



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI AGRARIA

*Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e
Ambiente - DAFNAE*

Corso di laurea in Scienze e tecnologie agrarie e forestali

TESI DI LAUREA

**Relazioni tra carica fruttifera e genotipo e loro
effetti sulla qualità globale della mela**

Relatore:

Prof. Claudio Bonghi

Correlatori:

Dott. Alessandro Botton

Dott. Paolo Lezzer

Laureando:

Pietro Michele Santini

Matricola n. 614256

ANNO ACCADEMICO 2012–2013

SOMMARIO

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUZIONE	7
1.1 Carica fruttifera e qualità.....	7
1.2 Il diradamento nel melo.....	9
1.3 Scopo della tesi.....	11
2. MATERIALE E METODI	12
2.1 Sito della prova.....	12
2.2 Le parcelle sperimentali	12
2.3 Impostazione della carica fruttifera	14
2.4 Monitoraggio dei parametri crescita.....	15
2.5 Misurazione dei parametri mercantili.....	16
2.6 Determinazione dei parametri di durezza, acidità e zuccheri.....	16
2.7 Misurazione dell'etilene	17
2.8 Analisi statistica	17
3. RISULTATI.....	18
3.1 La cinetica di crescita	18
3.2 Parametri quantitativi alla raccolta commerciale	24
3.3 Parametri visivi alla raccolta commerciale	28
3.4 Indici di qualità.....	31
4. DISCUSSIONE	33
5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE.....	37
BIBLIOGRAFIA	38

RIASSUNTO

La carica fruttifera di un albero, ovvero il numero di frutti che vengono portati a maturazione per pianta (definita come n. di frutti per unità di superficie della sezione del tronco), influisce direttamente sulla produzione non solo in termini quantitativi ma anche per quanto riguarda la qualità finale dei frutti. Il miglioramento delle dimensioni e del colore dei frutti dovuto ad una attenta regolazione della carica è accompagnato solitamente da un contenuto maggiore in solidi solubili e acidi titolabili. La relazione che intercorre tra carica fruttifera, genotipo e qualità finale del frutto è stata studiata in pomodoro e ha messo in evidenza una maggiore influenza dello sviluppo e delle pratiche colturali rispetto al genotipo sulla composizione finale dei frutti. Risulta chiaro, in definitiva, come la regolazione della carica rappresenti una pratica rilevante nel determinare la qualità finale dei frutti.

La presente tesi illustra i principali effetti delle diverse cariche fruttifere in tre varietà caratterizzate da diversi livelli di sensibilità dei frutti, in termini di qualità finale percepita, alle diverse cariche fruttifere imposte: cv Fuji (qualità dei frutti sensibile alla carica), cv Golden Delicious (qualità dei frutti mediamente sensibile alla carica) e cv Pink Lady (qualità dei frutti poco sensibile alla carica). Dopo l'allegagione e al termine della cascola fisiologica dei frutticini ("june drop"), sono stati imposti tramite diradamento manuale tre diversi livelli di carica pari al 100% (alta), 70% (media) e 40% (bassa) del potenziale produttivo di ogni genotipo. Settimanalmente è stata monitorata la cinetica di crescita dei frutti di tutte le tesi. Alla raccolta commerciale sono stati analizzati i principali parametri relativi alla produzione e alla qualità finale dei frutti. I risultati hanno confermato la diversa sensibilità delle tre varietà in esame alla variazione della carica fruttifera. I frutti raccolti da alberi meno carichi mostrano sempre livelli qualitativi significativamente migliori di quelli con carichi superiori, anche se la cv Fuji sembra trarre il maggior vantaggio dall'abbassamento della carica rispetto agli altri due genotipi.

ABSTRACT

The tree fruit load, i.e. the number of fruit that are brought to ripening per plant (expressed as fruit per square centimeter of trunk section area), directly affects the yield not only in terms of quantity but also as regards the final quality of the fruits. The improvements in fruit size and colour due to a careful control of fruit load are accompanied by higher contents of soluble solids and titratable acid. The genotype x fruit load x final fruit quality interactions, investigated in tomato, indicated a greater influence of development and cultivation than genotype on fruit composition. It is clear that fruit thinning represents a compulsory horticultural practice, not only to achieve a higher quality of fruits but also to avoid alternate bearing caused by a scarce flowering induction in trees with high fruit load.

In the present thesis the main effects of different fruit loads are described in three varieties of apple trees characterized by different levels of sensitivity of the fruits, in terms of final perceived quality, in response to the different fruit loads set: cv Fuji (sensitivity of fruit quality to fruit load), cv Golden Delicious (medium sensitivity of fruit quality) and cv Pink Lady (low sensitivity of fruit quality). After fruit set and at the end of the “june drop” manual thinning has been performed in order to establish three different fruit loads: 100% (high load), 70% (medium load) and 40% (low load) of the potential yield of each genotype. Weekly, the growth of the fruits for each fruit load has been monitored. After the commercial harvest the main parameters related to the yield and the final quality of the fruits were analyzed.

The results confirmed the different sensitivity of the three varieties to the variation of the fruit load. The fruits from the low-load trees showed significantly improved quality levels with respect to the fruits coming from trees with higher loads. The cv Fuji was shown to benefit more by the reduced fruit load than the other two genotypes.

1. INTRODUZIONE

1.1 Carica fruttifera e qualità

La regolazione della carica fruttifera è una pratica in uso fin dai tempi antichi. Già Teofrasto (III sec a.C.) nel primo libro del *De causis plantarum*, discutendo il “perché gli alberi selvatici non riescono a portare a maturazione i frutti”, osserva che “i coltivatori rimuovono alcune parti fruttifere quando ve ne sono in eccedenza” mentre, nel terzo libro, consiglia ai viticoltori di ridurre il numero delle infiorescenze sulla pianta per ottenere un miglior raccolto (Dennis Jr., 2000). La carica fruttifera di un albero da frutto, ovvero il numero di frutti che vengono portati a maturazione per pianta, è stato dimostrato avere una relazione diretta con la produzione: i frutti attirano elevate quantità di carboidrati e nel caso di un'elevata carica questo può andare a ridurre lo sviluppo vegetativo, riducendo così l'intercettazione della luce e la produzione futura della pianta (Elfving e Schechter, 1993).

La carica dei frutti, nell'ampio contesto di una struttura arborea, rientra in un antitetico gioco di richiamo svolto dai punti di accrescimento (apici vegetativi) e da quelli di riproduzione (embrioni) che si traduce in un dinamico effetto di inibizione correlativa che si instaura, nel tempo, fra attività vegetativa e attività produttiva: un'eccessiva carica di frutti, oltre a influire negativamente sulle caratteristiche dei frutti, comporta anche una minore risposta vegetativa, cioè un minore accrescimento dei germogli e viceversa; un'eccessiva carica di frutti esercita, però, anche un effetto di inibizione sull'induzione antogena e quindi, attraverso questo meccanismo, sulla fruttificazione dell'anno successivo (Baldini, 1986). In una proiezione temporale a medio termine poi una carica eccedente può tradursi in una indesiderabile alternanza produttiva per cui a un anno di “carica”, contraddistinto anche da una ridotta attività vegetativa e limitata differenziazione a fiore delle gemme, ne segue uno di “scarica”, caratterizzato invece da accentuata attività vegetativa e maggiore differenziazione a fiore delle gemme; si delinea così un modello che male si sposa con le esigenze dei moderni indirizzi colturali.

Per assicurare dunque un equilibrio vegeto-produttivo e una produzione di qualità risulta necessario intervenire sulla carica. La mancata esecuzione di tale

pratica può comportare, infatti, un generale peggioramento dello stato nutrizionale dell'albero con riflessi assai negativi, oltre che sullo sviluppo dei germogli e sulla differenziazione a fiore, anche sulle caratteristiche qualitative dei frutti (riduzione pezzatura e scarsa colorazione, maturazione disforme e ritardata, ecc.). Per il mercato fresco, che più interessa la melicoltura, la pezzatura dei frutti, l'aspetto, il sapore, la consistenza e la conservabilità sono di primario interesse (Link, 2000).

Il diametro delle mele è inversamente relazionato alla quantità dei frutti portati dagli alberi (Bergh, 1990). Solitamente la suddivisione della pezzatura nella produzione di una pianta corrisponde ad una curva di distribuzione normale nella quale troviamo un'uniforme ripartizione delle varie pezzature. Andando a modificare in maniera efficace la carica fruttifera andiamo a spostare la curva deviandola dalle categorie di pezzatura inferiore verso quelle a pezzatura maggiore. La produzione di frutti a grossa pezzatura può essere dunque descritta con una curva ottimale: troppi frutti per albero, come al contempo un diradamento eccessivo, riducono la quantità di mele a grossa pezzatura sotto il valore potenziale (Link, 1986).

Per quanto concerne la colorazione dei frutti, è stato dimostrato come il diradamento sia considerevolmente efficace nel migliorare la colorazione dei frutti (Link, 2000). Con tale pratica si è osservata, infatti, la tendenza a ridurre la percentuale di frutti verdi, ad aumentare la colorazione gialla di fondo nelle cultivar a buccia gialla e incrementare l'intensità del sovraccolore nelle cultivar a buccia rossa.

