

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI  
ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE E  
TECNOLOGIE AGRARIE

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Cambiamento climatico e melicoltura:  
problematiche e possibili soluzioni

Relatore  
Prof. Claudio Bonghi

Studente  
Giovanni Pizzaia  
2007398



Indice:

- 1. Introduzione**
- 2. Effetti del cambiamento climatico sulla melicoltura**
  - 2.1 Inadeguato soddisfacimento del fabbisogno di freddo
  - 2.2 Gelate tardive
  - 2.3 Periodi di siccità sempre più frequenti
  - 2.4 Stress fotossidativo e da temperature elevate
- 3. Soluzioni contro la siccità**
  - 3.1 Portainnesti resistenti alla siccità
  - 3.2 Utilizzo di micorrize per aumentare le capacità di assorbimento della pianta
  - 3.3 Utilizzo di piante poliploidi per migliorare la resistenza alla siccità
  - 3.4 Utilizzo di reti ombreggianti per mitigare lo stress idrico
- 4. Cultivar con ridotto fabbisogno di freddo**
- 5. Possibili soluzioni contro lo stress fotossidativo e da alte temperature**
  - 5.1 Reti ombreggianti
  - 5.2 Caolino usato come film protettivo contro le scottature
- 6. Conclusioni**
- 7. Bibliografia**



## **1. Introduzione**

Nell'ambito della frutticoltura mondiale il melo è la coltura più diffusa e coltivata. La melicoltura mondiale con i suoi 4,8 milioni di ettari e una produzione di 93 milioni di ton (FAO.STAT, 2021) riveste un ruolo fondamentale per la produzione di cibo e quindi va tutelata. In Italia la melicoltura che conta 54470 ha (FAO.STAT, 2021) è localizzata principalmente in Trentino e in Alto Adige. La qualità di queste mele è riconosciuta da marchi DOP ed IGP, che amplificano la loro importanza economica nelle zone vocate e rientranti nella certificazione.

I cambiamenti climatici sottopongono questo settore a nuove sfide che devono essere superate per mantenere le produzioni stabili e sostenibili. Infatti, il cambiamento climatico, con l'estremizzazione degli eventi atmosferici e l'innalzamento delle temperature, sta mettendo in crisi tutto il comparto ortofrutticolo. Gli inverni miti e le alte temperature estive portano rispettivamente ad un anomalo ritorno a fiore in primavera e a stress fotossidativo e termico in estate riducendo la resa e peggiorando le qualità organolettiche dei frutti. Inoltre, le sempre più frequenti situazioni di carenza idrica limitano fortemente l'attività vegetativa e riproduttiva della pianta.

In un'ottica di futura crescita demografica sarebbe necessario aumentare le produzioni, ma, dati questi cambiamenti climatici, dobbiamo almeno essere in grado di mantenere i livelli produttivi in essere. Per questi motivi è necessario ricercare e sviluppare nuove tecniche agronomiche e nuove varietà per poter continuare a coltivare mele e ottenere buone rese.

Verranno affrontati i principali danni che il cambiamento climatico provoca a questa fondamentale coltura frutticola, con lo scopo di trovare e sperimentare nuovi strumenti e tecnologie che permettano il mantenimento, in questo mutato contesto, dei livelli produttivi e qualitativi già raggiunti.



## 2. Effetti del cambiamento climatico sulla melicoltura

Il cambiamento climatico influisce su numerosi processi fisiologici responsabili della capacità di adattamento della pianta e della sua attività riproduttiva. In particolare, si sono osservati:

### 2.1 Inadeguato soddisfacimento del fabbisogno di freddo

Le piante arboree delle zone temperate e boreali sincronizzano la loro attività con il decorso meteorologico alternando fasi di crescita a fasi di stasi vegetativa o dormienza. La dormienza è una sorta di strategia di sopravvivenza messa in atto per far fronte alle basse temperature invernali. Il superamento della dormienza, in particolare di quella che dipende da fattori interni (definita come endodormienza), avviene attraverso la sperimentazione di basse temperature. Tale esigenza ecologica è definita fabbisogno di freddo e viene quantificata attraverso il calcolo di *chilling units* (CU) o *chilling portion* (CP) pari, grossolanamente, al numero di ore trascorse a 7,2 °C (Fadón et al., 2020). La sperimentazione delle basse temperature è anche funzionale a un corretto sviluppo delle strutture riproduttive che si formano all'interno delle gemme prodotte durante l'anno. Infatti, nella maggior parte delle specie frutticole, melo incluso, l'induzione antogena che porta alla modifica del meristema da vegetativo a riproduttivo avviene in estate e lo sviluppo del fiore avviene durante la fase autunno/invernale. Il mancato soddisfacimento di queste unità di freddo comporta una fioritura ridotta, ritardata e disomogenea che determina una generale riduzione della resa e un peggioramento delle qualità organolettiche (Gonzalez Noguer et al., 2022).

Analogamente le caratteristiche organolettiche sono fortemente condizionate dal soddisfacimento del fabbisogno di freddo. Infatti, alte temperature portano alla presenza di fiori con pistilli malformati, polline poco germinabile e, conseguentemente a una scarsa fecondazione, i frutticini spesso deformati. Inoltre, la variazione della morfologia e della qualità dei frutti, causata dalle condizioni ambientali, sembra essere controllata da diversi contenuti degli ormoni, tra cui le gibberelline che sono più abbondanti nelle zone fresche rispetto a quelle calde (Eccher, 1986). Il superamento del fabbisogno di freddo non è l'unico determinante della qualità dei frutti tuttavia, se non lo si soddisfa, è impossibile cercare di intervenire sulla qualità poiché è già stata irreparabilmente danneggiata (El Yaacoubi et al., 2020).

L'accumulo delle unità di freddo e le successive unità di caldo sono necessarie per determinare la data della fioritura che è di fondamentale importanza soprattutto per le cultivar a fecondazione incrociata. Infatti, asincronie dei fenogrammi di fioritura possono ridurre anche di molto l'impollinazione e conseguentemente anche la resa (Darbyshire et al., 2017).

L'accumulo delle CU o CP, scoperto e applicato inizialmente su pesco, è diventato uno strumento efficace e fondamentale per poter conoscere i vari fabbisogni di freddo delle colture. Per determinare l'accumulo delle CU e delle *Growing Degree Hours* (GDH, Anderson et al., 1986) i fabbisogni di caldo necessari al superamento dell'ecodormienza, si utilizzano i dati delle temperature medie orarie giornaliere. Se a quest'ultimi si integrano i dati desumibili dalle previsioni meteorologiche, conoscendo i fabbisogni di caldo e di freddo della cultivar in esame, è possibile stimare la data di fioritura. I modelli più utilizzati per determinarla sono: il *Sequential model* e il *Chilling overlap model*.

Il *Sequential model* utilizza in modo indipendente i dati del freddo e quelli del caldo: prima si accumulano *chilling units* (Asscroft et al., 1977), fino al soddisfacimento del fabbisogno di freddo, poi si determina l'accumulo delle GDH per il superamento dell'ecodormienza. Il *Chilling overlap model* combina i dati delle temperature in modo più complesso: prevede anch'esso un minimo accumulo di ore di freddo iniziali, ma l'accumulo delle successive CU andrà a ridurre l'ammontare delle GDH necessarie al superamento dell'ecodormienza.

L'anticipo della fioritura, dovuto ai cambiamenti climatici, espone maggiormente le piante a danni causati dalle gelate tardive. Conoscendo le possibili date di fioritura delle cultivar, è possibile selezionare quelle che meglio si adatteranno all'ambiente di coltivazione con l'obiettivo di ridurre al minimo questi danni. (Darbyshire et al., 2017). Questo comportamento è confermato da uno studio svolto nel sud-est della Gran Bretagna (Gonzalez Noguier et al., 2022) in cui si è riscontrato che la quantità di CU necessarie al superamento dell'ecodormienza condiziona la sensibilità al caldo durante l'ecodormienza. Infatti, le cultivar con fabbisogni di freddo inferiori sono risultate più suscettibili alle ondate di caldo primaverile poiché, germogliando precocemente, sono più esposte ai rischi di gelate tardive.

È interessante notare che l'innalzamento delle temperature avrà effetti diversi in base all'area geografica in cui sono locati i meleti. Nelle aree in cui il superamento



dell'endodormienza non è un fattore limitante, le fioriture saranno sempre più anticipate poiché il superamento dell'ecodormienza sarà più rapido date le alte temperature. I frutteti saranno quindi sempre più esposti al rischio di danni da freddo. Invece nelle aree più miti, come l'area del Mediterraneo, le CU saranno un fattore limitante perché ci vorrà più tempo per accumularle. Questo determinerà un ritardo e un peggioramento della fioritura, nonostante un rapido superamento dell'ecodormienza (Funes et al., 2016). Basandosi su futuri scenari climatici espressi in termini di concentrazioni di gas serra (RCP), si procede a creare mappe che indichino i luoghi in cui è possibile avere inverni talmente miti da non soddisfare i fabbisogni di freddo richiesti. In Spagna è noto che, nelle aree con maggior produzione melicola, i cambiamenti climatici renderanno impraticabile la coltivazione delle varietà con alti fabbisogni di freddo. Inoltre, seguendo lo scenario RCP8.5 (che prevede l'aumento di 3,7°C entro il 2100), sarà molto complicato, se non impossibile, coltivare anche le varietà con medi fabbisogni di freddo (Funes et al., 2016).

Questo comporterà un riassetto del sistema frutticolo, in particolare di quello melicolo, che, salvo qualche nuova cultivar, utilizza solo cultivar con medio-alti fabbisogni di freddo. Sarà perciò necessario spostare i meleti in luoghi più freddi o si dovrà intervenire con scelte varietali ed interventi agronomici oculati per poter continuare a produrre in queste aree vocate.

## 2.2 Gelate tardive

Nei climi temperati il rischio di danni dovuti a gelate tardive in primavera è sempre stato presente e i recenti cambiamenti climatici lo stanno accentuando. Nonostante la frequenza delle gelate sia in continua riduzione negli ultimi anni (Stocker et al., 2013), il rischio di danni da gelate non diminuisce, ma potrebbe aumentare a causa della fenologia variata. Le gelate su melo per essere effettivamente dannose devono portare la temperatura almeno al di sotto -2°C (Guo et al., 2019). I danni saranno proporzionali all'abbassamento di temperatura e alla durata del periodo in cui la temperatura permane al di sotto di questa soglia. Se le gelate tardive occorrono nel periodo della fioritura possono provocare gravi danni alla produzione: i fiori, se danneggiati, vanno incontro a fenomeni di colatura o evolvono in frutti malformati (Rodrigo, 2000).

Nei casi più gravi le gelate possono portare alla completa distruzione dei germogli: la pianta dovrà utilizzare nuove risorse per emetterne di nuovi. Questo nuovo

germogliamento rappresenta una grande spesa energetica per la pianta che determina uno sviluppo più stentato nel ripristino della vegetazione. Inoltre, le piante, durante il periodo estivo, saranno più suscettibili a carenze idriche, nutrizionali e ad attacchi di insetti e patogeni. Nonostante ciò, in condizioni ottimali, sono in grado di bilanciare il maggior consumo di fotosintetati, dovuto alla ripresa del germogliamento dopo la gelata, con un elevato stoccaggio di carboidrati a ridosso dell'autunno (Vitasse et al., 2019).

