. Questo sistema, come avvenuto in nuova Zelanda, si è evoluto nel corso degli anni con modifiche messe in atto principalmente per ottenere rese più elevate. Altri sistemi sono stati adottati su piccola scala per la coltivazione italiana del kiwi, come il GDC (Ginevra Double Curtain), originariamente concepito per la raccolta meccanica dell'uva e introdotto nella coltivazione del kiwi per lanciare la cultivar "Summerkiwi" (Testolin, 2014). Questo sistema prevede che i due tralci o cordoni permanenti si sviluppino alternati su

ciascun lato della fila ad una distanza reciproca di circa 1.5 m ed un'altezza di 1.65-1.8 m. I due cordoni permanenti vengono tenuti equidistanti da braccetti autoportanti e presentano speroni corti destinati a sviluppare i germogli fruttiferi (Testolin e Ferguson, 2009).

Le densità di impianto dipendono dalle strutture di supporto e dal sistema di allevamento utilizzato. Negli impianti a "tendone" la densità è generalmente di 400-800 piante/ha mentre nei frutteti allevati a "doppia pergoletta" può variare da 800 a 1000 piante/ha (Palmieri et al., 2022). In generale, gli impianti moderni possono raggiungere valori di 900-1200 piante/ha per entrambi i sistemi di allevamento sopra citati; forme d'impianto come la GDC consentono di raggiungere densità fino a 2000 piante/ha (Costa, 2018). Negli ultimi anni, la tendenza è stata quella di modificare i sestri d'impianto riducendo le distanze interfilari e le distanze tra le piante entro la fila in modo da aumentare le rese al raccolto, soprattutto nei primi anni dopo l'insediamento di un nuovo impianto (Testolin, 2014). Queste modificazioni hanno permesso di aumentare la produttività dei frutteti italiani. Inizialmente le rese per la varietà "Hayward" erano di circa 25-30 t/ha mentre oggi gli impianti ben gestiti possono produrre anche 30-40 t/ha; le cultivar recentemente introdotte come "Soreli", "Zesy002" (G3) e "Dori" possono generare rese fino a 40-50 t/ha (Costa, 2018).



Figura 3 - I due sistemi di allevamento più diffusi in Italia: il "tendone" (a sinistra) e la "doppia pergoletta" (a destra) (Testolin, 2014).

1.3.2 Potatura

La potatura è una delle operazioni indispensabili per la coltivazione del kiwi e viene di norma eseguita annualmente, sia durante il periodo invernale che durante quello estivo (Testolin, 2014). La potatura invernale viene eseguita allo scopo di: equilibrare la carica vegetativa e quella produttiva, assicurare il rinnovo delle formazioni fruttifere e modulare gli spazi e le distanze imposte dal sistema di allevamento (Costa, 1999). La potatura estiva serve invece a

regolare i rapporti di competizione fra germogli e fruttificazioni e a favorire un'adeguata penetrazione della luce e dell'aria nella chioma dove si sono sviluppati i frutti. In passato, le tecniche di potatura miravano soprattutto ad incrementare le rese di produzione; oggi, in un contesto in cui gli aspetti qualitativi e la conservabilità dei frutti sono le caratteristiche maggiormente apprezzate, i criteri di potatura dovrebbero mirare ad ottimizzare la qualità e l'omogeneità dei frutti per consentire un'adeguata programmazione della frigoconservazione e della commercializzazione. Sperimentazioni condotte in diverse aree di coltivazione in Italia, integrate con la modellazione informatica, hanno dimostrato che 15-20 gemme/m², ovvero 150.000-200.000 gemme/ha rappresentano un carico ottimale per il kiwi "Hayward" al fine di ottenere dei buoni livelli quantitativi e soprattutto qualitativi (Testolin e Ferguson, 2009). Il superamento di questi valori potrebbe favorire un aumento delle rese ma allo stesso tempo determinare un calo del peso medio dei frutti. La lunghezza e la distribuzione dei tralci sulla pianta è correlata alla velocità di germogliamento, alla fertilità delle gemme e alla crescita dei frutti (Testolin, 2014). Ciascun tralcio dovrebbe portare un numero di gemme pari a circa 15; questa carica distribuita su rami opportunamente distanziati fra loro favorisce una buona illuminazione ed un buon arieggiamento di tutta la chioma riducendo inoltre la suscettibilità ad attacchi di alcuni agenti patogeni, soprattutto *Botrytis cinerea* (Costa, 1999). Un numero di gemme per tralcio più elevato determina generalmente un calo della percentuale di germogliamento e della fertilità delle gemme con conseguenze negative sulla quantità e sulla qualità dei frutti (Testolin e Ferguson, 2009).

Le tecniche di potatura sono inoltre finalizzate all'ottimizzazione dei livelli di intercettazione luminosa. È noto che la luce ha un'influenza positiva sui rapporti di equilibrio fra sviluppo vegetativo e produttività della pianta, sul germogliamento e fertilità delle gemme, nonché sulla resa e qualità dei frutti. È stato dimostrato che frutti a polpa verde esposti alla luce avevano un contenuto di solidi solubili (SSC), una consistenza ed una concentrazione di amido e zuccheri semplici maggiore rispetto a frutti ombreggiati che presentavano una colorazione non ottimale e possedevano un contenuto più elevato di acidi organici (Costa, 1999). La densità fogliare e la sua capacità di intercettare la luce viene espressa dall'indice di area fogliare o LAI (Leaf Area Index). È importante che la chioma si formi nel più breve tempo possibile e che raggiunga valori di LAI intorno a 3 (Costa, 1999). Valori superiori comportano un eccessivo ombreggiamento di ampie porzioni di chioma con un possibile peggioramento generale della produttività e della qualità dei frutti. È importante che le operazioni di potatura

garantiscono un LAI della chioma uniforme per ridurre il più possibile l'elevata variabilità dei frutti sulla pianta, sia in termini di pezzatura che di caratteristiche qualitative. Alcuni studi condotti in Nuova Zelanda hanno dimostrato che frutti con caratteristiche superiori, in termini di forma, pezzatura, contenuto di solidi solubili (SSC), consistenza e contenuto idrico, sono stati riscontrati in numero maggiore nelle parti di chioma più fitte, in prossimità del cordone permanente, mentre frutti con attributi meno desiderabili erano generalmente collocati alle estremità delle chioma, dove la densità fogliare era più bassa (Smith et al., 1994; Smith e Buwalda, 1994; Smith et al., 1997). La potatura estiva può aiutare nel regolare ed uniformare la densità fogliare, tuttavia, nella letteratura scientifica sono riportate informazioni contraddittorie circa le ripercussioni a livello qualitativo e quantitativo di tale pratica (Costa, 1999). In generale la potatura verde andrebbe evitata fino a quando il LAI non raggiunge almeno un valore di 3 e cioè fino a quando non sono trascorsi almeno 100 giorni dal germogliamento; infatti, solo da questo momento in poi l'area fogliare totale raggiunge uno sviluppo tale da consentire un'adeguata attività fotosintetica ed una buona assimilazione del carbonio (Buwalda e Smith, 1990).

1.3.3 Impollinazione

Il kiwi, essendo una specie dioica, richiede l'impollinazione delle piante produttive portatrici di fiori pistillati (femmine) da parte di individui staminati produttori di polline (maschi). Gli impollinatori maschi dovrebbero essere posizionati il più possibile vicino alle piante femmine; è stato infatti osservato che maggiore è la distanza dalla fonte di polline, peggiore è l'allegagione e minori risultano essere le rese ed il peso medio dei frutti (Costa, 1999). Nei primi anni di coltivazione del kiwi in Italia, il rapporto fra maschi e femmine variava notevolmente da un massimo di 1:3 ad un minimo di 1:14 (Testolin, 2014). Sulla base delle ricerche svolte nel corso degli anni, in Italia è stato generalmente adottato un rapporto standard fra maschi e femmine di 1:7 (Testolin e Ferguson, 2009). Questo rapporto veniva solitamente ottenuto alternando filari di piante femmine con filari in cui una pianta su quattro era maschio. La disposizione dei maschi rispetto alle femmine può variare a seconda della forma di allevamento prescelta. Nei frutteti allevati a "tendone" in Nuova Zelanda, una fila di femmine della cultivar "Hayward" veniva generalmente affiancata ad una fila di maschi, i quali venivano potati in un modo particolare e cioè creando una fila molto stretta per massimizzare lo spazio di fruttificazione delle femmine (Costa, 1999). Talvolta, questa disposizione dei

maschi viene tutt'ora impiegata anche in Italia (**Figura 4**). Nel sistema di allevamento GDC, in cui i due tralci principali sono piegati alternatamente all'uno o all'altro dei fili esterni, a 0.75 m dal centro della fila, gli individui maschili si dispongono generalmente lungo il centro della fila ad un'altezza di 1.1 m (Testolin, 2014).



Figura 4 – *Disposizione dei maschi secondo la cosiddetta “fila stretta” alternata ai filari di piante femmine (Testolin, 2014).*

Le principali problematiche nel processo di impollinazione non riguardano tanto la quantità di polline prodotta quanto il suo effettivo trasporto alle cultivar pistillate; anche la scelta del genotipo dell'impollinatore maschile è di fondamentale importanza per ottenere una buona impollinazione. Il genotipo dell'impollinatore dovrebbe essere scelto sulla base di: coincidenza con il periodo di fioritura della varietà femminile coltivata, buona germinazione del polline e buona capacità di allegazione (Costa, 1999). In natura, il trasporto del polline agli individui femminili avviene grazie al vento o ad opera di insetti pronubi, soprattutto api mellifere. Nella maggior parte dei casi il trasporto del polline ad opera del vento è insufficiente a garantire una buona impollinazione; spesso è infatti richiesta l'impollinazione da parte delle api per migliorare l'allegazione e la pezzatura dei frutti che è strettamente correlata al numero dei semi (Testolin e Ferguson, 2009). Tuttavia, anche mediante l'impiego di arnie nei pressi dei frutteti i risultati possono essere spesso non soddisfacenti e comunque non paragonabili a quelli ottenibili tramite l'impollinazione artificiale che può essere di tipo manuale o meccanico (Testolin, 2014).

L'impollinazione artificiale dell'actinidia è una pratica agricola che si è molto diffusa in Italia negli ultimi anni (Pietrafesa et al., 2022). Tale pratica ha permesso di superare, almeno in parte, le problematiche di trasporto del polline e la necessità di prestare accorgimenti riguardo

la concentrazione e la disposizione di piante maschili all'interno dei frutteti. L'impollinazione artificiale ha come obiettivo quello di migliorare la qualità dei kiwi alla raccolta soprattutto in termini di sostanza secca e pezzatura. La riuscita di questa tecnica dipende molto dalle modalità e dalle tempistiche con cui viene eseguita nonché dalla fenologia e dalla qualità del fiore.

Normalmente occorre un numero di granelli di polline vitale compreso fra 2.000 e 3.000 per impollinare con successo un singolo fiore di actinidia (Hopping, 1976). Il numero di semi prodotti da un singolo frutto aumenta con l'aumentare dei grani di polline che fertilizzano l'ovario; tuttavia, questa relazione non è di tipo lineare per cui ad un aumento dei grani di polline non sempre corrisponde un incremento effettivo del numero di semi e di conseguenza della pezzatura finale.

L'impollinazione artificiale dovrebbe avvenire nella prima fase di apertura dei fiori femminili, tenendo conto delle differenze varietali. Studi recenti affermano che la durata del ciclo vegetativo dei fiori di actinidia, a temperature attorno ai 15°C che rappresentano un'approssimazione delle medie del periodo di fioritura, è pari a circa 10 giorni; solitamente, le cultivar a polpa verde presentano la massima ricettività dei fiori nei primi 5-6 giorni mentre nelle varietà a polpa gialla questa si verifica nei primi due giorni dall'apertura dei fiori, dopodiché cala drasticamente (Pietrafesa et al., 2022). È perciò necessario intervenire con le corrette tempistiche, con la giusta frequenza, con quantitativi corretti e con polline ad elevata germinabilità.

Il polline viene generalmente prelevato dagli individui maschili tramite macchine dotate di un sistema di aspirazione, viene filtrato e conservato a -20°C per poi essere utilizzato per l'impollinazione dell'anno successivo. In alternativa il polline può essere acquistato. La distribuzione del polline sui fiori femminili può avvenire secondo le seguenti modalità: liquida, con polline secco addizionato con spore di *Lycopodium*, oppure a secco con polline puro (Pietrafesa et al., 2022). L'applicazione del polline avviene mediante dispositivi specifici "a spalla" o trainati da un mezzo agricolo (**Figura 5**) utilizzando in media 500-1.000 g di polline per ettaro (Testolin, 2014). Il polline di *A. deliciosa* può essere utilizzato anche per l'impollinazione di cultivar di *A. chinensis* (Testolin e Ferguson, 2009).

La frequenza di applicazione del polline presenta una correlazione positiva con il numero di semi per frutto e dunque con il peso finale; interventi giornalieri durante il periodo di fioritura consentono di ottenere pezzature maggiori rispetto ad interventi eseguiti con frequenze

minori (Pietrafesa et al., 2022). Durante e dopo le operazioni di impollinazione è fondamentale tenere in considerazione alcuni parametri climatici, soprattutto la temperatura e l'umidità dell'aria. In particolare, al fine di non compromettere la germinabilità del polline, le temperature non dovrebbero essere al di sotto di 10°C e l'umidità relativa dell'aria dovrebbe essere almeno 80% (Pietrafesa et al., 2022).



Figura 5 - Impollinazione artificiale con mezzi meccanici (Costa e Testolin, 2022).

1.3.4 Fornitura idrica

L'actinidia è una coltura molto sensibile ai cambiamenti del contenuto idrico del suolo e può andare incontro a stress idrico in caso di carenza o di eccesso d'acqua. Ciò è dovuto principalmente al fatto che l'apparato radicale dell'actinidia, sebbene tenda a sviluppare un'elevata densità, segue un percorso di crescita lento e non consente l'esplorazione di volumi di terreno elevati. In particolare, lo sviluppo dell'apparato radicale del kiwi risulta piuttosto limitato nei primi 4 anni dall'impianto specie se confrontato con quello di altre specie come pesco e olivo coltivate nello stesso ambiente (Xiloyannis e Montanaro, 2004). Per ottimizzare la produzione, sia in termini qualitativi che quantitativi, è necessario fornire, nell'intero volume di suolo esplorato dalle radici, un quantitativo d'acqua costante e adeguato. Il contenuto idrico del suolo da garantire costantemente nella coltivazione del kiwi è quello prossimo alla capacità idrica di campo (Quartieri et al., 2021).

In Italia, l'irrigazione dell'actinidia viene fornita essenzialmente tramite impianti a goccia (**Figura 6**), soprattutto nelle regioni aride, o microirrigatori a spruzzo (Testolin, 2014). Nelle regioni dell'Italia meridionale, la coltivazione del kiwi richiede, nel periodo fra giugno e agosto, circa 60-70 m³/ha di acqua al giorno ed un volume annuo di circa 7.000 m³/ha (Xiloyannis et al., 2022). La conoscenza delle caratteristiche pedo-climatiche della zona di coltivazione deve

essere alla base di una gestione corretta del metodo irriguo. In particolare, le caratteristiche idrologiche del suolo, la profondità, la composizione, il profilo e la velocità d'infiltrazione devono essere tenute in considerazione in fase di progettazione e gestione del sistema d'irrigazione (Xiloyannis e Montanaro, 2004). Aspetti climatici come temperatura, umidità relativa, luce e vento regolano l'evapotraspirazione e di conseguenza contribuiscono a determinare il fabbisogno idrico della coltura in quel determinato ambiente.



Figura 6 – Un impianto di kiwi (cv Dorì) nei pressi di Faenza con sistema d'irrigazione a goccia con ben 3 alle gocciolanti (Foto di Alessandro Botton).

Tra i vari parametri utilizzati per stabilire le esigenze idriche di una determinata coltura in un determinato ambiente, quello maggiormente utilizzato è l'evapotraspirazione di riferimento (ET_o). Gli apporti irrigui possono essere stimati considerando l'evapotraspirazione di riferimento, i coefficienti colturali (k_c), quelli di copertura del suolo (k_r) da parte della chioma, l'efficienza del metodo irriguo e le piogge utili secondo la seguente equazione (Xiloyannis e Montanaro, 2004):

$$\text{Apporto irriguo (mm)} = (ET_o * K_c * K_r * \text{Efficienza metodo}) - \text{Piogge utili}$$

Il coefficiente colturale (K_c) varia nel corso dell'anno in base allo stadio di sviluppo della pianta. Per i frutteti di actinidia in piena produzione sono stati riportati valori di K_c che variano, con andamento crescente, da 0,4 a 1,4 durante il proseguo della stagione irrigua ed assumono valori massimi nei mesi estivi (Xiloyannis e Montanaro, 2004). Si tratta di valori molto indicativi che necessitano di verifiche e correzioni in base alla zona di coltivazione del kiwi.

L'evoluzione della superficie fogliare negli anni e durante il ciclo annuale incide sul rapporto fra acqua evaporata ed acqua traspirata andando a determinare quelle che sono le esigenze idriche della coltura. Nelle prime fasi di sviluppo dell'area fogliare, per via della bassa superficie traspirante, i consumi idrici sono limitati. Tuttavia, in questo periodo, il basso grado di copertura del suolo da parte della chioma comporta un aumento della quantità d'acqua dispersa per evaporazione, la cui entità dipende anche del contenuto idrico del suolo. Durante i mesi estivi, con l'accrescimento della superficie fogliare e dell' ET_o , si verifica un aumento dei consumi idrici totali, anche se contemporaneamente avviene una riduzione della quota dovuta all'evaporazione dal suolo, soprattutto per gli impianti allevati a tendone.

L'efficienza dell'uso dell'acqua d'irrigazione può essere influenzata dai sistemi di allevamento e dall'entità della potatura estiva. Ad esempio, nei kiwi allevati a "tendone", le foglie ombreggiate consumano quasi il 40% dell'acqua assorbita senza contribuire in modo significativo al bilancio del carbonio della pianta (Xiloyannis et al., 1999). Per questo motivo la rimozione di molte delle foglie ombreggiate con la potatura estiva può consentire un miglioramento della gestione idrica.

In generale, i sistemi ed i volumi d'irrigazione possono influenzare la crescita dei frutti, la loro dimensione media finale ed il contenuto di sostanza secca; di conseguenza possono avere un impatto sostanziale sulla qualità e sulla conservabilità del kiwi (Quartieri et al., 2021). Le piante di actinidia richiedono un contenuto idrico del suolo ottimale soprattutto durante la fase critica di crescita esponenziale e divisione cellulare del frutto ma possono tollerare un contenuto idrico del suolo relativamente inferiore ai livelli ottimali in prossimità del periodo di raccolta (Green et al., 2021). Tuttavia, le carenze idriche possono compromettere la qualità della produzione riducendo l'apporto di acqua ai frutti e modificando le segnalazioni chimiche e l'espressione genica della pianta (Green et al., 2021). Secondo alcuni autori, volumi d'irrigazione eccessivi possono determinare un aumento della dimensione media dei frutti ma allo stesso tempo possono comportare una riduzione del contenuto in sostanza secca, di conseguenza della qualità e della conservabilità (Quartieri et al., 2021.)

1.3.5 Diradamento

Il dirado è una tecnica colturale necessaria nel kiwi per ottenere dei frutti di buona pezzatura e di buona qualità. Questa operazione viene di norma eseguita manualmente o con prodotti chimici mediante una prima fase di intervento sui bottoni fiorali ed una seconda fase durante l'accrescimento dei frutti. Nella prima fase vanno rimossi gli abbozzi fiorali laterali preservando quello centrale. Nella seconda fase vanno eliminati i frutti laterali, quelli deformi o con difetti e quelli derivanti da impollinazione incompleta che non raggiungeranno il calibro commerciale.

L'efficacia del dirado dipende dalle modalità e dalla tempestività con la quale viene eseguito. Diversi studi hanno dimostrato che le operazioni di dirado, nella cultivar Hayward, comportano un aumento del peso medio e della qualità dei frutti alla raccolta ma nello stesso tempo può determinare dei cali di resa totale a causa della riduzione del numero di frutti (Pescie e Strik, 2004). In generale, i cali di resa possono essere compensati dal miglioramento dei frutti in termini di pezzatura e qualità se le operazioni di dirado vengono eseguite con modalità, intensità e tempi giusti. In particolare, l'intervento sui frutti andrebbe fatto all'inizio della fase di accrescimento e cioè nelle prime fasi di divisione cellulare (Pescie e Strik, 2004). Inoltre, il dirado può non essere conveniente per tutte le cultivar ed in generale andrebbe eseguito in maniera severa soltanto su cultivar ad elevata produttività e che presentano tendenza a sviluppare molti frutti di piccole dimensioni (Thakur e Chandel, 2004).

1.3.6 Temperatura

È noto che la temperatura, nel kiwi e nei fruttiferi in generale, influenza i processi di fioritura, accrescimento e maturazione; di conseguenza è un fattore climatico determinante per la dimensione media dei frutti e per la loro qualità (Bebbington et al., 2010). La coltivazione del kiwi esprime le sue massime potenzialità, in termini di produttività e qualità organolettica dei frutti, negli ambienti in cui le temperature massime non superano i 30-32°C (Xiloyannis et al., 2022). Nelle regioni italiane, questi valori vengono spesso abbondantemente superati provocando problematiche nell'ottimizzazione della funzionalità degli impianti e della qualità dei frutti. In particolare, temperature elevate durante le ore notturne determinano un elevato tasso di respirazione dei frutti riducendone l'accumulo di assimilati del carbonio. Aumenti della temperatura del suolo influiscono anche sul processo di respirazione radicale e microbica

aumentando le emissioni di anidride carbonica dal suolo e modificando il bilancio del carbonio dell'intero frutteto.

Nella fase di germogliamento, temperature al di sotto dello zero, possono compromettere l'intero raccolto. Nelle regioni centrali e settentrionali d'Italia esiste un rischio concreto che si verifichino danni da freddo nei mesi primaverili di marzo e aprile, soprattutto per le varietà a polpa gialla e quelle bicolore, il cui germogliamento è anticipato di circa 10- 15 giorni rispetto alle varietà a polpa verde (Xiloyannis et al., 2022). L'elevato fabbisogno in freddo che caratterizza la cultivar Hayward, inteso come accumulo di ore al di sotto di 7°C che risulta necessario per interrompere la dormienza ed indurre il germogliamento in presenza di condizioni ambientali permissive, sta portando all'esclusione di questa varietà dai piani di sviluppo dell'actinidicoltura in diversi areali del centro-sud Italia (Xiloyannis et al., 2022). Nelle zone centrali e meridionali del territorio italiano, dove il rischio di gelate primaverili è basso, le cultivar a polpa gialla e quelle bicolore vengono generalmente preferite per le basse esigenze in freddo e per l'elevata remuneratività e richiesta sul mercato (Xiloyannis et al., 2022). I cambiamenti climatici in atto potrebbero in un futuro prossimo provocare un aumento del rischio di danni provocati dalle brinate primaverili, in particolar modo per le nuove varietà con fabbisogni in freddo relativamente bassi e per le zone di coltivazione del nord Italia. Questa problematica potrebbe essere in parte aggirata selezionando varietà con basso fabbisogno in freddo ma contemporaneamente un elevato fabbisogno in caldo al fine di ritardare la fase critica del germogliamento.

L'escursione termica fra il giorno e la notte sembrerebbe essere importante per favorire il viraggio del colore nelle varietà a polpa gialla. In alcune zone italiane di coltivazione dell'actinidia, in prossimità del periodo di raccolta, non si verificano temperature notturne inferiori ai 10-12 °C e questo determina, in alcuni casi, il mancato viraggio del colore da verde a giallo, nonostante altri parametri della maturazione come °Brix, sostanza secca e consistenza possano ugualmente raggiungere soglie soddisfacenti (Xiloyannis et al., 2022). In queste situazioni, per attendere il viraggio del colore, i frutti non vengono raccolti, il processo di maturazione continua e potrebbero verificarsi fenomeni di cascola preraccolta, in particolar modo per alcune varietà.

La temperatura dell'aria regola l'equilibrio fra i processi fisiologici che caratterizzano l'accumulo di fotosintati ed il metabolismo dell'amido. Secondo alcuni autori, un calo delle temperature durante la maturazione dei frutti favorisce la degradazione dell'amido e

l'aumento del contenuto di solidi solubili (SSC) (Seager et al., 1991; Salinger et al., 1993; Snelgar et al., 1993). Talvolta l'incremento di SSC si può verificare anche in corrispondenza di un aumento della temperatura media dell'aria durante le fasi di maturazione (Pailly et al., 1995); ciò è probabilmente dovuto al fatto che, l'aumento delle temperature durante la maturazione, sebbene riduca il tasso di degradazione dell'amido, determina ugualmente un aumento del contenuto di zuccheri a seguito di un'ottimizzazione dei processi fotosintetici. Studi condotti in Nuova Zelanda hanno suggerito che le variazioni di temperatura che si verificano in annate differenti nel periodo di crescita e di maturazioni dei kiwi sono fortemente correlate con variazioni nel contenuto finale di sostanza secca (Snelgar et al., 2005; Snelgar et al., 2007). Secondo questi studi, l'effetto della temperatura sul contenuto di sostanza varia a seconda del periodo dell'anno e può essere influenzato anche dalle tecniche agronomiche di gestione del frutteto. Ad ogni modo sembrerebbe che un aumento delle temperature nel periodo primaverile determini un anticipo della fioritura ed un aumento della sostanza secca; al contrario, un aumento delle temperature nel periodo estivo e nel preraccolta può generare un calo nel contenuto di sostanza secca (Snelgar et al., 2005; Snelgar et al., 2007). Ciò è probabilmente dovuto al fatto che temperature elevate durante i mesi estivi possono indurre un aumento della crescita vegetativa a discapito della crescita e dell'accumulo di sostanza secca nei frutti (Hall et al., 2006).