Il miglioramento in termini di dimensione e colore dei frutti, dovuto ad una attenta regolazione della carica, è accompagnato solitamente da un contenuto maggiore in solidi solubili e acidi titolabili. E' stato dimostrato che cariche fruttifere crescenti sono in grado di ridurre la proporzione di frutti che presentano una concentrazione elevata di acidi solubili. Esperimenti condotti in Germania (Link, 1967) hanno dimostrato che le pratiche di diradamento possono portare ad un aumento fino al 2-3% dei solidi solubili nei frutti. Si osserva inoltre come i frutti prodotti da una pianta diradata presentino un contenuto in acido titolabile significativamente maggiore rispetto a quelli provenienti da una pianta non sottoposta a regolazione di carica. Il

diradamento, dunque, migliora non solo l'aspetto, ma anche il sapore del frutto (Schumacher e Stadler, 1987).

Impiegando linee di introgressione di pomodoro (derivanti dall'incrocio interspecifico *S. lycopersicum* x *S. pennellii*), studi recenti hanno dimostrato che l'efficienza di partizionamento dei fotosintati esercita una notevole influenza sulla composizione metabolomica del pericarpo del frutto (Schauer *et al.*, 2006). La relazione che intercorre tra carica fruttifera, genotipo e qualità finale del frutto è stata studiata più nel dettaglio in un'altra popolazione di pomodoro costituita da 23 linee introgresse derivanti dall'incrocio tra *S. lycopersicum* e la specie selvatica *S. chmielewskii* (Do *et al.*, 2010). La composizione metabolomica del pericarpo è stata studiata tramite gascromatografia abbinata a spettrometria di massa (GC-MS) nei diversi genotipi, impostando due diverse condizioni di carica fruttifera (alta e bassa). L'analisi dell'interazione tra genotipo e carica di frutti ha messo in evidenza una maggiore influenza dello sviluppo e delle pratiche colturali rispetto al genotipo sulla composizione finale dei frutti. In particolare questo studio ha dimostrato che le condizioni di coltivazione sono in grado di influenzare significativamente il contenuto di amminoacidi dei frutti. Risulta chiaro, in definitiva, come la regolazione della carica rappresenti una pratica rilevante nel determinante la qualità finale dei frutti.

1.2 Il diradamento nel melo

Nel melo, in presenza di una fioritura abbondante e di condizioni ottimali nel corso dell'antesi, la cascola fisiologica (o *june drop*, in inglese) può non essere sufficiente per garantire, alla raccolta, pezzature e parametri qualitativi adeguati dei frutti che possono essere raggiunte solo con un'ulteriore riduzione della carica. Con il diradamento viene solitamente aumentata la cascola dei frutti di un ulteriore 10-30%, quanto basta a migliorare in modo significativo il valore mercantile della produzione (Dorigoni *et al.*, 2006). È necessario ricordare che l'operazione deve essere eseguita tempestivamente poiché il permanere sull'albero di una carica eccessiva di frutti può influire, come già detto sopra, negativamente sul processo di differenziazione a fiore e quindi sulla produzione dell'anno successivo, contribuendo all'insorgenza del

fenomeno dell'alternanza. Nel caso del melo, si interviene solitamente entro 30 giorni dalla piena fioritura, quando lo sviluppo del frutticino centrale ha raggiunto un diametro massimo di circa 15mm. Il diradamento dei frutticini può essere eseguito manualmente, meccanicamente o chimicamente. Il diradamento manuale richiede una perizia da parte dell'operatore che deve rimuovere i frutti più piccoli, privilegiando una distribuzione corretta nelle diverse tipologie di ramo, tenendo conto dell'esposizione alla luce e del rapporto foglie/frutti che dipende in primo luogo dalla specie e dalla varietà. Nel caso del melo, tale rapporto può variare da 20 a 40 ed è in relazione all'efficienza fotosintetica che dipende dalla varietà (*habitus standard* o *spur*), dalla forma di allevamento e dalla tipologia di impianto. Il diradamento meccanico viene eseguito con bracci scuotitori che possono essere agganciati all'asse centrale o a branche laterali. L'intervento è meno oneroso del diradamento manuale ma, in ogni caso, implica un posizionamento della macchina operatrice su ogni singolo albero con tempi di intervento di qualche minuto.



Figura 1 - Diradamento meccanico tramite macchina Darwin in funzione a 10 km/h su Red Delicious spur in Val di Non (Foto A. Dorigoni).

Recentemente è stato proposto un diradamento meccanico dei fiori utilizzando una macchina, denominata Darwin, costituita da un organo rotativo portante delle fruste che staccano e lesionano i fiori (**Figura 1**). L'azione diradante può

essere dosata regolando la velocità di rotazione delle fruste e/o la velocità dell'organo semovente. Per un'ottimizzazione dell'intervento è necessario sviluppare forme di allevamento in parete nelle quali i fiori sono esposti in modo più uniforme all'azione dell'organo rotante. Il diradamento chimico risulta quello più efficace in termini di costo di esecuzione, ed è attualmente regolarmente praticato su alcune varietà di melo. Tuttavia, la variabilità di risposta che differenti genotipi mostrano nei confronti dei principi attivi diradanti attualmente disponibili in commercio, rende il diradamento chimico una pratica spesso complessa la cui efficacia può variare anche in relazione alle condizioni ambientali.

1.3 Scopo della tesi

Il presente lavoro di tesi si colloca nell'ambito di una sperimentazione molto ampia partita nel 2011 ed il cui completamento è previsto nel corso del 2013 nel contesto di un progetto Ager denominato "*Qualità della mela nell'era della post-genomica, dalla creazione di nuovi genotipi alla post-raccolta: nutrizione e salute*". Lo scopo principale di questo specifico esperimento (denominato QualiQuant2 ed ispirato ad una prova simile condotta nel 2002) è quello di evidenziare le relazioni esistenti tra genotipo, carica fruttifera e qualità globale dei frutti di melo. Le valutazioni saranno condotte a livello di metaboloma e di trascrittoma nei frutti di tre diverse cultivar (Golden Delicious, Fuji e Pink Lady) con diversi livelli di sensibilità per quanto riguarda la qualità finale percepita dei frutti in relazione a tre differenti regimi di carica fruttifera (pari al 100%, 70% e 40% del potenziale produttivo calcolato separatamente per ogni genotipo).

La presente tesi illustra gli effetti principali delle diverse cariche fruttifere nei diversi genotipi, in termini di cinetica di crescita dei frutti e di parametri qualitativi e quantitativi misurati in corrispondenza della raccolta commerciale nell'anno 2011.

2. MATERIALE E METODI

2.1 Sito della prova

La sperimentazione è stata condotta interamente presso l'azienda sperimentale "Maso delle Part" di proprietà della Fondazione Edmund Mach-Istituto Agrario di S. Michele all'Adige (FEM-IASMA). L'azienda "Maso delle Part" è dislocata in val d'Adige, a margine della Piana Rotaliana, a un'altitudine di circa 210m s.l.m. e si estende su una superficie di circa 12 ettari, suddivisi in 15 campi che raggruppano più di 80 parcelle sperimentali assegnate allo studio della coltivazione del melo nella realtà colturale della val d'Adige.

Il terreno è di origine alluvionale, dotato di buona fertilità e presenta una struttura fisica sabbioso-limosa e franco di coltivazione dello spessore di circa 1-1,5m.

2.2 Le parcelle sperimentali

Basandosi su di un confronto varietale, la prova ha interessato tre parcelle (**Figura 2**). Per la cv Golden Delicious (clone B, vivai Mazzoni) è stata utilizzata la parcella 8B il cui impianto, su portinnesti M9 risale al 2006. La forma di allevamento adottata è a *spindelbush* con uno schema d'impianto che prevede quattro file da 33 piante più una fila da 21 con distanza d'impianto 3,50 x 1,00 m.

Per la cv Fuji è stata scelta la parcella 9N, un impianto di Fuji Kiku 8 innestato su M9 risalente al 2001. La forma di allevamento è *spindelbush* inarcato all'impianto e raddrizzato nel corso del primo anno di vegetazione. Le piante sono disposte su quattro file. Le parcelle sono di 14 piante e sono divise da Braeburn Mariri Red (nelle due file ad ovest) e Braeburn Jobourn (nelle due file ad est) su M9. Le distanze di impianto sono di 3,70 x 1,20m.

La parcella 2G infine è stata impiegata per la prova sulla cv Pink Lady. L'impianto, realizzato nel 2001, ospita Pink Kiss su M9 e Pink Lady su M9, rispettivamente disposte su di un filare. Le piante sono allevate a *spindelbush* a tutta cima con distanza d'impianto di 3,80 x 1,10m.