Durante questi ultimi anni il miglioramento genetico nel mondo della melicoltura e della frutticoltura in generale, si è concentrato sul selezionamento di cultivar che siano performanti in territori semi aridi per il continuo ripetersi delle siccità; tuttavia questa scelta potrebbe determinare una maggiore esposizione alle gelate tardive, in quanto le cultivar, che meglio resistono alla siccità, sono frequentemente precoci (Vitasse et al., 2018). Quindi, oltre che a proseguire con questo tipo di selezione, sarà necessario valutare la precocità delle cultivar anche in base al rischio di esposizione alle gelate tardive o trovare delle cultivar che abbiano fabbisogni di caldo più elevati per posticipare la fioritura.

In generale il rischio di gelate tardive aumenta per le piante in quota che sono già più esposte a ritorni di freddo. Invece, per quelle coltivate in aree dove le temperature invernali sono più miti, la fioritura è ritardata per il mancato soddisfacimento dei fabbisogni di freddo. (Vitasse et al., 2018).

Questi studi e i loro dati sono strettamente vincolati all'areale in cui sono stati sviluppati, perciò è necessario osservare i dati di ogni singolo areale di produzione al fine di ottenere dei possibili valori di rischio d'esposizione alle gelate tardive. Questo sarà fondamentale dati gli scenari futuri in cui le cultivar precoci, già di loro natura più esposte al rischio, saranno sempre più coltivate per far fronte all'innalzamento della temperatura invernale e alle siccità estive.

### 2.3 Periodi di siccità sempre più frequente.

Ogni anno il deficit idrico e la siccità si accentuano sempre di più a livello globale e in modo ancor più marcato nelle aree del bacino del Mediterraneo. Questa scarsa disponibilità idrica, insieme all'innalzamento delle temperature, favorirà l'aumento dell'evapotraspirazione nel sistema pianta-terreno, aumentando ancor di più le richieste idriche delle piante. Infatti la produttività e la qualità delle mele sono influenzate dalla

disponibilità di acqua nel terreno poiché, in caso di stress idrico, avremo una riduzione di più fenomeni: la conduttanza stomatica, l'efficienza fotosintetica, l'assorbimento dei nutrienti, portando a una riduzione della pezzatura dei frutti (Ben Abdelkader et al., 2022). In caso di stress idrico prolungato si riduce il LAI (*Leaf index area*), che è il rapporto tra i metri quadri di foglia per metro quadro di terreno, sia per una riduzione del numero di foglie, sia per la riduzione della dimensione delle stesse. Questa diminuzione riduce la capacità fotosintetica delle piante e la possibilità di sostenere la fruttificazione dell'anno in corso, ma anche di quello successivo. In casi estremi si è addirittura arrivati a osservare un arresto della crescita estiva chiamato "*summer dormancy*", che non è altro che un sistema di sopravvivenza ai lunghi periodi di siccità estiva (Pallas et al., 2020). Inoltre l'esposizione a tale stress determina una complessiva riduzione dell'assorbimento dei carboidrati e della dissipazione del calore che rende le piante sempre più suscettibili a stress secondari quali malattie, stress da caldo o infestazioni di insetti (Xu and Ediger, 2021).

Un'importanza considerevole la riveste il periodo in cui si manifesta lo stress idrico che può determinare una maggiore o minore perdita di produzione. Se tale stress si presenta durante la prima fase di accrescimento dei frutti, ovvero durante l'accrescimento per successive divisioni cellulari, il danno sulla dimensione dei frutti sarà maggiore; se si presenta successivamente il danno sarà minore. In entrambi i casi la limitazione della pezzatura dei frutti sarà correlata alla durata dello stress idrico.

Per poter parlare di stress idrico è fondamentale stabilire dei parametri misurabili per riconoscere il momento in cui si manifesta e quindi decidere il periodo più opportuno in cui irrigare per evitare di perdere o danneggiare la produzione in atto. Per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua, oltre che puntare sulla genetica, è fondamentale implementare tecniche agronomiche e una corretta gestione idrica. Per definire una situazione di stress idrico ci si basa essenzialmente sul "*midday stem water potential*", che è la misura del potenziale idrico della pianta a mezzogiorno, che solitamente risulta essere il valore più basso dal momento che si raggiunge il picco di irraggiamento e temperatura. Per determinarlo si seleziona una foglia che sia completamente sviluppata e che non presenti danni, la si ricopre con della plastica e un foglio di alluminio lasciandola in questa condizione per mezz'ora. Per misurare il potenziale idrico la foglia va posta in una camera a pressione di Scholander, qui la si inserisce con l'estremità tagliata che

fuoriesce dall'alloggiamento in cui è posto il campione. La camera esercita una pressione via via crescente fino a quando dal taglio non inizia ad uscire del succo linfatico, momento in cui si registra il valore del potenziale idrico tramite un manometro. In generale per il melo si considera che il limite del valore potenziale idrico misurato a mezzogiorno sia di -1,5 MPa, al di sotto del quale la pianta va in stress idrico (Pallas et al., 2020).

Oltre a questo dato va calcolata e conosciuta anche l'evapotraspirazione (ET) che la pianta può sostenere in base alle riserve idriche presenti nel suolo. L'ET si può calcolare per via gravimetrica o con nuove procedure come il sistema *sap flow*, basato sul metodo HMR (*heat radio method*), il quale partendo dal flusso di linfa permette di calcolare l'ET giornaliera. Conoscendo questo dato si può calcolare il volume di adacquamento da reintegrare nel frutteto quando si svolgerà l'intervento irriguo.

Il sistema gravimetrico prevede di tenere delle piante in vaso sospese collegate a una bilancia, per poter misurare costantemente le perdite di peso del sistema e, dopo ventiquattro ore, ottenere dalla differenza del peso il dato dell'ET giornaliera. Tuttavia, se pur preciso, questo sistema risulta costoso e difficilmente applicabile in campo, motivi per cui si stanno sviluppando nuovi sistemi che ci permettano di calcolare in campo e in tempo reale l'ET.

Il *sap flow system* ci permette di calcolare, attraverso delle formule di regressione, l'ET giornaliera delle piante in campo. Il sistema è composto da un corpo principale e tre sensori posizionati all'interno del tronco a circa 24 cm sopra il punto d'innesto. Il sensore principale rilascia dei brevi impulsi di calore che sono captati dagli altri due sensori posizionati uno sopra e uno sotto, che registrano le variazioni di temperatura della linfa che scorre nei vasi. Questo dato inserito in una serie di equazioni, opportunamente corretto dai coefficienti di conduttività termica del legno bagnato, di distanza tra i sensori rispetto al corpo centrale, di dimensione del tronco, di densità dell'acqua e di peso specifico del legno, permette di stimare l'ET. Il valore ottenuto segue gli stessi andamenti dell'ET gravimetrica, ma risulta spesso sottostimato. Questo errore è dovuto al diverso gradiente di densità del succo che circola nei vasi xilematici rispetto agli elementi floematici. Sarà quindi necessario calcolare dei fattori di correzione che permettano l'utilizzo efficiente di questo sistema.

In generale possiamo assumere che se le piante di melo si trovano in assenza di limitazioni idriche nel terreno possano traspirare da 0,6 a 2L/m<sup>2</sup> al giorno in base alle

condizioni climatiche (Pallas et al., 2020). Per mantenere una buona evapotraspirazione è necessario irrigare poiché, se il potenziale idrico a mezzogiorno scende al di sotto dei  $-1,45$  MPa e non c'è disponibilità di acqua nel terreno, le piante entrano in stress, chiudono gli stomi e riducono drasticamente gli scambi gassosi della foglia. In tutto il periodo in cui gli stomi sono chiusi si riduce l'efficienza fotosintetica poiché la pianta non svolge più l'organizzazione del carbonio e dissipa energia anziché immagazzinare fotosintetati. Inoltre, se gli stomi sono chiusi, la pianta non è in grado di termoregolarsi correttamente e i tessuti rischiano di surriscaldarsi con la possibilità di subire danni da calore.

Come già accennato, lo stress idrico può determinare una marcata riduzione della pezzatura dei frutti determinando un deprezzamento significativo del prodotto. Una delle fasi fenologiche più critiche è quella in cui la crescita del frutto, inclusa la mela, avviene per divisione cellulare. Quindi per avere mele di pezzatura adeguata, oltre al diradamento, è fondamentale avere a disposizione risorse irrigue nelle prime fasi di crescita, sebbene le richieste possano variare in funzione dei regimi termici (Naor et al., 2008). Infatti, negli alberi in cui il carico di frutti è molto elevato la richiesta idrica sarà maggiore, come riscontrato dai valori di potenziale idrico di mezzogiorno inferiori, e, conseguentemente, la pianta entrerà più facilmente in stress. È stato dimostrato che il potenziale idrico misurato a mezzogiorno è strettamente correlato con la pezzatura dei frutti: se si mantiene mediamente al di sopra del valore di  $-1,45$  MPa, all'incirca il 90% dei frutti avrà un diametro maggiore di 70mm, mentre se scende già sotto  $-1,5$  MPa e si sposta verso i  $-2$  MPa, solo il 20% dei frutti avrà valori superiori ai 70mm (Naor et al., 2008). A fronte di questi dati il diradamento, in caso irrigazione deficitaria, è una pratica essenziale per il raggiungimento di una pezzatura adeguata delle mele (Naor et al., 2008).

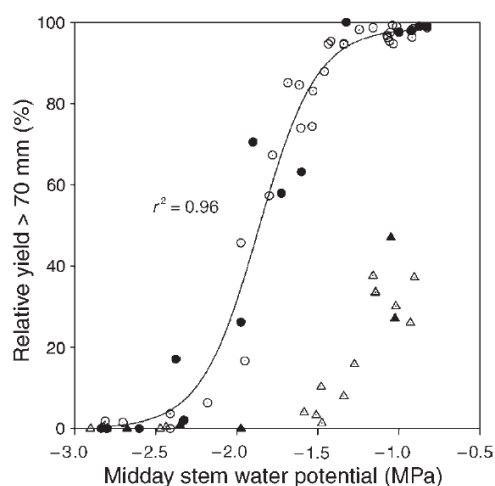


Figure 7. Effects of midsummer midday stem water potential of *Malus domestica* trees at Ortal (July 31, 2006; open symbols) and Matityahu (August 15, 2006; filled symbols) bearing one of three crop loads (Low, L; medium, M; and high, H) on relative yield of fruit > 70 mm in diameter (% of total crop yield). Symbols: L and M (●, ○); and H (▲, △).