1.3.7 Radiazione luminosa

L'intensità luminosa e le ore di luce regolano la fotosintesi e l'accumulo di assimilati nei frutti, di conseguenza sono dei fattori fondamentali per ottenere una buona produttività e una qualità soddisfacente alla raccolta. In alcuni casi, la disponibilità di luce incidente supera abbondantemente quella sufficiente a raggiungere il picco fotosintetico della pianta; questa condizione può indurre fenomeni di foto inibizione del metabolismo riducendo l'efficienza fotosintetica, specialmente durante le ore più calde della giornata (Xiloyannis et al., 2022). Con valori di luce incidente inferiori a $300 \mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ PPFD (*photosynthetic photon flux density*, densità di flusso dei fotoni fotosintetici), il bilancio fra quello che le foglie producono con la fotosintesi e quello che consumano durante le ore notturne è quasi nullo e non consente l'accumulo di sostanza secca nei frutti e nelle altre parti della pianta (Xiloyannis et al., 2022). Un apporto di luce incidente non sufficiente determina ripercussioni sulla qualità del kiwi con effetti negativi sul contenuto finale di zuccheri e sulla concentrazione di calcio. La

concentrazione di calcio nei kiwi dipende essenzialmente dalle caratteristiche del microclima che si creano intorno ai frutti stessi; in particolare, il contenuto finale di calcio dipende dalla disponibilità luminosa per le foglie attorno al frutto, dalla traspirazione del frutto nelle prime 6-7 settimane dopo l'allegagione e dalla concentrazione di calcio a livello xilematico (Xiloyannis et al., 2022). Bassi livelli d'intensità luminosa sono inoltre responsabili di una riduzione del livello di germogliamento, dello sviluppo dei boccioli fiorali, delle dimensioni medie dei frutti e del contenuto di amido (Lawes, 1989).

L'intensità luminosa svolge un ruolo importante anche nella sintesi di clorofilla all'interno dei frutti della cultivar "Hayward", sebbene livelli di intensità luminosa relativamente bassi siano di solito sufficienti per indurre la sintesi del pigmento utile a conferire la tipica colorazione verde (Lawes, 1989).

1.4 Il mercato mondiale del kiwi

Secondo i dati della FAO (Food and Agriculture Organization; <https://www.fao.org/faostat>), nel 2020 la produzione mondiale di kiwi ha superato i 4,4 milioni di tonnellate, con una superficie totale coltivata di circa 270.000 ha. La Cina contribuisce per circa la metà della produzione mondiale, attestandosi nel 2020 a valori di oltre 2,2 milioni di tonnellate. La produzione cinese di actinidia è attualmente destinata al solo mercato interno (Costa, 2018). In ordine di produzione, Nuova Zelanda, Italia, Grecia e Iran sono responsabili di circa l'80% della produzione di actinidia al di fuori della Cina. A livello globale gli impianti di coltivazione del kiwi si concentrano su quattro aree: Asia (Cina e Iran), con circa il 75% della superficie coltivata ed il 60% della produzione globale; Europa meridionale (Italia, Grecia, Francia, Portogallo, Spagna) con il 16,6% di ettari investiti e il 21,6% della produzione mondiale; Oceania (Nuova Zelanda, Australia) con il 5,8% della superficie coltivata e il 14,2% dei volumi produttivi mondiali (Lunati, 2022). Le quote residuali per quanto riguarda superfici coltivate e quantitativi prodotti si collocano principalmente in Cile, Stati Uniti e Turchia (Costa, 2018). L'andamento della produzione degli ultimi anni nei principali paesi produttori è stato costantemente in crescita (**Tabella 2**). Nonostante questo, l'actinidicoltura mondiale ricopre ancora oggi un ruolo relativamente marginale rispetto alle principali tipologie di frutta fresca, collocandosi oltre il ventesimo posto sia per quanto riguarda i quantitativi di prodotto che per gli investimenti in superficie coltivata (Lunati, 2022).

Tabella 2 – Produzione di kiwi nei principali paesi produttori (Costa, 2018).

Periodo 1987-90	Paese	Produzione (t)	Periodo 2013-2016	Paese	Produzione (t)
1	Cina	n.d.*	1	Cina	2.433.333
2	Italia	215.433	2	Italia	484.072
3	Nuova Zelanda	225.750	3	Nuova Zelanda	404.112
4	Cile	18.600	4	Cile	193.353
5	Francia	43.220	5	Grecia	160.933
6	Grecia	11.725	6	Francia	60.935
7	Giappone	48.650	7	Iran	58.333
8	Iran	1-2000	8	Turchia	42.545
9	USA	31.923	9	Giappone	31.075
10	Spagna	2.675	10	USA	24.419
Paesi principali	Top Five %	564.976 98,92		Top Five %	3.675.803 93
Paesi Principali	Top Ten %	597.977 98,98		Top Ten %	3.893.110 99
	Totale	606.551		Totale	3.950.461

n.d. = non disponibile

Il settore economico del kiwi, escluso quello asiatico, si basa principalmente sulle esportazioni. In particolare, l'incidenza dell'export rispetto alla produzione totale è circa 91,4% in Oceania, 94% in Cile e 66,1 % nel continente europeo; al contrario, nel continente asiatico questa percentuale risulta drasticamente ridotta a circa il 3,1 % (Lunati, 2022).

Fino a pochi anni fa, l'industria del kiwi era basata essenzialmente sulla produzione di un'unica varietà a polpa verde, ovvero la nota cultivar "Hayward", il cui successo era essenzialmente dovuto alla qualità dei frutti, all'ottima conservabilità e alla buona produttività (Ferguson, 2014). Recentemente sono state sviluppate diverse cultivar a polpa gialla e rossa che consentono di diversificare la produzione, aumentare la disponibilità di prodotto in diversi periodi dell'anno ed ottenere rese e remunerazioni maggiori (Costa, 2018).

1.5 Il settore del kiwi in Italia: evoluzione dei mercati e nella scelta delle cultivar

L'Italia rappresenta il primo produttore di kiwi a livello europeo ed il secondo esportatore al mondo dopo la Nuova Zelanda (Lunati, 2022). Nel 2020 la produzione nazionale è stata di circa 520.000 tonnellate, circa il 50% della produzione del continente europeo, con un investimento

in superficie coltivata di quasi 25.000 ettari (FAO, Food and Agriculture Organization ; <https://www.fao.org/faostat>). Le principali regioni produttrici sono Lazio, Piemonte, Emilia-Romagna e Veneto, con coltivazioni minori anche in Calabria, Campania, Puglia, Abruzzo, Basilicata, Lombardia e Friuli-Venezia Giulia (Testolin, 2014).

La remunerazione (€/kg) corrisposta ai coltivatori di actinidia ha subito notevoli variazioni nel corso degli ultimi 30 anni. Il prezzo alla produzione del kiwi “Hayward”, per quanto riguarda il prodotto di prima qualità, ha registrato un andamento crescente negli ultimi 10 anni, con prezzi che sono passati da 0,50 €/Kg a valori superiori a 1,50 €/Kg (Palmieri et al., 2022). Anche i prezzi alla produzione per quanto riguarda le varietà a polpa gialla hanno subito fluttuazioni, anche marcate, nel corso degli ultimi anni nonostante la gestione esclusiva e controllata dell’offerta da parte di consorzi (Palmieri et al., 2022). In generale, i prezzi alla produzione per le varietà a polpa gialla sono circa doppi rispetto a quelli delle varietà a polpa verde e lo stesso vale per i prezzi al consumo; nel 2021 i prezzi al consumo del kiwi in Italia hanno raggiunto valori molto elevati; circa 3-6 €/Kg per il kiwi verde e quasi il doppio per quello giallo (Sansavini e Testolin, 2021).

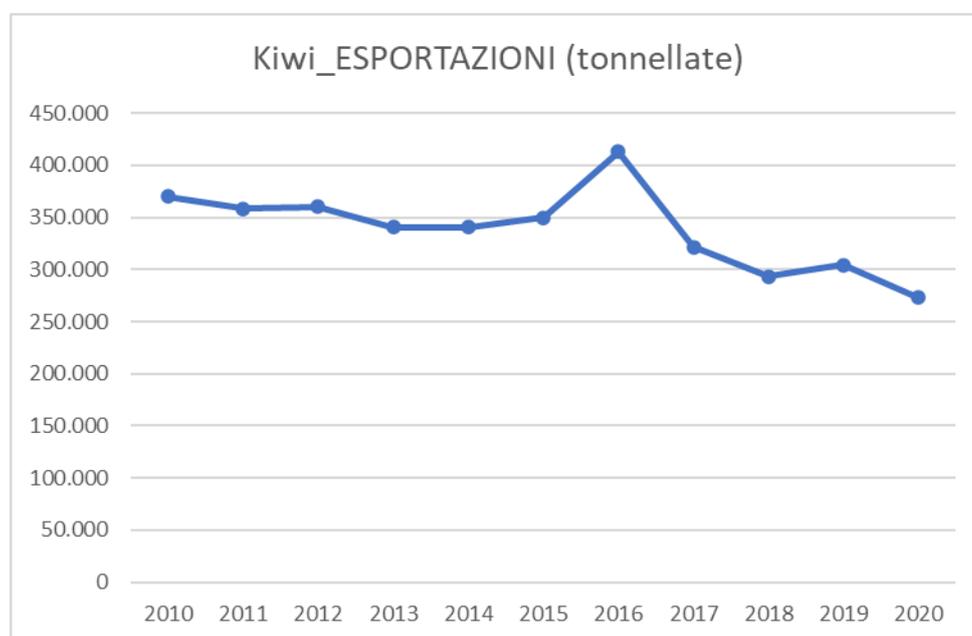


Figura 7 – Andamento delle esportazioni del kiwi italiano dal 2010 al 2020 (elaborazione dati FAO).

Negli ultimi 10 anni, la media dei quantitativi di kiwi esportati dall’Italia è stata di circa 330.000 tonnellate (Lunati, 2022); tuttavia, l’andamento delle esportazioni ha evidenziato un andamento decrescente mentre sono invece aumentate le importazioni (**Figura 7** e **Figura 8**). Nel 2021 i quantitativi di kiwi esportati sono stati di poco superiori a 260.000 tonnellate

mentre nel 2011 erano quasi 360.000 (Lunati, 2022). Le cause di questo declino sono da ricercare essenzialmente nell' aumento della concorrenza di altri paesi competitori e nel minor grado di differenziazione dei mercati di sbocco che si è verificato negli ultimi anni (Lunati, 2022). Nel 2021, circa il 47,6 % delle esportazioni di kiwi italiano ha raggiunto soltanto quattro mercati di sbocco e tutti nella comunità europea; in particolare, una quota del 15,8 % ha raggiunto la Germania e quote del 12%, 11,2% e 8,6% sono state destinate rispettivamente a Belgio, Spagna e Francia (Lunati, 2022). Bisogna inoltre considerare che paesi come il Belgio e l'Olanda (al quinto posto nella graduatoria dei principali paesi importatori di kiwi italiano) riesportano altrove il kiwi italiano e quello neozelandese (Lunati, 2022). Il principale mercato extra-europeo per quanto riguarda il kiwi italiano è rappresentato dagli Stati Uniti (Lunati, 2022). Dieci anni fa le quote delle esportazioni del kiwi italiano erano più diversificate; a livello europeo i paesi importatori del prodotto italiano erano sostanzialmente gli stessi di oggi ma il loro peso sulle esportazioni totali era inferiore. Inoltre, in passato paesi come la Polonia e la Gran Bretagna importavano un maggior quantitativo di kiwi dall'Italia e le destinazioni extra-europee dei frutti italiani verso Stati Uniti, Brasile e Canada avevano un'importanza maggiore (Lunati, 2022).

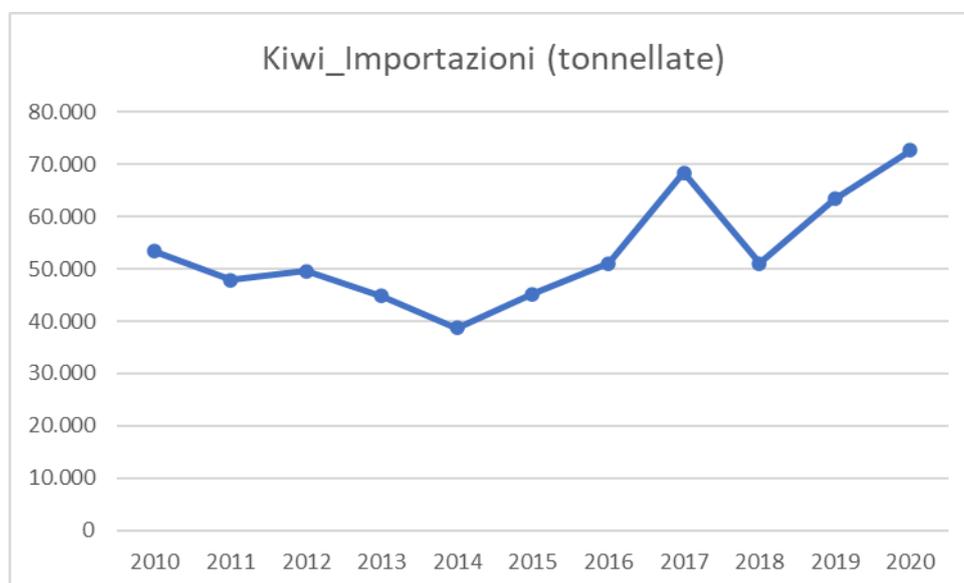


Figura 8 - Andamento delle importazioni di kiwi in Italia dal 2010 al 2020 (elaborazione dati FAO).

Analizzando i dati relativi alla superficie coltivata (**Tabella 3**) e alla produzione (**Tabella 4**) del kiwi italiano negli ultimi anni si può notare un calo generale della produzione di “Hayward” e delle altre varietà a polpa verde appartenenti alla specie *Actinidia deliciosa*; al contrario, cultivar a polpa gialla e più recentemente a polpa rossa della specie *Actinidia chinensis* hanno

evidenziato una crescita produttiva (Costa e Testolin, 2022). Le principali cultivar a polpa gialla recentemente introdotte in Italia sono, in ordine d'importanza: "Zesy002", "Jintao", "Soreli" e "Dori". Tutte queste varietà sono gestite da consorzi che controllano l'offerta di questi prodotti, impongono dei limiti sulle superfici coltivabili, forniscono ai frutticoltori indicazioni tecniche sulle pratiche agronomiche da adottare e si occupano degli aspetti che riguardano la gestione esclusiva delle operazioni commerciali e di marketing (Testolin, 2014).

Tabella 3 - Superficie coltivata (ha) con varietà di kiwi a polpa gialla sul territorio italiano dal 2015 al 2020. In fondo alla tabella sono riportati, per anno, gli ettari totali destinati alla produzione del kiwi italiano. Sono stati presi in considerazione soltanto gli impianti di età uguale o superiore a tre anni (Costa e Testolin, 2022)

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Zesy002	1.102	1.560	1.998	2.681	2.900	3.085
Jintao	630	714	954	1.108	1.165	1.281
Soreli	n.d.	350	350	350	350	332
Dori	5	145	310	328	313	330
Jinyan	-	-	-	-	274	281
Total	20.094	24.276	24.824	25.222	24.859	24.448

Tabella 4 - Produzione (t) di kiwi italiano dal 2015 al 2020 suddivisa in varietà a polpa verde, gialla e rossa (Costa e Testolin, 2022).

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Green	560.496	423.515	331.579	333.478	258.891	232.642
Yellow	14.600	28.227	37.517	59.900	59.148	72.414
Red (bi-color)						300
Total	575.096	451.742	369.096	393.378	318.039	305.356

La scelta delle varietà degli ultimi anni è stata in parte influenzata dall'avvento del cancro batterico provocato dal patogeno *Pseudomonas syringae* pv. *Actinidiae* (PSA) (Costa, 2018). La pandemia vegetale di PSA ha provocato enormi perdite economiche per il settore dell'actinidia, soprattutto in Italia e Nuova Zelanda (Cardacino et al., 2022). In Italia, questa patologia è comparsa per la prima volta nel 2010 in Piemonte e si è diffusa rapidamente in tutte le regioni in cui si pratica la coltivazione del kiwi (Chiabrando e Giacalone, 2016). In generale, diverse cultivar a polpa gialla sono apparse più suscettibili alla malattia rispetto ad "Hayward". Il cancro batterico del kiwi ha gravemente colpito "Hort16A", varietà a polpa gialla prodotta da Zespri, che stava riscuotendo un grande successo sia a livello agronomico (elevata produttività e buona pezzatura) che commerciale (Costa e Testolin, 2022). La suscettibilità di "Hort16A" alla malattia risultò talmente elevata che, nel giro di pochi anni, tutti i frutteti in produzione sono stati rimossi e sostituiti da altre varietà, sia in Italia che in Nuova Zelanda

(Costa, 2018). Altre cultivar, come “Zesy002” “Jintao” e “Soreli” sono state colpite da PSA seppure in misura minore. In generale, tutte le varietà di kiwi, inclusa “Hayward”, possono essere gravemente colpite da PSA, soprattutto quando le coltivazioni sono esposte ad eventi climatici favorevoli per lo sviluppo e la diffusione del batterio ovvero in caso di grandine, gelate e piogge battenti (Costa e Testolin, 2022).

Negli ultimi anni la ricerca sta investendo risorse sul miglioramento genetico per produrre varietà resistenti o tolleranti a PSA in modo da arginare o quantomeno ridurre le problematiche associate a tale patologia. I formulati sperimentati fino ad ora (battericidi, prodotti rameici, antagonisti naturali, induttori di resistenza ecc.) non hanno dimostrato un livello di efficacia soddisfacente in caso di condizioni favorevoli allo sviluppo del batterio (Chiabrando e Giacalone, 2016). Recentemente è stata sperimentata la coltivazione protetta per varietà a polpa gialla e rossa che sono più produttive e garantiscono retribuzioni tali da rendere sostenibili gli investimenti per la realizzazione delle coperture (Costa, 2018). L’obiettivo è quello di proteggere la coltura da piogge e grandinate e di modificare il microclima sotto la copertura per creare delle condizioni ambientali sfavorevoli allo sviluppo del patogeno. I primi risultati ottenuti suggeriscono che, in caso di condizioni climatiche avverse, realizzando dei tunnel di copertura in materiale plastico innovativo in grado di fornire protezione termica e un’adeguata diffusione della luce, è possibile ridurre l’incidenza della malattia (Costa e Testolin, 2022). Va tenuto presente che adottando questi sistemi di copertura, è necessario adattare o modificare la gestione di pratiche colturali come la potatura, l’irrigazione e l’impollinazione rispetto a quelle utilizzate in pieno campo (Costa, 2018).

Un’altra patologia che dal 2012 sta minacciando il settore italiano dell’actinidia è la cosiddetta moria del kiwi conosciuta a livello internazionale come Kiwifruit Vine Decline Syndrome (Cardacino et al., 2022). Dal 2012 al 2021 si stima che circa 7.200 ha di superficie coltivata sono stati seriamente danneggiati dalla sindrome (Cardacino et al., 2022). Si tratta di una patologia complessa la cui eziologia coinvolge sia fattori biotici che abiotici e non è stata ancora del tutto chiarita. I sintomi si manifestano a livello dell’apparato radicale che viene seriamente compromesso provocando un rapido ed irreversibile avvizzimento della pianta. Le probabili cause individuate fin ora sono (Costa e Testolin, 2022):

- Anomalie nella tessitura e struttura del suolo soprattutto nei casi in cui una gestione scorretta dell’irrigazione ha creato compattazione e condizioni anossiche del terreno

- Ristagni idrici
- Uso eccessivo di rame
- Alterazioni delle popolazioni microbiche del suolo nonostante non siano stati individuati chiaramente dei microrganismi che da soli siano responsabili dell'insorgenza della malattia.

Attualmente, le principali soluzioni per mitigare l'insorgenza e la gravità dei sintomi associati alla moria del kiwi sono da ricercare in una corretta preparazione e gestione del suolo favorendone il drenaggio, l'inerbimento ed il mantenimento di temperature non troppo elevate mediante l'utilizzo di reti di copertura ombreggianti. (Cardacino et al., 2022). Può inoltre essere utile l'apporto di nutrienti e di letame di qualità per favorire lo sviluppo dell'apparato radicale delle piante più giovani; infine, l'impiego di portainnesti tolleranti al ristagno idrico e resistenti ai diversi patogeni può rappresentare una soluzione per il contenimento della malattia (Costa e Testolin, 2022).

1.6 Modelli previsionali: approcci e principali applicazioni in ambito agricolo

I modelli previsionali in ambito agricolo offrono grandi possibilità strategiche nella gestione delle colture ortofrutticole permettendo di ottenere stime anticipate dell'evoluzione temporale di numerose variabili o fenomeni che hanno impatto sulla produttività e sulla qualità dei prodotti agricoli. I modelli previsionali costituiscono dei sistemi di supporto decisionale (DSS) utili ai diversi membri della filiera produttiva per la comprensione dei fenomeni e la razionalizzazione del processo decisionale al fine di consentire misure d'intervento appropriate rispetto alle previsioni. Questi sistemi di supporto alle decisioni sono in grado di predire numerose variabili d'interesse che riguardano le produzioni ortofrutticole; in generale, le principali applicazioni dei modelli predittivi in agricoltura riguardano:

- previsioni dell'epoca o data di raccolta
- previsioni della qualità media e delle caratteristiche dei prodotti alla raccolta
- previsioni dei volumi di produzione
- previsioni sul fabbisogno idrico e nutrizionale delle colture
- previsioni del livello di rischio e della gravità dell'attacco di microrganismi patogeni e/o insetti.

Tutte le previsioni sopra citate sono fortemente influenzate da variabili pedo-climatiche come: temperature, illuminazione, umidità dell'aria e del suolo, caratteristiche chimico fisiche del suolo, precipitazioni, ventosità ecc.

Le previsioni che riguardano le date di raccolta, i volumi di produzione e gli aspetti qualitativi dei frutti consentono agli operatori commerciali di pianificare in anticipo aspetti logistici come: strategie di vendita e posizionamento di mercato, ottimizzazione e diversificazione dei regimi di conservazione ed organizzazione di risorse finanziarie, umane e materiali. Tali previsioni risultano utili anche per gli agricoltori per guidare gli aspetti organizzativi in vista della raccolta. In un'ottica di agricoltura di precisione, i modelli predittivi che consentono di ottimizzare l'impiego di acqua, fertilizzanti e prodotti fitosanitari offrono la possibilità di intervenire in modo mirato e di favorire la sostenibilità economica ed ambientale dei sistemi colturali.

In generale, i modelli predittivi necessitano di alcuni passaggi fondamentali: la raccolta dati, l'elaborazione degli stessi ed infine la calibrazione e validazione degli algoritmi utilizzati per fare le previsioni. La raccolta dati può avvenire mediante misurazioni manuali eseguite preferibilmente da personale qualificato oppure tramite mezzi tecnologici di vario tipo. Negli ultimi anni, per applicazioni nell'agricoltura di precisione, stanno man mano acquisendo un'importanza sempre maggiore metodi tecnologici quali: telerilevamento, sensoristica, robotica, droni, sistemi di geolocalizzazione e mappatura dei terreni colturali. L'elaborazione dei database di partenza necessita di un numero di osservazione sufficientemente ampio da rappresentare la variabilità del fenomeno d'interesse ed è finalizzata alla costruzione di modelli matematici più o meno complessi. La creazione di algoritmi può basarsi su metodi statistici di tipo correlativo o di altro genere, oppure sull'utilizzo di costruzioni matematiche complesse come le reti neurali artificiali, i frattali o i metodi stocastici (Carpino, 2009). La fase di validazione contro dati reali è necessaria per aumentare accuratezza e affidabilità dei modelli implementati.

I modelli matematici possono essere suddivisi, in base al grado di complessità, in modelli empirici e modelli meccanicistici (o causali) sebbene non sempre vi sia una netta distinzione tra le due tipologie (Carpino, 2009). Entrambe le tipologie di modello possono essere a loro volta statiche o dinamiche a seconda che la dimensione temporale venga presa in considerazione oppure no.