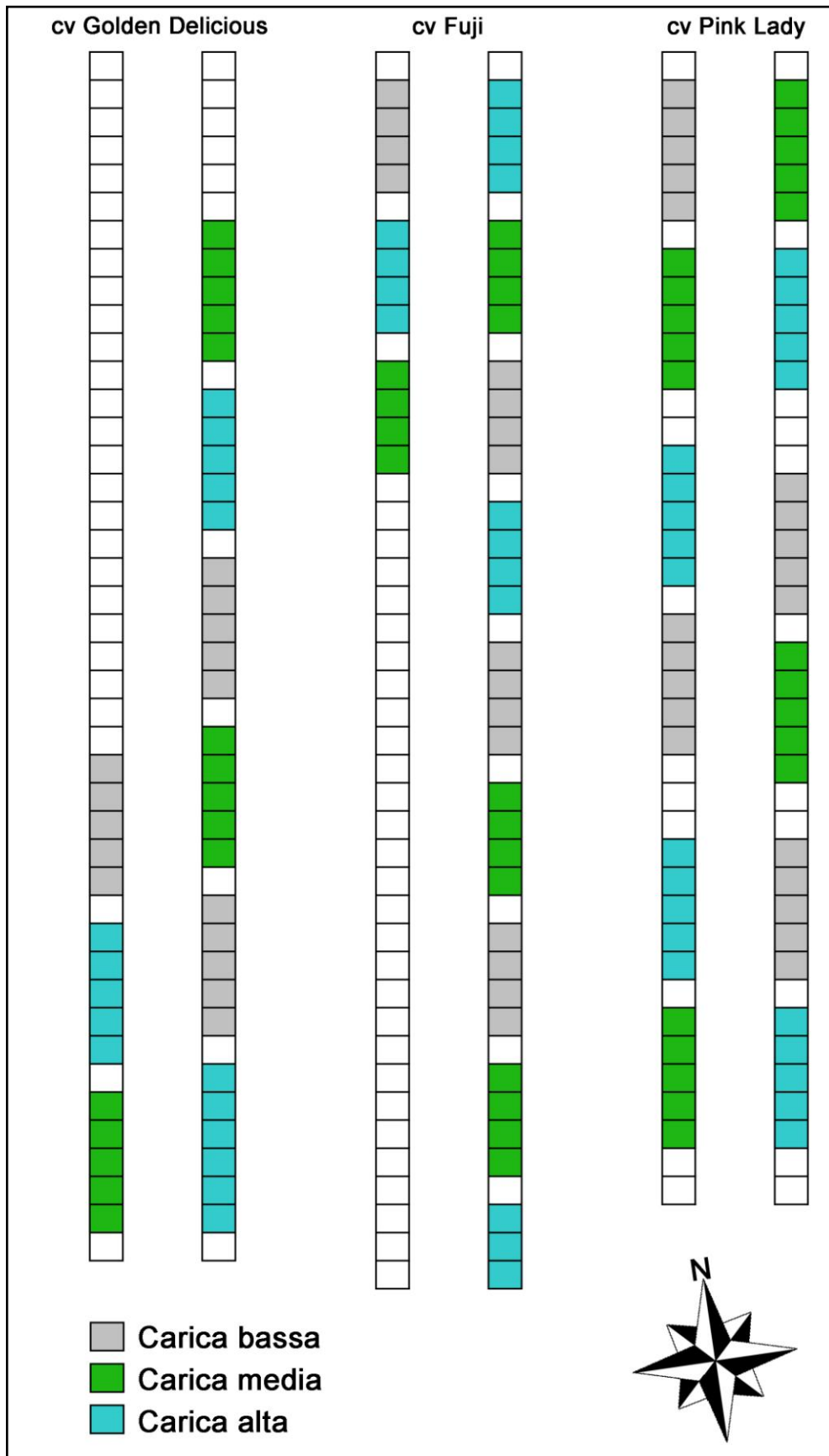


Figura 2 – Disposizione delle tre parcelle e delle singole tesi (vedi legenda), secondo uno schema sperimentale a blocchi randomizzati.

2.3 Impostazione della carica fruttifera

Dopo l'allegagione e al termine della cascola fisiologica dei frutticini ("cascola di giugno" o *june drop*, in inglese) sono stati imposti tre diversi livelli di carica ad ogni varietà, pari al 100% (alta), 70% (media) e 40% (bassa) del potenziale produttivo. Ogni livello è stato calcolato separatamente per ogni genotipo arrivando a definire il numero di frutti per centimetro quadrato di sezione trasversale del tronco (TSA, *trunk section area*). I livelli di carica impostati corrispondono a quantitativi di produzione per ettaro "agronomicamente realistici", escludendo a priori situazioni di carica estreme, per eccesso e per difetto, puntando a produzioni economicamente interessanti, da un lato, e commercialmente rispondenti, dall'altro. Si sono così ottenute le cariche illustrate in **Tabella 1**.

Tabella 1 - Carichi fruttiferi degli alberi oggetto della prova sperimentale, espressi come numero di frutti per unità di superficie (cm²) della sezione trasversale del tronco (TSA, *trunk section area*).

VARIETÀ	Carica fruttifera (N. fr/TSA)		
	Alta 100%	Media 70%	Bassa 40%
Golden Delicious	9	6,3	3,6
Pink Lady	8	5,6	3,2
Fuji	6	4,2	2,4

Il diradamento delle piante è stato effettuato manualmente. A fine cascola si è proceduto al conteggio del numero di frutticini per albero e sono stati diradati quelli in eccesso lasciando però un margine di abbondanza di 15-20 frutti per albero rispetto al numero prestabilito per tesi e varietà. A fine giugno si è provveduto quindi a ricontare i frutti di ciascun albero e successivamente a portare la quantità di frutti per pianta al numero programmato per cm² della sezione del tronco di ciascuna albero.

Sono stati impiegati 45 alberi per ogni varietà, selezionati all'interno delle parcelle per uniformità di dimensione e carica di partenza e scelti tra quelli il cui valore della superficie della sezione del tronco, rilevata a 20 cm dal punto di innesto, rientrava in un intervallo relativamente contenuto. Ogni tesi di carica è stata impostata su un numero pari a 15 alberi per ognuna delle tre

diverse cultivar. Sono stati divisi in tre blocchi randomizzati distribuiti lungo due filari, assimilati a tre repliche biologiche.

2.4 Monitoraggio dei parametri crescita

Dopo l'impostazione della carica fruttifera, è stata monitorata settimanalmente la cinetica di crescita dei frutti di tutte le tesi. Sono stati scelti per ogni albero due frutti, uno per ogni lato del filare, che avessero caratteristiche conformi in modo da poter essere funzionalmente comparabili tra loro.

Essendo noto che la qualità dei frutti varia in maniera significativa in relazione alla morfologia del ramo, alla sua inclinazione ed alla posizione del frutto sullo stesso (Lespinasse, 1977), la scelta dei frutti campione per il monitoraggio della crescita e dell'evoluzione colorimetrica risulta di primaria importanza. Quindi, per ogni albero, sono stati scelti e contrassegnati due frutti portati da rami della stessa tipologia, prevalentemente brindilli, ad un'altezza di 1,5m.

A partire dal 14 Giugno 2011, una volta alla settimana e fino alla raccolta, è stato misurato il diametro dei frutti prescelti con un calibro a corsoio, effettuando due misurazioni ortogonali lungo il diametro maggiore del frutto. I dati raccolti su scheda cartacea in campo, a fine giornata sono stati riportati in un apposito database informatico per la conseguente rielaborazione al fine di ottenere delle curve di crescita significative diversificate per tesi e per varietà.

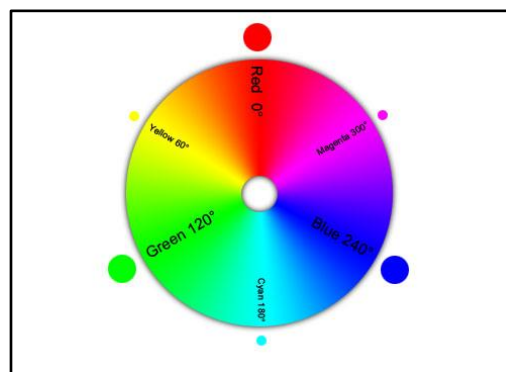


Figura 3 – Rappresentazione schematica di alcuni colori corrispondenti all'angolo di hue.

Nel corso del mese antecedente la raccolta commerciale prevista, la variazione di colore complessiva dell'epidermide dei frutti è stata misurata, mediante spettrofotometro-colorimetro (Minolta CM-2500d), sugli stessi frutti selezionati per la rilevazione del calibro. In questo caso sono state acquisite due misurazioni per frutto, una effettuata sulla faccia esposta ed una sulla

quella interna. Si è così potuto avere un chiaro monitoraggio del cambiamento colorimetrico dell'epidermide dei frutti all'avanzare del momento di maturità commerciale. A tal fine è stato adottato come indice riassuntivo del colore l'angolo di hue (h , espresso in gradi), (**Figura 3**) calcolato sulla base delle coordinate colorimetriche dello spazio $L^*a^*b^*$, come segue:

$$h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

L'epoca di raccolta commerciale è stata, infine, determinata sulla base dell'avanzamento della degradazione dell'amido e dell'analisi qualitativa di un campione di mele, eseguita secondo la procedura descritta nel paragrafo 2.6.

2.5 Misurazione dei parametri mercantili

La produzione di ogni albero in prova è stata raccolta e interamente esaminata con calibratrice GREEFA, presente all'interno dell'azienda sperimentale "Maso delle Part", rilevando peso, diametro trasversale, colorazione di fondo e sovraccolore.

2.6 Determinazione dei parametri di durezza, acidità e zuccheri

I parametri di durezza, acidità titolabile e contenuto zuccherino sono stati misurati presso l'Unità Tecnologica (FEM-IASMA) mediante l'impiego della macchina "Pimprenelle" (ditta Setop GiraudTechnologie). La macchina consiste in un dispositivo robotico che esegue le misurazioni fisiche e chimiche necessarie per valutare il valore e il gusto dei frutti. L'intervento dell'operatore si limita a posizionare il campione di frutti su di una piattaforma a tamburo da dove poi il macchinario eseguirà le analisi. La macchina prima di tutto pesa il campione per determinarne la dimensione media. Attraverso un penetrometro elettronico viene misurata la durezza della polpa. Successivamente il campione viene pressato per ottenere il succo per le analisi dell'acidità e dello zucchero. Il succo viene fatto passare attraverso il sensore di un rifrattometro elettrico che ne determina l'indice di rifrazione e quindi il tasso zuccherino. Per mezzo di reazione acido-base con idrossido di sodio viene calcolata l'acidità titolabile. Tutti i dati ottenuti sono elaborati da un programma apposito che restituisce di ogni campione i dati di peso in g, la durezza in kg/cm^2 e l'acidità titolabile in g/L di acidomalico.