*Effetti del potenziale idrico di mezzogiorno delle piante di melo, con diverso carico di frutti ad Ortal (simboli vuoti) e Matityahu (simboli pieni), su la produzione relativa di mele al di sopra dei 70mm. I triangoli sono usati per indicare un elevato carico di frutti, i pallini per il medio e basso carico (Naor et al., 2008).*

Una caratteristica peculiare dei fruttiferi coltivati è il sistematico ricorso all'innesto, pratica che consente l'unione di due individui: un nesto e un portainnesto. Il portainnesto, che porta l'apparato radicale, riveste un ruolo principale nella gestione idrica di tutta la pianta in quanto riesce, tramite le radici, a esplorare il terreno e ad assorbire l'acqua, tutti i sali e gli elementi nutritivi di cui la pianta ha bisogno. Nell'ambito della melicoltura, nonostante i portainnesti si siano selezionati ormai molti anni fa e sia necessario un loro rinnovamento, è presente una vasta gamma di portainnesti che passano dal nanizzante (M27) al franco con una serie di caratteristiche intermedie che contraddistinguono ogni singolo portainnesto (Wang et al., 2019). In generale si assume che portainnesti meno vigorosi, come il classico M9, avendo apparati radicali più limitati, siano in grado di assorbire meno nutrienti e meno acqua rispetto a portainnesti vigorosi. Tuttavia, non è così poiché la dimensione della chioma e l'habitus vegetativo influiscono fortemente sul consumo d'acqua. Infatti, si stanno studiando in modo accurato le interazioni tra nesto e portainnesto riguardanti l'utilizzo dell'acqua.

In uno studio sulla cultivar AMBROSIA™ si sono testati più tipi di portainnesto con vigoria decrescente: i tipi *semi-Dwarfing* (G.202), i tipi *large Dwarfing* (G.935, M.26 e

M.9) e quelli *small Dwarfing* (B.9). Tra questi il portainnesto più resistente alla siccità è stato individuato considerando: gli scambi gassosi della foglia, la fotosintesi netta, la traspirazione, l'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE), la densità e la dimensione degli stomi, la clorosi, la defogliazione, la crescita diametrica del nesto e altri aspetti riguardanti la qualità dei frutti. I vari portainnesti non hanno determinato variazioni significative in termini di peso e sostanza secca accumulata nei frutti. La traspirazione risulta più elevata in M9 seguita da B.9, G.935, G.202 ed infine M.26. Questo dato suggerisce che i primi due portainnesti abbiano una migliore termoregolazione: la temperatura fogliare e quella dei frutti sarà certamente minore di quella che si riscontra su M.26. Questo risultato è la conseguenza della densità degli stomi e della loro dimensione: più stomi piccoli permettono una migliore regolazione traspirazione, rispetto a pochi stomi grandi. Infatti, in M.9 e B.9 si riscontrano le due più alte densità stomatiche e l'apertura delle rime stomatiche è medio-piccola, favorendo così un controllo più fine della traspirazione. Il ridotto stress termico e ossidativo si traduce in un miglior sviluppo dei frutti e una loro qualità superiore.

I risultati dimostrano che i portainnesti più vigorosi possono sostenere nesti più vigorosi e potenziali di crescita maggiori, ma esclusivamente con un maggior utilizzo d'acqua. Il portainnesto G.202 e, in generale, i portainnesti vigorosi riducono l'efficienza produttiva, data la loro ridotta capacità fotosintetica e il maggior utilizzo di fotosintetati per la produzione del legno. Inoltre, in casi di mancanza d'acqua, i portainnesti vigorosi possono entrare in stress più facilmente determinando una produzione di frutti di qualità scadente. L'eccessiva dimensione degli stomi e la perdita d'acqua dagli stessi non riescono ad essere bilanciate dai guadagni fotosintetici: in casi di forte stress le funzioni della foglia decadono velocemente e si verifica una grave defogliazione.

I portainnesti del gruppo *large dwarfing* sono stati identificati come *drought-avoidant trees* dal momento che cercano di ridurre la domanda di acqua riducendo la superficie fogliare e gli scambi gassosi con grosse defogliazioni. Infatti, M.26 ha in assoluto la minor traspirazione, la minor superficie stomatica rapportata alla superficie fogliare e, quindi, riesce a essere il portainnesto che riduce al massimo l'utilizzo d'acqua, ma questo utilizzo non è efficiente e in casi di severi stress porta ad estese defogliazioni.

Il portainnesto B.9 risulta essere il più tollerante alla siccità grazie alla sua ridotta crescita, al pressoché costante scambio gassoso, al ridotto diametro dei vasi conduttori,

all'elevata densità stomatica e alla più tardiva defogliazione. Infatti, la migliore distribuzione degli stomi rende più flessibile il controllo dei mesofilli e ciò consente alla pianta di mantenere moderato e stabile l'uso dell'acqua, costante l'assimilazione di carbonio e di dissipare calore.

Questo studio è stato eseguito per una cultivar specifica e quindi per altre tipologie di cultivar e terreni andrebbe rieseguito per ottenere una conferma di quanto riportato (Xu and Ediger, 2021).

#### 2.4 Stress fotossidativo e da temperature elevate

Nel melo lo stress fotossidativo si manifesta quando è presente un'elevata irradiazione combinata con elevate temperature che possono causare nei tessuti esposti decolorazioni più o meno intense, modificazioni dei pigmenti (più carotenoidi e meno clorofilla), accumulo di flavonoidi e solidi solubili (glucosio e sorbitolo). Questi accumuli di composti incidono sull'equilibrio osmotico contribuendo ad una riduzione del relativo contenuto d'acqua e del potenziale idrico, sintomi caratteristici dello stress idrico (Torres et al., 2020). L'accumulo dei flavonoidi comporta uno spiccato aumento della compattezza della polpa che, nonostante l'elevata presenza di etilene, si mantiene anche dopo la maturazione. Quest'aumento di compattezza lo si può ricollegare all'accumulo di lignina all'interno del frutto esposto allo stress fotossidativo. Infatti, alcune analisi hanno dimostrato che varia la concentrazione della lignina, non quella delle emicellulose e delle cellulose. In alcune varietà l'aumento della compattezza può essere un punto di forza, mentre per altre potrebbe determinare un peggioramento delle qualità organolettiche.

Durante la sovraesposizione alla radiazione solare si attivano dei geni (*MdCOMT1* e *MdCAD*) che sono coinvolti nella via metabolica della monolignina. La loro espressione è mediata dai fitormoni come l'etilene e dalle specie reattive dell'ossigeno (ROS), entrambe indotte in seguito allo stress. L'attivazione di questa via metabolica dà inizio al processo di lignificazione dei tessuti esposti che è un meccanismo di difesa delle piante per rispondere agli stress abiotici (Torres et al., 2020). Sulla base di questa risposta metabolica delle piante è possibile delineare un ideotipo di cultivar resistenti. Queste cultivar dovrebbero essere caratterizzate da una compattezza della polpa elevata e da una grande concentrazione di solidi solubili affinché sia possibile la loro coltivazione in luoghi semi-aridi e soleggiati.



Il cambiamento climatico, insieme all'incremento dei gas serra, è direttamente correlato all'intensità e alla frequenza degli eventi estremi, come le ondate di calore (*Heat waves*). Queste ondate di calore si manifestano solitamente in estate, tra luglio e la prima decade di agosto, sono caratterizzate da periodi con alte temperature che impattano fortemente sul metabolismo delle piante e durano mediamente tre/quattro giorni, ma possono protrarsi anche più a lungo. Per identificare queste ondate di caldo si devono confrontare i valori della media della temperatura massima registrata con i dati delle serie storiche per quel luogo. Quando la temperatura massima media di un giorno supera per tre giorni consecutivi il 90% della media della temperatura, in un intervallo di quindici giorni, centrato nel giorno preso in esame, si può affermare di essere in presenza di un'ondata di caldo (Zanotelli et al., 2022).

Le piante reagiscono in modi diversi allo stress da temperature elevate. Spesso la reazione è determinata dalle disponibilità idriche: generalmente le piante erbacee tendono ad utilizzare tutta l'acqua presente fino al disseccamento; mentre le piante forestali, e in parte gli alberi coltivati, tendono a chiudere gli stomi per preservare l'acqua. Infatti, le piante C3, come il melo, raggiungono un ottimo livello di efficienza fotosintetica intorno ai 25-30°C. Se la temperatura supera quest'intervallo ottimale, è favorita la respirazione a discapito della fotosintesi e le piante, anziché immagazzinare carbonio, ne diventano delle fonti. Questa riduzione dell'efficienza fotosintetica è attribuibile alla termolabilità degli enzimi del ciclo di Calvin che non riescono più a rigenerare i substrati per la carbossilazione (Morales-Quintana et al., 2020). Le ondate di calore possono essere ben gestite nei sistemi frutticoli se si ha una buona disponibilità idrica, altrimenti le piante iniziano a ridurre la fotosintesi per evitare la perdita d'acqua. Normalmente, le ondate di calore, dato che si formano in presenza di sistemi di alta pressione, sono spesso accompagnate da siccità o comunque grande richiesta idrica (ET media di 6mm/day). Le piante, per far fronte a ciò, chiudono gli stomi, ma contemporaneamente, per la ridotta ET, aumentano la temperatura interna e lo stress ossidativo con il rischio di danni per tutta la stagione. Invece, grazie alla gestione irrigua nei sistemi frutticoli, le piante sono capaci di disperdere fino al 95% del calore dovuto alla radiazione, perché mantengono gli stomi aperti e si termoregolano. Questa termoregolazione, se applicata a estese aree di coltivazione irrigue, può favorire il controllo locale della temperatura abbassandola, consentendo il normale sviluppo delle piante (Zanotelli et al., 2022). Le piante possono

mantenere attiva l'assimilazione di carbonio, anche nei periodi più caldi, solo se in presenza di acqua. Il vincolo della presenza d'acqua irrigua, per il mantenimento dell'attività fotosintetica delle piante, va segnalato poiché le risorse irrigue sono sempre più scarse, le precipitazioni incostanti o ancor peggio estremizzate. È necessario munirsi di attrezzature per l'adattamento che riducano al minimo lo spreco d'acqua e acquisire competenze per una corretta gestione irrigua in un'ottica conservatrice.

Inoltre, lo stress fotossidativo in concomitanza di un elevato irraggiamento può portare alla formazione di scottature. Le scottature dei frutti sono dovute alla degradazione della clorofilla e il successivo deperimento dei tessuti causato da specie altamente reattive dell'ossigeno (ROS) che, in concentrazioni troppo elevate, danneggiano in particolare i fotosistemi e la clorofilla al loro interno. I sintomi legati a questa degradazione sono delle decolorazioni della buccia che vanno dal bianco al bruno intenso in base al grado di esposizione. In queste zone dechlorofillizzate è facilitato l'ingresso dei patogeni che possono portare il frutto a marcescenza. Tuttavia, i danni non si limitano solo alla superficie, ma arrivano anche al cortex del frutto poiché, oltre a determinare la rottura delle cellule, modificano in modo drastico il metabolismo degli antiossidanti. Questi, insieme ai composti osmoregolatori, iniziano ad accumularsi sempre più modificando le caratteristiche interne del frutto (Morales-Quintana et al., 2020). Questi frutti, visibilmente danneggiati, risultano invendibili o solo sfruttabili nei prodotti trasformati, comportando una perdita di valore economico, notevole se il danno è esteso.