Nei modelli empirici vengono individuate una o più grandezze fisiche la cui variazione modifichi il valore di un'altra grandezza fisica d'interesse, senza spiegarne le relazioni causali. Si deriva poi una legge matematica che descriva sufficientemente bene il fenomeno e la si utilizza per la caratterizzazione dei dati sperimentali. Un esempio semplice di modello empirico può essere la funzione esponenziale che descrive matematicamente l'aumento del peso secco e quindi l'accrescimento di una pianta. I modelli empirici sono semplici, richiedono generalmente pochi dati di partenza ma talvolta presentano un ampio margine d'incertezza poiché trattandosi di metodi descrittivi si basano su parametri che potrebbero non adattarsi al di fuori delle condizioni sperimentali in cui sono stati ottenuti nonostante tengano conto in maniera implicita degli effetti delle variabili sconosciute (Marcelis et al., 1998).

I modelli meccanicistici descrivono un fenomeno in base alle variabili fondamentali che governano il fenomeno stesso. In questo caso il fenomeno viene descritto come il risultato di una serie di funzioni più complesse, ognuna delle quali rappresenta un sottoprocesso che concorre simultaneamente agli altri a determinare il funzionamento del sistema. Questi modelli si basano sulle leggi fisiche, chimiche o biologiche che descrivono il comportamento delle parti costituenti (Anderson et al., 2021). Un esempio di modello meccanicistico può essere il calcolo dell'incremento di peso secco in dipendenza di variabili come: condizioni meteorologiche, stato fisiologico della specie, intercettazione luminosa, attività fotosintetica e produzione di assimilati. Si tratta di modelli utili alla comprensione di un fenomeno; il loro potere predittivo dipende perciò dal livello di conoscenza del sistema e dalla complessità del modello (Anderson et al., 2021).

1.7 Modelli previsionali: casi studio sul kiwi e altre colture ortofrutticole

Una revisione della letteratura scientifica riguardante i modelli previsionali della produzione di sostanza secca e della resa delle colture ortofrutticole fino al 1998, ha stabilito che i modelli meccanicistici sviluppati fino ad allora erano principalmente basati sulla modellizzazione della capacità di accumulo di biomassa attraverso input riguardanti lo sviluppo della superficie fogliare, l'intercettazione luminosa, la fotosintesi e la respirazione (Marcelis et al., 1998). Nei decenni successivi, ulteriori tentativi sono stati fatti per sviluppare modelli meccanicistici della produzione degli alberi da frutto, con notevoli progressi compiuti in alcuni casi, come ad esempio nel modello "QualiTree" per il pesco (Anderson et al., 2021). Questo modello, basato su una sorta di albero virtuale, stima la crescita dei frutti considerando l'albero da frutto come

un insieme di subunità che competono fra di loro per risorse come luce, foto-assimilati e acqua. Il modello “QualiTree” è probabilmente il modello meccanicistico più avanzato per gli alberi da frutto, sebbene approcci simili siano stati sperimentati anche in altri tipi di colture (Anderson et al., 2021).

L'utilizzo pratico ed affidabile dei modelli meccanicistici per stimare la produzione degli alberi da frutto è purtroppo ostacolato dalla complessità dei sistemi biologici ed in modo particolare dal fatto che cicli di crescita delle piante spesso presentano un andamento irregolare fra annate e/o stagioni diverse (Anderson et al., 2021). Un ulteriore ostacolo all'applicazione pratica dei modelli meccanicistici in ambito agricolo è rappresentato dalla scarsa disponibilità dei numerosi dati di input che sono necessari per la loro implementazione. Per queste ragioni, i produttori di frutti attualmente si affidano spesso a modelli empirici per predire le date di raccolta, le rese finali e i cambiamenti qualitativi dei prodotti. Questi modelli si basano essenzialmente su misurazioni dirette, manuali o di visione artificiale, e sulle correlazioni fra i parametri misurati e le variabili climatiche-ambientali o gli attributi della chioma fruttifera (Anderson et al., 2021).

1.7.1 Previsioni delle rese dei prodotti ortofrutticoli alla raccolta

Le principali funzioni adottate per mettere in relazione le rese finali ed il tasso di accrescimento dei prodotti ortofrutticoli direttamente con i fattori ambientali sono di tipo polinomiale, esponenziale, iperbolico o sigmoidale, sebbene funzioni più complesse possano essere utilizzate per descrivere relazioni che presentano dei picchi asimmetrici (Marcelis et al., 1998). Talvolta, i parametri propri di una coltura, quelli relativi alla resa degli anni precedenti o determinati fattori ambientali possono essere utilizzati come regressori per realizzare le previsioni (Marcelis et al., 1998).

Nel 2002 è stato descritto un metodo per stimare il numero ed il diametro delle mele all'interno di un frutteto utilizzando degli algoritmi in grado di analizzare immagini di mele raccolte mediante una telecamera termica nel periodo fra giugno e settembre (Stajko et al., 2004). Il numero di frutti ed il loro diametro sono stati predetti attraverso algoritmi basati sulla rilevazione termica dei frutti; il numero di frutti misurati manualmente ed il numero stimato mediante algoritmo presentava un coefficiente di correlazione (R^2) che variava da 0,83 nel mese di giugno a 0,88 nel mese di settembre. Anche le correlazioni fra diametri effettivi e diametri predetti tramite algoritmo erano caratterizzate da un R^2 ad andamento

leggermente crescente che passava da 0,68 a 0,70 con il proseguo dello sviluppo e della maturazione.

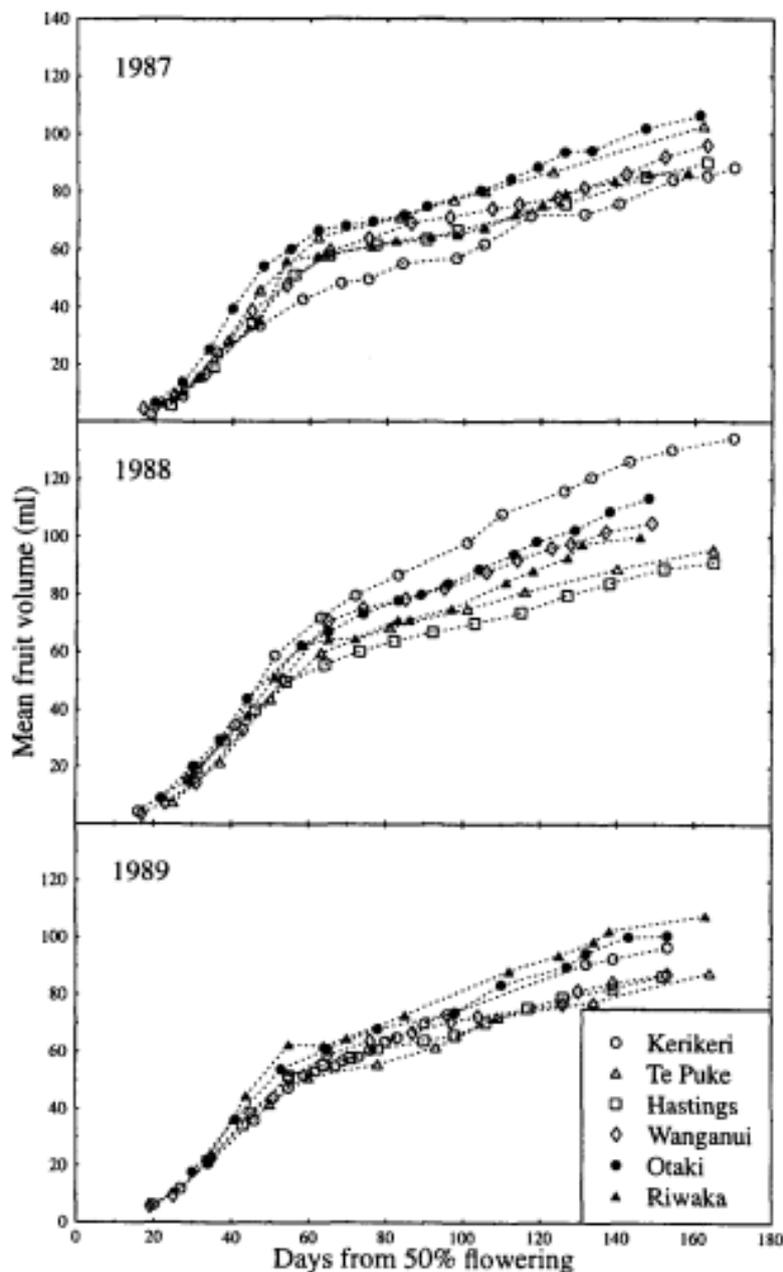


Figura 9 - Andamento delle curve di crescita dei kiwi (*Actinidia deliciosa*) in tre stagioni diverse (1987, 1988, 1989) e in sei differenti siti della Nuova Zelanda (Hall et al., 1996).

Diversi autori hanno descritto la curva di accrescimento dei kiwi come una doppia sigmoide; in alcuni casi questa caratteristica è piuttosto evidente mentre in altri è appena percettibile (Bebbington et al., 2009). In generale, l'accrescimento del kiwi è comunque caratterizzato da una prima fase di rapida crescita esponenziale che può durare circa 50-60 giorni dopo l'antesi e nella quale viene raggiunta circa la metà del volume finale del frutto; segue una seconda

fase di crescita più lenta, approssimativamente di tipo lineare che può durare circa 100 giorni (**Figura 9**) (Hall et al., 1996). La modellizzazione delle curve di crescita e l'identificazione delle coordinate del punto di transizione fra le due fasi di crescita, ovvero del punto di cambio tra la crescita esponenziale e la fase più lunga di crescita lenta, può essere utile per fare previsioni riguardo il peso ed il diametro medio dei kiwi alla raccolta.

Secondo uno studio neozelandese del 2009, i kiwi alla raccolta presentavano un diametro ed un peso medio tanto maggiore quanto maggiore era la pezzatura dei frutti nel punto di transizione e quanto prima questa transizione si verificava nel tempo (Bebbington et al., 2009). In questo studio, il momento in cui avveniva la fine della fase esponenziale era correlato con le temperature medie rilevate dalla fioritura fino a quel momento; in particolare, il punto di transizione avveniva tanto prima quanto maggiori erano le temperature medie in questa fase temporale.

Alcuni autori affermano che l'effetto della temperatura è limitato durante la seconda fase di crescita, di conseguenza i volumi dei frutti alla raccolta possono essere verosimilmente previsti considerando essenzialmente le temperature misurate precocemente nelle prime fasi di crescita (Hall et al., 1996).

1.7.2 Previsioni dell'epoca di raccolta dei prodotti ortofrutticoli

Le previsioni dell'epoca di raccolta spesso si basano sull'andamento temporale delle temperature a partire dal periodo di fioritura; questi modelli utilizzano la temperatura come predittore per calcolare la durata del ciclo di sviluppo di una coltura poiché essa rappresenta la grandezza meteorologica di maggior influenza sul ciclo di sviluppo delle piante. Il limite principale di questo approccio è rappresentato dal fatto che le specie ortofrutticole non rispondono in maniera lineare alla temperatura e la temperatura ha un impatto diverso se si verificano condizioni diverse. In molti casi l'epoca di raccolta può essere predetta utilizzando l'approccio standard al tempo termico basandosi sull'accumulo di unità termiche e cioè sulle "somme termiche" o "gradi giorno" (in inglese Growing Degree Days, GDD). Le somme termiche sono calcolate definendo un valore soglia di temperatura (valore minimo) oltre il quale le temperature sono considerate efficaci per lo sviluppo. Questo sistema trascura tuttavia l'esistenza di temperature sovra-ottimali per le piante e perciò sovrastima il contributo allo sviluppo delle temperature superiori alla soglia ottimale; per ovviare a ciò sono stati introdotti dei metodi correttivi quali lo scarto orizzontale, lo scarto verticale e lo scarto

intermedio (Cola et al., 2012). Un metodo alternativo può essere quello basato sulle Ore Normali di Caldo (NHH, Normal Heat Hours) che considera più efficaci le ore trascorse a temperature prossime a quella ottimale, meno efficaci quelle vicine alle soglie minime e massime di sviluppo e nullo il contributo delle temperature più basse della soglia minima e più alte di quella massima (**Figura 10**).

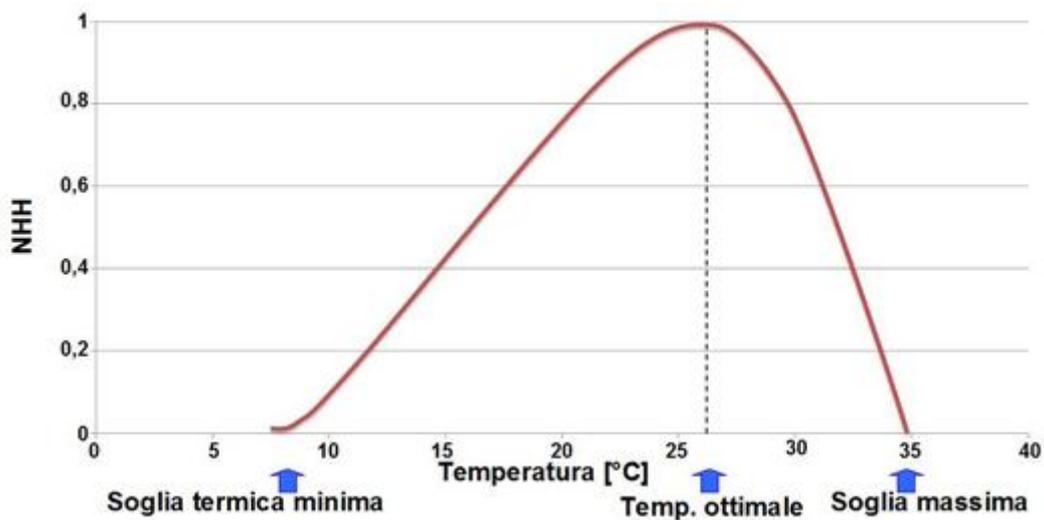


Figura 10 - Grafico esemplificativo del calcolo delle Ore Normali di Caldo (NHH) (fonte Masaf) (<https://www.politicheagricole.it>).

Nello specifico, questo approccio considera le temperature orarie e le normalizza tramite la seguente curva di risposta (Cola et al., 2012):

$$NHH = [2 * (Th - Tcmin)^\alpha * (Topt - Tcmin)^\alpha - (Th - Tcmin)^{2\alpha}] / (Topt - Tcmin)^{2\alpha}$$

Dove:

- Th = temperatura dell'ora in esame
- $\alpha = \ln 2 / [\ln ((Tcmax - Tcmin) / (Topt - Tcmin))]$
- Tcmin = Temperatura cardinale minima; limite inferiore sotto al quale le temperature non sono efficaci per il processo in esame;
- Topt = Temperatura ottimale per il processo;
- Tcmax = Temperatura cardinale massima; limite superiore oltre al quale le temperature non sono efficaci per il processo in esame.

In uno studio di due anni, condotto in diverse regioni della Nuova Zelanda, alcuni ricercatori hanno tentato di sviluppare un modello statistico per prevedere l'epoca di raccolta del kiwi "Hayward" (Snelgar et al., 1993). In questo studio è stato messo in relazione il tempo medio necessario per far sì che il contenuto di solidi solubili (SSC) passi dal 5% al 6,5% con la media

delle temperature di quel periodo. L'effetto della temperatura sul tasso di incremento di SSC (% SSC/giorno) è stato modellizzato mediante regressione lineare con un coefficiente di determinazione (R^2) pari a 0,72 nel primo anno di studio. Questo coefficiente di determinazione è stato significativamente inferiore analizzando i dati del secondo anno; di conseguenza il modello non presenta un potere predittivo del tutto soddisfacente, sebbene consenta di stabilire chiaramente che il tasso di accumulo dei solidi solubili aumenta con il diminuire delle temperature medie di un certo periodo. I limiti del modello possono derivare da fattori diversi dalla temperatura che possono influenzare la velocità di accumulo dei solidi solubili, da una struttura del modello non appropriata a descrivere il fenomeno in questione, oppure da differenze rilevanti fra le temperature rilevate dalle stazioni metereologiche e le temperature effettive in prossimità dei frutti.

Un tipo di approccio alternativo per sviluppare modelli predittivi dell'epoca di raccolta può essere quello basato sull'evoluzione di attributi correlati allo stato di maturazione; questi metodi presuppongono l'individuazione di una o più variabili di input (predittori) che possano essere utilizzate per prevedere il valore dei parametri qualitativi più rappresentativi del grado di maturazione e cioè quelli che possono essere presi come riferimento per stabilire il momento ottimale per procedere con la raccolta dei frutti.

Diversi studi hanno dimostrato che l'epoca di raccolta per pesche e nettarine può essere stabilita utilizzando la consistenza dei frutti come indice dello stato di maturazione più rappresentativo; tale parametro può essere predetto attraverso analisi di regressione lineare o quadratica polinomiale a partire da misure non distruttive dell'indice DA basato sull'assorbanza della clorofilla (Zhang et al., 2017).

1.7.3 Previsioni della qualità dei prodotti ortofrutticoli alla raccolta

Nel 2003, un gruppo di ricercatori ha messo a punto un modello meccanicistico denominato "SUGAR" per prevedere i cambiamenti nella composizione degli zuccheri durante le diverse fasi di sviluppo dei frutti considerando gli zuccheri direttamente accumulati all'interno delle cellule, quelli convertiti in zuccheri di diverso tipo e quelli utilizzati per sintetizzare altri composti (Genard et al., 2003). Alcuni autori hanno progettato due modelli per prevedere il contenuto di acidi organici nella frutta: il primo si basava sulla produzione e degradazione dell'acido citrico tramite il ciclo del citrato mentre nel secondo, il contenuto di acido malico veniva modellizzato in base alle sue condizioni termodinamiche di trasporto dal citosol al

vacuolo (Lobit et al., 2006). Uno studio del 2009 propone un modello per determinare il contenuto di sostanza secca nelle colture di pomodoro analizzandone la ripartizione nei vari organi della pianta in risposta alle variazioni d'intensità luminosa (Dimokas et al., 2009). Alcuni ricercatori hanno proposto un modello di tipo stocastico per prevedere l'evoluzione del peso, della consistenza e del contenuto di solidi solubili (SSC) nelle pere "Conference" (Scheerlinck et al., 2004). In questo studio, le equazioni di governo dell'evoluzione di questi parametri qualitativi sono state ottenute e risolte numericamente dall'equazione generalizzata di Fokker - Planck che governa l'evoluzione della funzione di densità di probabilità della posizione di una particella ed in generale delle variabili e dei fenomeni osservabili. Questa metodologia ha permesso di descrivere, una volta ricostruita la distribuzione di probabilità delle singole variabili d'interesse, l'andamento della crescita e della qualità delle pere in termini di probabilità che determinati valori di peso, consistenza e SSC si verificano nel corso del tempo. Alcuni studi sono stati condotti in Nuova Zelanda su frutti di *Actinidia chinensis* varietà "Hort16A", allo scopo di modellizzare l'andamento della colorazione della polpa e di predire il momento del viraggio del colore da verde a giallo (Minchin et al., 2003; De Silva et al., 2006; Jordan e Loeffen, 2014). Il cambiamento di colore, nella cultivar "Hort16A" è fondamentale per stabilire il momento della raccolta e rappresenta un attributo essenziale per ottenere un giudizio di accettabilità da parte del consumatore. Secondo questi studi, il cambiamento della colorazione, monitorato attraverso misurazioni dell'angolo di tonalità (Hue), nel periodo compreso fra fioritura e raccolta, può essere modellizzato secondo un andamento di tipo sigmoidale (**Figura 11**). Il probabile effetto della temperatura nel determinare il tasso di cambiamento del colore non è stato del tutto decifrato ed i risultati ottenuti negli studi precedentemente citati non sono univoci. Ad ogni modo, in uno studio del 2003 si afferma che: basandosi su un set di dati raccolti in quattro regioni diverse della Nuova Zelanda nel corso di tre anni, è possibile prevedere, per ogni aumento di 1°C della media delle temperature massime dell'aria nel periodo compreso tra 100 e 150 giorni dopo la fioritura, un ritardo di 3 giorni nella diminuzione di 1° hue e quindi un ritardo della maturazione (Minchin et al., 2003).

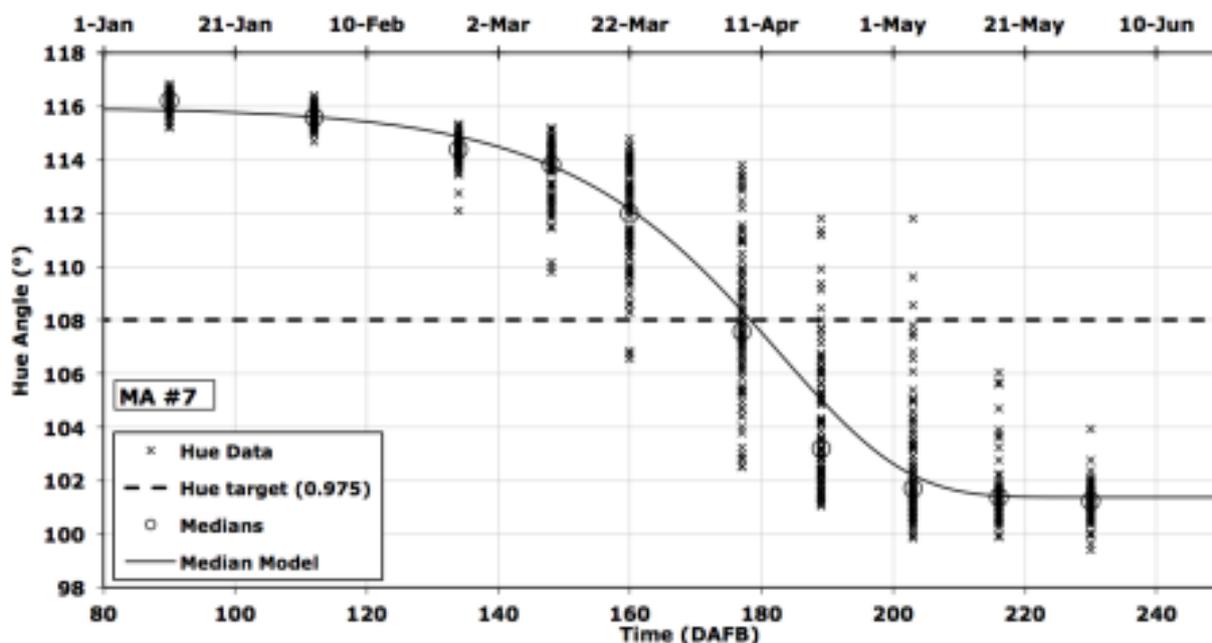


Figura 11 - Andamento dell'angolo di tonalità (hue) misurato, ad ogni rilievo, su 90 frutti della varietà "Hort16A" nel periodo fra gennaio e giugno 2010 in Nuova Zelanda. La leggenda riporta i valori individuali (Hue Data), le mediane (Medians), il fitting basato sulle mediane (Median Model) ed un valore di tonalità target al di sotto del quale devono porsi il 97,5 % dei frutti maturi (Jordan e Loeffen, 2014).

Secondo alcuni autori, l'accumulo di sostanza secca durante il ciclo di sviluppo dei kiwi approssima un andamento di tipo esponenziale (Figura 12).

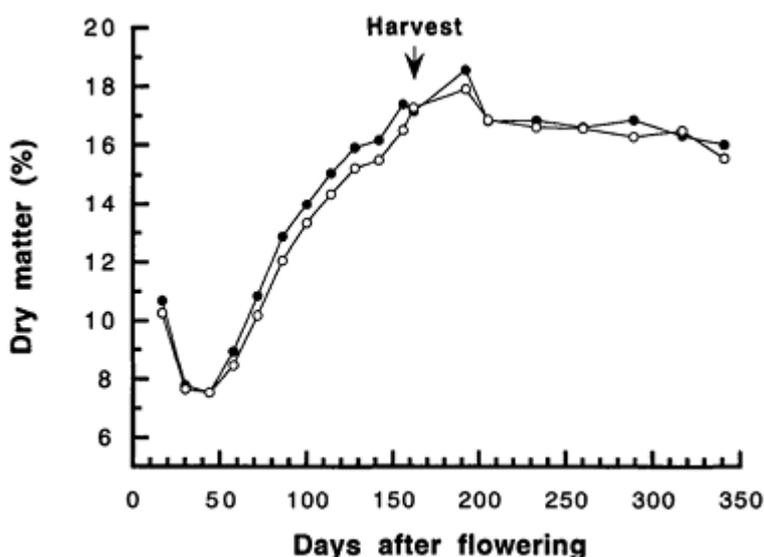


Figura 12 - Cambiamenti nella percentuale di sostanza secca dei kiwi provenienti da due frutteti con diversi carichi fruttiferi alla raccolta. I simboli pieni si riferiscono al frutteto con carico fruttifero di 18-30 frutti/m²; i simboli vuoti si riferiscono al frutteto con carico fruttifero maggiore di 50 frutti/m² (Richardson et al., 1997).