2.7 Misurazione dell'etilene

L'etilene è stato misurato con la tecnica dello spazio di testa dopo aver incubato i frutti per un ora all'interno di un recipiente sigillato. Dopo aver prelevato 1 mL dello spazio di testa, lo si è iniettato in un gas cromatografo DANI 3200 attrezzato con una colonna di allumina e rilevatore a ionizzazione di fiamma (FID). I calcoli di integrazione sono stati effettuati tramite software ChromCard v1.2.

2.8 Analisi statistica

Tutti i parametri raccolti durante la prova sperimentale sono stati analizzati statisticamente utilizzando il test di Tukey con $P = 0.05$. I risultati di tale test vengono riportati nelle tabelle secondo le soglie di significatività: *** = differenza altamente significativa ($P < 0,001$); ** = differenza molto significativa ($P < 0,01$); * = differenza significativa ($P < 0,05$). Le lettere apposte vicino ai valori indicano se i dati differiscono tra loro in maniera significativa. Le tesi che condividono la stessa lettera non sono significativamente differenti.

3. RISULTATI

3.1 La cinetica di crescita

I valori medi dei diametri dei frutti hanno consentito di ottenere le rispettive cinetiche di crescita, che sono state suddivise graficamente per varietà (**Figura 4**) e per livello di carica fruttifera (**Figura 5**), al fine di facilitare le successive comparazioni. Inoltre, per agevolare ulteriormente la lettura dei grafici, la fioritura delle tre varietà è stata considerata sincrona, dato che si attua in un intervallo temporale di appena 3 giorni (cv Fuji: 4 aprile 2011; cv Pink Lady: 5 aprile 2011; cv Golden Delicious: 7 aprile 2011).

Per quanto attiene alla varietà Golden Delicious (**Figura 4A**), si può notare già dalle prime misurazioni un distanziamento della curva di crescita dei frutti della tesi a carica bassa rispetto alle altre due tesi. Successivamente, nel corso dello sviluppo del frutto, questo divario si accentua sempre di più raggiungendo il massimo in corrispondenza della raccolta (vedi paragrafo 3.2). Le curve delle altre due tesi si presentano sostanzialmente sovrapposte fino a circa 110 GDF (giorni dopo la piena fioritura), ovvero circa alla fine del mese di luglio, per poi distanziarsi leggermente.

Le curve di crescita relative alla cv Fuji sono raffigurate in **Figura 4B**. In questo caso si nota come le curve delle tesi a media e alta carica partano molto vicine e poi si distacchino chiaramente verso metà luglio (circa 90 GDF). La curva della tesi a carica bassa anche in questo caso si distingue chiaramente dalle altre due lungo tutto il ciclo di sviluppo. A maturazione completa si osserva che le tre curve si trovano equidistanti fra loro, mostrando una risposta progressiva alla variazione di carica fruttifera.

Per quanto concerne, infine, la cv Pink Lady (**Figura 4C**), si può osservare come le due curve della tesi ad alta e media carica siano sostanzialmente sovrapposte fino a circa 140 GDF e poi si differenzino, anche se in maniera poco significativa, verso la fine del processo di crescita. La tesi a carica bassa, che inizialmente non differisce in maniera molto significativa dalle altre due, presenta un'accelerazione del ritmo di crescita a circa 120 GDF, che si traduce, come nella cv Golden Delicious, in una maggiore pezzatura in corrispondenza dell'epoca di maturazione.

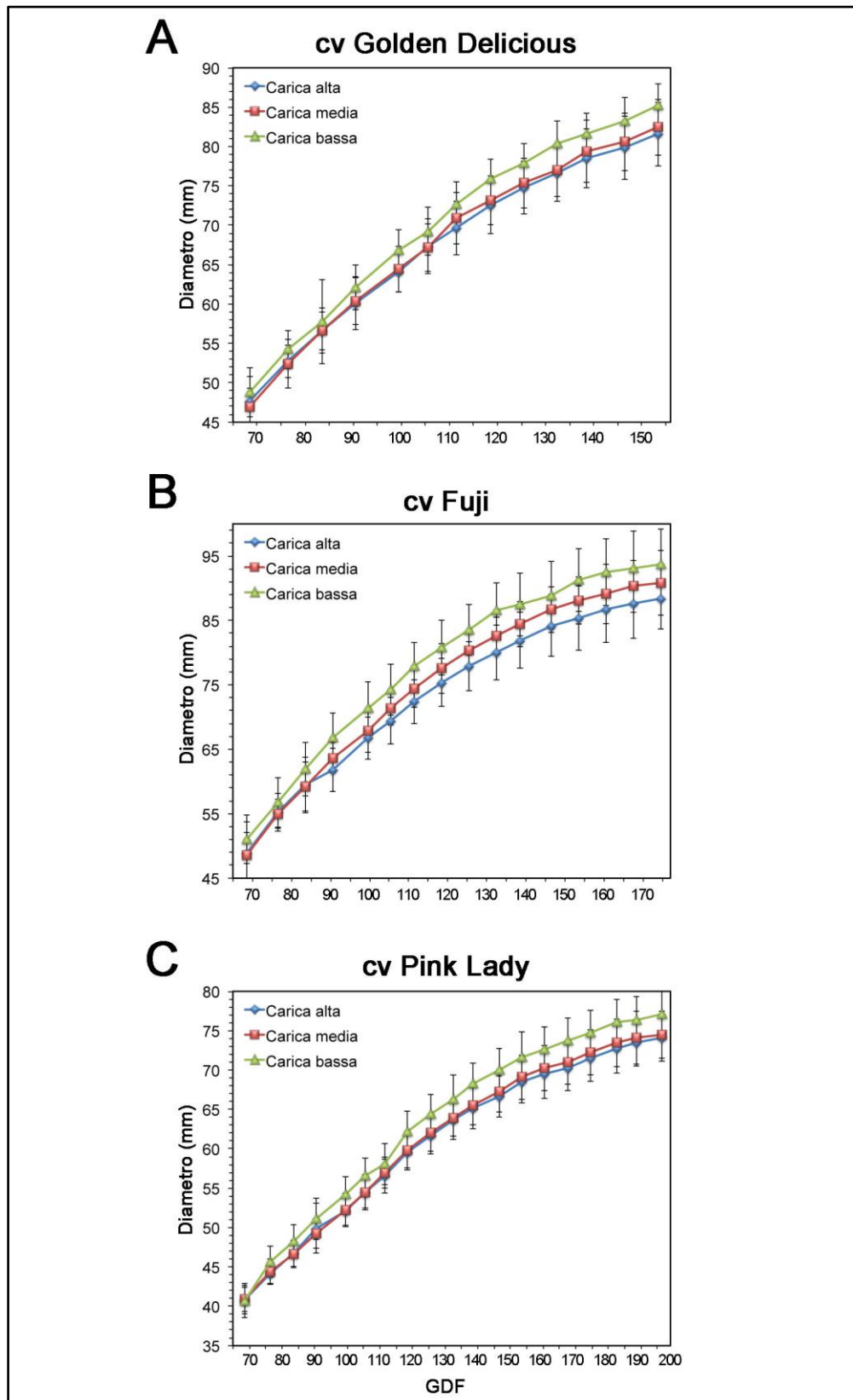


Figura 4 - Curve di crescita dei frutti suddivise per le tre cultivar Golden Delicious (A), Fuji (B) e Pink Lady (C); le barre indicano la deviazione standard (n = 30 per Golden Delicious e Fuji; n = 40 per Pink Lady). (GDF = giorni dopo la piena fioritura).

Come già ricordato sopra, gli stessi dati riportati in **Figura 4** sono stati suddivisi secondo i carichi fruttiferi, al fine di poterne dare una lettura alternativa e più completa (**Figura 5**). Particolare attenzione andrà di seguito dedicata alla tesi con carico fruttifero più basso, poiché le cinetiche di crescita dei frutti di questa tesi presentano delle caratteristiche interessanti che saranno poi oggetto di discussione.

Innanzitutto, osservando i tre grafici, si può notare come non sussista alcuna relazione tra lunghezza del ciclo di sviluppo del frutto, che caratterizza ognuno dei tre genotipi (circa 160 giorni in Golden Delicious, 180 giorni in Fuji e 200 giorni in Pink Lady), e cinetica di crescita. Inoltre, osservando attentamente le curve di crescita dei frutti delle tre cultivar, si possono individuare dei flessi nel ritmo di accrescimento, più o meno accentuati a seconda del genotipo e del livello di carica considerato. Se da un lato la cv Pink Lady mostra un flesso evidente a tutti i livelli di carica (anche a causa della maggiore lunghezza del ciclo di sviluppo del frutto), dall'altro nella cv Fuji tale flesso risulta essere molto più evidente alla carica più bassa. In Golden Delicious, invece, non è facilmente identificabile un rallentamento del ritmo di crescita, anche se, come nel caso precedente, esso sembra evidenziarsi maggiormente nella tesi a bassa carica.