Oltre ai fattori climatici possono esserci anche altri fattori agronomico-colturali che determinano una maggiore suscettibilità alle scottature: l'orientamento del frutteto, il tipo di portainnesto, la cultivar, la forma di allevamento o altre tecniche agronomiche come la potatura verde. Infatti, il classico orientamento Nord-Sud determina una maggiore esposizione al sole pomeridiano nel lato ovest, dove si presentano evidenti fenomeni di scottatura; l'orientamento Est-Ovest riduce la zona esposta e limita i danni.

I portainnesti nanizzanti determinano un minore sviluppo della chioma che si riflette in una maggior penetrazione della luce che porta all'insorgenza di scottature, in caso di cultivar sensibili come la Granny Smith. La penetrazione della luce nella chioma varia in base alla scelta della forma di allevamento e alla gestione della potatura verde che può esporre i frutti alla luce diretta. Un altro intervento colturale, che può ridurre la manifestazione di questi danni, è una corretta gestione della concimazione azotata per

favorire un adeguato sviluppo e un'adeguata e corretta copertura fogliare per non inficiare sulla qualità del frutto (Morales-Quintana et al., 2020). Queste scelte gestionali sottolineano sempre più quanto sia necessario conoscere approfonditamente il luogo in cui si posiziona il frutteto e avere una gestione attenta delle operazioni agronomiche al fine di ridurre al minimo i danni da scottature o comunque non favorirli.

La pianta quando è sottoposta a degli stress abiotici, in questo caso la luce e la temperatura, reagisce modificando il proprio metabolismo al fine di limitare i danni. Inizia, tramite l'aumento dei ROS, ad accumulare fenoli e composti antocianici. I composti antocianici sono tipici delle cultivar con sovraccolore, il quale viene acquisito tramite l'accumulo di questi composti nell'epidermide per proteggersi dai raggi solari. Queste molecole hanno potere antiossidante e cercano di limitare i danni causati dallo stress ossidativo. Infatti i radicali liberi, che possono denaturare le proteine del fotosistema II, gli enzimi della catena di trasporto degli elettroni e gli enzimi del ciclo di Calvin, sono intercettati da queste molecole e inattivati (Morales-Quintana et al., 2020). Tuttavia, per impedire i danni, non sono sempre sufficienti queste difese. Questi possono anche presentarsi durante la conservazione quando i frutti, esposti al freddo, manifestano gravi imbrunimenti a livello della buccia, prima non visibili data l'alta concentrazione di antiossidanti (Torres et al., 2017).

Per coadiuvare questi composti e gli enzimi ad essi associati, esistono delle proteine chiamate *Heat shock proteins* (HSP). Queste sono espresse in quantità variabili a seconda della cultivar e hanno la funzione di aumentare la resistenza delle cellule alle alte temperature. La loro maggiore concentrazione si riscontra a livello epidermico poiché è la zona più esposta alle alte temperature. Le HSP sono in grado di evitare la denaturazione delle proteine fondamentali per lo svolgimento della fotosintesi, mantenendo attiva così la cellula. La loro espressione può essere considerata come un carattere di minore o maggiore suscettibilità alle scottature (Morales-Quintana et al., 2020).

Tutte le modificazioni del metabolismo sono gestite dai fitormoni che, alterando le loro concentrazioni relative, sono in grado di mutare il metabolismo cellulare. I fitormoni che sono principalmente coinvolti sono tre: l'etilene, le auxine (IAA) e l'acido abscissico (ABA). L'etilene nei tessuti danneggiati è molto concentrato e le auxine sono ridotte, mentre nei tessuti sani troviamo la situazione opposta. L'etilene viene prodotto in risposta allo stress fotossidativo per poter permettere l'accumulo di composti antiossidanti,

osmoregolatori e ridurre lo stress. Nonostante questo accumulo precoce, il frutto non matura prima e non perde consistenza grazie all'accumulo di lignina e all'ispessimento della parete. Le elevate concentrazioni di etilene sono correlate positivamente con alte concentrazioni di ABA, il quale stimola la produzione dell'etilene stesso in risposta agli stress. Anche l'acido salicilico collabora con l'etilene e l'ABA, ma la sua azione è locale e limitata. In generale il ruolo di questi ormoni è la protezione dei tessuti dallo stress ossidativo per mantenere le cellule vive e il frutto in salute tramite la regolazione del metabolismo dei composti antiossidanti. (Torres et al., 2017).

### **3. Soluzioni contro la siccità**

Date le continue siccità, che saranno probabilmente ancora più frequenti e intense, è necessario trovare delle tecniche agronomiche e attuare dei programmi di miglioramento genetico con lo scopo di sopperire alle mancanze d'acqua. Per poter ridurre al minimo le perdite di produzione bisogna rendere le piante sia più efficienti nell'assorbimento e nell'utilizzo dell'acqua, sia più tolleranti alla siccità.

Nonostante l'apparato radicale sia l'organo più studiato per aumentare la resistenza alla siccità non bisogna sottovalutare l'importanza della parte epigea della pianta: la densità stomatica, la distribuzione e la morfologia delle foglie possono influire significativamente sull'utilizzo dell'acqua.

Ci sono comunque molteplici soluzioni che coinvolgono la parte ipogea della pianta che iniziano a rivestire ruoli sempre più importanti all'interno dei frutteti.

#### **3.1 Portainnesti resistenti alla siccità**

La coltivazione del melo è ormai svolta nella sua totalità con piante innestate, salvo qualche raro caso. Ai fini di migliorare la resistenza alla siccità si sta lavorando sulle caratteristiche dei vari portainnesti, in particolare l'approfondimento radicale, la capacità esplorativa delle radici e la capacità di assorbimento dell'acqua. I portainnesti data la loro adattabilità permettono la coltivazione di più cultivar in tipi di terreni diversi perché è possibile scegliere la migliore combinazione tra cultivar, portainnesto e condizioni idro-pedologiche per massimizzare la produzione. Per selezionare dei portainnesti resistenti alla siccità sarà necessario considerare la WUE, indice ottenuto dal rapporto tra la fotosintesi netta e l'evapotraspirazione, che permette di capire quanta acqua è consumata per quantità di biomassa prodotta.

La gestione dell'acqua all'interno della pianta è mediata tramite l'apertura e la chiusura degli stomi che a loro volta sono controllati da segnali ormonali. Il principale segnale ormonale è l'ABA (Nakashima et al., 2014), che viene prodotto a livello radicale e, in situazioni di stress idrico, la sua produzione aumenta di molto. Quest'alta concentrazione di ABA porta alla chiusura degli stomi limitando la perdita d'acqua da parte della pianta.

Per quanto riguarda i portainnesti di melo la resistenza alla siccità è attribuibile a due sistemi differenti: la regolazione dell'evapotraspirazione con la chiusura-apertura degli

stomi, l'incremento della conduttanza idraulica che riduce la formazione delle cavitazioni e favorisce la traslocazione delle risorse alle radici per sviluppare ed esplorare nuove aree di suolo (Tworkoski et al., 2016).

Di fondamentale importanza è prendere in considerazione la vigoria del portinnesto in quanto in grado di condizionare la dimensione dell'apparato radicale, l'approfondimento e la distribuzione delle radici nel suolo. Un portinnesto vigoroso determinerà un apparato radicale più profondo e più sviluppato, mentre un portinnesto nanizzante, come il classico M.9, avrà uno sviluppo inferiore e più superficiale. Tuttavia, non è scontato il fatto che un apparato radicale più esteso determini un maggiore WUE poiché vanno tenuti in considerazione tutte le complesse relazioni ormonali che si instaurano tra nesto e portainnesto. Queste caratteristiche di resistenza alla siccità sono state studiate sottoponendo i differenti portinnesti a siccità più o meno durature. Per poter comprendere le loro reazioni alla siccità si utilizzano degli indicatori: il potenziale idrico misurato all'alba e a mezzogiorno, WUE, la conduttanza stomatica e la concentrazione di ABA e dei suoi metaboliti secondari.

In uno studio, condotto negli Stati Uniti, sono stati messi a confronto due portinnesti diversi (M.9 e MM.111) e due cultivar diverse (Gala e Fuji). Il portinnesto MM.111 ha dimostrato di possedere un apparato radicale molto sviluppato rispetto all'M.9 che tuttavia possiede più radici fini (<3mm di diametro), le quali permettono una migliore esplorazione del suolo. I risultati hanno dimostrato come entrambe le cultivar innestate su MM.111 abbiano avuto un consumo d'acqua maggiore, causato da un'elevata evapotraspirazione. Inoltre anche il potenziale idrico misurato, rispetto a quello delle piante con portainnesto M.9, era maggiormente negativo non solo a mezzogiorno, ma anche all'alba (Tworkoski et al., 2016). Una possibile spiegazione di questo fenomeno risiede in una maggiore concentrazione di ABA nelle foglie delle cultivar innestate su M.9, a seguito dell'imposizione di uno stress idrico. La maggiore concentrazione di ABA sulle piante innestate su M9 è correlata alla precoce attivazione della sua biosintesi a livello radicale rispetto a quanto accade in piante innestate su MM.111. Infatti, i valori di evapotraspirazione e di fotosintesi netta si mantengono più bassi sin dall'inizio, ma restano più costanti rispetto a quelli di MM.111. Inoltre, nel portainnesto M.9 sono stati riscontrati valori molto più alti di prolina e zuccheri solubili che, aumentando i potenziali osmotici, rendono più difficile la dispersione d'acqua nell'ambiente (Tworkoski et al.,

2016). Dal momento che i dati sono stati ottenuti con piante in vaso, dove la capacità di crescita radicale portainnesto MM.111 è limitata così come l'accesso a risorse idriche, dovranno essere riconfermati in campo.

Le piante possono utilizzare più metodi per difendersi dalla siccità con adattamenti di breve o lungo periodo. Ovviamente i primi, come la riduzione della conduttanza stomatica, la conducibilità idraulica e l'angolo di orientamento delle foglie rispetto al sole sono i più semplici da mettere in atto, tuttavia, non essendo soluzioni permanenti, non coinvolgono gli interi organi della pianta, come invece riescono a fare la riduzione della superficie fogliare o l'aumento della biomassa radicale, adattamenti di lungo periodo. Quindi per ottenere i portainnesti ideali, con una buona resistenza alla siccità, sarebbe ottimale coniugare la grande capacità della regolazione stomatica di M.9 con il profondo e sviluppato apparato radicale di MM.111. La selezione di questi nuovi portainnesti è fondamentale per il mantenimento dei frutteti e delle loro produzioni, ma sfortunatamente la ricerca, e soprattutto le prove in campo, di questi portainnesti richiedono molto tempo e grandi disponibilità economiche.

Le selezioni di portainnesti di melo presenti oggi si basano su un pool genico abbastanza esiguo e, siccome la selezione si è sempre orientata all'ottenimento di piante meno vigorose, la variabilità genetica si è ancor più ridotta. La selezione classica è di tipo fenotipico e sfrutta delle cultivar locali ben adattate o ibridi già conosciuti che hanno sviluppato caratteristiche agronomiche interessanti. Sarebbe corretto considerare non solo il portainnesto in modo singolo, ma anche le interazioni che si formano tra esso e la cultivar innestata. Ci sono, infatti, nuovi programmi di *breeding* che hanno posto la loro attenzione sull'analisi di segnali, ormonali o a mRNA, del portainnesto in grado di modulare l'attività del nesto (Lu et al., 2020). Questi segnali possono modificare in modo marcato la resistenza della cultivar agli stress abiotici e biotici rendendola meno suscettibile. Per accedere a più conoscenze e a un pool genico molto più vasto in minor tempo è di primaria importanza la collaborazione tra i centri di ricerca (Hrotkó, 2007).