Modelli matematici che simulano l'accumulo di sostanza secca sono stati realizzati applicando delle equazioni per descrivere l'assorbimento di acqua, l'assimilazione del carbonio e i tassi di

conversione amido- zuccheri in funzione della temperatura (Hall et al., 2004). Questi modelli presentano dei limiti poiché considerano soltanto l'assimilazione di acqua e carbonio a livello dei frutti senza considerare le altre parti della pianta; un approccio in grado di includere le dinamiche di accumulo degli assimilati dell'intera pianta potrebbe aumentare la precisione del modello chiarendo maggiormente i rapporti di competizione fra crescita vegetativa e crescita dei frutti in risposta ai cambi di temperatura.

2 SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo della presente tesi è quello di proporre uno studio preliminare riguardante i modelli previsionali per la qualità e la produttività del kiwi Dorì (varietà AC1536) allo scopo di fornire un Sistema di Supporto alle Decisioni (Decision Support System, DSS) per gli agricoltori e gli altri membri del Consorzio Dorì Europe S.r.l. Nel presente studio sono stati monitorati ed analizzati i dati riguardanti l'andamento temporale della crescita e maturazione dei kiwi esplorando i fattori endogeni ed ambientali di maggior impatto sulla produzione dei frutti allo scopo di selezionare dei predittori che possano essere modellizzati ed implementati per realizzare delle previsioni accurate riguardanti la durata del ciclo di sviluppo, la resa e la qualità del kiwi Dorì alla raccolta.

Il presente studio, come precedentemente accennato, si è focalizzato sulle fasi preliminari di analisi dei dati, implementazione e validazione dei modelli previsionali. Le fasi successive del progetto prevedono:

- l'incremento del potere previsionale e dell'accuratezza dei modelli attuali incorporando un numero maggiore di dati rappresentativi della variabilità dei fenomeni d'interesse
- miglioramento dell'applicazione attualmente disponibile in versione di prova che si pone come obiettivo quello di fornire, a tutti i soci del consorzio, uno strumento semplice e veloce per fare previsioni accurate riguardo le data di raccolta, la pezzatura media ed i parametri qualitativi dei frutti alla raccolta.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Protocollo di raccolta dati

Nel corso delle stagioni 2020, 2021 e 2022, tecnici incaricati dal Consorzio Dorì Europe S.r.l hanno eseguito i rilievi sulla crescita e maturazione dei frutti in diverse aziende agricole ubicate nelle seguenti regioni italiane: Veneto, Emilia-Romagna, Piemonte, Lazio, Campania e Calabria. Tali rilievi sono perciò stati condotti in situazioni diverse (areali geografici, condizioni di coltivazione, carica fruttifera, portainnesti, ecc.) che sono state vagliate e concordate con il Comitato Tecnico del Consorzio. Nell'anno 2020, per motivi logistici, non sono stati effettuati i rilievi di crescita mentre i rilievi pre-raccolta riguardanti gli indici di maturazione sono stati eseguiti su 33 aziende. Nel 2021 sono state condotte le misurazioni su 21 aziende per quanto riguarda i rilievi di maturazione e su 10 aziende nel caso dei rilievi riguardanti il ciclo di crescita. Infine, nel 2022, sono stati monitorati gli indici di maturazione di 18 aziende nel periodo pre-raccolta e 7 aziende sono state selezionate per effettuare i rilievi di crescita.

Per uniformare l'esecuzione dei rilievi è stato realizzato un protocollo contenente delle istruzioni operative valide per tutte le aziende e per tutte e tre le stagioni oggetto di studio. Secondo il protocollo, i rilievi di crescita andavano effettuati a partire dall'epoca di formazione dei frutti corrispondente alla fase fenologica 69 (fine fioritura, frutto visibile; scala BBCH di Salinero et al., 2009) (**Figura 13**), basandosi sulle misurazioni di calibro e pesatura su gruppi diversi di frutti, con cadenze temporali variabili a seconda del rilievo. Nello specifico, il calibro dei frutti è stato rilevato tramite misurazioni a cadenza settimanale del diametro trasversale massimo (millimetri) su 100 frutti etichettati sulle piante e monitorati fino alla raccolta. I 100 frutti sono stati selezionati ed etichettati secondo criteri di omogeneità e rappresentatività della situazione complessiva del frutteto, evitando casi particolari ovvero frutti troppo grandi o troppo piccoli rispetto alla media. A cadenza bisettimanale, ovvero ogni 15 giorni a partire dal primo rilievo, sono stati staccati 20 frutti con caratteristiche il più possibile simili a quelle dei 100 frutti rimanenti sull'albero. Per la scelta dei 20 frutti da staccare il protocollo forniva l'indicazione di eseguire prima le misure del calibro sui 100 frutti come precedentemente spiegato e poi scegliere i 20 frutti sulla base delle dimensioni medie dei frutti che restano sulla pianta. Sui 20 frutti staccati, ad ogni data di rilievo, è stato misurato il diametro trasversale massimo, come per i 100 frutti sull'albero, ed il peso in grammi, in modo tale da poter ricostruire, qualora necessario, a posteriori il peso del frutto a partire dal diametro.

Iniziata la fase di maturazione, per ciascuno dei 20 frutti staccati, oltre al calibro ed il peso, sono stati monitorati i valori dei principali indici di maturazione. In particolare, per ciascuno frutto è stato misurato l'indice DA tramite il Kiwi-Meter (Sinteleia Srl, Bologna) e sono state effettuate le seguenti misure distruttive: Residuo Secco Rifrattometrico (°Brix), consistenza, acidità titolabile e colore della polpa (°Hue). Il grado zuccherino (°Brix) dei frutti è stato misurato tramite rifrattometro ottico ed elettronico, la consistenza tramite penetrometro con puntale da 8 mm ed il colore della polpa tramite colorimetro Konica-Minolta misurando l'angolo di tonalità (°Hue) sulla sezione equatoriale dei frutti, tra il centro (columella) ed il sotto-epidermide. Infine, l'acidità titolabile è stata misurata tramite acidimetro elettronico Atago prelevando 0,2 ml di succo e portandoli a volume di 10 ml con acqua demineralizzata.

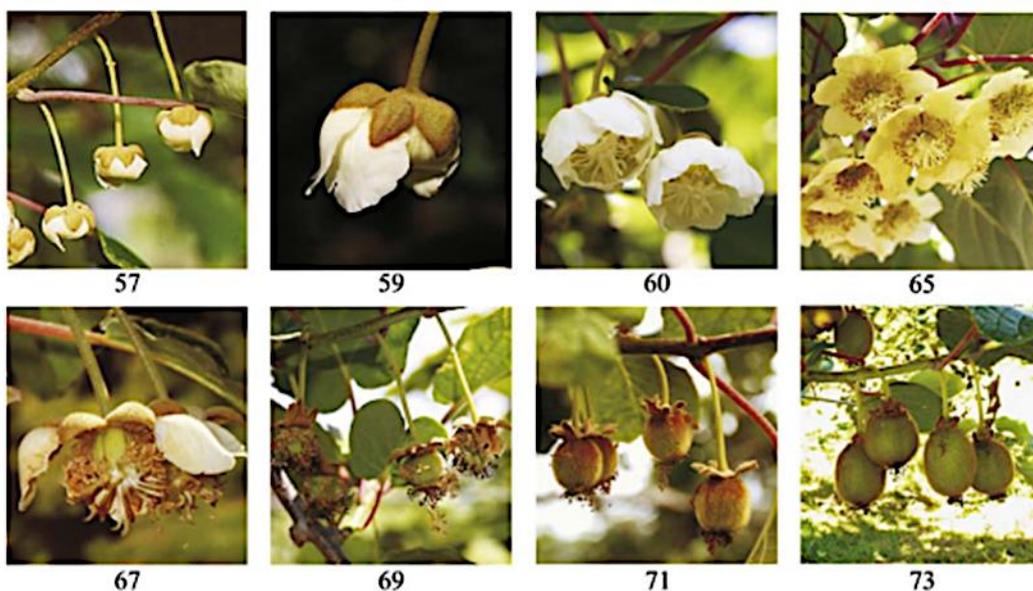


Figura 13 - Stadi fenologici precedenti (57-67) e successivi (71-73) alla fase in cui devono essere avviati i rilievi di crescita (fase 69) (Salinero et al., 2008).

3.2 Raccolta dei dati climatici

I dati climatici delle stagioni 2020, 2021 e 2022 sono stati raccolti dai database delle agenzie regionali di Veneto, Emilia-Romagna, Piemonte, Lazio, Campania e Calabria. Nello specifico, i database sono stati scaricati da:

- siti web dell'Arpa (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) delle regioni Veneto, Emilia-Romagna e Calabria
- sito web del Siarl (Servizio Integrato Agrometeorologico della Regione Lazio)
- sito web della Rete Agrometeorologica Regionale (RAM) del Siap (Sistema Informativo Agricolo Piemontese)

- sito web del Centro Agrometeorologico Regionale (C.A.R) della regione Campania.

La consultazione di questi database è risultata a libero accesso tranne che nel caso dei dati di proprietà dell'Arpacal (Agenzia Regionale Protezione Ambiente Calabria) per i quali la consultazione è stata concessa previa richiesta e concessione delle credenziali di accesso. I dati meteorologici così ottenuti hanno incluso, per tutte e tre le stagioni oggetto d'indagine e per tutte le regioni, l'intero arco temporale di durata del ciclo produttivo dei frutti ovvero dalle prime fasi di accrescimento fino alla raccolta. Questo arco temporale ha riguardato essenzialmente il periodo compreso tra fine aprile/inizio maggio e fine settembre/inizio ottobre, con lievi differenze a seconda della stagione e dell'areale geografico di coltivazione. I parametri climatici considerati ed estrapolati per i mesi sopra citati sono stati le temperature giornaliere medie, minime e massime dell'aria (C°) e la radiazione globale media giornaliera (W/m²). Questi dati giornalieri, se disponibili, sono stati recuperati per tutte le aziende oggetto di studio scaricandoli dalle banche dati regionali e facendo riferimento alla stazione meteorologica più vicina al sito di coltivazione di ciascuna azienda. L'individuazione della stazione meteorologica ideale per l'ottenimento dei dati climatici si è basata sulla geolocalizzazione della stessa rispetto alle coordinate geografiche delle aziende agricole di interesse. Nei casi in cui la stazione meteorologica designata allo scarico dei dati meteorologici presentava dati giornalieri mancanti, questi dati sono stati recuperati dalla seconda stazione meteorologica più vicina all'azienda ed eventualmente da una terza adottando lo stesso metodo di geolocalizzazione sopra citato ed avendo cura di verificare che le temperature e/o le radiazioni globali rilevate da queste stazioni non fossero eccessivamente diverse fra loro. I dati riguardanti la radiazione globale media giornaliera sono risultati disponibili soltanto per le banche dati delle stazioni meteorologiche delle regioni Veneto, Emilia-Romagna, Piemonte e Campania.

3.3 Modellizzazione dei dati

Le operazioni di creazioni dei modelli sono state condotte tramite il software open source RStudio v2022.12.0 (<https://posit.co/>), con R v4.2.2 (<https://cran.rstudio.com>) e i pacchetti *sicegar*, *ggplot*, *e1071*, *PerformanceAnalytics*, *tidyverse* e *DAAG* nella versione più aggiornata.

3.3.1 *Dati di crescita*

Per la modellizzazione dei dati di crescita è stato utilizzato il pacchetto specifico *sicegar*, col quale è stato possibile creare i *fitting* delle curve a doppia sigmoide di ogni azienda. Lo script utilizzato è riportato in Appendice (8.1). I parametri ottenuti da tutti i *fitting* sono stati utilizzati o per calcolare dei parametri derivati (intervalli di calcolo delle temperature medie), come nel caso della previsione della data di raccolta, oppure per determinare direttamente degli indici di correlazione, come nel caso della previsione del peso medio alla raccolta. La descrizione passo-passo è stata riportata nella sezione dei risultati.

3.3.2 *Rilievi qualitativi in prossimità della raccolta*

Per quanto riguarda la modellizzazione dei parametri qualitativi alla raccolta, sono stati calcolati, a partire dai dati climatici, dei parametri derivati (vedi **Tabella 9** per un elenco dettagliato e relativa nomenclatura), ognuno dei quali è stato utilizzato per calcolare l'indice di correlazione con i parametri qualitativi misurati alla raccolta. A tal fine è stato utilizzato lo script R riportato in Appendice (8.2). Anche in questo caso, la descrizione passo-passo è stata descritta nella sezione dei risultati.

Per creare i modelli lineari con singolo predittore o con predittori multipli sono stati utilizzati gli script riportati in Appendice (8.3) e (8.4).

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Realizzazione delle curve di accrescimento dei frutti

Prima di procedere con la modellizzazione delle curve di crescita del kiwi Dorì è stata condotta un'analisi della letteratura scientifica allo scopo di comprendere i principali meccanismi e le dinamiche di accrescimento del kiwi. Questa prima indagine esplorativa si è basata soprattutto sulla varietà "Hayward" ovvero quella maggiormente citata nelle pubblicazioni scientifiche. Dalle consultazioni effettuate è emerso che la crescita del kiwi è caratterizzata da un andamento a doppia sigmoide e cioè si distinguono: una prima fase di rapida crescita esponenziale, un punto di transizione fra questa prima fase e la fase successiva, una seconda fase di crescita lenta e lineare ed una fase finale di restringimento definita "*shrinkage*" in inglese.

Tenendo in considerazione l'andamento tipico della crescita precedentemente descritto, sono state modellate le curve di accrescimento utilizzando un set di dati ottenuto dai rilievi eseguiti nell'anno 2021, in 10 aziende agricole diverse. Tutti i rilievi sono stati eseguiti da tecnici del consorzio e si sono basati sulle misurazioni di calibro e peso che, in base a quanto stabilito da protocollo, avrebbero dovuto essere eseguite a partire dall'epoca di formazione del frutto corrispondente alla fase fenologica 69 (fine fioritura, frutto visibile; scala BBCH di Salinero et al., 2009) come descritto nella precedente sezione di questo elaborato. Per motivi logistici non sempre i tecnici del consorzio incaricati di eseguire i rilievi hanno potuto rispettare le tempistiche previste dal protocollo. Di conseguenza, i rilievi di crescita degli anni 2020 e 2022 sono risultati rispettivamente mancanti ed incompleti, quindi inadatti alla modellizzazione delle curve di accrescimento; perciò è stato analizzato, come precedentemente accennato, soltanto il set di dati delle 10 aziende dell'anno 2021.

Per ciascuna delle 10 aziende monitorate, è stata realizzata una curva di crescita mettendo in relazione il diametro dei frutti (mm) con il tempo espresso come giorni trascorsi dalla fioritura. Nello specifico, per ogni curva è stato fatto un "*fitting*" cioè una procedura che consente di creare, per ogni set di dati e cioè per ogni azienda, una curva ottimale a doppia sigmoide che rappresenti l'andamento temporale del diametro dei frutti analizzati. Da ogni curva sono stati in seguito ricavati 67 parametri che la descrivono. Questa operazione è stata fatta per 5 volte, poiché, dato che il *fitting* ottenuto ogni volta con l'algoritmo *sicgar* è il miglior risultato fra 500 reiterazioni casuali, il modello che ne risulta e i relativi parametri sono diversi ogni volta

che si ripete la procedura. Di seguito sono stati scelti i migliori 3 fra i 5 *fitting* ottenuti, sulla base dei seguenti parametri qualitativi:

- Somma dei quadrati dei residui (Residual Sum of Square): valori più bassi indicano *fitting* migliori
- Massima verosimiglianza (Log Likelihood): valori più alti indicano *fitting* migliori
- Punteggio AIC (Akaike Information Criterion): valori più bassi indicano *fitting* migliori
- Punteggio BIC (Bayesian Information Criterion): valori più bassi indicano *fitting* migliori.

Per due aziende è stato possibile disporre delle misure dei diametri dei frutti sin dalle primissime fasi di crescita e perciò solo in questi due casi sono state ottenute delle curve di crescita quasi complete, maggiormente rappresentative del fenomeno reale e perciò più utili per l'implementazione di modelli previsionali. Nello specifico, per l'azienda "Eredi Martina" il primo rilievo risale a 8 giorni dopo la fioritura mentre nel caso dell'azienda "Giorgis" il primo rilievo è stato effettuato a 10 giorni dalla fioritura (**Figura 14**).

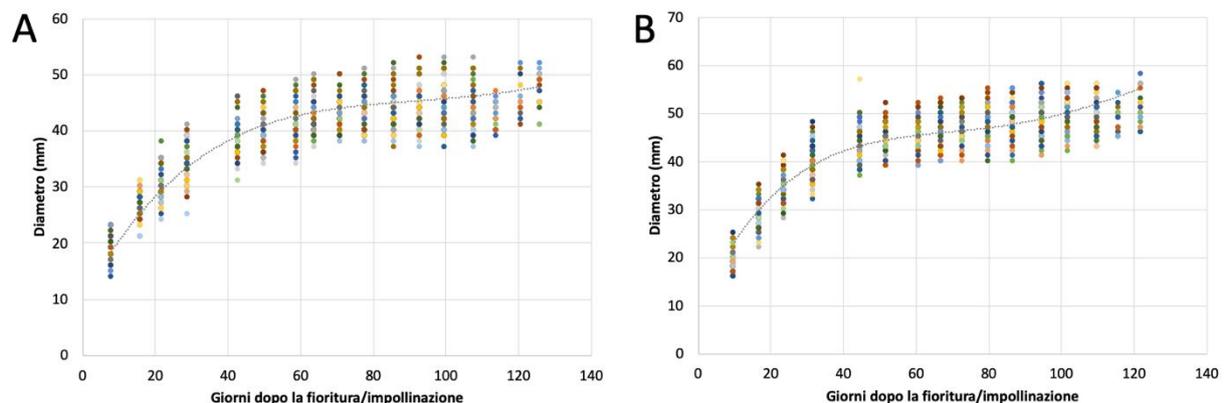


Figura 14 - Curve di crescita tracciate per le aziende Eredi Martina (A, a sinistra) e Giorgis (B, a destra) a partire dai dati raccolti nel 2021.

Negli altri casi i rilievi sono iniziati oltre il ventesimo giorno dalla fioritura e di conseguenza le curve di crescita (**Figura 15**) sono carenti della primissima fase di accrescimento ed i parametri caratterizzanti ciascuna di queste curve sono meno accurati. Spesso la primissima fase di accrescimento risulta infatti fondamentale per modellizzare al meglio il periodo di crescita esponenziale e cioè il periodo di maggior impatto sul fenomeno complessivo dell'accrescimento; tale periodo, come verrà meglio spiegato nel proseguo della trattazione, è inoltre importante da analizzare e descrivere per realizzare dei modelli previsionali riguardanti il peso medio finale e la durata del ciclo di sviluppo o epoca di raccolta dei frutti.

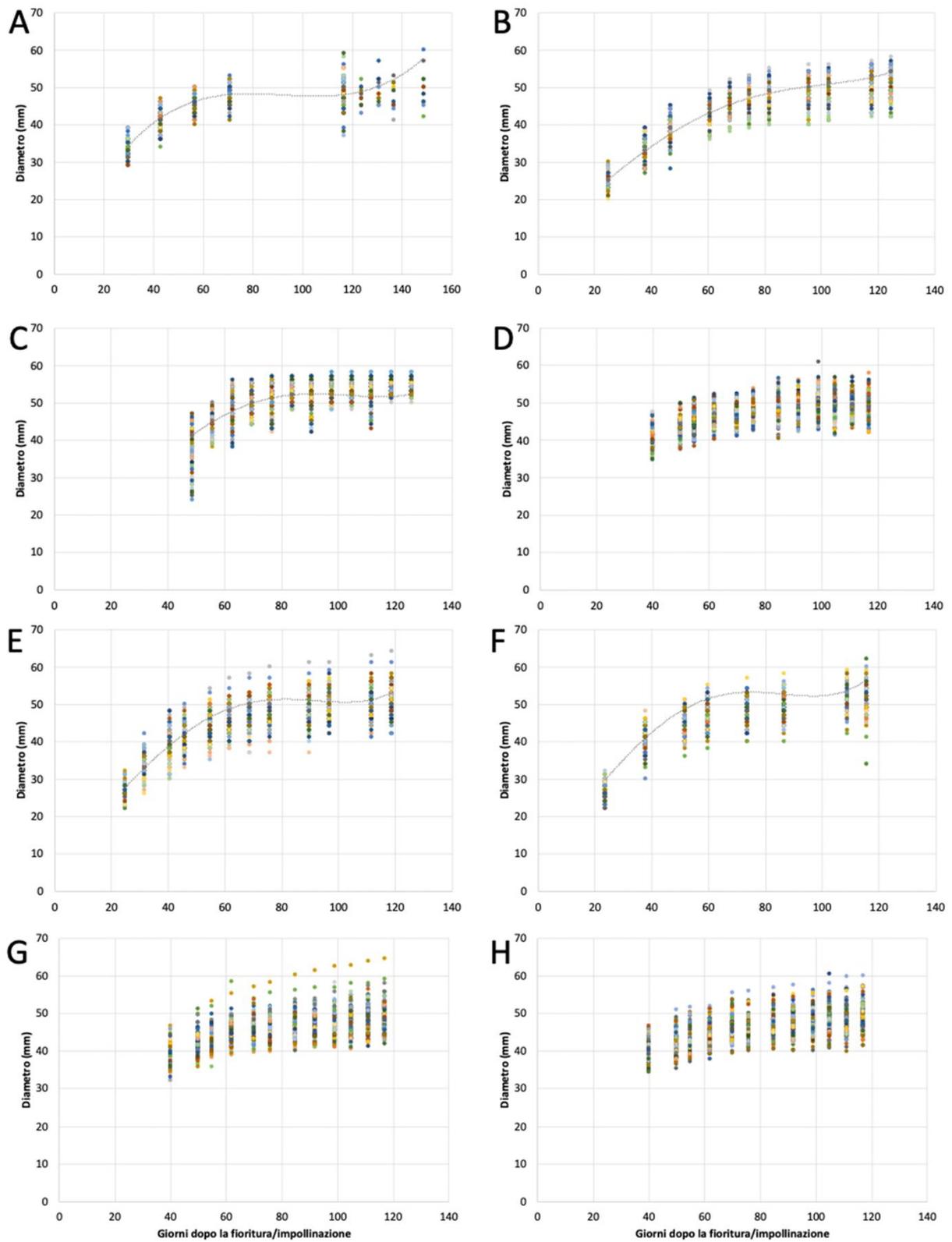


Figura 15 – Curve di crescita parziali costruite con i dati 2021 raccolti dalle seguenti aziende: Renovare (A), La Levà (B), Buttero (C), Farolfi (D), GGL (E), Corte Chialberino (F), Zani (G) e Montazzo (H).

4.2 Previsione della data di raccolta

Per ogni azienda è stata calcolata la durata in giorni del ciclo di sviluppo, dalla fioritura alla raccolta; questo parametro rappresenta nella pratica quello che si vuole prevedere in anticipo. La previsione anticipata della durata del ciclo di sviluppo, conoscendo la data di fioritura, può essere utilizzata per ricavare la futura data di raccolta dei frutti. Per il calcolo delle correlazioni e la successiva costruzione del modello previsionale, sono stati considerati per ogni azienda tutti i parametri descrittivi dei 3 migliori *fitting*, come descritto in precedenza, e le temperature medie calcolate in diversi intervalli dello sviluppo del frutto, così come definiti dai *fitting*.