Focalizzandosi sulla tesi con il minor carico fruttifero (**Figura 5A**), si può notare più facilmente una certa scalarità dal punto di vista temporale nella collocazione del flesso nella cinetica di crescita, più anticipato in Pink Lady (105-120 GPF circa), in posizione intermedia nella cv Golden Delicious (120-135 GPF circa) e più tardivo in Fuji (135-155 GPF circa).

Durante la fase finale del ciclo di sviluppo dei frutti, a partire dal 126° giorno dopo la fioritura, è stato monitorato il cambiamento del colore dell'epidermide dei frutti tramite uno spettrofotometro. Il sistema di misurazione integrato in questo strumento, che differisce dal colorimetro tradizionale, è costituito da un sensore spettrale (sensori multipli sensibili a lunghezze d'onda diverse) in grado di fornire la misura delle riflettanze a diverse lunghezze d'onda (in questo caso comprese tra 360 e 740 nm), che vanno a costituire lo spettro di riflettanza.

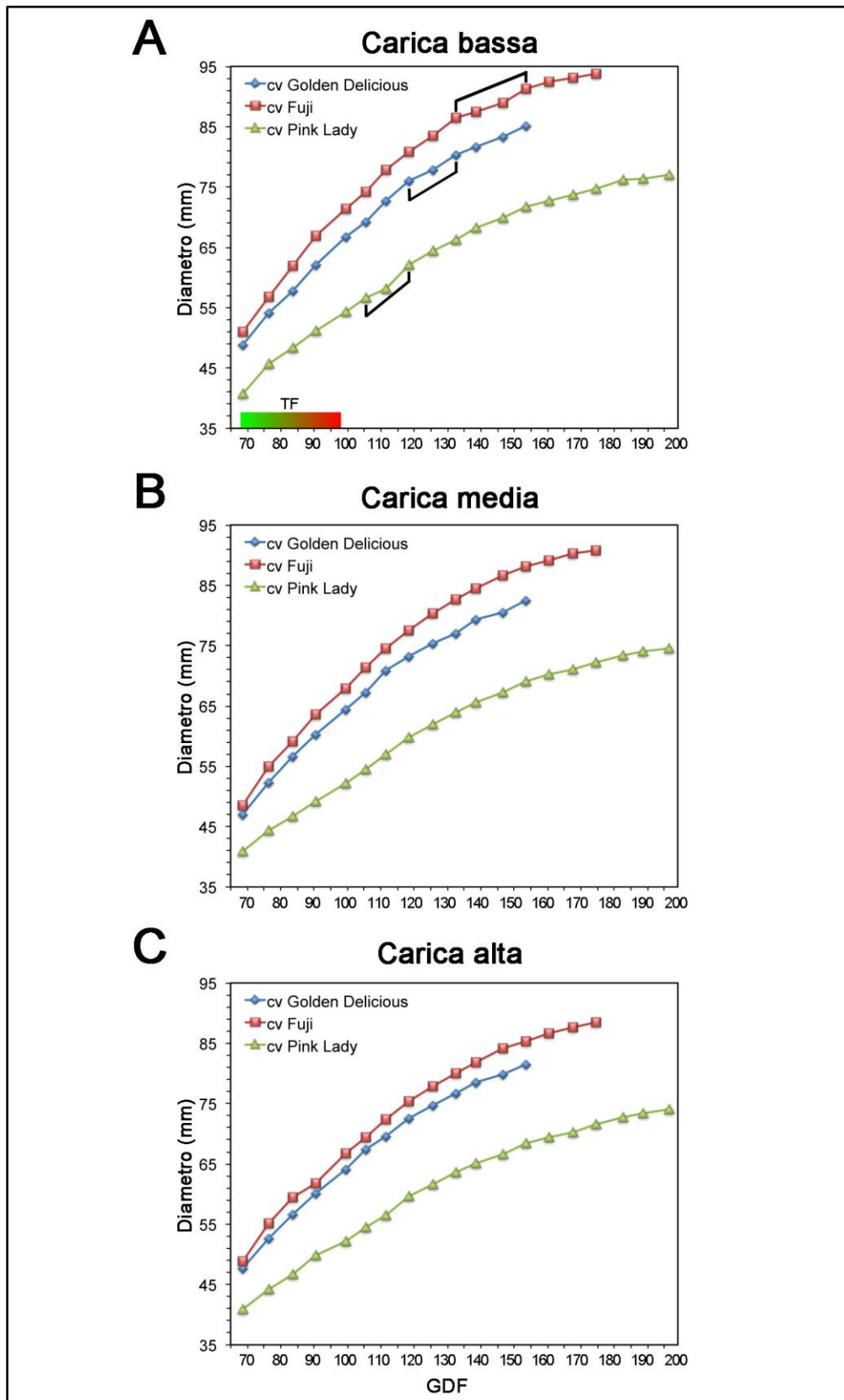


Figura 5 - Curve di crescita dei frutti suddivise per le tre tesi di carica, bassa (A), media (B) e alta (C). Non vengono riportate le barre di deviazione standard già presenti in Figura 3. In A sono indicati anche i flessi riscontrati nelle tre cultivar al livello di carica più basso e il periodo approssimativo durante il quale avviene la transizione di fase (TF) da vegetativa a riproduttiva nei meristemi. (GDF = giorni dopo la piena fioritura).

Gli spettrofotometri offrono un'elevata precisione, con la possibilità di misurare i colori assoluti e di ottenere, tramite calcoli di integrazione effettuati a partire dallo spettro misurato, la misura del colore negli stessi spazi colorimetrici standard utilizzati dal colorimetro. Il sistema di riferimento maggiormente impiegato in questo tipo di misurazione sui frutti è lo spazio colorimetrico $L^*a^*b^*$ (letto L star, a star, b star), detti valori tristimolo. Il parametro L è una misura della luminosità della superficie misurata e può variare da 0 (nero) a 100 (bianco), mentre a e b rappresentano le coordinate cromatiche e variano da -60 a +60, descrivendo variazioni del colore dal verde (-60) al rosso (+60) nel caso di a e dal blu (-60) al giallo (+60) nel caso di b. I valori tristimolo possono essere utilizzati per calcolare indici, più o meno complessi, che riassumono, seppur con ovvi limiti, il colore misurato.

Dato che la prova sperimentale qui descritta prevedeva la raccolta di campioni di frutti maturi destinati ad analisi di tipo trascrittomico e metabolomico, si è resa necessaria una selezione di campioni rappresentativi estremamente omogenei dal punto di vista dello stadio di maturazione. La variazione della carica fruttifera comporta, come noto, una leggera, ma significativa, variazione dell'epoca di maturazione, tanto più anticipata quanto minore è il carico di frutti. Si è quindi deciso di stabilire un intervallo colorimetrico, calcolato separatamente per la faccia esposta (generalmente più pigmentata) e per quella nascosta (generalmente meno pigmentata), che consentisse di scegliere i frutti da campionare direttamente sull'albero. Per il calcolo di tale intervallo è stato utilizzato, come specificato nella sezione Materiali e Metodi, l'angolo di hue (h ; vedi **Figura 3**), assumendo un intervallo di questo indice compreso tra la media meno il 100% di deviazione standard e la media più il 100% di deviazione standard, calcolato separatamente per le due facce del frutto, come specificato sopra, sulla base di simulazioni. Una volta eseguita la misura colorimetrica di tutti i frutti di tutte le tesi in corrispondenza dell'epoca di maturazione commerciale di ogni singola varietà, si è calcolato l'intervallo e con esso sono stati selezionati i frutti da campionare. La variazione dell'indice h osservata durante la maturazione dei frutti è riportata in **Figura 6**, separatamente per le tre varietà.