### 3.2 Utilizzo di micorrize per aumentare le capacità di assorbimento della pianta.

Le micorrize sono delle interazioni simbiotiche che si formano a livello radicale tra dei funghi presenti nel suolo e delle radici o rizomi di moltissime piante erbacee e legnose (Brundrett, 2002). Queste interazioni simbiotiche possono essere di vario tipo e sono

distinte in base a come si sviluppano a livello radicale. Le ectomicorrize, tipiche delle foreste, avvolgono l'apice radicale senza entrare all'interno di esso, mentre nelle endomicorrize il fungo con le sue ife entra all'interno dell'apice radicale. In queste ultime si trovano le endomicorrize arbuscolari-vescicolari che sono le più presenti in natura e le più studiate in campo ortofrutticolo. Queste interazioni permettono la creazione di un corpo arbuscolare del fungo all'interno dell'apice radicale in modo che la superficie di contatto tra le membrane plasmatiche del fungo e della pianta sia massima. La pianta rinuncia ad una parte dei suoi fotosintetati per cederli al fungo il quale, grazie al suo complesso apparato di ife più sottili delle radici, può esplorare grandi porzioni di suolo e consentire un migliore assorbimento di particolari nutrienti spesso poco mobili nei terreni alcalini, come il fosforo. Infatti, i funghi, tramite degli essudati acidi, riescono a mobilitarlo e renderlo fitodisponibile. Inoltre la pianta, tramite la fitta rete di ife fungine, sarà in grado di intercettare in modo migliore l'acqua all'interno del terreno, diventando meno suscettibile alla siccità. L'elevata applicazione di fertilizzanti inorganici e fungicidi sta inficiando sullo sviluppo di queste simbiosi, riducendone al minimo la presenza nei terreni con conseguenze anche sulla salute fitosanitaria delle piante stesse. Si è dimostrato infatti che gli alberi colonizzati da queste micorrize sono più resistenti alla *Neonectria ditissima* che è l'agente di malattia del cancro nero del melo (Bardeni et al., 2018).

La presenza di una forte concimazione minerale riduce sia la formazione dell'apparato radicale sia le simbiosi micorriziche (Ortas, 2018) rendendo la pianta molto più sensibile agli stress abiotici. L'apparato radicale di piante micorizzate è uguale, in termini di biomassa radicale, a quello di piante non colonizzate, ma presenta delle radici leggermente più corte e ingrossate perché la pianta vi immagazzina carboidrati che poi cede al fungo micorrizico. Ovviamente la cessione di nutrienti da parte della pianta comporterà una crescita inferiore soprattutto nei primi anni d'impianto rispetto alle piante non micorizzate che ricevono una completa nutrizione minerale, perché l'apparato radicale è scarsamente sviluppato. Questa limitazione nei primi anni sarà un vantaggio nei successi in quanto permetterà alle piante di esplorare più suolo, assorbire più acqua e i nutrienti in modo migliore, sfruttando meglio anche le concimazioni.

Questa simbiosi permette di ridurre gli input, in particolare le fertilizzazioni, nei primi anni d'impianto del meleto, stimolando ancor di più la colonizzazione delle radici da parte dei funghi micorrizici i quali renderanno la pianta più resistente agli stress



abiotici (Barea et al., 2011). La riduzione della quantità di fertilizzanti ha notevoli benefici ambientali ed economici, visto che con la strategia “*Farm to fork*” la comunità europea punta ad una riduzione del 50% dei prodotti fitosanitari e dei concimi inorganici entro il 2030.

Un'altra interessante caratteristica di questi simbiotici è la loro capacità di indurre nelle piante una resistenza ai patogeni, come nel caso dell'agente (*Neonectria ditissima*) del cancro delle pomacee. Tutto ciò può avvenire in diversi modi: o riducendo gli stress abiotici, in primo luogo quello idrico, o rendendo le piante meno suscettibili ad attacchi, o implementando la nutrizione e l'assorbimento dei minerali necessari allo sviluppo o preallertando (priming) il sistema pre-immune di difesa delle piante (Bardeni et al., 2018). Questi funghi, grazie alla loro simbiosi, stimolano la produzione di jasmonati e salicilato, che, a loro volta, amplificano la risposta all'attacco di patogeni attivando i geni di difesa della pianta (Jung et al., 2012). Quindi quando la pianta sarà attaccata da un altro fungo patogeno sarà già pronta a rispondere all'infezione e potrà non essere infettata. Inoltre, questi funghi, tramite la modificazione degli essudati radicali, promuovono la crescita dei rizobatteri, i quali riducono la presenza di patogeni nella rizosfera.

Le specie di funghi micorrizici sono varie e ognuna presenta delle caratteristiche peculiari come l'assorbimento ottimale dei nutrienti, un miglior assorbimento dell'acqua e la resistenza ai patogeni tellurici. Diventa perciò necessario approfondire gli studi sulle loro caratteristiche e implementare le loro funzionalità all'interno dei frutteti. Si sta cercando di capire quali specie e cultivar di melo siano più favorevoli alla colonizzazione radicale al fine di inserire questi criteri nello sviluppo di nuovi portainnesti.

### 3.3 Utilizzo di piante poliploidi per migliorare la resistenza alla siccità

La poliploidia è un'importante fonte di variabilità genetica che l'uomo ha sempre sfruttato in ambito agricolo ed oggi è utilizzata dai “*breeders*” per aumentare l'espressione di alcuni caratteri, in particolare la resistenza agli stress abiotici. La poliploidia, sia allopoliploidia sia autopoliploidia, va a modificare non solo la quantità di DNA, ma anche l'espressione genica. Infatti, la duplicazione del corredo cromosomico può indurre una serie di mutazioni cromosomiche e puntuali o modificazioni epigenetiche, che modulano la manifestazione fenotipica della pianta (Wójcik et al., 2022).

Le piante tetraploidi sono state comparate, tramite l'utilizzo di test e relativi controlli, con delle cultivar diploidi per confrontare le risposte espresse in caso di stress idrico. Il campione di controllo, i cui fabbisogni idrici sono stati soddisfatti, ha sempre mantenuto un potenziale idrico a mezzogiorno al di sopra dei  $-1,50$  MPa; invece, nel campione, in cui era stato indotto lo stress, i valori sono stati inferiori. I meli diploidi e quelli tetraploidi, posti sotto stress, hanno avuto al quindicesimo giorno valori rispettivamente di  $-2,19$ MPa e di  $-1,12$ MPa dimostrando che i meli poliploidi erano in minore stress idrico (Wójcik et al., 2022). Questa mitigazione dello stress può essere collegata a più caratteristiche presenti nella cultivar poliploide, come una migliore fotosintesi netta e traspirazione. Le foglie delle piante poliploidi sono più spesse a causa della presenza di più strati di mesofillo fogliare, i quali permettono alla pianta di sfruttare meglio la radiazione solare e produrre più fotosintetati. Inoltre gli stomi presenti riescono ad essere mantenuti aperti più a lungo rispetto a quanto succede nella cultivar diploide. Quest'ultimo comportamento si pensa sia dovuto ad una maggiore concentrazione di ABA anche se non è stato ancora dimostrato. Infine le piante tetraploidi riescono a mantenere una superficie fogliare invariata rispetto a quella della pianta di controllo mentre nelle cultivar diploidi la superficie si riduce significativamente.

La maggiore resistenza di queste piante alla siccità è determinata dalla presenza di modificazioni morfologiche della foglia che, grazie allo spesso strato cuticolare e al ridotto numero di stomi, riescono a ridurre la perdita di acqua dai tessuti. Inoltre, in queste cultivar poliploidi, il gene *APX* è sovraespresso e codifica per la produzione di un enzima antiossidante coinvolto nel contenimento delle ROS riducendo lo stress fotossidativo (Wójcik et al., 2022).

#### 3.4 Utilizzo di reti ombreggianti per mitigare lo stress idrico

Un'altra possibilità per ridurre lo stress idrico è la mitigazione dei raggi solari con delle reti ombreggianti. Queste reti, in base al *mesh* (numero di maglie contenute in un pollice inglese) e al colore, sono capaci di modulare la penetrazione della luce, evitare i danni causati dall'elevato irraggiamento e, conseguentemente, migliorare lo stato idrico della pianta e l'efficienza d'uso dell'acqua (Mditshwa et al., 2019). Tuttavia, questa riduzione della luce disponibile potrebbe diminuire l'efficienza fotosintetica, determinando una minor produzione di fotosintetati e zuccheri accumulabili nei frutti.

Sono stati svolti dei test per verificare quanto la rete potesse influire sull'attività metabolica della pianta (Lopez et al., 2018). L'uso di una rete nera (riduce del 20% la luce filtrante), o bianca e rossa (con una riduzione della luce del 50%), applicata verso fine giugno per evitare delle malformazioni morfologiche dovute alla modificazione della luce, riduce la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), che è la radiazione utilizzabile dalla pianta per fare la fotosintesi. Il valore di PAR incidente medio è stato di circa 1872  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per il controllo, di circa 1381  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per le piante sotto la rete nera e di 1024  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per quelle sotto la rete bianca (Lopez et al., 2018). La PAR necessaria alla saturazione della capacità fotosintetica in melo si attesta attorno a un valore di 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Perciò le reti, in particolare quella nera, non hanno ridotto l'efficienza fotosintetica, ma, impedendo alla luce in eccesso di passare, hanno ridotto lo stress fotossidativo, evitato le scottature dei frutti e permesso alla pianta di svolgere la fotosintesi anche nelle ore più calde.

Al disotto delle reti si sono misurati valori di potenziali idrici a mezzogiorno circa di -1MPa e -1,3MPa, maggiori rispetto al controllo, i quali permettono alla pianta di non entrare in un grave stress idrico. Questi valori sono riferiti rispettivamente alle piante irrigate e a quelle sotto moderato stress idrico, mentre nel test sottoposto a un severo stress idrico le reti non sono riuscite a mitigarlo (Lopez et al., 2018).

Le reti riescono a mantenere un migliore stato idrico all'interno delle piante, permettono un maggior accumulo di zuccheri e solidi solubili e riducono la fotoinibizione e lo stress fotossidativo. Possono essere un ottimo strumento sia per mitigare in parte lo stress idrico, sia per migliorare la qualità dei frutti poiché non riducono la fotosintesi attiva.



#### **4. Cultivar con ridotto fabbisogno di freddo**

Molte delle cultivar di melo più coltivate al mondo hanno fabbisogni di freddo elevati, partono infatti da 1000 CU, anche se la tendenza degli ultimi tempi, a causa degli inverni miti, è quella di prestare più attenzione alle cultivar con ridotte CU. Purtroppo, cultivar con ridotti fabbisogni di freddo hanno spesso frutti di scarsa qualità (Elsadr, 2016). Si sta perciò lavorando su queste al fine di selezionare quelle che hanno un buon habitus vegetativo e fruttifero e una buona qualità dei frutti (Topp et al., 2012). Inoltre, queste cultivar sono fondamentali in ambienti temperati caldi dove potranno espandersi ed essere coltivate con facilità. Ad esempio, in India, la cultivar “*Tropical Beauty*” sembra essere una delle più promettenti, che consente di spuntare dei buoni prezzi sul mercato grazie a un’adeguata fruttificazione e dimensione dei frutti, a delle buone caratteristiche organolettiche e soprattutto alla sua precocità (Sharma et al., 2004).