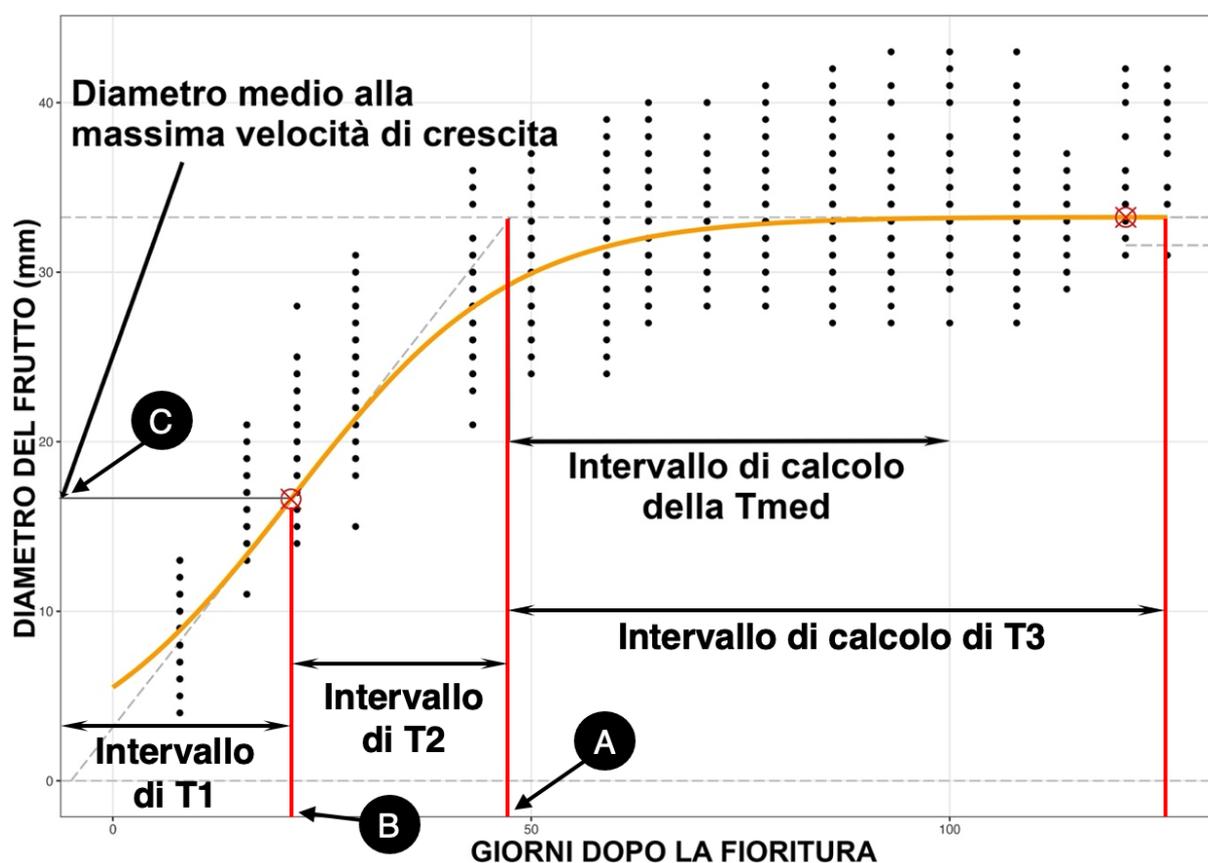


Figura 16 - Intervalli di calcolo delle temperature medie e parametri di un *fitting* (A, *reachMaximum_x*; B, *midPoint1_x*; C, *midPoint1_y*).

Nello specifico, come mostrato in **Figura 16**, T1 fa riferimento alla media delle temperature medie giornaliere dalla fioritura fino al giorno in cui la curva di crescita ha la massima pendenza (parametro *midPoint1_x*), T2 è la media delle temperature medie giornaliere a partire dal giorno di massima crescita fino al giorno in cui la tangente al punto di massima crescita incontra la tangente della seconda fase di crescita (parametro *reachMaximum_x*) e

T3 è la media delle temperature medie giornaliere a partire dal giorno *reachMaximum_x* fino all'ultimo rilievo (raccolta); è stata anche calcolata la temperatura Tmed, ovvero la media delle temperature medie giornaliere a partire dal giorno *reachMaximum_x* fino al 100° giorno dopo la fioritura. Questo parametro è stato introdotto per avere la possibilità di calcolare un predittore con un certo anticipo rispetto alla raccolta, per non vanificare lo scopo della ricerca.

Tabella 5 – Indici di correlazione di Pearson fra la durata del ciclo di fruttificazione e una selezione dei diversi parametri. Sono mostrate solo correlazioni maggiori di 0.75.

Parametro	Descrizione del parametro	Correlazione (Pearson)
midPoint1_x	Giorno dopo la fioritura in cui la curva di crescita ha la massima pendenza	0,88
T3	Media delle temperature medie giornaliere a partire dal giorno <i>reachMaximum_x</i> fino all'ultimo rilievo (raccolta)	0,871
Tmed	Media delle temperature medie giornaliere a partire dal giorno <i>reachMaximum_x</i> fino al 100° giorno dopo la fioritura	0,855
reachMaximum_x	Giorno in cui la tangente al punto di massima crescita incontra la tangente della seconda fase di crescita	0,754

Sono state calcolate tutte le correlazioni possibili per verificare se uno o più parametri correlassero, e cioè potessero essere utilizzati come predittori, con il parametro “durata del ciclo di sviluppo”. La durata del ciclo di sviluppo ha evidenziato una certa correlazione positiva o negativa con diversi parametri; tuttavia, indici di Pearson maggiori di 0,75 sono stati riscontrati per soli 4 parametri, come mostrato in **Tabella 5**. La correlazione più forte e significativa, pari a 0,88, è risultata con il parametro midPoint1_x, ma dato che questo è un parametro misurabile troppo precocemente rispetto ai fattori che possono influenzare le successive fasi di sviluppo del frutto, si è deciso di trascurarlo. Il successivo valore in ordine decrescente, pari a 0,8751, è quello della correlazione con la temperatura media T3, che presenta, invece, un problema diametralmente opposto rispetto al primo parametro, dato che viene calcolata fino ai giorni a ridosso della raccolta stessa, ovvero proprio quello che dovremmo prevedere. Il valore di Tmed, ovvero con la media delle temperature medie calcolata in un intervallo di tempo che non supera il 100° giorno dopo la fioritura, lasciando così un margine per la previsione, si presta maggiormente ad essere utilizzato come

predittore. Con questo parametro si è proceduto, quindi, alla costruzione del modello previsionale basato su una regressione lineare.

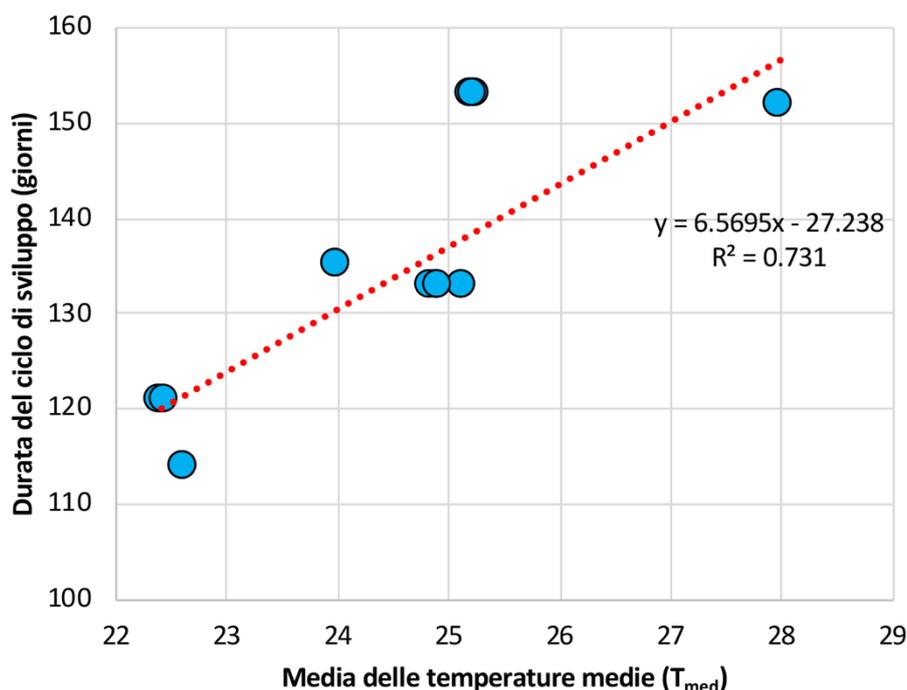


Figura 17 - Modello di regressione lineare fra il parametro Tmed (predittore) e la durata del ciclo di sviluppo espressa in giorni. All'interno del grafico è riportata l'equazione del modello insieme al parametro R^2 a rappresentare il potere predittivo del modello stesso

Il modello realizzato mediante regressione lineare (**Figura 17**) mostra la correlazione fra il predittore Tmed e la durata del ciclo di sviluppo dei frutti. La correlazione fra questi due parametri presenta un coefficiente di determinazione R^2 (Multiple R-squared) pari a 0,731 e una significatività statistica piuttosto rilevante, come emerge dal valore del p-value del modello pari a 7,951e-07 (altamente significativo; **Tabella 6**).

Tabella 6 – Parametri del modello previsionale per la durata del ciclo di sviluppo (DFR).

Formula = DFR ~ Tmed				
Coefficienti				
	Stima	Errore Std.	t	Pr(> t)
(Intercetta)	-27.2384	22.5561	-1.208	0.242
Tmed	6.5695	0.9143	7.185	7.95e-07 ***
Significatività statistica: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1				
Errore std residuale: 7.303 su 19 gradi di libertà				
R ² multiplo: 0.731 R ² corretto: 0.7168				
Statistica F: 51.63 su 1 e 19 gradi di libertà, p-value: 7.951e-07				

L'equazione (1) del modello è la seguente:

$$(1) \quad DFR = -27.2384 + 6.5695 * Tmed$$

E' stata successivamente condotta anche una validazione interna del modello, tramite un duplice approccio. Il primo metodo prevede la creazione randomizzata di due set di dati di predittori, uno viene utilizzato come *training set* per creare il modello, mentre l'altro viene utilizzato come *test set* per testare il modello; infine, i due risultati, quello della predizione e quello reale vengono confrontati. Dal confronto emerge una correlazione pari a 0.865 ad indicare quanto la previsione aderisca alla realtà (**Figura 18**).

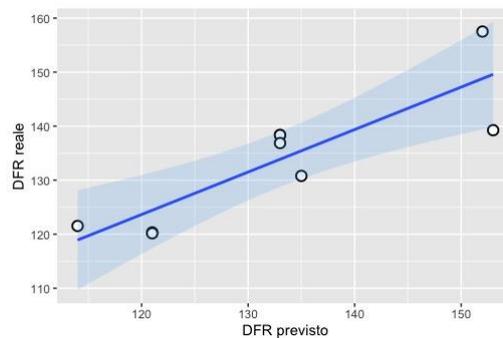


Figura 18 - Scatterplot dei valori risultanti dalla prima validazione interna del modello per la data di raccolta.

La seconda validazione interna (anche detta *cross-validazione*) prevedeva invece l'utilizzo del metodo della cosiddetta *K-fold cross validation*. L'algoritmo utilizzato funziona in modo molto simile al precedente ma restituisce una grafica diversa (**Figura 19**).

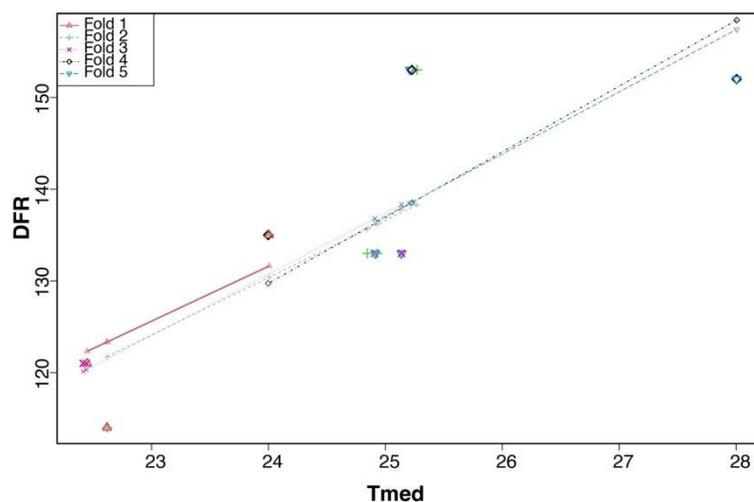


Figura 19 - Risultato della k-fold cross validation del modello per la data di raccolta. I simboli piccoli sono i valori predetti, mentre quelli più grandi rappresentano i valori reali.

Questo secondo metodo mostra, infatti, una minor precisione del modello previsionale nell'intervallo di Tmed intorno ai 25°C, nelle vicinanze del quale i valori previsti si discostano maggiormente dai valori reali.

La significatività statistica ed il potere predittivo di questo modello, in base a quanto precedentemente descritto, possono essere considerati momentaneamente soddisfacenti ed incoraggianti per le eventuali future implementazioni del modello stesso.

4.3 Previsione del peso medio dei frutti alla raccolta

Per ogni azienda è stata fatta una previsione del peso medio dei frutti a partire dal calcolo delle correlazioni fra tutti i parametri descrittivi delle curve di accrescimento ed il peso medio finale dei frutti che rappresenta, nella pratica, il parametro che si vuole prevedere in anticipo. Per il calcolo delle correlazioni e la successiva realizzazione del modello previsionale sono stati utilizzati soltanto i parametri descrittivi derivanti dai tre migliori *fitting* così come precedentemente descritto ed eseguito per le previsioni dell'epoca di raccolta. Il calcolo di tutte le possibili correlazioni è stato eseguito allo scopo di verificare se uno o più parametri correlassero, e cioè potessero essere impiegati come predittori, con il parametro "peso medio dei frutti alla raccolta". Il peso medio dei frutti alla raccolta ha mostrato una certa correlazione, positiva o negativa, con diversi parametri sebbene indici di correlazione di Pearson superiori a 0,75 siano stati rilevati soltanto per 3 parametri, come evidenziato in **Tabella 7**. La correlazione più forte e significativa, pari a 0,866, è stata riscontrata con il parametro "*midPoint1_y*", evidenziato come punto C in **Figura 16**, che identifica il diametro dei frutti al giorno dopo la fioritura in cui la curva di crescita presenta la massima pendenza

Tabella 7 - Indici di correlazione di Pearson fra il peso medio dei frutti alla raccolta e una selezione dei diversi parametri. Sono mostrate solo correlazioni maggiori di 0.75.

Parametro	Descrizione del parametro	Correlazione (Pearson)
<i>midPoint1_y</i>	Diametro dei frutti al giorno dopo la fioritura in cui la curva di crescita ha la massima pendenza	0.866
<i>startPoint_x</i>	Giorno in cui la tangente alla curva di crescita incontra il diametro pari a zero	0.84
<i>Slope1</i>	Pendenza della prima fase di crescita	0.815

Il parametro “midPoint1_y” è stato selezionato come predittore migliore per l’implementazione del modello previsionale poiché: i) presenta la maggior correlazione con il peso medio dei frutti alla raccolta rispetto agli altri parametri e ii) rappresenta un parametro calcolabile con un certo anticipo già nella prima fase di crescita esponenziale consentendo perciò un certo margine temporale per la previsione. Con tale parametro, si è quindi proceduto alla realizzazione di un modello previsionale basato su una regressione lineare.

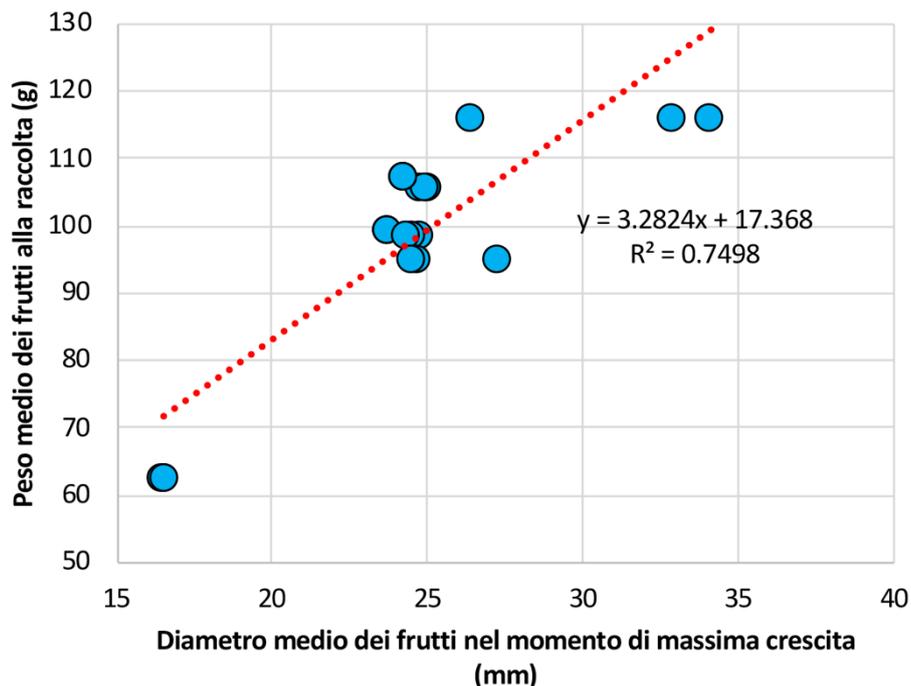


Figura 20 - Modello di regressione lineare fra il parametro midPoint1_y (diametro medio dei frutti nel momento di massima crescita; predittore) e il peso medio dei frutti alla raccolta (grammi). All’interno del grafico è riportata l’equazione del modello insieme al parametro R^2 a rappresentare il potere predittivo del modello stesso.

Il modello di regressione lineare (**Figura 20**) così ottenuto mostra la correlazione fra il predittore “midPoint1_y” (diametro medio dei frutti nel momento di massima crescita) ed il peso medio in grammi dei frutti alla raccolta. La correlazione fra questi due parametri presenta un coefficiente di determinazione R^2 (Multiple R-squared) pari a 0,7498 che rappresenta il potere predittivo del modello stesso. La significatività statistica del modello è piuttosto rilevante come evidenzia il valore del p-value pari a 3,956 e-07 (altamente significativo) riportato in **Tabella 8**.

Tabella 8 - Parametri del modello previsionale per il peso medio dei frutti alla raccolta (WR).

Formula = WR ~ midPoint1_y

Coefficienti				
	Stima	Errore Std.	t	Pr(> t)
(Intercetta)	17.3683	10.7655	1.613	0.123
midPoint1_y	3.2824	0.4351	7.545	3.96e-07 ***

Significatività statistica: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1

Errore std residuale: 8.31 su 19 gradi di libertà
R² multiplo: 0.7498 R² corretto: 0.7366
Statistica F: 56.92 su 1 e 19 gradi di libertà, p-value: 3.956e-07

L'equazione (2) del modello è la seguente:

$$(2) \quad WR = 17.3683 + 3.2824 * midPoint1_y$$

E' stata in seguito condotta una validazione interna del modello adottando lo stesso duplice approccio impiegato nel modello per la previsione dell'epoca di raccolta. Il primo approccio, come descritto nel paragrafo precedente, prevede la creazione randomizzata di due set di dati di predittori; uno viene impiegato come *training set* per realizzare il modello mentre l'altro funge da *test set* per testare il modello facendo le previsioni e verificandone la veridicità rispetto alla situazione reale. Dal confronto emerge una correlazione pari a 0.906 ad indicare quanto la previsione di questo secondo modello corrisponda alla realtà (**Figura 21**).

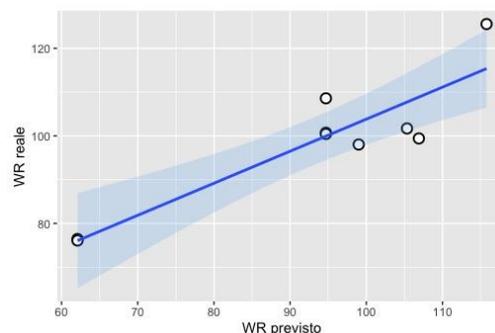


Figura 21 - Scatterplot dei valori risultanti dalla prima validazione interna del modello per il peso medio alla raccolta.

Il secondo approccio utilizzato per la validazione interna (anche detta cross-validazione) di questo modello è lo stesso adottato per il modello di previsione dell'epoca di raccolta e consiste nel metodo della *K-fold cross validation*. Questo metodo prevede l'utilizzo di un algoritmo con funzionamento molto simile al precedente pur generando un grafico diverso (**Figura 22**). Dal grafico in questione si evince che, rispetto al primo metodo di validazione,

questo secondo metodo dimostra una minor precisione del modello previsionale in corrispondenza dei valori di "midPoint1_y" (diametro medio dei frutti nel momento di massima crescita) in cui si può notare un maggior discostamento dei valori predetti rispetto a quelli reali.

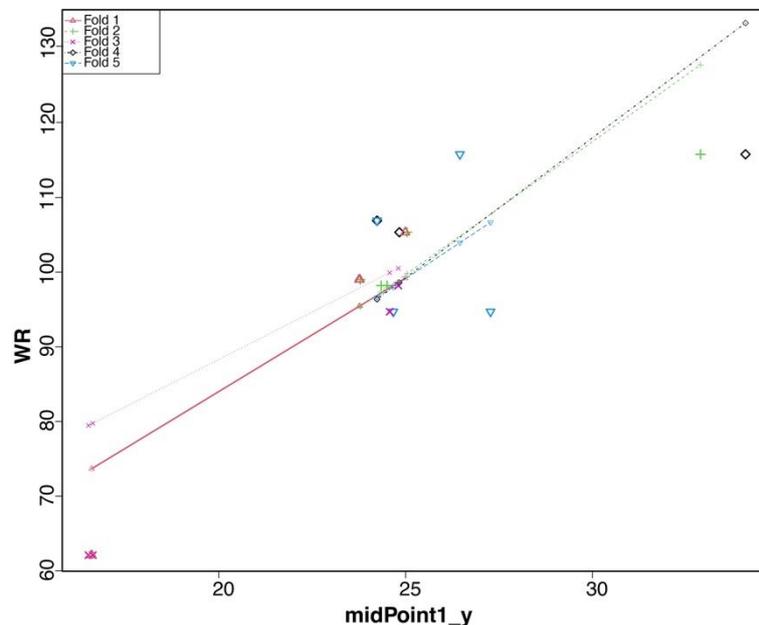


Figura 22 - Risultato della K-fold cross validation del modello per il peso alla raccolta. I simboli piccoli sono i valori predetti, mentre quelli più grandi rappresentano i valori reali.

La significatività statistica ed il potere predittivo di questo modello, in base a quanto precedentemente descritto, possono essere considerati complessivamente positivi ed incoraggianti in un'ottica di prospettiva futura.

4.4 Previsione della qualità alla raccolta

La previsione della qualità alla raccolta presenta una serie di problemi relativi all'approccio da adottare in relazione al risultato finale che si vorrebbe ottenere. Secondo una visione pratica del problema, un agricoltore vorrebbe poter prevedere con un certo margine di anticipo uno o più parametri qualitativi chiave in relazione alla data di raccolta prevista (o ad una data scelta secondo altri criteri, ad esempio di carattere logistico), così da poter prendere in considerazione un eventuale spostamento delle operazioni di raccolta a seconda del grado di soddisfazione dato dalla previsione. Per poter fare ciò, è necessario modellizzare come i parametri qualitativi cambiano nel tempo e in relazione ad altri fattori (es. clima) per poter

così tracciare degli scenari futuri della loro evoluzione fino alla data di raccolta, anche in prospettiva, utilizzando le previsioni meteo.

4.4.1 *Analisi in forma aggregata per anno*

Considerata la numerosità dei dati (alcune serie di dati mancanti), si è proceduto in un primo momento ad analizzare tutti i dati aggregandoli per anno, senza suddividerli per regione. La prima analisi ha riguardato il calcolo degli indici di correlazione fra i parametri qualitativi e i parametri climatici derivanti dai dati recuperati dai database, come elencati e descritti in **Tabella 9**. Dopo aver ottenuto gli indici di correlazione è emerso che solamente i parametri °Brix e colore (Hue) mostravano correlazioni degne di nota ed è stato stilato un ranking, separatamente per °Brix e colore, dei 20 parametri climatici maggiormente correlati e, quindi, potenzialmente utilizzabili in seguito come predittori (**Tabella 10**).

Tabella 9 – Descrizione dei parametri climatici e dei relativi pedici.

Parametro climatico	Descrizione del parametro
Rad	Media delle radiazioni globali medie giornaliere con, al pedice, l'intervallo temporale di calcolo
Tmed	Media delle temperature medie giornaliere con, al pedice, l'intervallo temporale di calcolo
Tmin	Media delle temperature minime giornaliere con, al pedice, l'intervallo temporale di calcolo
Tmax	Media delle temperature massime giornaliere con, al pedice, l'intervallo temporale di calcolo
ST	Somma termica seguita da un numero che indica la soglia termica sopra la quale sono stati calcolati i gradi di temperatura con, al pedice, l'intervallo temporale di calcolo
Pedice	Descrizione del pedice
0-7	Intervallo temporale compreso fra il 7° giorno precedente il giorno del rilievo ed il giorno del rilievo stesso.
0-15	Intervallo temporale compreso fra il 15° giorno precedente il giorno del rilievo ed il giorno del rilievo stesso.
0-30	Intervallo temporale compreso fra il 30° giorno precedente il giorno del rilievo ed il giorno del rilievo stesso.
30-60	Intervallo temporale compreso fra il 60° ed il 30° giorno precedente il giorno del rilievo
15-60	Intervallo temporale compreso fra il 60° ed il 15° giorno precedente il giorno del rilievo
7-60	Intervallo temporale compreso fra il 60° ed il 7° giorno precedente il giorno del rilievo
0-60	Intervallo temporale compreso fra il 60° giorno precedente il giorno del rilievo ed il giorno del rilievo stesso.

Tabella 10 - Ranking degli indici di correlazione per i 20 migliori parametri candidati ad essere utilizzati come predittori. In grassetto sono evidenziati i parametri presenti in tutti i 3 anni considerati, mentre in italico sono indicati i parametri scelti per la regressione multipla.