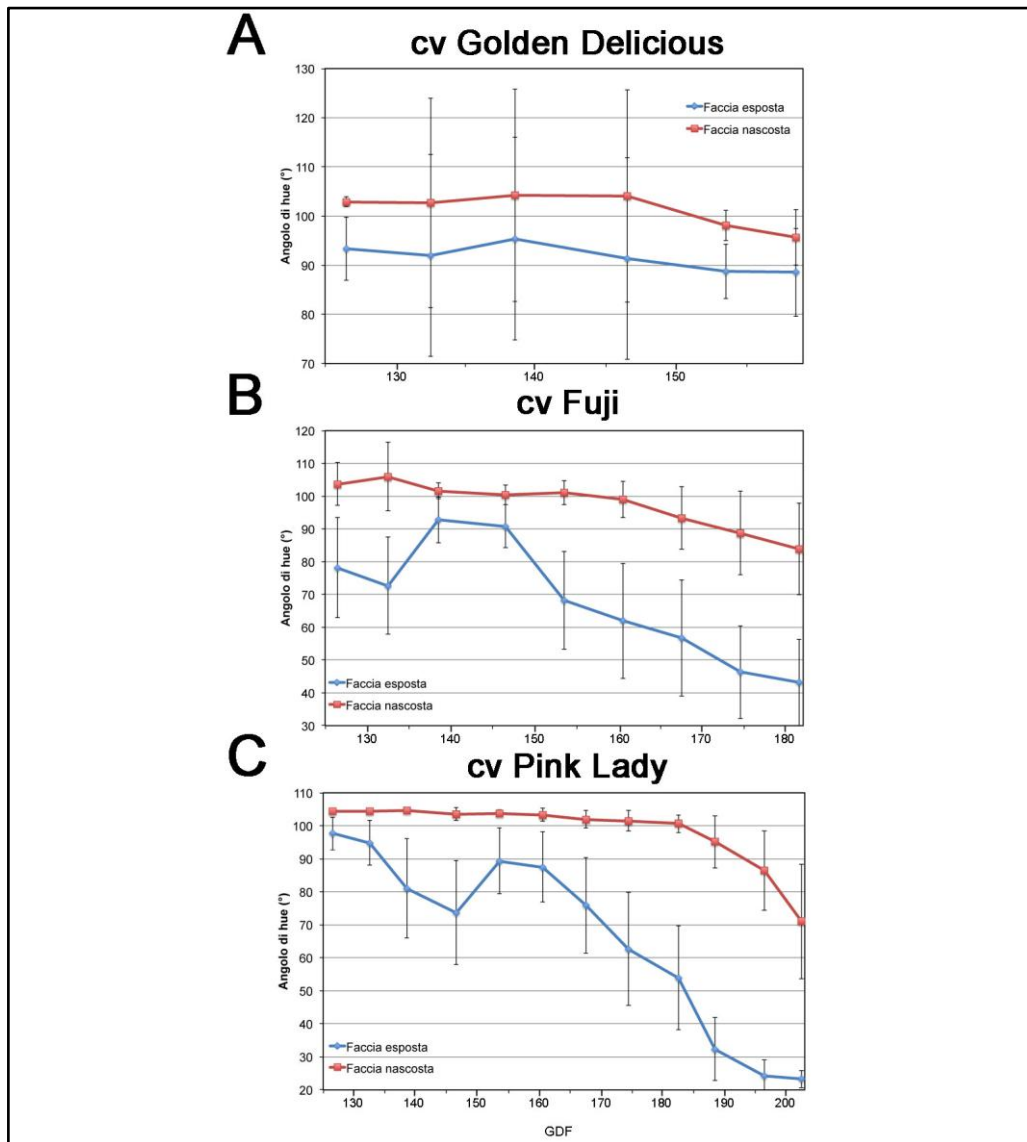


Figura 6 – Andamento del colore nelle tre cultivar (Golden Delicious, A; Fuji, B; Pink Lady, C), rappresentato come angolo di hue medio calcolato sulla base di tutte le misure effettuate nelle tesi di carica, separatamente sulle due facce del frutto (vedi legenda). Le barre indicano la deviazione standard ($100 < n < 200$).

Per quanto riguarda la cv Golden Delicious (**Figura 6A**), la cui variazione colorimetrica si caratterizza a livello epidermico per la sua semplice variazione dal verde al giallo, l'indice h presenta una variazione più accentuata nella faccia nascosta del frutto, molto probabilmente a causa del fatto che già alla prima misura la faccia esposta presentava una colorazione tendente al giallo. Nei frutti di questo genotipo si riscontra una certa variabilità, presente in maniera più contenuta nelle altre due varietà.

La cv Fuji (**Figura 6B**), che nel clone utilizzato nelle prove presenta delle striature piuttosto evidenti, presenta una variazione del colore nella faccia

nascosta tendente all'ingiallimento. Questo lato del frutto presenta generalmente delle striature meno evidenti, è prevalentemente verde e tende al giallo nel corso della maturazione, come testimoniato dall'indice h . D'altro canto, la faccia esposta presenta una variazione molto accentuata del colore, compatibile con la maturazione solamente a partire da 140 GDF. Le prime misurazioni, infatti, mostrano un anomalo aumento di h , indice che in questa fase mostra tutti i suoi limiti, in quanto non è in grado di descrivere la complessità della variazione colorimetrica osservata. Da 140 GDF si osserva letteralmente un crollo dell'angolo di hue, che da circa 90° si porta prossimo a 40° in corrispondenza della maturazione commerciale, testimoniando la variazione di colore tendente al rosso acceso.

La peculiarità della variazione di colore epidermico che visivamente si osserva in ognuna delle tre cultivar, si traduce anche in una diversa cinetica dell'indice h , come dimostrato dall'ultima cultivar analizzata, la Pink Lady (**Figura 6C**). In questo caso, entrambe le facce del frutto presentano variazioni chiaramente compatibili con l'evolversi della sindrome di maturazione. Il lato nascosto del frutto, presenta una variazione colorimetrica significativa da 180 GDF in poi, che si traduce in una variazione di h da circa 100° fino ai 70° alla raccolta (circa 200 GDF). Il lato esposto presenta delle analogie in termini cinetici con la cv Fuji. Infatti, dopo una prima diminuzione riscontrata nelle prime misure (circa 130 GDF), poco prima di 150 GDF si osserva una inversione di tendenza con un netto aumento dell'indice h di circa 15° . Come nella cv Fuji, si osserva poi un crollo da 90° fino ai circa 20° della raccolta, valore quest'ultimo corrispondente al rosso caratteristico dell'epidermide delle mele Pink Lady.

3.2 Parametri quantitativi alla raccolta commerciale

La produzione, riportata in **Tabella 2** ed espressa in tonnellate/ettaro, chili per pianta e numero medio di frutti per pianta, presenta valori significativamente diversi nelle tre cultivar.

Per quanto riguarda i parametri produttivi della cv Golden Delicious si nota che ad una diminuzione di carica fruttifera, espressa come n. di frutti/pianta, pari a circa il 17% passando da carica alta a media (non significativa) e a circa il 50% passando da alta a bassa, non corrisponde una perdita proporzionale di

produzione in termini di ton/ha o Kg/pianta. Questi ultimi parametri si attestano, infatti, su un -8% (non significativo) e -40% circa in entrambi i casi.

Tabella 2 - Parametri quantitativi misurati alla raccolta commerciale in Golden Delicious, Fuji e Pink Lady suddivisi per le tre tesi di carica: produzione media espressa in quintali per ettaro e in chili per pianta, peso fresco medio dei frutti espresso in grammi e pezzatura media dei frutti espressa in mm, efficienza di produzione espressa in chili di frutti per centimetro quadrato di sezione trasversale del tronco e carica fruttifera in numero di frutti per centimetro quadrato di sezione trasversale del tronco. Le lettere indicano le differenze statisticamente significative.

PARAMETRI	VARIETÀ	TESI		
		ALTA	MEDIA	BASSA
Produzione (ton/ha)	Golden Delicious	58,2 a	53,7 a	35,2 b
	Fuji	120,3 a	87,2 b	57,8 c
	Pink Lady	85,4 a	75,2 a	45,9 b
Produzione (kg/pianta)	Golden Delicious	20,4 a	18,8 a	12,3 b
	Fuji	53,4 a	38,7 b	25,7 c
	Pink Lady	35,7 a	31,4 a	19,2 b
Produzione (N. frutti/pianta)	Golden Delicious	90 a	75 a	45 b
	Fuji	205 a	126 b	73 c
	Pink Lady	203 a	167 b	89 c
Peso medio fresco (g)	Golden Delicious	233 a	253 b	278 c
	Fuji	261 a	313 b	352 c
	Pink Lady	177 a	190 b	215 c
Pezzatura media (mm)	Golden Delicious	82,6 a	84,7 b	86,9 c
	Fuji	86,0 a	90,2 b	92,3 c
	Pink Lady	74,1 a	75,8 b	79,2 c
Efficienza produzione tronco (kg frutti/cm ² tronco)	Golden Delicious	1,7 a	1,5 b	0,8 c
	Fuji	1,5 a	1,1 b	0,7 c
	Pink Lady	1,4 a	1,0 b	0,7 c
Carica fruttifera (N. frutti/cm ² tronco)	Golden Delicious	7,6 a	5,8 b	3,0 c
	Fuji	5,7 a	3,7 b	1,9 c
	Pink Lady	7,8 a	5,4 b	2,9 c

Note: in tutti i casi contraddistinti dalle lettere, le differenze sono altamente significative (***; $P < 0,001$).

Tale compensazione è dovuta, ovviamente, all'aumento di peso e pezzatura, statisticamente significativo in tutti i casi, causato dalla maggiore disponibilità di nutrienti. Per quanto riguarda il primo di questi parametri, si riscontra un aumento di circa 9% e 19% passando, rispettivamente dalla tesi ad alta carica a quella media e da quella alta a quella bassa. Nel caso della pezzatura, gli stessi confronti implicano variazioni del 3% e 5%. Infine, per quanto attiene all'efficienza produttiva e alla carica fruttifera normalizzate sulla superficie della sezione del tronco, si può notare che pur essendoci una variazione di carica pari a -24% e -61% nelle tesi medie e basse rispetto alla tesi ad alta

carica, la maggior pezzatura dei frutti comporta aumenti di efficienza produttiva (misurata come kg/cm^2 di sezione del tronco) che compensano la diminuzione del numero di frutti. Le perdite di efficienza negli stessi confronti sono infatti pari a -12% e -53%.

Nella cv Fuji, i parametri produttivi mostrano variazioni più significative rispetto alla varietà precedente. Diminuzioni del n. di frutti per pianta, pari a circa il 40% passando da carica alta a media e a circa il 64% passando da alta a bassa, comportano perdite produttive pari, rispettivamente, a 28% e 53%. Nonostante il peso medio aumenti negli stessi confronti del 25% e del 35%, questo non riesce a compensare il minor numero di frutti in termini di produzione. Nel caso della pezzatura, i medesimi confronti implicano variazioni significative, pari al 5% e 7%. Infine, relativamente all'efficienza produttiva e alla carica fruttifera normalizzate sulla superficie della sezione del tronco, si può notare un sostanziale parallelismo con i dati produttivi.