Molte di queste cultivar a ridotto fabbisogno di freddo sono state selezionate a partire da mutazioni spontanee locali. Infatti, in Messico, nella regione dell’Arteaga, dove la cultivar principale è la Golden delicious, ne sono state selezionate di nuove (Escobar-Saucedo et al., 2022). In quest’area gli inverni sempre più miti stavano danneggiando molto il ritorno a fiore dei meli e gli agricoltori erano costretti a trattare ogni anno con prodotti fitosanitari capaci di interrompere l’endodormienza, che risultano tuttavia poco efficaci. Quindi, dopo aver notato degli alberi che tornavano facilmente a fiore, hanno iniziato a propagarli. Queste cultivar locali si sono via via diffuse e i ricercatori si sono interrogati su quanto questa riduzione fabbisogno di freddo impattasse a livello genetico, fenotipico e organolettico. Sono stati presi in considerazione più parametri qualitativi: il grado Brix, l’acidità, i solidi solubili, il pH, i carboidrati, le fibre, le proteine, la tessitura, il colore e il gusto. Questi parametri sono stati confrontati con quelli di una Golden Delicious standard per capire se fossero accettabili dal consumatore finale. Le analisi laboratoriali e i test d’assaggio eseguiti su queste undici diverse cultivar hanno dimostrato come non ci siano differenze significative tra la Golden Delicious standard e le cultivar con ridotto fabbisogno di freddo. L’unica differenza riscontrata è stata la dimensione del frutto, leggermente maggiore nella cultivar Primicia (Escobar-Saucedo et al., 2022).

Titrate acidity, Soluble solids and fruit measurements of fruits collected from apple mutants and Golden Delicious cv (Wild-type) from San Antonio de las Alazanas and Huachichil locations. Only genotypes grown in one location were compared among them.

Location	Genotypes	Soluble solids (° Brix)	ED (cm)	LD (cm)	Titrate acidity (g/l)
Sn. Antonio de las alazanas	Paco	13.67 a	5.83 a	5.03 a	12.66 a
	Alazanas	16.53 a	5.87 a	5.33 ab	13.38 a
	Tunal	12.07 a	5.87 a	5.40 ab	10.61 a
	Agua Nueva II	14.87 a	5.53 a	5.50 ab	11.93 a
	Primicia	14.93 a	7.07 b	6.77 b	13.87 a
	Brotador	12.07 a	5.53 a	5.37 ab	12.84 a
	Vigas II	15.73 a	5.87 a	5.20 ab	11.70 a
Huachichil	Mario Brotador	13.53 a	6.50 a	6.23 a	12.15 a
	Verde	14.13 a	6.87 a	6.27 a	14.43 a
	<b>Wild-type</b>	<b>14.07 a</b>	<b>6.47 a</b>	<b>6.23 a</b>	<b>17.73 a</b>
	Agua Nueva I	14.47 a	6.20 a	5.70 a	15.19 a
	Vigas I	12.60 a	6.63 a	5.83 a	15.95 a

\*Means with the same letter, in the same column within location, are not significantly different according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ). ED; Equatorial diameter, LD; Longitudinal diameter.

(Escobar-Saucedo et al., 2022)

Oltre a questi parametri è stata presa in analisi anche la conservazione post-raccolta che non presenta grandi differenze rispetto alla cultivar standard. L'unico problema è che il frutto, conservandosi per un periodo più breve a causa dell'umidità contenuta maggiore, deperisce più velocemente.

Un'analisi più approfondita è stata condotta sull'ereditabilità di queste mutazioni poiché nelle prime piante mutate il carattere non era distribuito omogeneamente. Le mutazioni, che hanno portato allo sviluppo di queste cultivar, sono mutazioni puntiformi e modificazioni epigenetiche. Infatti, tutte le cultivar si sono sviluppate a partire da un parentale comune. Nonostante la scarsa variabilità genetica, il fenotipo viene fortemente condizionato, si passa a dei fabbisogni di freddo di 1000 CU a 350 CU. Questo condizionamento è dovuto principalmente a modifiche epigenetiche che possono variare lo stato di acetilazione degli istoni o metilazione del DNA impattando sull'espressione dei geni. Infatti, queste modifiche inducono il silenziamento genico e modificano così l'espressione di caratteri morfologici o il momento in cui essi si esprimono, come ad esempio durante la differenziazione dei meristemi vegetativi in strutture riproduttive. Inoltre si è notato che la percentuale di DNA metilato è correlato positivamente con il fabbisogno di freddo: più aumenta la percentuale di metilazione del DNA della cultivar, rispetto alla Golden Delicious standard, più aumentano i fabbisogni di freddo. Esiste un'eccezione: la cultivar Tunal, che presenta un'alta percentuale di metilazione, ma bassi fabbisogni di freddo. Questo comportamento potrebbe essere dovuto alla metilazione in regioni non codificanti per gli enzimi coinvolti nel superamento dell'endodormienza (Escobar-Saucedo et al., 2022).

Le cultivar mutanti sono delle ottime candidate per le aree più calde o dove non è garantito il soddisfacimento del fabbisogno di freddo poiché non presentano qualità organolettiche inferiori rispetto alla Golden Delicious standard. Altro fattore particolarmente interessante è la precocità di queste, che, fiorendo un mese prima della Golden Delicious, vengono raccolte dalla fine di luglio e possono spuntare un prezzo maggiore sul mercato. Pertanto organizzando i frutteti con cultivar scalari è possibile avere una raccolta anticipata e continua fino ad settembre, periodo in cui si raccoglie la cultivar standard.

Oltre a questo sistema per ottenere cultivar con minori fabbisogno di freddo, si stanno studiando le caratteristiche di alcuni portainnesti che sembrano essere in grado di ridurre il fabbisogno di freddo della cultivar, ad esempio il portainnesto Geneva 213 e altri portainnesti Geneva®. Questo è stato verificato empiricamente in Brasile e poi testato in laboratorio. Si sono prelevate più serie di rami campione da delle cultivar innestate su Geneva 213, che sono state sottoposte a regimi termici diversi affinché accumulassero differenti livelli di *CU*. A seguito dell'avvio del germogliamento, in camera di crescita, le serie con più unità di freddo accumulate hanno avuto una ripresa vegetativa maggiore rispetto a quelli con meno unità. È significativo il fatto che tutti i rami abbiano sviluppato almeno una gemma, anche se al di sotto delle normali unità di freddo necessarie (Fazio and Robinson, 2022). Tutto ciò dimostra che questi portainnesti hanno un effetto sul superamento dell'endodormienza. Il meccanismo tramite il quale ciò avviene non è ancora noto, si ipotizza però che ci possa essere una modificazione ormonale, causata dal portainnesto, che determini un anticipato superamento dell'endodormienza. Quindi queste tipologie di portainnesti saranno molto utili in quei luoghi dove, riducendo minimamente il fabbisogno di freddo, è possibile soddisfarlo. Ciò permetterebbe di mantenere i frutteti nelle aree dove sono già presenti, senza avere la necessità di spostarli.





## **5. Possibili soluzioni contro lo stress fotossidativo e da alte temperature.**

Nell'area mediterranea il continuo susseguirsi di ondate di calore, accompagnate da lunghi periodi di alta pressione e siccità, determina situazioni di stress in tutte le piante da frutto, ma in particolare nel melo che predilige ambienti tendenzialmente più freschi e con disponibilità irrigua. Questi fattori di stress vanno ridotti al minimo per evitare la perdita o il danneggiamento della produzione. Lo stress da caldo, che fino a poco tempo fa non rappresentava un problema, sta diventando una delle maggiori criticità, soprattutto nei luoghi in cui c'è scarsa disponibilità di acqua irrigua.

### **5.1 Reti ombreggianti**

Negli ultimi anni è diventato sempre più necessario proteggere le colture dall'eccessiva radiazione solare a cui sono esposte, specialmente in estate, momento in cui è possibile l'insorgenza di scottature e stress da caldo. Inizialmente l'applicazione delle reti era effettuata per evitare i danni da grandine; tuttavia, con il passare del tempo si è notato come al di sotto delle reti le colture, in particolare le mele, subissero anche meno danni da caldo. Ovviamente l'utilizzo di queste reti ha un costo elevato sia per l'acquisto sia per la gestione, ma è fondamentale per poter mantenere una buona produttività. In commercio sono presenti innumerevoli tipologie di rete che hanno colori e *mesh* diversi, che sono in grado di condizionare l'ambiente di coltivazione modificando la quantità di luce penetrante (Manja and Aoun, 2019). La luce penetrante condiziona in modo marcato la temperatura superficiale dei frutti che, se supera i 45°C, può provocare scottature. Le reti usate come ombreggianti possono ridurre la temperatura superficiale dai 4° fino ai 9°C (Olivares-Soto et al., 2020). Oltre alla riduzione di temperatura si sta studiando come le reti siano in grado di influire sul metabolismo cellulare di frutti modificando l'accumulo di antociani e antiossidanti, fondamentali per la resistenza allo stress fotossidativo. Per approfondire l'azione delle reti sui frutti si sono compiuti dei test sperimentali in campo con reti rosse, su "Gala Brookfield", e color perla, su "Fuji Raku Raku", entrambe con un ombreggiamento del 20%. Le prime hanno ridotto la radiazione fotosintetica utile e i raggi UV dal 25% al 29% permettendo così una riduzione del 15% delle scottature. Le seconde, invece, hanno ridotto la radiazione della luce fotosintetica utile e i raggi UV dal 21% al 25% con una riduzione delle scottature non significativa del 4% (Olivares-Soto et al., 2020).

Le due cultivar al disotto della rete hanno avuto reazioni diverse: in Gala la presenza della rete ha favorito la produzione di composti anti-scottature, mentre in Fuji ha determinato una riduzione della produzione dei medesimi composti. Nella cultivar “Gala Brookfield” la presenza della rete rossa, che favorisce la lunghezza d’onda del rosso, ha determinato una maggior produzione di composti antocianici e di composti antiossidanti come i polifenoli. Questi sono fondamentali per la risposta allo stress da caldo poiché evitano l’ossidazione e danni ai tessuti. Inoltre, l’accumulo di antociani favorisce la sovracolorazione rossa delle mele Gala, carattere merceologico importante. Invece la rete color perla ha avuto un effetto contrario sulla cultivar di Fuji poiché ha portato ad una riduzione del contenuto di polifenoli totali e di composti antociani rispetto al testimone non coperto. Infatti, in Fuji, si ritiene sia necessaria l’esposizione ad alti livelli di radiazione per permettere l’attivazione della biosintesi degli antociani e polifenoli, senza superare però gli ottimali 20°C di temperatura superficiale (Olivares-Soto et al., 2020). Tutto ciò rende il frutto più suscettibile ai danni da scottature anche se situato al di sotto delle reti.