Brix	Colore (Hue)											
	2020		2021		2022		2020		2021		2022	
	Parametro	Pearson	Parametro	Pearson	Parametro	Pearson	Parametro	Pearson	Parametro	Pearson	Parametro	Pearson
Hue	0.757	<i>Tmax0-30</i>	0.746	Colore	0.669	Brix	0.757	Rad0-15	0.762	GDF	0.866	
Rad15-60	0.644	<i>Tmed0-30</i>	0.719	<i>Tmax0-30</i>	0.6	<i>Rad0-30</i>	0.678	<i>Rad0-30</i>	0.732	Rad0-15	0.778	
Rad7-60	0.633	<i>ST150-30</i>	0.718	<i>Tmin0-15</i>	0.593	Rad7-60	0.626	Rad0-15	0.73	<i>Tmax0-30</i>	0.739	
Rad0-30	0.628	ST160-30	0.717	Tmax0-15	0.552	Rad0-60	0.624	Brix	0.633	<i>Rad0-30</i>	0.726	
Rad0-60	0.626	ST170-30	0.716	GDF	0.536	Rad0-60	0.624	Rad0-60	0.62	Rad0-15	0.714	
Rad0-30	0.599	ST180-30	0.713	<i>Tmed0-15</i>	0.517	Rad0-15	0.618	Rad0-60	0.62	<i>Tmax0-15</i>	0.681	
Tmed0-15	0.541	<i>ST19_0-30</i>	0.706	<i>Tmed0-30</i>	0.515	Rad15-60	0.606	Rad7-60	0.564	Brix	0.669	
ST150-15	0.538	Tmax0-15	0.701	ST150-15	0.514	KM	0.581	ST240-15	0.534	Rad0-60	0.644	
ST160-15	0.535	ST200-30	0.697	ST150-30	0.514	Diametro	0.561	ST230-15	0.529	Rad0-60	0.644	
ST170-15	0.532	ST210-30	0.686	ST240-30	0.514	Rad0-30	0.538	Tmax0-15	0.518	<i>Tmax0-30</i>	0.643	
Tmed0-30	0.531	Tmed0-15	0.678	ST230-30	0.513	ST190-15	0.535	ST220-15	0.515	Tmax0-15	0.639	
ST150-30	0.53	ST150-15	0.677	ST160-30	0.512	<i>Tmed0-15</i>	0.534	ST250-15	0.501	<i>Tmed0-15</i>	0.632	
ST180-15	0.529	ST160-15	0.675	ST250-30	0.511	ST180-15	0.534	ST210-15	0.496	ST150-15	0.63	
ST190-15	0.529	ST170-15	0.672	ST160-15	0.508	ST150-15	0.533	ST230-15	0.496	ST160-15	0.625	
ST160-30	0.529	ST220-30	0.67	ST170-30	0.507	ST160-15	0.533	Rad15-60	0.493	Peso	0.625	
ST170-30	0.527	ST180-15	0.666	Rad0-15	0.501	ST170-15	0.533	ST220-15	0.492	ST170-15	0.616	
ST200-15	0.525	ST190-15	0.655	ST220-30	0.501	ST200-15	0.533	ST240-15	0.481	<i>Tmed0-30</i>	0.607	
ST180-30	0.525	ST230-30	0.648	ST180-30	0.5	Tmax0-15	0.531	ST200-15	0.474	ST150-30	0.606	
Rad0-15	0.524	Rad0-15	0.642	<i>Tmin0-15</i>	0.5	ST210-15	0.526	ST210-15	0.472	ST160-30	0.604	
Tmax0-15	0.524	ST200-15	0.642	Tmed0-15	0.497	ST220-15	0.521	ST190-15	0.462	ST240-30	0.6	

Questi ranking sono stati poi confrontati allo scopo di individuare i potenziali predittori correlati ai parametri qualitativi in tutti i 3 anni considerati e sono stati scelti per ogni parametro qualitativo i potenziali predittori con il miglior indice di correlazione medio riguardanti due fattori climatici diversi (temperatura e radiazione luminosa). Più predittori per ogni parametro qualitativo sono stati quindi utilizzati per costruire dei modelli di regressione lineare multipla, nella speranza di ottenere un potere predittivo maggiore rispetto all'utilizzo dei singoli predittori: Rad0-15, Tmax0-15 e ST150-30 per il °Brix, Rad0-30 e Tmax0-15 per il colore

(Hue). Singolarmente, questi parametri mostravano una correlazione media pari rispettivamente a 0.556, 0.592 e 0.587 i primi tre e 0.712 e 0.563 gli altri.

I modelli di regressione multipla, di cui i principali parametri sono riportati in

Tabella 11, mostrano delle prestazioni migliori rispetto ai modelli lineari basati sul singolo miglior parametro, per cui possiamo ritenere il risultato soddisfacente nonostante gli R^2 si attestino su valori ancora troppo bassi per poter pensare ad una successiva applicazione.

Tabella 11 – Parametri dei modelli di regressione multipla.

Formula = Brix ~ Rad ₀₋₁₅ + Tmax ₀₋₁₅ + ST15 ₀₋₃₀				
Coefficienti				
	Stima	Errore Std.	t	Pr(> t)
(Intercetta)	15.306463	1.077781	14.202	<2.00E-16***
Rad ₀₋₁₅	-0.00593	0.002155	-2.752	6.34E-03**
Tmax ₀₋₁₅	-0.175199	0.04956	-3.535	4.82E-04***
ST15 ₀₋₃₀	-0.008557	0.001855	-4.613	6.21E-06***
Significatività statistica: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Errore std residuale: 1.097 su 261 gradi di libertà				
R2 multiplo: 0.4293 R2 corretto: 0.4227				
Statistica F: 65.43 su 3 e 261 gradi di libertà, p-value: 2.2e-16				
Formula = Hue ~ Rad ₀₋₃₀ + Tmax ₀₋₁₅				
Coefficienti				
	Stima	Errore Std.	t	Pr(> t)
(Intercetta)	70.374875	3.471427	20.273	<2.00E-16***
Rad ₀₋₃₀	0.052578	0.006522	8.062	1.65E-13***
Tmax ₀₋₁₅	0.818287	0.133459	6.131	6.55E-09***
Significatività statistica: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Errore std residuale: 2.924 su 160 gradi di libertà				
R2 multiplo: 0.5519 R2 corretto: 0.5463				
Statistica F: 98.53 su 1 e 1960 gradi di libertà, p-value: 2.2e-16				

Le equazioni dei modelli (3 e 4) sono le seguenti:

$$(3) \quad Brix = 15.306463 - 0.00593 * Rad_{0-15} - 0.175199 * Tmax_{0-15} - 0.008557 * ST15_{0-30}$$

$$(4) \quad Hue = 70.374875 + 0.052578 * Rad_{0-30} + 0.818287 * Tmax_{0-15}$$

E' stata effettuata anche in questo caso una cross-validazione come per i modelli mostrati in precedenza. In entrambi i casi la validazione mostra una dispersione rilevante dei dati reali rispetto a quelli predetti dai modelli (**Figura 23**).

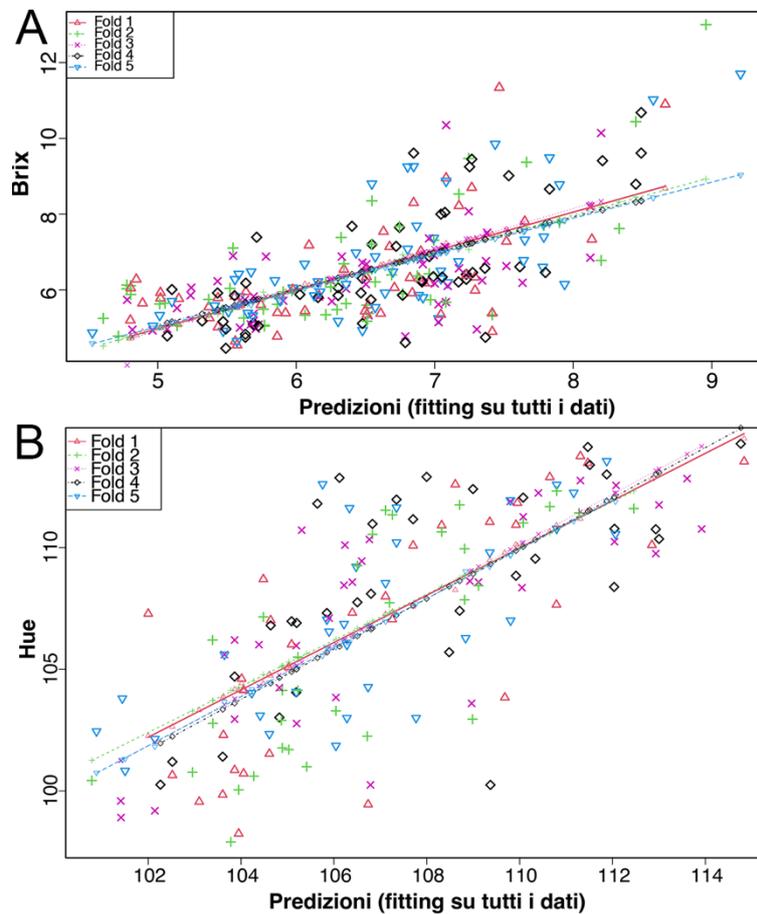


Figura 23 - Risultato della K-fold cross validation dei modelli di regressione multipla (3) e (4). I simboli piccoli sono i valori predetti, mentre quelli più grandi rappresentano i valori reali.

4.4.2 Analisi separate per regione

Considerato il risultato non del tutto soddisfacente ottenuto con la precedente analisi dei dati, si è proceduto effettuando delle regressioni lineari dei dati di °Brix e colore (Hue) nel tempo (giorni dopo la fioritura, GDF), regione per regione e anno per anno, separatamente. Una volta ottenute le equazioni dei modelli lineari, i coefficienti angolari sono stati utilizzati per calcolare il numero di giorni che mediamente si erano resi necessari per un aumento di 0.5°Brix o per una diminuzione di 1°Hue, calcolando, di fatto, la velocità di maturazione nelle diverse regioni.

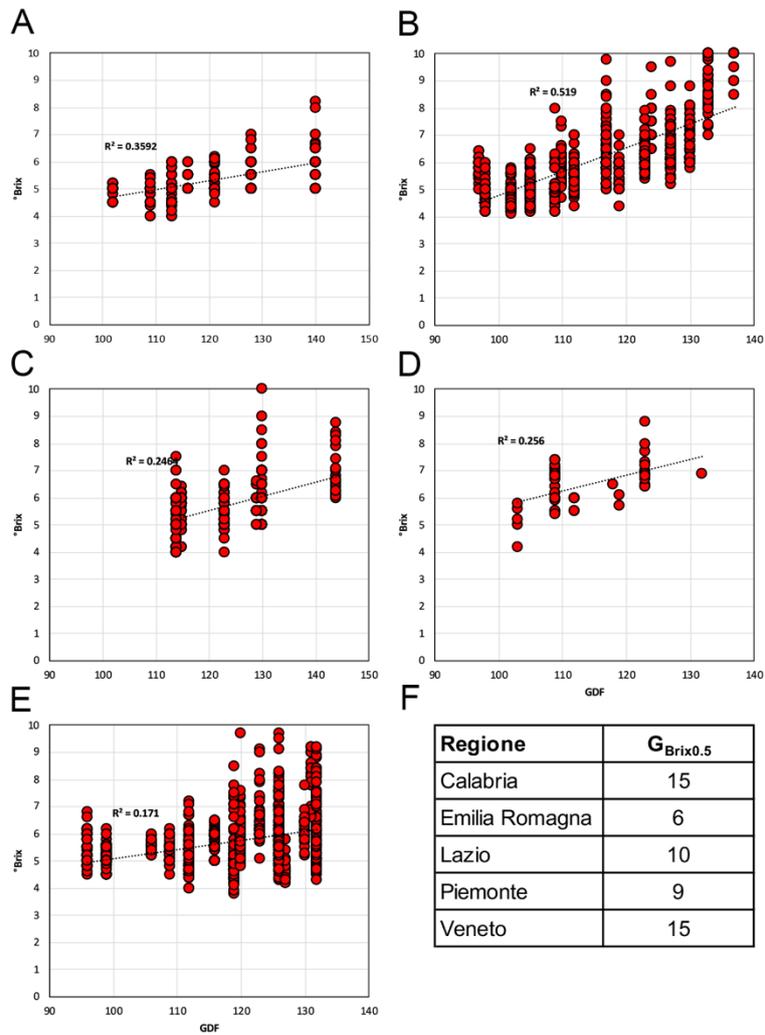


Figura 24 - Scatterplot dei dati 2020 relativi all'evoluzione del °Brix nel corso del periodo di misurazione (GDF, giorni dopo la fioritura) nelle diverse regioni (A, Calabria; B, Emilia-Romagna; C, Lazio; D, Piemonte; E, Veneto). F. Velocità di evoluzione del °Brix nelle diverse regioni misurato con giorni impiegati per guadagnare 0.5°Brix ($G_{Brix0.5}$).

Dall'analisi dei dati 2020, emerge che due regioni geograficamente lontane, come Calabria e Veneto, hanno mostrato la stessa evoluzione temporale del °Brix, con 15 giorni necessari mediamente per un aumento pari a 0.5 di questo parametro. Il Lazio, con 10 giorni, è seguito da vicino dal Piemonte, con un $G_{Brix0.5}$ pari a 9, e infine dall'Emilia-Romagna, con 6 giorni (**Figura 24**). Per quanto riguarda il colore, le differenze fra regioni sono più contenute e i giorni necessari per una variazione dell'angolo di Hue pari ad 1 ($G_{Hue1.0}$) variano da un minimo di 3 in Veneto ed Emilia-Romagna ad un massimo di 5 in Piemonte, passando per Calabria e Lazio con valori pari a 4 (**Figura 25**).

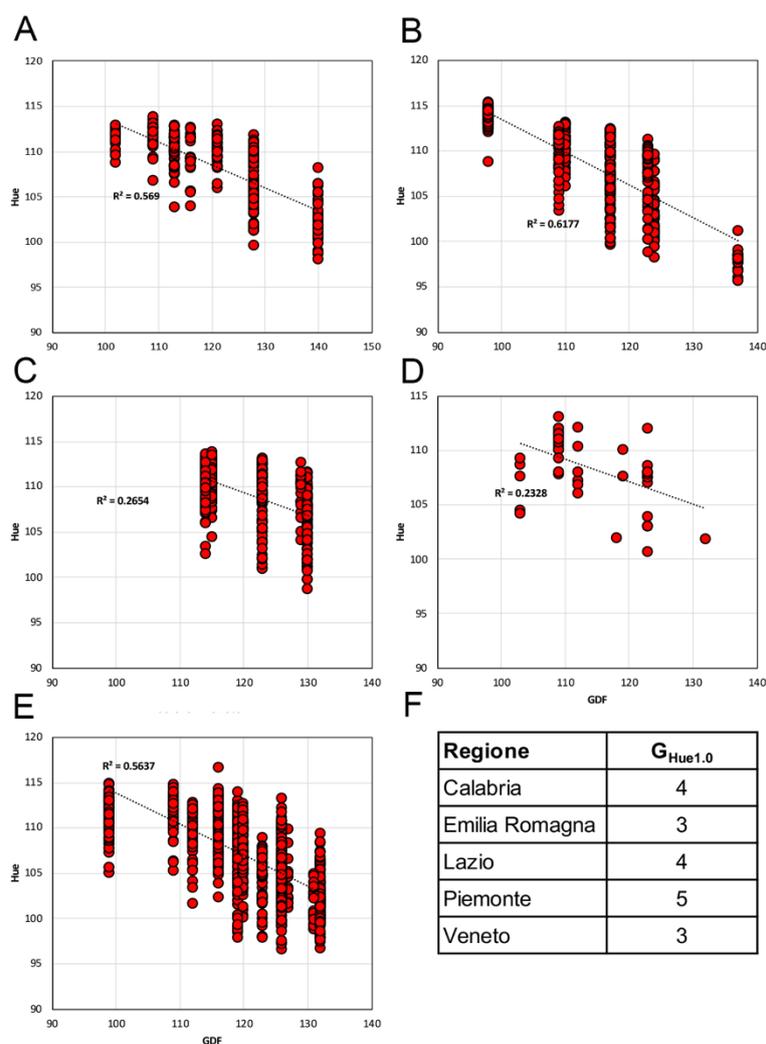


Figura 25 - Scatterplot dei dati 2020 relativi all'evoluzione del colore (Hue) nel corso del periodo di misurazione (GDF, giorni dopo la fioritura) nelle diverse regioni (A, Calabria; B, Emilia-Romagna; C, Lazio; D, Piemonte; E, Veneto). F. Velocità di evoluzione del colore nelle diverse regioni misurato con giorni impiegati per ottenere un calo di 1°Hue ($G_{Hue1.0}$).

Nell'anno 2021, l'evoluzione della maturazione secondo i due parametri considerati ha mostrato delle differenze rispetto all'anno precedente ed è risultata mediamente più veloce in tutte le regioni, seppur con qualche eccezione. Calabria e Veneto, seppur con valori leggermente diversi, sono state anche nel 2021 le regioni con l'evoluzione del °Brix più lenta (**Figura 26**), avendo avuto bisogno rispettivamente di 12 e 10 giorni per aumentare questo parametro di 0.5, ovvero 3 e 5 giorni in meno rispetto al 2020. Seguono Emilia-Romagna e Lazio con un $G_{Brix0.5}$ pari a 8 e il Piemonte con un valore di 7. Solo in Emilia-Romagna l'evoluzione del °Brix è stata più lenta rispetto all'annata precedente. Anche nel 2021, regioni lontane geograficamente hanno mostrato evoluzioni simili del parametro °Brix.

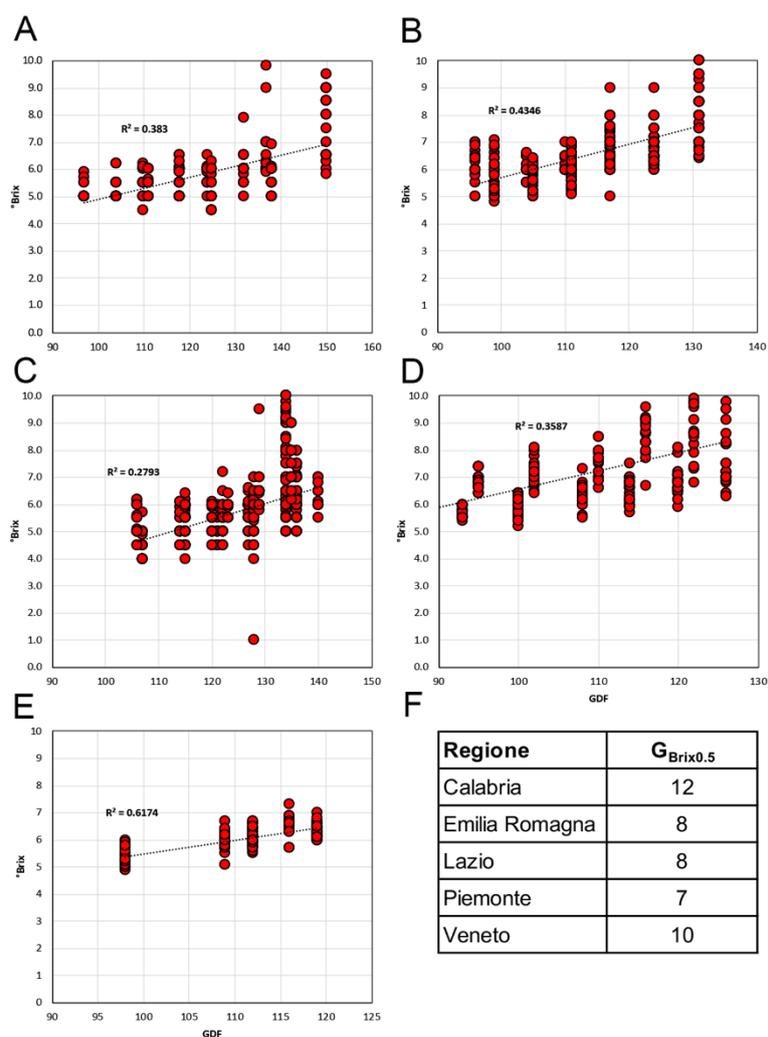


Figura 26 - Scatterplot dei dati 2021 relativi all'evoluzione del °Brix nel corso del periodo di misurazione (GDF, giorni dopo la fioritura) nelle diverse regioni (A, Calabria; B, Emilia-Romagna; C, Lazio; D, Piemonte; E, Veneto). F. Velocità di evoluzione del °Brix nelle diverse regioni misurato con giorni impiegati per guadagnare 0.5°Brix ($G_{Brix0.5}$).

Per quanto attiene l'evoluzione del colore (**Figura 27**), i valori riscontrati nel 2021 erano molto simili a quelli dell'anno precedente. Va fatto notare che per motivi tecnici (indisponibilità dello strumento) non è stato possibile avere a disposizione le misure di colore per le aziende del Veneto.

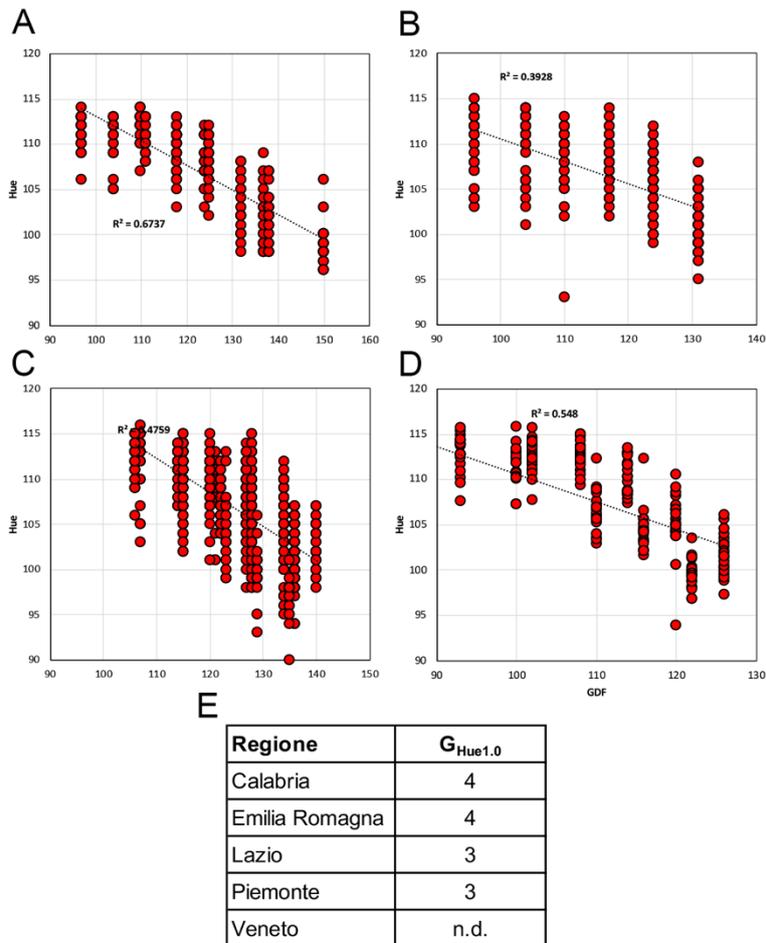


Figura 27 - Scatterplot dei dati 2021 relativi all'evoluzione del colore (Hue) nel corso del periodo di misurazione (GDF, giorni dopo la fioritura) nelle diverse regioni (A, Calabria; B, Emilia-Romagna; C, Lazio; D, Piemonte). E. Velocità di evoluzione del colore nelle diverse regioni misurato con giorni impiegati per ottenere un calo di 1°Hue ($G_{Hue1.0}$).

Nell'anno 2022, l'evoluzione della maturazione secondo i parametri °Brix e colore (Hue) è risultata mediamente più lenta in tutte le regioni rispetto ai due anni precedenti. In controtendenza con quanto avvenuto nei due anni precedenti, la Calabria, con un $G_{Brix0.5}$ pari a 15, praticamente identico a quello del 2020 e leggermente superiore a quello del 2021, è stata la regione in cui l'aumento del °Brix è stato più veloce; negli anni 2020 e 2021, la Calabria era stata la regione in cui l'evoluzione del °Brix era avvenuta con maggior lentezza rispetto alle altre regioni. Analizzando, per le varie regioni, i giorni necessari affinché si verifici un aumento di 0,5 del °Brix ($G_{Brix0.5}$) possiamo affermare che, dopo la Calabria, la regione in cui l'evoluzione del grado zuccherino è avvenuta più velocemente è stata l'Emilia Romagna ($G_{Brix0.5} = 16$) seguita, nel seguente ordine, da Veneto, Lazio e Piemonte con valori di $G_{Brix0.5}$ rispettivamente di 18, 22 e 28 (**Figura 28**). Per le regioni Emilia-Romagna, Lazio e Piemonte, i valori di $G_{Brix0.5}$ del 2022 sono più che raddoppiati rispetto ai due anni precedenti a

testimonianza del fatto che l'evoluzione del °Brix in queste regioni è stata nettamente più lenta.