Analizzando i dati relativi alla cv Pink Lady, si notano delle perdite produttive al diminuire della carica sostanzialmente intermedie tra quelle delle due varietà precedenti. Per quanto concerne peso medio e pezzatura, mentre il passaggio da carica alta a media comporta un aumento di entrambi molto simile a quello osservato in Golden Delicious, nel caso della carica più bassa si osserva un aumento di peso pari al 22% rispetto a quella alta e un incremento dimensionale del 7%. Il calo di efficienza produttiva passando dalla carica maggiore a quella intermedia è pari al 29% e raggiunge il 50% nella carica bassa. La carica fruttifera normalizzata sulla superficie del tronco mostra un calo del 31% e 63% negli stessi confronti.

In linea generale, confrontando le varietà, la cv Fuji presenta i parametri produttivi più interessanti a tutti i livelli di carica fruttifera (120,3 ton/ha nella tesi a carica alta), seguita dalla Pink Lady e, per ultima, dalla Golden Delicious.

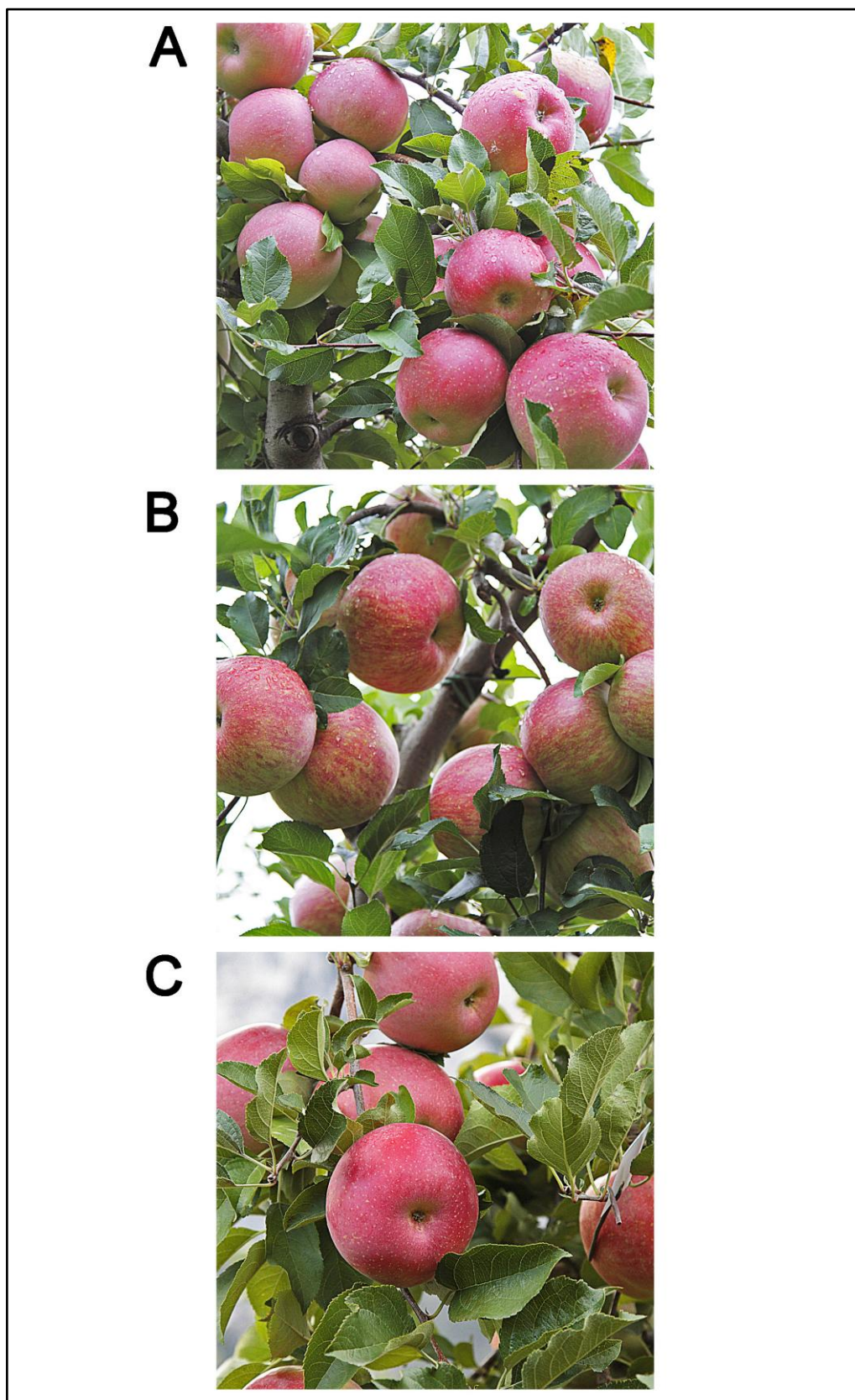


Figura 7–Frutti della cv Fuji della tesi a carica alta (A), media (B) e bassa (C) in corrispondenza dell'epoca di raccolta commerciale. E' chiaramente visibile l'aumento della pezzatura all'abbassarsi della carica.

Nonostante in termini di carica fruttifera normalizzata Fuji presenti i livelli più bassi in tutte le tesi e nonostante anche l'efficienza di produzione normalizzata sia inferiore a quella della cv Golden Delicious, la produzione per ettaro resta sempre la più alta. Fuji è anche la varietà che mostra la variazione più significativa in termini di pezzatura al variare della carica, seguita da Pink Lady e Golden, come si può osservare chiaramente in **Figura 7**.

3.3 Parametri visivi alla raccolta commerciale

In **Tabella 3** sono riportati tre parametri che contribuiscono a dare una descrizione globale dell'aspetto esteriore dei frutti: sovraccolore, forma e colorazione di fondo.

Comune alle tre cultivar si può osservare un progressivo aumento del sovraccolore (calcolato in percentuale sul totale della superficie del frutto) nel passare dalla tesi di carica alta a quella media e poi bassa. In Golden Delicious e Pink Lady lo scarto percentuale maggiore lo troviamo tra le tesi di carica media e quella bassa. In controtendenza invece Fuji che presenta una differenza maggiore tra le tesi di carica alta e di carica media. La progressione evidente della colorazione che si ha dalla tesi di carica alta a quella di carica bassa è un segno chiaro dell'anticipo di maturazione che si ha nei frutti con il ridursi della carica.

I valori riguardanti la forma dei frutti, definita dal rapporto tra altezza e diametro del frutto, non mostrano grandi differenze e statisticamente non sono significativi. I frutti con basso rapporto h/d sono di forma rotondeggiante, mentre i frutti con forma allungata sono caratterizzati da un alto rapporto h/d. Osservando il grafico si può notare come la tesi di carica alta raccolga i frutti con rapporto più alto in tutte le varietà testate. Fuji è la cultivar in cui la forma è più soggetta a cambiamento nelle tre tesi di carica.

La colorazione di fondo, misurata dalla macchina calibratrice, viene espressa sotto forma di intervalli numerici, ognuno dei quali si può associare a una certa colorazione. I valori più bassi indicano una colorazione verde che vira al giallo con l'aumentare delle cifre (vedi nota in **Tabella 5**). In Golden Delicious troviamo valori inferiori nelle tesi di carica alta e media rispetto alle altre due cultivar. Il valore elevato nella tesi di carica bassa rispecchia la sua tendenza,

anche in questo caso, ad un anticipo di maturazione dei frutti. In Fuji e Pink Lady notiamo invece che i valori diminuiscono con la riduzione della carica fruttifera.

Tabella 3 - Parametri qualitativi visivi misurati alla raccolta commerciale in Golden Delicious, Fuji e Pink Lady, suddivisi per le tre tesi di carica. Vengono riportati sovraccolore (percentuale sul totale della superficie del frutto), forma media dei frutti (rapporto tra altezza e diametro) e colore medio di fondo (vedi nota in tabella). Le lettere indicano differenze altamente significative ($P < 0,001$), ove riscontrate.

PARAMETRI	VARIETÀ	TESI		
		ALTA	MEDIA	BASSA
Sovraccolore (%) ^a	Golden Delicious	1,9 a	3,2 a	9,7 b
	Fuji	55,2 a	71 b	83,1 c
	Pink Lady	79,9 a	84 a	92,9 b
Forma media frutti (h/d)	Golden Delicious	2,8	2,7	2,8
	Fuji	2,2	2,2	2,3
	Pink Lady	2,6	2,6	2,6
Colore medio di fondo ^b	Golden Delicious	399,6 a	412,2 b	438,7 c
	Fuji	410,1	416,3	414,5
	Pink Lady	438,6	436,3	432,7

Note: a) Viene espresso in percentuale sul totale della superficie del frutto. b) A ogni intervallo di valori corrisponde una colorazione di fondo: verde (<360), verde-giallo (360-390), giallo-verde (390-420), giallo (>420).