Le peculiari interazioni tra *mesh*, colore della rete e cultivar evidenziano come sia necessario conoscere lo sviluppo di queste ultime e le loro risposte allo stress da alte temperature al fine di poter trovare la miglior combinazione per stimolare la pianta a produrre i composti di protezione, fondamentali per il tipico colore rosso nella mela gala.

La percentuale di ombreggiamento potrebbe incidere in modo marcato sullo sviluppo delle piante. Si è dimostrato che le capacità fotosintetiche del melo sono facilmente saturate anche sotto le reti, ma, data la variabilità della stagione estiva, non è facile decidere la percentuale d’ombreggiamento adatta. Al fine di apprendere come le reti influenzino la qualità dei frutti e l’utilizzo dell’acqua, è stato condotto un test, della durata di tre anni, che valutasse l’effetto di tre reti con percentuali di ombreggiamento diverso. Le tre tipologie di reti messe in prova erano: una nera, di controllo, con un percentuale di ombreggiamento effettiva del 28%, una bianca, con una percentuale di ombreggiamento del 49% e una rossa con percentuale d’ombreggiamento del 53% (Boini et al., 2021).

La PAR al di sotto di tutte le tipologie di reti era sufficiente a garantire un corretto sviluppo del frutto e della pianta. Questo soddisfacimento della radiazione necessaria ha determinato la maturazione quasi contemporanea di tutte le prove sperimentali. Nei filari

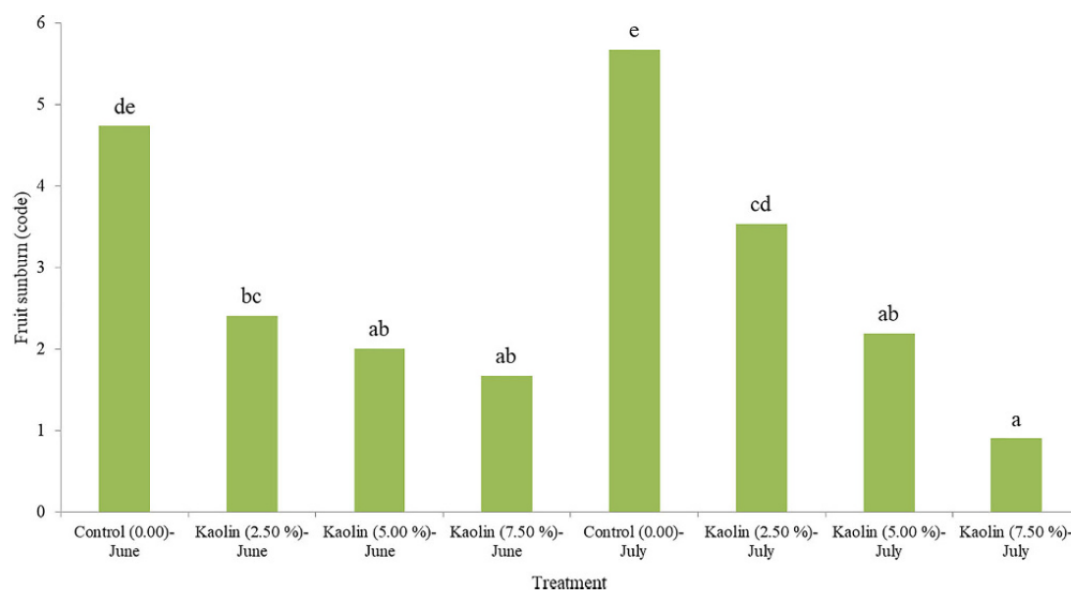
dove erano applicate le reti con un ombreggiamento di circa il 50% l'accrescimento dei frutti è stato significativamente maggiore sia nel secondo che nel terzo anno: al di sotto di queste reti si sono registrati i valori più alti di accrescimento, fino a 0,6g/giorno nel 2015 (Boini et al., 2021). L'applicazione di queste reti, oltre a ridurre i danni da caldo e da grandine, riduce la fotoinibizione favorendo l'accumulo di carboidrati e zuccheri che permettono un corretto sviluppo del frutto. (Boini et al., 2021).

L'aumento dell'ombreggiamento delle reti può essere un ottimo strumento per praticare un'agricoltura sempre più sostenibile riducendo l'uso dell'acqua e le scottature mantenendo però costante un buon livello qualitativo e produttivo.

## 5.2 Caolino usato come film protettivo contro le scottature

Il caolino è una roccia elastica, composta principalmente da alluminosilicati ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), che per la sua capacità di formare un sottile film di nanoparticelle quando viene spruzzato sulle foglie, viene classificato come antitraspirante del tipo “*film-forming*” (Boari et al., 2015; Glenn and Puterka, 2007). Il film di caolino, una volta asciugato, assume una colorazione biancastra che aumenta la capacità di riflettanza delle foglie (Michael Glenn, 2012) che porta a una riduzione della temperatura fogliare, (Nakano and Uehara, 1996; Sarooghinia et al., 2020) ed è anche in grado di ridurre la conduttanza stomatica (Faralli et al., 2016). Nelle piante trattate con caolino si registra una forte riduzione della traspirazione con un miglioramento dello stato idrico della pianta.

L'applicazione del caolino, come tutti i trattamenti effettuati sulle piante, deve essere eseguita nel momento e con le dosi adatti al fine di non ottenere effetti indesiderati. Sarooghinia e collaboratori hanno studiato l'effetto di due applicazioni di caolino, una ai primi di giugno ed una a fine luglio, con percentuali che variavano dal 2,5% al 7,5% di caolino disciolto in acqua. I risultati ottenuti sono stati interessanti in quanto tutte le applicazioni di caolino hanno portato ad una riduzione significativa delle scottature dei frutti, sia nella prima applicazione che nella seconda, dove i risultati erano ancor più evidenti (Sarooghinia et al., 2020).



*Comparazione dell'effetto preventivo contro le scottature del Caolino applicato a inizio giugno e inizio luglio su Red delicious. (Sarooghinia et al., 2020)*

L'applicazione del caolino, a livello delle foglie e dei frutti, potrebbe in qualche modo inficiare sulla qualità di questi ultimi peggiorando le loro qualità organolettiche. Tuttavia le analisi qualitative svolte, come il contenuto di solidi solubili, la croccantezza, le dimensioni e il gusto delle mele, non hanno dimostrato variazioni significative (Wand et al., 2006). Infatti, la capacità fotosintetica della pianta non viene alterata, anzi viene protetta e mantenuta durante le ore più calde della giornata. Questo tipo di trattamento non è applicabile in tutte le zone di coltivazione e tipologie di frutteto. Se, nella zona in cui viene applicato, sono spesso presenti precipitazioni o l'irrigazione del frutteto è a pioggia, il caolino verrà dilavato facilmente.

L'imbrattamento del frutto, provocato dal caolino, può ostacolare il suo impiego poiché è necessario un lavaggio per rimuoverne i residui, che lo rendono poco attraente. Per fortuna il sistema di rimozione del caolino non è così complesso: anche il classico lavaggio dei frutti per la rimozione degli insetti e dei corpi estranei prima dello stoccaggio può ridurre di molto i residui. Infine, il caolino risulta uno dei metodi più economici per ridurre l'incidenza delle scottature su melo, ma soprattutto, grazie alla sua natura, è di per se privo di sostanze tossiche e ha una bassa persistenza nei frutti che ne consente l'utilizzo anche nelle coltivazioni biologiche.

## 6. Conclusioni

La melicoltura mondiale, e in particolare quella delle aree più calde, sarà sempre più sottoposta a sfide che possono portare all'abbandono della coltura del melo per la poca produttività o per gli alti costi da sostenere. L'obiettivo unico deve essere quello di tutelare al massimo i frutteti già presenti e cercare di applicare soluzioni preventive con un'ottica lungimirante, come la scelta del portainnesto e della cultivar. Fondamentale sarà l'acquisizione di competenze di gestione agronomica per far fronte ai cambiamenti climatici per poter mantenere produttivo il settore melicolo. In questo momento è necessario studiare tutte le interazioni che le piante hanno con le avversità abiotiche al fine di concentrare lo sviluppo di cultivar che esprimano al massimo caratteri di resistenza al caldo e alla siccità e siano anche in grado di ritornare a fiore in modo adeguato.

È risaputo che la selezione genetica è tanto più lunga e complessa tanti più sono i caratteri da migliorare: sarà necessario cercare di utilizzare tutte le tecnologie di *breeding* ammesse per renderla più veloce possibile.

Le modificazioni genetiche (GM) sono un ottimo strumento per accelerare il processo di selezione delle cultivar (Krens et al., 2015). In particolare le *New breeding techniques*, come il *genome editing* e la cisgenesi, permettono l'inserimento di specifici geni che codificano per caratteri di resistenza ai patogeni e agli stress abiotici o per caratteri qualitativi. Questi caratteri sarebbero difficilmente inseribili all'interno delle cultivar di melo singolarmente tramite incrocio poiché spesso sono autoincompatibili (Krens et al., 2015). Nel caso delle piante arbore l'uso dell'incrocio per produrre variabilità genetica richiede tempi lunghi in quanto sono necessari vari anni per ottenere una progenie in cui testare la presenza del carattere ricercato. Con la cisgenesi, invece, si inseriscono all'interno di altre cultivar dei geni già presenti nel genoma della specie, senza inserire geni non voluti, accelerando il normale processo di incrocio.

Il *genome editing*, rende possibile la manipolazione di ogni gene delle piante permettendo integrazioni, delezioni e mutazioni del gene di interesse (Limera et al., 2017). La tecnica CRISPR/Cas9 permette di generare tagli della doppia elica del DNA in un punto ben preciso, generando mutazioni specifiche per i caratteri di interesse; per tale ragione è stata classificata tra le tecniche del DNA ricombinante identificate dalla direttiva 2001/18 Ce.

Queste tecniche riducono il tempo di selezione delle cultivar poiché, se la trasformazione avviene con successo, il gene è stato inserito certamente nel genoma, al contrario degli incroci tradizionali in cui si deve controllare l'avvenuta acquisizione del gene.

La coltivazione delle piante OGM in Europa è vietata, salvo in qualche Stato. Tuttavia, la cisgenesi, visto l'utilizzo di geni già presenti nella specie, inseribili anche tramite incrocio, potrebbe essere riconsiderata in un prossimo futuro.

Queste piante sono un ottimo strumento per sviluppare cultivar resistenti e resilienti che permettano la coltivazione anche in modo più sostenibile riducendo la suscettibilità a determinate malattie.

Tutto questo deve essere inserito in un'ottica di sostenibilità ambientale, come già previsto in Europa con la strategia *"farm to fork"*, e di crescita demografica, con un aumento della domanda di cibo. Sarà necessario implementare tutte le tecnologie, gli strumenti e i metodi di coltivazione per mantenere o, se possibile, aumentare la produttività del comparto melicolo.