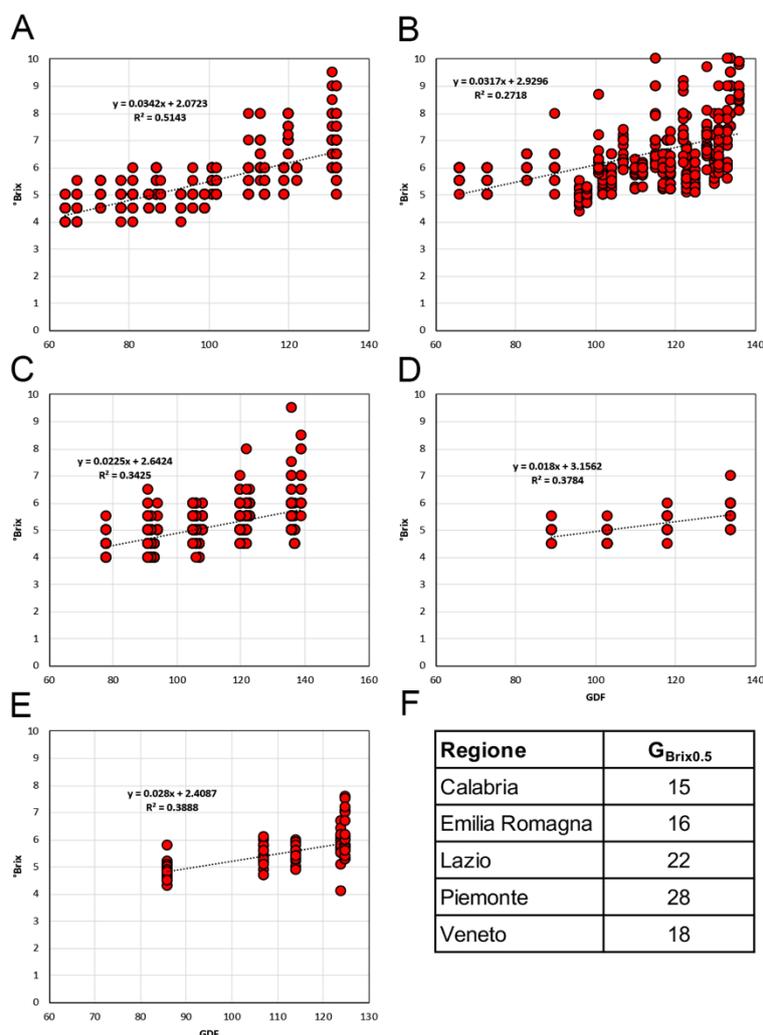


Figura 28 - Scatterplot dei dati 2022 relativi all'evoluzione del °Brix nel corso del periodo di misurazione (GDF, giorni dopo la fioritura) nelle diverse regioni (A, Calabria; B, Emilia-Romagna; C, Lazio; D, Piemonte; E, Veneto). F. Velocità di evoluzione del °Brix nelle diverse regioni misurato con giorni impiegati per guadagnare 0.5°Brix (G_{Brix0.5}).

Tendenzialmente, l'evoluzione del colore (Hue) nel 2022 è stata leggermente più lenta in tutte le regioni rispetto ai due anni precedenti, così come avvenuto per il °Brix. I valori di G_{Hue1.0} (giorni necessari affinché si verifichi una diminuzione di 1 °Hue) del 2022 variavano, infatti, a seconda della regione, da 5 a 6 (**Figura 29**) mentre quelli del 2020 e del 2021 variavano rispettivamente da 3 a 5 e da 3 a 4. Va fatto presente che, così come avvenuto nel 2021, non è stato possibile disporre delle misurazioni del colore nelle aziende del Veneto a causa di indisponibilità dello strumento.

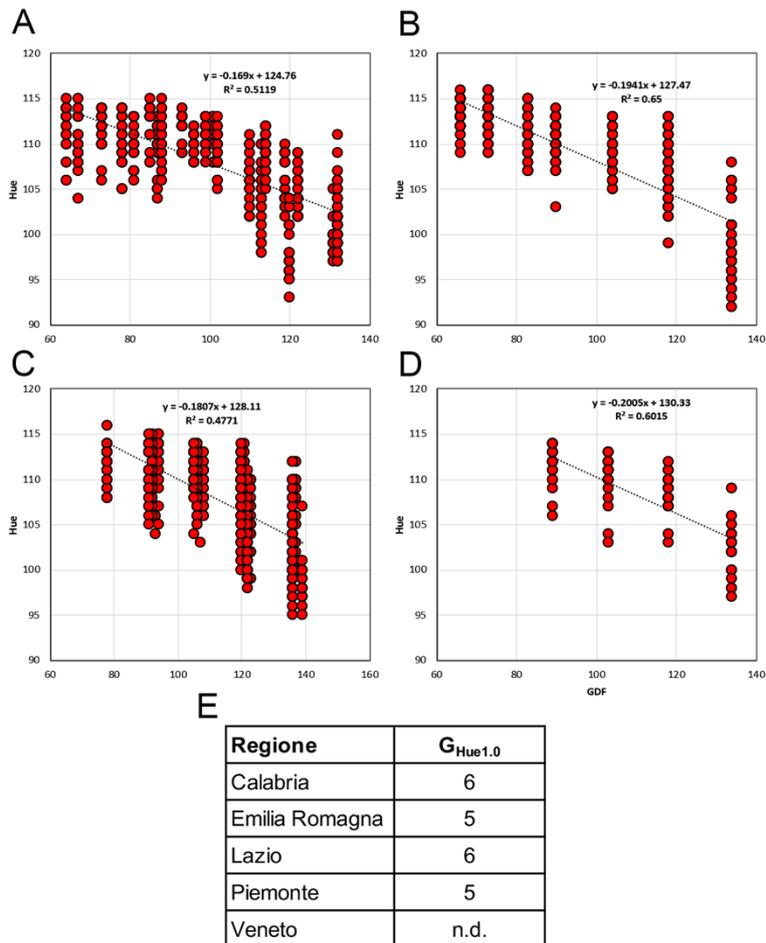


Figura 29 - Scatterplot dei dati 2022 relativi all'evoluzione del colore (Hue) nel corso del periodo di misurazione (GDF, giorni dopo la fioritura) nelle diverse regioni (A, Calabria; B, Emilia-Romagna; C, Lazio; D, Piemonte). E. Velocità di evoluzione del colore nelle diverse regioni misurato con giorni impiegati per ottenere un calo di 1°Hue ($G_{Hue1.0}$).

Per provare ad interpretare i comportamenti osservati, è stato calcolato, separatamente per ogni regione e ogni anno, il valore medio di 3 parametri misurati durante il periodo in cui sono stati effettuati i rilievi qualitativi: le temperature medie, le massime e la radiazione globale. È stata poi calcolata la correlazione fra ognuno di questi valori medi e il coefficiente angolare delle rette di regressione mostrate in precedenza, nel tentativo di spiegare le diverse velocità di evoluzione dei due parametri, °Brix e colore, nelle diverse situazioni. Dopo aver rimosso i dati dell'Emilia-Romagna del 2020, che si comportavano come *outlier*, è emersa una relazione interessante fra la media delle temperature medie e le pendenze delle cinetiche dei due parametri (**Figura 30**). Nonostante questa relazione sia degna di nota solamente per quanto riguarda il °Brix anche per l'evoluzione del colore sussiste una certa logica. Infatti, l'evoluzione positiva del °Brix è maggiore (m_{Brix} più alto) a temperature medie più basse così come il colore (misurato come °Hue che ricordiamo diminuisce per indicare il viraggio verso il giallo, quindi

le pendenze sono negative). Queste relazioni confermano il fatto che all'avvicinarsi della maturazione è importante non avere temperature troppo alte, in quanto queste andrebbero ad innescare un'accelerazione dei processi di respirazione cellulare che brucerebbero i fotosintati fissati durante il giorno grazie alla fotosintesi, rallentando così il decorso della maturazione.

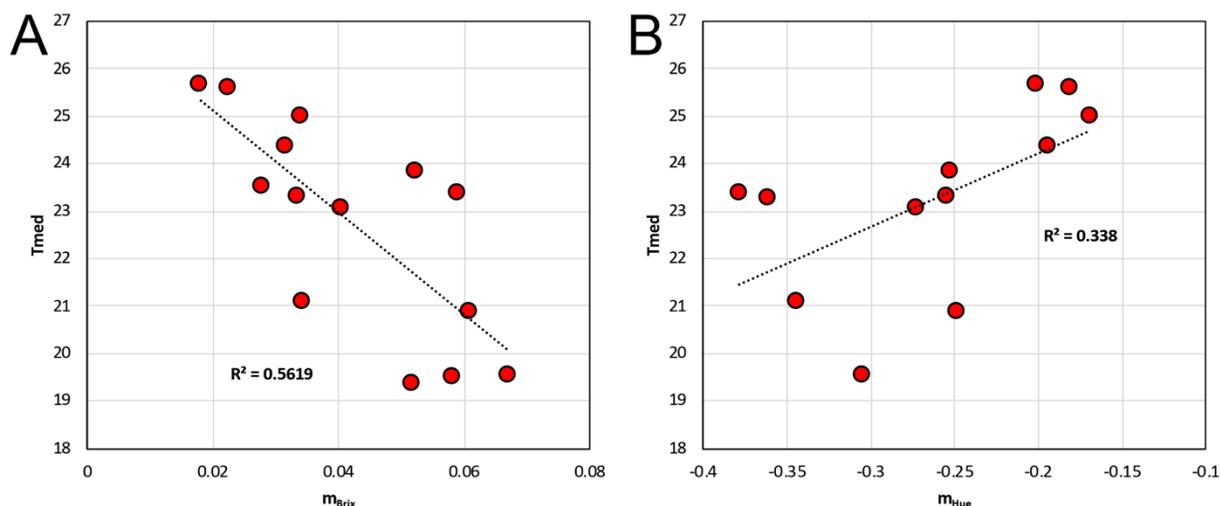


Figura 30 – Regressioni fra la media delle temperature medie (T_{med}) nel periodo dei rilievi qualitativi e i coefficienti angolari delle rette di regressione, regione per regione e anno per anno, del °Brix (m_{Brix}) e del colore (m_{Hue}).

Nel 2022 è stato addirittura rilevato un vero e proprio blocco della maturazione. Al penultimo rilievo prima della maturazione, infatti, le velocità di evoluzione dei parametri °Brix e colore risultavano molto basse o quasi nulle (ad es. in Piemonte il °Brix aumentava di 0.5 unità ogni 63 giorni), mentre, in seguito ad un abbassamento generalizzato (ad eccezione della Calabria) delle temperature medie, è stata osservata un'accelerazione decisa della maturazione e di conseguenza anche delle operazioni di raccolta (**Tabella 12**).

Tabella 12 – Velocità di evoluzione del °Brix e del colore al penultimo ed ultimo (raccolta) rilievo dell'anno 2022 nelle diverse regioni.

Regione	G _{Brix0.5}		G _{Hue1.0}	
	Penultimo	Ultimo	Penultimo	Ultimo
Calabria	33	15	37	6
Emilia Romagna	54	16	8	5
Lazio	22	22	11	6
Piemonte	63	28	9	5
Veneto	24	18	n.d.	n.d.

5 CONCLUSIONI

Il modello previsionale realizzato per la data di raccolta del kiwi Dorì (varietà AC1536) ha permesso di ottenere dei buoni risultati in termini di potere predittivo, significatività statistica e grado di correlazione fra i valori predetti e quelli reali come risulta dalla validazione interna del modello stesso. Nello specifico, può essere ritenuto soddisfacente l'ottenimento dei seguenti parametri del modello previsionale:

- Coefficiente di determinazione R^2 (Multiple R-squared) pari a 0,731 che identifica il grado di correlazione fra il predittore "Tmed" (vedi **Tabella 5**) e la durata del ciclo di sviluppo (DFR). Questo parametro rappresenta il potere predittivo del modello previsionale.
- P-value pari a 7,951e-07 che rappresenta il livello di significatività del modello (altamente significativo).
- Correlazione pari a 0,865 fra DFR predetto e DFR reale. Questo valore è stato ottenuto dal primo metodo di validazione interna a testimonianza di quanto le previsioni aderiscano alla realtà.

Anche il modello realizzato per il peso medio dei kiwi alla raccolta ha permesso di conseguire dei risultati essenzialmente positivi sia per quanto riguarda la significatività statistica sia per quanto concerne il potere predittivo e quindi l'attinenza dei valori predetti dal modello rispetto ai valori reali. In particolare, i seguenti parametri consentono di giustificare quanto precedentemente affermato:

- Coefficiente di determinazione R^2 (Multiple R-squared) pari a 0,7498 che identifica la correlazione fra il predittore "*midPoint1_y*" (vedi **Tabella 7**) ed il peso medio dei frutti alla raccolta (WR). Questo parametro rappresenta il potere predittivo del modello di regressione lineare.
- P-value pari a 3,956 e-07 che rappresenta il livello di significatività del modello (altamente significativo).
- Correlazione pari a 0,906 fra WR predetto e WR reale. Questo valore è stato ottenuto dal primo metodo di validazione interna ed indica il livello di corrispondenza delle previsioni rispetto alla realtà.

Il livello di precisione ed accuratezza previsionale raggiunto nel modello per l'epoca di raccolta ed in quello per il peso medio dei frutti alla raccolta è da considerarsi promettente per le eventuali ed auspicabili implementazioni future dei due modelli. I risultati ottenuti sono infatti da ritenersi soddisfacenti considerando il fatto che il lavoro svolto si colloca in una fase preliminare del progetto complessivo che si pone come obiettivo futuro quello di proporre un'applicazione online, disponibile per tutti i soci, che rappresenti un miglioramento dell'applicazione di prova (**Figura 31**) attualmente disponibile e che funga da strumento pratico ed affidabile per fare delle previsioni riguardanti le date di raccolta e la pezzatura media dei frutti alla raccolta.



KiwiPredHarvest

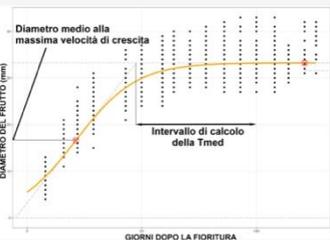
Previsione della data di raccolta e del peso medio dei frutti

DEFINIZIONI

Entrambi i parametri necessari per la previsione si ottengono utilizzando la modellizzazione della curva di crescita derivante da misure di diametro su 100 frutti a partire dal termine della fioritura e fino al completamento (stabilizzazione) della prima fase di crescita (vedi figura qui sotto)

Tmed: media delle temperature medie giornaliere dal giorno in cui si stabilizza la crescita (al flesso) fino al 100° giorno dopo la fioritura.

Dmed: diametro medio dei frutti nel momento di massima velocità di crescita.



Inserisci la temperatura media Tmed

Inserisci il diametro medio Dmed

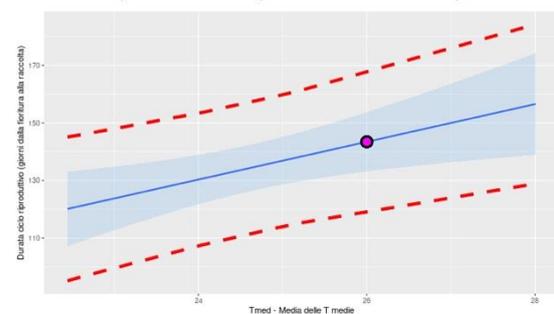
Inserisci la data di fioritura (intermedia)

Previsione raccolta

Modello lineare basato sulla temperatura media

(Note: potere predittivo 67 %; P-value = 0.015)

Data di raccolta prevista: 05-10-2022 (dal 25-09-2022 al 15-10-2022)



Modello lineare basato sul parametro Dmed

(Note: potere predittivo 76 %; P-value = 0.0066)

Peso medio alla raccolta = 93 grammi (Intervallo: 84 - 101 grammi)

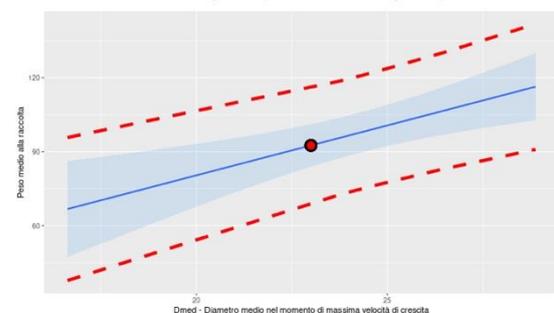


Figura 31 – Schermata dell'applicazione di prova “KiwiPredHarvest” sviluppata in R su server Shiny e disponibile all'indirizzo <https://alebot.shinyapps.io/KiwiPredHarvest/>.

Inoltre, è da considerarsi positivo, in ottica di un utilizzo pratico dei modelli implementati, il fatto che i due predittori selezionati, nello specifico “Tmed” e “midPoint1_y” (ribattezzato Dmed nell'applicazione di prova) che di fatto costituiscono i dati di input per realizzare le previsioni, possano essere calcolati già in una fase relativamente precoce del ciclo di crescita dei frutti consentendo di fatto un margine d'anticipo soddisfacente rispetto alla previsione della data di raccolta o del peso medio finale dei frutti.

Ad ogni modo, affinché i modelli implementati costituiscano un valido Sistema di Supporto alle Decisioni (*Decision Support System, DSS*) e forniscano uno strumento utile per l'organizzazione di aspetti logistici e gestionali, è necessario, o quanto meno auspicabile, proseguire la ricerca incorporando un numero maggiore di dati rappresentativi della variabilità dei fenomeni d'interesse, introducendo eventualmente dei correttivi ai modelli finora descritti e soprattutto cercando di risolvere i principali limiti dei modelli stessi che sono essenzialmente riconducibili alla fase di raccolta dati.

In merito a ciò, va ricordato che i predittori utilizzati per l'implementazione dei modelli sono stati ottenuti dai parametri descrittivi dei *fitting* delle curve di accrescimento dei frutti e dai parametri climatici ottenuti dagli intervalli di calcolo, definiti dai *fitting* stessi, delle temperature medie. Se si considera il fatto che molte curve di crescita sono risultate incomplete delle misure delle primissime fasi di accrescimento ed essendo quindi poco adatte alla realizzazione dei *fitting*, diviene logico concludere che, per ottenere dei buoni *fitting*, dai quali ricavare dei parametri descrittivi che possano essere dei predittori precisi ed accurati, è necessario disporre dei dati di crescita dell'intero periodo di accrescimento ed è quindi fondamentale che i rilievi di calibro e pesatura dei kiwi abbiano inizio fin dalle primissime fasi di sviluppo dei frutti, non appena questi si rendono visibili dopo la fioritura.

Al fine di migliorare il potere predittivo dei modelli è inoltre auspicabile l'utilizzo di dati climatici, nello specifico delle temperature medie, il più possibile localizzati e rappresentativi dell'ambiente attorno ai frutti. Questo aspetto, come verrà successivamente spiegato costituisce il limite principale riscontrato nell'implementazione di un modello previsionale per la qualità del kiwi Dorì alla raccolta.

I risultati ottenuti nel tentativo di realizzare un modello previsionale per la qualità del kiwi alla raccolta sono da ritenersi, in termini di precisione ed accuratezza previsionale, non del tutto soddisfacenti e spesso di non facile interpretazione. La scelta di implementare dei modelli previsionali basandosi su un'analisi di regressione multipla, utilizzando di fatto più predittori per i parametri oggetto di previsione ovvero °Brix e colore (Hue), ha permesso di ottenere un generale miglioramento delle prestazioni ottenute dai modelli di regressione lineare basati su un singolo parametro nonostante alcuni parametri statistici non siano del tutto soddisfacenti e i coefficienti di determinazione R^2 siano troppo bassi per poter pensare ad un'applicazione pratica, almeno per il momento.

Nello specifico, sono stati selezionati rispettivamente tre predittori (Rad_{0-15} , $Tmax_{0-15}$ e $ST15_{0-30}$) per il °Brix e due predittori (Rad_{0-30} e $Tmax_{0-15}$) per il colore, analizzando di fatto i dati in forma aggregata per anno e senza suddividerli per regione. È stata fatta la scelta di questi predittori poiché essi correlavano con il °Brix ed il colore (Hue) in tutte e tre le stagioni oggetto di studio ed il loro indice di correlazione medio nei tre anni era superiore rispetto a quello degli altri parametri elencati e descritti in **Tabella 9**. Questa analisi dei dati in forma aggregata, pur essendo teoricamente un metodo valido e piuttosto intuitivo, non ha permesso la realizzazione di un modello previsionale dotato di potere predittivo del tutto accettabile. Le motivazioni riguardo a ciò possono essere state molteplici.

In primo luogo, sono state oggettive ed evidenti le difficoltà riscontrate nel reperire dei dati climatici completi, precisi, affidabili e localizzati. Queste difficoltà possono essere in parte superate installando delle stazioni metereologiche dotate di termometro, radiometro, pluviometro ed anemometro direttamente in campo, collocando i rilevatori il più possibile vicino alle chiome fruttifere (possibilmente sia sopra che sotto la chioma) in modo da rappresentare al meglio le condizioni climatiche del microambiente attorno ai frutti. Questo accorgimento consentirebbe di sopperire alla mancanza cronica di dati precisi ed affidabili ed inoltre, permetterebbe di valutare l'impatto dei diversi parametri localizzati (non solo temperature e radiazione solare ma anche precipitazioni, ventosità ecc.) sulla qualità dei frutti.

In secondo luogo, la presenza di alcune serie di dati qualitativi mancanti, così come l'impossibilità di escludere errori avvenuti durante l'esecuzione delle analisi o nella fase di campionamento dei frutti possono aver contribuito all'ottenimento di un risultato non del tutto soddisfacente.

Ad ogni modo non va trascurata la complessità generale del fenomeno della maturazione e le oggettive difficoltà riguardanti la scelta dell'approccio da utilizzare in relazione all'obiettivo finale che si intende perseguire. Bisogna considerare che le variabili d'impatto sulla qualità del kiwi sono numerose e, inoltre, l'analisi dei dati in forma aggregata per anno ha unito situazioni macroscopicamente differenti; i rilievi qualitativi sono stati infatti condotti in areali geografici anche molto diversi fra loro, in condizioni agronomiche diversificate (portainnesti, coperture, regime di agricoltura biologica o integrata, densità d'impianto ecc.). Il tentativo di unire, secondo un approccio semplificativo, una mole importante di dati ottenuti in situazioni molto diverse, di fatto isolando soltanto alcune variabili d'impatto sulla qualità dei frutti e

trascurandone molte altre, potrebbe non essere stato sufficientemente rappresentativo dei fenomeni reali determinando di fatto i limiti riscontrati nei modelli previsionali ottenuti seguendo questo tipo di approccio.

L'analisi dei dati in forma separata, per regione e per anno, ha permesso di comprendere maggiormente l'impatto di alcuni parametri climatici sullo sviluppo della maturazione, soffermandosi maggiormente sui cambiamenti delle cinetiche di evoluzione del °Brix e del colore (Hue). Analizzando l'andamento dei due parametri qualitativi sopra citati, nelle singole regioni e nelle singole stagioni di crescita in relazione ai parametri climatici del periodo di maturazione riguardanti le temperature medie, le temperature massime e la radiazione globale media, è stato possibile dedurre alcune conclusioni. La media delle temperature medie del periodo di maturazione è risultata avere una buona correlazione con la cinetica di evoluzione del °Brix; in pratica, nelle regioni e nelle annate in cui le temperature medie del periodo di esecuzione dei rilievi di maturazione sono state superiori si è verificato un calo nella velocità di aumento del °Brix, come testimoniato dalla diminuzione del coefficiente angolare delle rette di regressione fra °Brix e giorni dopo la fioritura (GDF). Sebbene la correlazione fra temperature medie del periodo di maturazione e colore (Hue) sia risultata inferiore, l'evoluzione del parametro presentava una logica simile a quella del °Brix; nelle regioni e nelle annate in cui le temperature medie sono state superiori, la velocità con cui l'angolo di tonalità (Hue) diminuiva, e cioè la velocità con cui il colore virava dal verde al giallo, è stata mediamente inferiore.

Quanto precedentemente affermato dimostra che, l'accumulo degli zuccheri e la degradazione dell'amido, così come l'evoluzione del colore determinata dalla degradazione delle clorofille e dall'accumulo di carotenoidi, sono fenomeni temperatura dipendenti. In particolare, temperature eccessive possono determinare, accelerando il processo di respirazione cellulare e favorendo perciò il consumo di fotosintati, un calo drastico o un vero e proprio blocco della maturazione; al contrario, un crollo delle temperature nel periodo pre-raccolta può accelerare sensibilmente l'evoluzione del °Brix e del colore, anticipando di fatto la data di raccolta.

6 PROSPETTIVE FUTURE

I risultati ottenuti e descritti nella presente tesi costituiscono una buona base di partenza, in ottica di prospettiva futura, per il proseguimento della ricerca al fine di ottenere un miglioramento del potere predittivo degli attuali modelli previsionali riguardanti l'epoca di raccolta, il peso medio finale e la qualità del kiwi Dorì (varietà AC1536) alla raccolta. L'aspetto pratico del miglioramento di questi modelli riguarda la possibilità di implementare gli algoritmi attuali allo scopo di incrementare l'affidabilità delle prestazioni offerte dalle applicazioni online "*KiwiPredHarvest*" e "*KiwiPred7Quality*" (non mostrata), attualmente disponibili in forma di prova per tutti i soci del Consorzio Dorì Europe S.r.l.