## 7. Bibliografía

- Anderson, J. L., Richardson, E. A., Kenser, C. D. (1986). Anderson, J.L.; Richardson, E.A.; Kesner, C.D. Validation of chill unit and flower bud phenology models for “Montmorency” sour cherry. *Acta Hortic.* 1986, 184, 71–78., *Acta Hortic* 184, 71–78.
- Asshcroft, G. L., Richardson, E. A., Seeley, S. D. (1977). A Statistical Method of Determining Chill Unit and Growing Degree Hour Requirements for Deciduous Fruit Trees, (*HortScience.* 12(4)), 347—348.
- Barea, J. M., Palenzuela, J., Sanchez-Castro, I., Navarro-Fernandez, C., Lopez-Garcia, A., Estrada, B., ... Azcon-Aguilar, C. (2011). Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain., *J. Arid Environ.* 75 (12), 1292–1301. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.001>
- Ben Abdelkader, A., Benyahia, F., Bastos Campos, F., Asensio, D., Andreotti, C., Tagliavini, M., Zanotelli, D. (2022). Apple tree transpiration during cycles of progressive drought as assessed via continuous gravimetric and xylem sap flux measurements. *Italus Hortus*, 29(2), 35–46. <https://doi.org/10.26353/j.itahort/2022.2.3546>
- Berdeni, D., Cotton, T. E. A., Daniell, T. J., Bidartondo, M. I., Cameron, D. D., Evans, K. L. (2018). The Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonisation on Nutrient Status, Growth, Productivity, and Canker Resistance of Apple (*Malus pumila*). *Frontiers in Microbiology*, 9, 1461. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01461>
- Boari, F., Donadio, A., Schiattone, M. I., Cantore, V. (2015). Particle film technology: A supplemental tool to save water. *Agricultural Water Management*, 147, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.014>
- Boini, A., Manfrini, L., Morandi, B., Corelli Grappadelli, L., Predieri, S., Daniele, G. M., López, G. (2021). High Levels of Shading as A Sustainable Application for Mitigating Drought, in Modern Apple Production. *Agronomy*, 11(3), 422. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030422>
- Brundrett, M. C. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants., *New Phytol* 154 (2), 275–304. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x>
- Darbyshire, R., Farrera, I., Martinez-Lüscher, J., Leite, G. B., Mathieu, V., El Yaacoubi, A., Legave, J.-M. (2017). A global evaluation of apple flowering phenology models for climate adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 240–241, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.021>
- Eccher, T. (1986). Russeting and shape of golden delicious apples as related to endogenous GA content of fruitlets. *Acta Hortic* 767–770.

- El Yaacoubi, A., El Jaouhari, N., Bouriou, M., El Youssefi, L., Cherroud, S., Bouabid, R., ... Abouabdillah, A. (2020). Potential vulnerability of Moroccan apple orchard to climate change-induced phenological perturbations: effects on yields and fruit quality. *International Journal of Biometeorology*, 64(3), 377–387. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01821-y>
- Escobar-Saucedo, M. A., Castillo-Reyes, F., Aguilar, C. N., Vázquez-Ramos, J. A., Rodríguez-Herrera, R. (2022). Apple mutant trees with low chilling requirements: Proximal, genetic and DNA methylation analyses. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, 102413. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102413>
- Fadón, E., Herrera, S., Guerrero, B. I., Engracia Guerra, M., Rodrigo, J. (2020). Chilling and heat requirements of temperate stone fruit trees (*Prunus* sp.). *Agronomy*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy10030409>
- Faralli, M., Grove, I. G., Hare, M. C., Boyle, R. D., Williams, K. S., Corke, F. M. K., Kettlewell, P. S. (2016). Canopy application of film antitranspirants over the reproductive phase enhances yield and yield-related physiological traits of water-stressed oilseed rape (*Brassica napus*). *Crop and Pasture Science*, 67(7), 751–765. <https://doi.org/10.1071/CP15421>
- Fazio, G., Robinson, T. L. (2022). Apple rootstocks can modulate the chilling requirements of grafted scions. *Acta Horticulturae*, (1346), 723–728. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1346.91>
- Funes, I., Aranda, X., Biel, C., Carbó, J., Camps, F., Molina, A. J., ... Savé, R. (2016). Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin. *Agricultural Water Management*, 164, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.013>
- Glenn, D. M., Puterka, G. J. (2007). The use of plastic films and sprayable reflective particle films to increase light penetration in apple canopies and improve apple color and weight. *HortScience*, 42(1), 91–96. <https://doi.org/10.21273/hortsci.42.1.91>
- Gonzalez Noguer, C., Else, M., Hadley, P. (2022). Investigating the effect of warm temperatures during ecodormancy in time of bud break of two apple cultivars in south-east UK. *Acta Horticulturae*, (1346), 59–66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1346.8>
- Guo, L., Wang, J., Li, M., Liu, L., Xu, J., Cheng, J., ... Luedeling, E. (2019). Distribution margins as natural laboratories to infer species' flowering responses to climate warming and implications for frost risk. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268, 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.038>
- Hrotkó, K. (2007). Advances and challenges in fruit rootstock research. *Acta Horticulturae*, (732), 33–42. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.732.1>
- Jung, S. C., Martinez-Medina, A., Lopez-Raez, J. A., Pozo, M. J. (2012). Mycorrhiza-Induced Resistance and Priming of Plant Defenses. *Journal of Chemical Ecology*, 38(6), 651–664. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6>
- Krens, F. A., Schaart, J. G., Van Der Burgh, A. M., Tinnenbroek-Capel, I. E. M., Groenwold, R., Kodde, L. P., ... Schouten, H. J. (2015). Cisgenic apple trees;



- development, characterization, and performance. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00286>
- Limera, C., Sabbadini, S., Sweet, J. B., Mezzetti, B. (2017). New biotechnological tools for the genetic improvement of major woody fruit species. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01418>
- Lopez, G., Boini, A., Manfrini, L., Torres-Ruiz, J. M., Pierpaoli, E., Zibordi, M., ... Corelli-Grappadelli, L. (2018). Effect of shading and water stress on light interception, physiology and yield of apple trees. *Agricultural Water Management*, 210, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.015>
- Lu, X., Liu, W., Wang, T., Zhang, J., Li, X., Zhang, W. (2020). Systemic Long-Distance Signaling and Communication Between Rootstock and Scion in Grafted Vegetables, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00460>
- Manja, K., Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae*, 246, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.050>
- Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z. (2019). Shade netting on subtropical fruit: Effect on environmental conditions, tree physiology and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108556>
- Michael Glenn, D. (2012). The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. *HortScience*, 47(6), 710–711. <https://doi.org/10.21273/hortsci.47.6.710>
- Morales-Quintana, L., Waite, J. M., Kalcsits, L., Torres, C. A., Ramos, P. (2020). Sun injury on apple fruit: Physiological, biochemical and molecular advances, and future challenges. *Scientia Horticulturae*, 260, 108866. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108866>
- Nakano, A., Uehara, Y. (1996). The effects of kaolin clay on cuticle transpiration in tomato (Vol. 440, pp. 233–238). Presented at the Acta Horticulturae. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.440.41>
- Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. (2014). The transcriptional regulatory network in the drought response and its crosstalk in abiotic stress responses including drought, cold, and heat. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00170>
- Naor, A., Naschitz, S., Peres, M., Gal, Y. (2008). Responses of apple fruit size to tree water status and crop load. *Tree Physiology*, 28(8), 1255–1261. <https://doi.org/10.1093/treephys/28.8.1255>
- Olivares-Soto, H., Bastías, R. M., Calderón-Orellana, A., López, M. D. (2020). Sunburn control by nets differentially affects the antioxidant properties of fruit peel in ‘Gala’ and ‘Fuji’ apples. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61(2), 241–254. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00226-w>
- Ortas, I. (2018). Role of mycorrhizae on mineral nutrition of tree., *Acta Hort.* 1217, 271–284. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.34>

- Pallas, B., Chen, D., Martinez, S., Wang, Y., Costes, E. (2020). Summer drought impacts annual shoot growth dynamics in apple tree: a comparative study on three cultivars. *Acta Horticulturae*, (1281), 547–554. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1281.72>
- Rodrigo, J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees Ð morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*.
- Sarooghinia, F., Khadivi, A., Abbasifar, A., Khaleghi, A. (2020). Foliar Application of Kaolin to Reduce Sunburn in ‘Red Delicious’ Apple. *Erwerbs-Obstbau*, 62(1), 83–87. <https://doi.org/10.1007/s10341-019-00464-y>
- Sharma, G., Chua, G. D., Sharma, O. C. (2004). STUDIES ON EVALUATION AND VARIABILITY PARAMETERS IN LOW CHILLING APPLES (MALUS X DOMESTICA BORKH.). *Acta Horticulturae*, (662), 157–162. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.662.19>
- Topp, B. L., Bignell, G. W., Wilk, P., Russell, D. M. (2012). Breeding low-chill peaches in subtropical Queensland. *Acta Horticulturae*, 962, 109–116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.962.14>
- Torres, C. A., Azocar, C., Ramos, P., Pérez-Díaz, R., Sepulveda, G., Moya-León, M. A. (2020). Photooxidative stress activates a complex multigenic response integrating the phenylpropanoid pathway and ethylene, leading to lignin accumulation in apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit. *Horticulture Research*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0244-1>
- Torres, C. A., Sepúlveda, G., Kahlaoui, B. (2017). Phytohormone Interaction Modulating Fruit Responses to Photooxidative and Heat Stress on Apple (*Malus domestica* Borkh.). *Frontiers in Plant Science*, 8, 2129. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02129>
- Twoorkoski, T., Fazio, G., Glenn, D. M. (2016). Apple rootstock resistance to drought. *Scientia Horticulturae*, 204, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.047>
- Vitasse, Y., Bottero, A., Cailleret, M., Bigler, C., Fonti, P., Gessler, A., ... Wohlgemuth, T. (2019). Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. *Global Change Biology*, 25(11), 3781–3792. <https://doi.org/10.1111/gcb.14803>
- Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D., Rebetez, M. (2018). Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005>
- Wand, S. J. E., Theron, K. I., Ackerman, J., Marais, S. J. S. (2006). Harvest and post-harvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in South African orchards. *Scientia Horticulturae*, 107(3), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.11.002>
- Wang, Y., Li, W., Xu, X., Qiu, C., Wu, T., Wei, Q., ... Han, Z. (2019). Progress of Apple Rootstock Breeding and Its Use. *Horticultural Plant Journal*, 5(5), 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2019.06.001>

- Wójcik, D., Marat, M., Marasek-Ciołakowska, A., Klamkowski, K., Buler, Z., Podwyszyńska, M., ... Filipczak, J. (2022). Apple Autotetraploids—Phenotypic Characterisation and Response to Drought Stress. *Agronomy*, *12*(1), 161. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010161>
- Xu, H., Ediger, D. (2021). Rootstocks with Different Vigor Influenced Scion–Water Relations and Stress Responses in Ambrosia™ Apple Trees (*Malus Domestica* var. Ambrosia). *Plants*, *10*(4), 614. <https://doi.org/10.3390/plants10040614>
- Zanotelli, D., Montagnani, L., Andreotti, C., Tagliavini, M. (2022). Water and carbon fluxes in an apple orchard during heat waves. *European Journal of Agronomy*, *134*, 126460. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126460>