Attualmente, l'applicazione "*KiwiPredHarvest*" consente la realizzazione delle curve di accrescimento dei frutti, dopo annotazione della data di piena fioritura e monitoraggio della crescita di 100 frutti sull'albero fino alla fase di stabilizzazione. La realizzazione delle curve di crescita permette di ottenere il parametro di input "*midPoint1_y*" (ovvero il diametro medio – Dmed - dei frutti nel momento di massima velocità di accrescimento) e l'intervallo di calcolo all'interno del quale inserire le temperature medie ottenute dalle stazioni metereologiche della rete regionale o preferibilmente consorziali per ottenere il parametro "*Tmed*". Inserendo i valori dei due parametri sopra citati, l'algoritmo dell'applicazione restituisce una previsione dell'epoca di raccolta e del peso medio finale dei frutti. Sebbene siano auspicabili delle future implementazioni a scopo migliorativo, il potere predittivo dei modelli per la data di raccolta e del peso medio finale dei frutti, come spiegato nella precedente sezione di questo elaborato, può essere ritenuto soddisfacente e di conseguenza la versione attuale dell'applicazione "*KiwiPredHarvest*" possiede già un buon livello di affidabilità.

Al contrario, non può essere ritenuto del tutto positivo il livello di affidabilità della versione attuale dell'applicazione on-line "*KiwiPred7Quality*", la quale è stata progettata per ottenere delle previsioni riguardanti il °Brix ed il colore (Hue) a partire dagli input climatici presentati nel modello di regressione lineare in **Tabella 11**. L'obiettivo finale per questa applicazione sarebbe quello di migliorarne sensibilmente il potere predittivo per ottenere delle previsioni affidabili con un margine d'anticipo di 7 giorni rispetto alla data di raccolta prevista. Ciò permetterebbe agli agricoltori di poter valutare se posticipare o anticipare le operazioni di raccolta in base alla qualità finale dei frutti prevista dal modello.

7 BIBLIOGRAFIA

- Anderson N.T., Walsh K.B., Wulfsohn D. 2021. Technologies for Forecasting Tree Fruit Load and Harvest Timing-From Ground, Sky and Time. *Agronomy*, 11, 1409.
- Bebbington M., Hall A.J., Lai C.D., Zitikis R. 2009. Dynamics and phases of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) growth curves. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37, 179-188.
- Buwalda J.G. e Smith G.S. 1990. Effects of partial defoliation at various stages of the growing season on fruit yields, root growth and return bloom of kiwifruit vines. *Scientia horticulturae*, 42, 29-44.
- Cardacino A., Schiavi D., Balestra G. M. 2022. Prevenire e difendersi da moria e PSA nell'era dei cambiamenti climatici. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura n.7/2022*, 16-18
- Carpino C. 2009. Applicazione sperimentale e contestualizzazione di modelli previsionali per la protezione delle colture dai patogeni, ai fini della riduzione degli input chimici. Tesi di Dottorato. URI: <http://hdl.handle.net/2067/1071>
- Chiabrando G. e Giacalone G. 2016. Prove di coltivazione protetta del kiwi: prime osservazioni in Piemonte. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura n. 12/2016*, 26-30
- Cola G., Mariani L., Parisi S., Failla O. 2012. Tempo termico e fenologia della vite. *Acta Italus Hortus*, 3, 31-34
- Costa G., 1999. Kiwifruit orchard management: new developments. IV International Symposium on Kiwifruit, 498, 111-126.
- Costa G. 2018. STORIA, PRESENTE, FUTURO DELL'ACTINIDICOLTURA. ACCADEMIA NAZIONALE DI AGRICOLTURA CONSIGLIO DIRETTIVO TRIENNIO 2017-2019, 294-304.
- Costa G., Bonora E., Fiori G., Noferini M. 2010. Innovative non-destructive device for fruit quality assessment. VII International Symposium on Kiwifruit, 913, 575-581.
- De Silva H.N., Hall A.J., Burdon J., Lallu N., Connolly P., Amos N. 2006. MODELLING THE EFFECT OF HOLDING TEMPERATURE ON FLESH DE-GREENING OF 'HORT16A' (ZESPRITM GOLD) KIWIFRUIT. VI International Symposium on Kiwifruit, 753, 769-776.
- Deflorian S. 2009. Il miglioramento genetico dell'*Actinidia* negli ultimi 20 anni: problematiche affrontate e soluzioni proposte. Tesi di laurea triennale. <http://hdl.handle.net/20.500.12608/12611>

- Dimokas G., Tchamitchian M., Kittas C. 2009. Calibration and validation of a biological model to simulate the development and production of tomatoes in Mediterranean greenhouses during winter period. *Biosystems Engineering*, 103, 217-227.
- Drummond L. 2013. The composition and nutritional value of kiwifruit. *Advances in food and nutrition research*, 68, 33-57.
- Fadanelli L., Mattè P., Yahia E.M. 2019. Analysis and Control Systems in Postharvest Operations. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 667-693.
- Ferguson A.R. 2014. Kiwifruit in the world-2014. VIII International Symposium on Kiwifruit, 1096, 33-46.
- Génard M., Lescourret F., Gomez L., Habib R. 2003. Changes in fruit sugar concentrations in response to assimilate supply, metabolism and dilution: a modeling approach applied to peach fruit (*Prunus persica*). *Tree Physiology*, 23, 373-385.
- Green S., Reyes F., Dichio B., Mastroleo M., Xylogiannis E. 2021. Water use of yellow-fleshed kiwifruit during an annual cycle. X International Symposium on Kiwifruit, 1332, 187-194.
- Hall A.J., McPherson H.G., Crawford R.A., Seager N.G. 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., Richardson A.C., Snelgar W.P. 2004. Modelling fruit development in 'Hayward' kiwifruit. VII International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 707, 41-47.
- Hilaire C., Mathieu V., Scandella D. 2000. La qualité organoleptique des peches et nectarines. 1 partie. *Infos-Ctifl*, 161, 26-29.
- Hopping M.E. 1976. Effect of exogenous auxins, gibberellins, and cytokinins on fruit development in Chinese gooseberry (*Actinidia chinensis* Planch.). *New Zealand journal of botany*, 14, 69-75.
- Huang W., Wang Z., Zhang Q., Feng S., Burdon J., Zhong C. 2022. Maturity, Ripening and Quality of 'Donghong' Kiwifruit Evaluated by the Kiwi-Meter™. *Horticulturae*, 8, 852.
- Jordan R.B. e Loeffen M.P.F. 2014. Decision support systems using models of fruit quality variability. XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014), 1119, 289-296.
- Kyriacou M.C. e Roupheal Y. 2018. Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463-469.

- Lawes G.S. 1989. The effect of shading on the chlorophyll content of 'Hayward' kiwifruit. *New Zealand journal of Crop and Horticultural Science*, 17, 245-249.
- Lobit P., Genard M., Soing P., Habib R. 2006. Modelling malic acid accumulation in fruits: relationships with organic acids, potassium, and temperature. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1471-1483.
- Lunati F. 2022. Il futuro commerciale del kiwi italiano si gioca sull'export. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura* n.7/2022, 6-8
- Marcelis L.F.M., Heuvelink E., Goudriaan J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, 74, 83-111.
- McGhie T.K. e Ainge G.D. 2002. Color in fruit of the genus *Actinidia*: carotenoid and chlorophyll compositions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 117-121.
- Minchin P.E.H., De Silva N., Snelgar W.P., Richardson A.C., Thorp T.G. 2003. Modelling of colour development in the fruit of *Actinidia chinensis* "Hort16A." *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 31, 41-53.
- Noferini M., Soto A., Fiori G., Piccinini L., Mauri S., Costa G. 2013. *Actinidia* a polpa gialla: misurare alla raccolta la variabilità della maturazione. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura*
- Noferini, M., Miserocchi, O., Costa, G., Fiori, G., 2002. La determinazione degli indici di raccolta e di qualità dei frutti di *actinidia*. *Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura*, 64, 20-24.
- Pailly O., Habib R., Delecolle R. 1995. Effect of soil and climate conditions on soluble solids evolution during maturation of kiwifruit. *New Zealand journal of Crop and Horticultural Science*, 23, 145-153.
- Palmieri. 2022. *Actinidia*, le problematiche produttive generano difficoltà sulla redditività degli impianti. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura* n.7/2022, 10-15
- Pescie M.A. e Strik B.C. 2004. Thinning before bloom affects fruit size and yield of hardy kiwifruit. *HortScience*, 39, 1243-1245.
- Pietrafesa A., Lardo E., Di Biase R., Minnini A.N. 2022. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura* n.7/2022, 34-39
- Quartieri M., Toselli M., Baldi E., Polidori G., Germani M.A., Noferini M., Xylogiannis E., 2021. Effect of the method and volume of irrigation on yield and fruit quality of yellow fleshed kiwifruit in northern Italy. *X International Symposium on Kiwifruit*, 1332, 211–218.

- Richardson A.C., McAneney K.J., Dawson T.E. 1997. Carbohydrate dynamics in kiwifruit. *Journal of Horticultural Science*, 72, 907-917.
- Rocchi L., Vidoni S., Ceccarelli A., Fiori G., Costa G. 2016. Use of the DAindex™ for monitoring fruit ripening evolution in *A. chinensis* to precisely assess harvesting time “in planta.” *Journal of Berry Research*, 6, 373-379.
- Salinger M.J., Kenny G.J., Morley-Bunker M.J. 1993. Climate and kiwifruit cv. Hayward 1. Influences on development and growth. *New Zealand journal of Crop and Horticultural Science*, 21, 235-245.
- Sansavini S. e Testolin R. 2021. Kiwi giallo, un successo commerciale che non si ferma. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura* n.7/2021
- Satpal D., Kaur J., Bhadariya V., Sharma K., 2021. *Actinidia deliciosa* (Kiwi fruit): A comprehensive review on the nutritional composition, health benefits, traditional utilization, and commercialization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45 (6), e15588.
- Scheerlinck N., Franck C., Nicolai B.M. 2004. Modelling variability in fruit growth and quality development: a stochastic systems approach. VII International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 707, 253-260.
- Seager N.G., Hewett E.W., Warrington I.J., MacRae E.A. 1991. THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE RATE OF KIWIFRUIT MATURATION USING CONTROLLED ENVIRONMENTS. II International Symposium on Kiwifruit, 297, 247–254.
- Smith G.S e Buwalda J.G. 1994. Kiwifruit. In *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. Schaffer B. e Andersen P. C., 135-163. CRC Press
- Smith G.S., Gravett I.M., Edwards C.M., Curtis J.P., Buwalda J.G. 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.
- Smith G.S., Mowat A., Costa G., 1997. La qualità dei frutti di *actinidia*: come determinarla, come uniformarla. *Frutticoltura*, 5, 45-49.
- Snelgar W.P., Hall A.J., Ferguson A.R., Blattmann P. 2005. Temperature influences growth and maturation of fruit on ‘Hayward’kiwifruit vines. *Functional Plant Biology*, 32, 631-642.
- Snelgar W.P., Hall A.J., Richardson A.C., Currie M.B. 2007. Influence of temperature on between-season variation in dry matter content of ‘Hayward’kiwifruit. *Acta horticulturae*.

- Snelgar W.P., Hopkirk G., McPherson H.G. 1993. Predicting harvest date for kiwifruit: variation of soluble solids concentration with mean temperature. *New Zealand journal of Crop and Horticultural Science*, 21, 317-324.
- Stajanko D., Lakota M., Hoever M. 2004. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42, 31-42.
- Testolin R. 2014. Kiwifruit (*Actinidia* spp.) in Italy: the history of the industry, international scientific cooperation and recent advances in genetics and breeding. VIII International Symposium on Kiwifruit, 1096, 47-61.
- Testolin R., Ferguson A.R. 2009. Kiwifruit (*Actinidia* spp.) production and marketing in Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 37, 1-32.
- Thakur A. e Chandel J.S. 2003. Effect of thinning on fruit yield, size and quality of kiwifruit cv. Allison. VII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics, 662, 359-364.
- Wang S., Qiu Y., Zhu F. 2021. Kiwifruit (*Actinidia* spp.): A review of chemical diversity and biological activities. *Food Chemistry*, 350, 128469.
- Xiloyannis C., Dichio B., Montanaro G., Biasi R., Nuzzo V., 1999. Water use efficiency of pergola-trained kiwifruit plants. IV International Symposium on Kiwifruit, 498, 151–158.
- Xiloyannis C. e Montanaro, G. 2004. Irrigazione e concimazione dell'Actinidia.
- Xiloyannis C., Lardo E., Calabritto M., Montanaro G. 2022. *Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura* n.7, 20-27
- Zhang B., Peng B., Zhang C., Song Z., Ma R. 2017. Determination of fruit maturity and its prediction model based on the pericarp index of absorbance difference (I AD) for peaches. *PLoS One*, 12, e0177511.

7.1 Sitografia consultata

<https://www.fao.org/faostat>

<https://www.politicheagricole.it>

8 APPENDICE

8.1 Script per il fitting delle curve a doppia sigmoide

```
#Inizio script per fitting di doppia sigmoide
#Autore: Alessandro Botton
#versione 0.1 release 20220203
#ultimo aggiornamento 3 Febbraio 2022
#Fonte: https://cran.r-project.org/web/packages/sicegar/vignettes/categorizing\_fits.html
#
#
#Pulisco la memoria e seleziono la directory di lavoro
rm(list = ls())
setwd("~/")
#
#
#Carico i pacchetti necessari
library(sicegar)

#Qui cambio il nome del file TXT di input
filename = "NomeFile.txt"

#Creo il mio dataset
mydata <- read.table(filename, header = T)

#Fitting modelli individuali
dataInput<- data.frame(mydata)
normalizedInput <- normalizeData(dataInput = dataInput, dataInputName = "doubleSigmoidalSample")
head(normalizedInput$timeIntensityData) #matrice dati normalizzata
normalizedInput$dataScalingParameters #scalatura parametri
normalizedInput$dataInputName #dati di input

#Faccio il fitting doppia-sigmoide
doubleSigmoidalModel <- multipleFitFunction(dataInput=normalizedInput, model="doublesigmoidal")
doubleSigmoidalModelAugmented <- parameterCalculation(doubleSigmoidalModel)

#Mostro i parametri principali
t(doubleSigmoidalModel)
#Creo una matrice coi tutti i parametri del fitting
output <- t(doubleSigmoidalModelAugmented)
#Creo un nome per il file TXT di output
results = paste(filename,"output.txt",sep="_")
#Scrivo il file di output con tutti i parametri
write.table(output,file=results)

#Fitting doppia sigmoide
dataInputDoubleSigmoidal <- data.frame(mydata)
```

```

fitObj_dsm <- fitAndCategorize(dataInput = dataInputDoubleSigmoial)

figureModelCurves(dataInput = fitObj_dsm$normalizedInput)

figureModelCurves(dataInput = fitObj_dsm$normalizedInput,
                    doubleSigmoialFitVector = fitObj_dsm$doubleSigmoialModel)

#Plotto la curva con le indicazioni dei parametri principali
figureModelCurves(dataInput = fitObj_dsm$normalizedInput,
                    doubleSigmoialFitVector = fitObj_dsm$doubleSigmoialModel,
                    showParameterRelatedLines = TRUE)

```

8.2 Script per produrre le matrici con gli indici di correlazione

```

#Inizio script per matrici di correlazione
#Autore: Alessandro Botton
#versione 0.2 release 20220510
#ultimo aggiornamento 10 Maggio 2022
#Fonte: http://www.sthda.com/english/wiki/correlation-matrix-a-quick-start-guide-to-analyze-format-and-visualize-a-correlation-matrix-using-r-software
#
#
#Pulisco la memoria e seleziono la directory di lavoro
rm(list = ls())
setwd("~/")
#
#
#Carico i pacchetti necessari
library("PerformanceAnalytics")
#
#
#Qui cambio il nome del file TXT di input
filename = "NomeFile.txt"

#Creo il mio dataset
mydata <- read.table(filename, header = T)

#Calcolo le correlazioni e scrivo la matrice su un file TXT
res <- cor(mydata, use = "pairwise.complete.obs")
indici <- round(res, 3)
write.table(indici, file=paste(filename, "indici_corr.txt"), sep = "\t")

#Disegno la matrice con le significatività
chart.Correlation(mydata, histogram=TRUE, pch=19)
datiDF <- data.frame(mydata)

```

8.3 Script per la regressione lineare a singolo predittore

```
#Inizio script per regressioni lineari e validazione
#by Alessandro Botton
#versione 0.1 release 20230112
#ultimo aggiornamento 12 Gennaio 2023
#Fonte: varie
#
#Pulisco la memoria e seleziono la directory di lavoro
rm(list = ls())

#Librerie da caricare
library(ggplot2)
library(e1071)
library(DAAG)
#
#Lettura file tabella. Cambiare qui il nome del file.
dati_reg = read.table(file="hue_model_Rad30.txt", header=TRUE)

#Scatterplot dei dati
par(mfrow=c(1, 1))
plot(x=dati_reg$Rad30, y=dati_reg$Hue, main = "Hue ~ Rad30", xlab="Rad30", ylab="Hue", pch = 19)

#Plotto le linee di regressione (y~x)
abline(lm(dati_reg$Hue~dati_reg$Rad30), col="red")
lines(lowess(dati_reg$Rad30,dati_reg$Hue), col="blue") # Traccio la LOWESS, ovvero l'andamento (x,y)

#Traccio il modello con limiti di confidenza
model <- lm(Hue ~ Rad30, data=dati_reg)
pred.int <- predict(model, interval = "prediction")
dati_reg <- cbind(dati_reg, pred.int)
p <- ggplot(dati_reg, aes(Rad30, Hue)) +
  geom_point(shape = 21, colour = "black", fill = "white", size = 3, stroke = 1) +
  labs(y = "Hue (%)", x = "Rad30") +
  stat_smooth(method = lm, fill = "steelblue2", alpha = 0.2,)
#Aggiungo gli intervalli di predizione
p + geom_line(aes(y = lwr), color = "red", linetype = "dashed", size = 2)+
  geom_line(aes(y = upr), color = "red", linetype = "dashed", size = 2)

#Verifico se ci sono outliers
#Boxplots
par(mfrow=c(1, 2))
boxplot(dati_reg$Rad30, main="Rad30", sub=paste("Outlier rows: ", boxplot.stats(dati_reg$Rad30)$out))
boxplot(dati_reg$Hue, main="Hue", sub=paste("Outlier rows: ", boxplot.stats(dati_reg$Hue)$out))
forasciapo2 <- boxplot.stats(dati_reg$Rad30)$out
forasciapo3 <- boxplot.stats(dati_reg$Hue)$out
forasciapo2
```

```

forasciapo3

#Distribuzione dei dati
#Normalità
par(mfrow=c(1, 2)) # divido l'area in 3 colonne
plot(density(dati_reg$Rad30), main="Density Plot: Rad30", ylab="Frequency", sub=paste("Skewness:",
round(e1071::skewness(dati_reg$Rad30), 2))) # density plot for 'Rad30'
polygon(density(dati_reg$Rad30), col="blue")
plot(density(dati_reg$Hue), main="Density Plot: Hue", ylab="Frequency", sub=paste("Skewness:", round(e1071::skewness(dati_reg$Hue),
2))) # density plot for 'Hue'
polygon(density(dati_reg$Hue), col="red")

#Correlazione
correl2 <- cor(dati_reg$Rad30, dati_reg$Hue)
correl2

#Modelli: test vari
par(mfrow=c(2, 2))
linearMod2 <- lm(Hue ~ Rad30, data=dati_reg) # build linear regression model on full data

#Parametri del modello
print(linearMod2)
summary(linearMod2) # model summary
plot(linearMod2)

#Statistiche aggiuntive
modelSummary2 <- summary(linearMod2) # capture model summary as an object
modelCoeffs2 <- modelSummary2$coefficients # model coefficients
beta.estimate2 <- modelCoeffs2["Rad30", "Estimate"] # get beta estimate
std.error2 <- modelCoeffs2["Rad30", "Std. Error"] # get std.error
t_value2 <- beta.estimate2/std.error2 # calc t statistic
p_value2 <- 2*pt(-abs(t_value2), df=nrow(dati_reg)-ncol(dati_reg)) # calc p Value
f_statistic2 <- linearMod2$fstatistic[1] # fstatistic
f2 <- summary(linearMod2)$fstatistic # parameters for model p-value calc
model_p2 <- pf(f2[1], f2[2], f2[3], lower=FALSE)

# Creo due dataset Training e Test
set.seed(7) # setting seed to reproduce results of random sampling
trainingRowIndex <- sample(1:nrow(dati_reg), 0.6*nrow(dati_reg)) # row indices for training data
trainingData <- dati_reg[trainingRowIndex, ] # model training data
testData <- dati_reg[-trainingRowIndex, ] # test data

# Costruisco il modello sui dati Training e faccio le predizioni sui dati Test
lmMod2 <- lm(Hue ~ Rad30, data=trainingData) # modello
distPred2 <- predict(lmMod2, testData) # predizioni

```

```

actuals_preds2 <- data.frame(cbind(actuals=testData$Hue, predicted=distPred2)) # make actuals_predicted dataframe.
correlation_accuracy2 <- cor(actuals_preds2)
correlation_accuracy2
head(actuals_preds2)
par(mfrow=c(1, 1))
#Plotto i dati reali VS quelli previsti
plot(actuals_preds2,main = "Hue reale VS previsto", xlab="Hue reale", ylab="Hue previsto", pch = 19, cex=1.8)
p2 <- ggplot(actuals_preds2, aes(testData$Hue, distPred2)) +
  geom_point(shape = 21, colour = "black", fill = "white", size = 3, stroke = 1) +
  labs(y = "Hue reale", x = "Hue previsto") +
  stat_smooth(method = lm,fill = "steelblue2", alpha = 0.2,)
  geom_line(aes(y = upr), color = "red", linetype = "dashed", size = 2)
p2

par(mfrow=c(1, 1))
par(mar=c(5, 5, 5, 5))

#Effettuo la K-fold validation
cv.lm(data=dati_reg, form.lm=Hue ~ Rad30, m=5, seed=4, dots=FALSE, printit=TRUE, main="")
cvResults2 <- suppressWarnings(cv.lm(data=dati_reg, form.lm=Hue ~ Rad30, m=3, dots=FALSE, seed=7, legend.pos="topleft", printit=FALSE,
main="Small symbols are predicted values while bigger ones are actuals"))
sm2 <- summary(linearMod2)
mse2 <- mean(sm2$residuals^2)
attr(cvResults2,'mse2')

```

8.4 Script per la regressione lineare multipla

```

#Inizio script per regressioni lineari multiple
#Autore: Alessandro Botton
#versione 0.1 release 20230113
#ultimo aggiornamento 13 Gennaio 2023
#Fonte: http://www.sthda.com/english/articles/40-regression-analysis/168-multiple-linear-regression-in-r/
#
#Pulisco la memoria e seleziono la directory di lavoro
rm(list = ls())
setwd("~/")

#Carico le librerie necessarie
library(tidyverse)
library(DAAG)

#Lettura file tabella. Cambiare qui il nome del file.
dati_reg = read.table(file="multiple_reg_brix.txt", header=TRUE)
#Assegnamo il nome delle colonne a delle variabili
vd <- colnames(dati_reg[5])
pred1 <- colnames(dati_reg[1])
pred2 <- colnames(dati_reg[2])
pred3 <- colnames(dati_reg[3])

```

```
pred4 <- colnames(dati_reg[4])
#Aggiungerne altri utilizzando la stessa formula

#Ottengo il modello, mostro i parametri principali e i limiti di confidenza
model <- lm(as.formula(paste(vd, "~", pred1, "+", pred2, "+", pred3, "+", pred4)), data = dati_reg)
summary(model)
summary(model)$coefficient
confint(model)

# K-fold cross-validation

CVlm(data=dati_reg, model,m=5, seed=11, dots=FALSE, printit=TRUE, main="")
```

Ringraziamenti

Vorrei dedicare questo spazio dell'elaborato a tutti coloro che hanno contribuito, con il loro supporto, alla realizzazione dello stesso.

In primis vorrei ringraziare il mio relatore Alessandro Botton che ha saputo guidarmi, con suggerimenti pratici, nelle ricerche e nella stesura dell'elaborato. Ringrazio il Consorzio Dorì Europe S.r.l e, in particolare, Giampaolo Dal Pane per il costante supporto alle ricerche e il Dott. Cesare Calai per l'inesauribile energia con cui ha raccolto, riordinato e reso reperibili tutti i dati utilizzati nella tesi.

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori per il loro supporto economico e agli amici per avermi dedicato il loro tempo prezioso regalandomi momenti di spensieratezza e divertimento durante il percorso universitario.

Infine, vorrei dedicare questo piccolo traguardo a me stesso, che possa essere l'inizio di una lunga e brillante carriera professionale.