A raccolta i frutti sono stati suddivisi in tre classi di pezzatura e rapportati in percentuale rispetto all'intera produzione (**Figura 8**). In Golden Delicious la produzione con pezzatura che supera gli 80 millimetri sia dominante in tutte le tre tesi di carica, arrivando nella tesi di carica bassa al 93 % della produzione. I frutti di pezzatura compresa tra gli 80 e i 70 millimetri invece decrescono dalla tesi di carica alta a quella media e poi bassa: dal 34% scendono al 16% e infine al 6%. La produzione appartenente alla classe inferiore è talmente ridotta che nella tesi a carica alta arriva all'1% per poi decrescere fino a 0,07% in quella a carica bassa. Interessante notare che le variazioni percentuali tra le tre tesi di carica sono costanti per le tre classi di pezzatura e che il divario è maggiore tra le tesi di carica alta e media rispetto a quello tra le tesi a carica media e bassa. La varietà Fuji presenta ancor più chiaramente una predominanza di frutti con pezzatura superiore agli ottanta millimetri: 79%, 93% e 96% sono i valori delle rispettive tesi di carica alta, media e bassa.

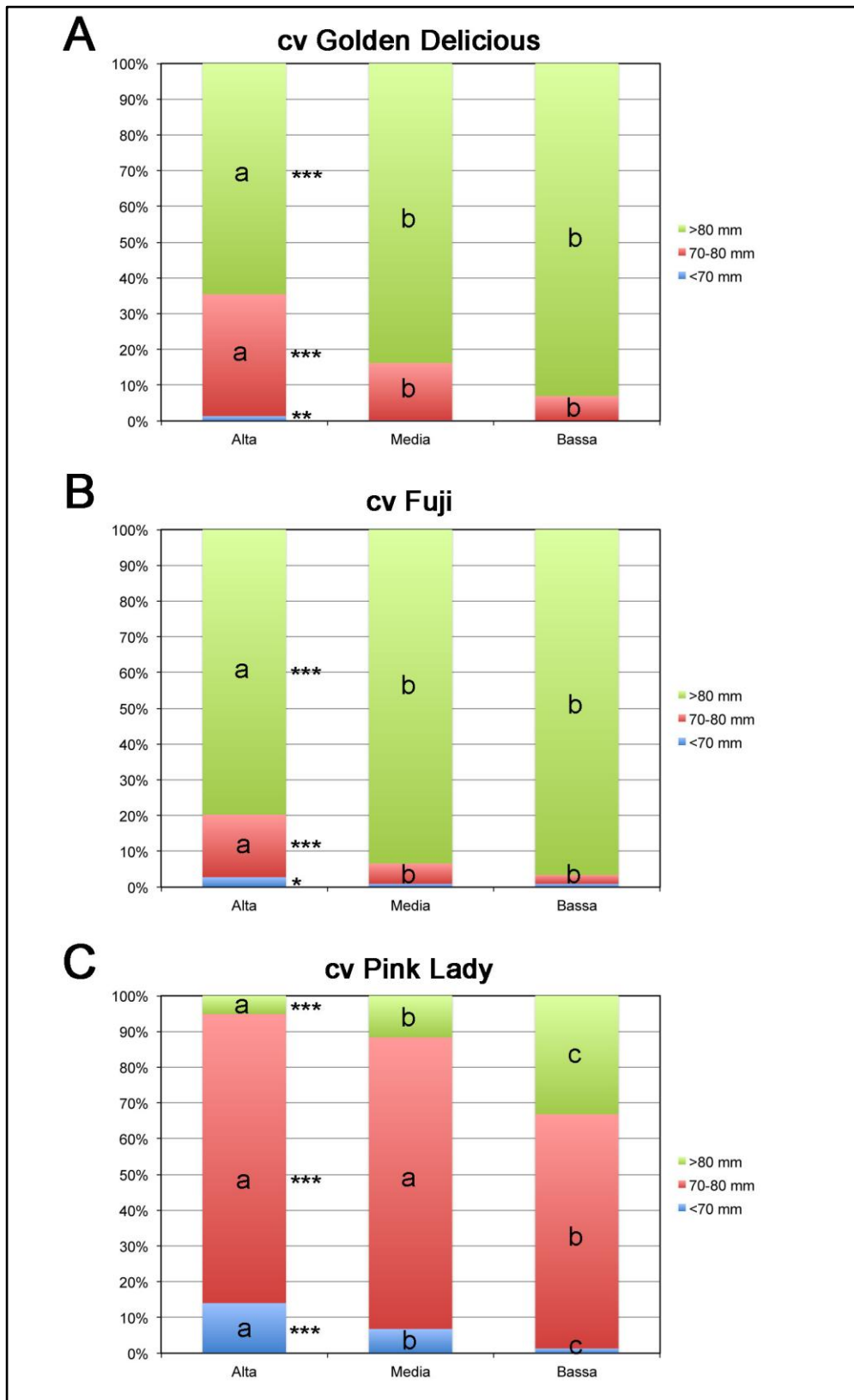


Figura 8 – Classi di pezzatura (percentuale sul totale) per Golden Delicious (A), Fuji (B) e Pink Lady (C), suddivisi in tre classi in relazione alla pezzatura: < 70 mm (blu), 70-80 mm (rosso), > 80 mm (verde). I dati riportati sono suddivisi nelle tre tesi di carica alta, media e bassa. Le lettere indicano le differenze significative (***) = differenza altamente significativa con $P < 0,001$; ** = differenza molto significativa con $P < 0,01$; * = differenza significativa con $P < 0,05$).

La classe di pezzatura compresa tra i settanta e gli ottanta millimetri invece si attesta su valori inferiori, pari al 17% per la tesi a carica alta, al 5% per la media e al 2% per la bassa. I frutti con pezzatura inferiore ai 70 millimetri nella tesi a carica alta sono il 2% e nelle due altre tesi di carica sono inferiori allo 0%. Tra la tesi di carica media e quella bassa i valori non si differenziano se non per un centesimo di punto percentuale. Anche in Fuji la differenza tra le tesi di carica alta e media è maggiore di quella tra le tesi di carica media e bassa.

In Pink Lady si osserva che la classe di pezzatura predominante nelle tre tesi di carica è quella tra settanta e ottanta millimetri: 80%, 81%, 65% rispettivamente per alta, media e bassa tesi di carica, con un divario maggiore tra le ultime due tesi di carica rispetto alle prime due. I frutti con pezzatura superiore agli ottanta millimetri sono il 5% nella tesi di carica alta e crescono nella tesi di carica media a 11%, attestandosi nella bassa al 33%. A differenza delle altre due cultivar la percentuale della classe inferiore ai settanta millimetri è più consistente. Passa da 14% della tesi di carica alta a 1% della bassa, passando a 6% dalla tesi di carica media. Nel caso della cv Pink Lady si osserva che la differenza maggiore per tutte e tre le classi di pezzatura si ha tra la tesi di carica media e quella bassa.

3.4 Indici di qualità

In **Tabella 4** vengono riportati i parametri qualitativi misurati mediante l'utilizzo della macchina "Pimprelle" (vedi sezione Materiali e metodi), ovvero acidità titolabile, indice rifrattometrico e consistenza.

In Golden Delicious, l'acidità titolabile mostra un andamento crescente passando dalla tesi a carica alta a quella bassa con differenze sempre significative. In Fuji si osserva un valore chiaramente più alto nella tesi a carica media, mentre le differenze tra le altre due tesi sono minori, ma sempre significative. Risulta invariata l'acidità titolabile tra le tesi di carica media e bassa in Pink Lady che si mantiene comunque superiore a quella dei frutti della tesi di carica alta.

L'indice rifrattometrico, indicativo del contenuto zuccherino dei frutti, con l'abbassarsi della carica fruttifera tende ad elevarsi. In tutte e tre le varietà si

può notare che la differenza in gradi °Brix è maggiore tra le tesi a carica alta e media, soprattutto in Fuji.

Tabella 4 - Parametri qualitativi misurati al momento della raccolta commerciale suddivisi per varietà (Golden Delicious, Fuji e Pink Lady) e tesi di carica (alta, media, bassa). L'acidità titolabile è espressa in g/L di acido malico, l'indice rifrattometrico in gradi °Brix, la durezza in kg/cm² e l'etilene in nL/g/h. Le lettere indicano differenze altamente significative (P < 0,001), ove riscontrate.

PARAMETRI	VARIETÀ	TESI		
		ALTA	MEDIA	BASSA
Acidità titolabile (g/L acido malico)	Golden Delicious	4,9 a	5,2 b	5,6 c
	Fuji	2,9 a	6,2c	3,4b
	Pink Lady	6,8 a	7,6 b	7,6 b
Indice rifrattometrico (°Brix)	Golden Delicious	12,9	13,1	12,7
	Fuji	12,5 a	12,8 b	12,9 b
	Pink Lady	13,9	14,1	14,1
Durezza (kg/cm ²)	Golden Delicious	6,9	6,9	7,1
	Fuji	5,6	5,6	5,7
	Pink Lady	8,5 a	9,0 b	8,6 a
Etilene (nL/g/h)	Golden Delicious	10,5	15,1	12,8
	Fuji	1,5	2,5	2,7
	Pink Lady	1,4	1,0	1,0

La durezza della polpa subisce un aumento sensibile, ma non significativo dal punto di vista statistico, al diminuire della carica nelle cultivar Golden Delicious e Fuji. In Pink Lady la durezza maggiore la troviamo invece nella tesi di carica media. In questo caso, le variazioni di consistenza non sono in alcun modo correlate allo stadio di maturazione, che è leggermente più avanzato nei frutti delle tesi scariche.

L'etilene, infine, misurato a 24 ore dalla raccolta, lo troviamo in quantità minore nella tesi di carica alta per tutte le tre varietà in prova. In Fuji notiamo un aumento al diminuire della carica con maggiore incidenza tra le tesi di carica bassa e media. In Pink Lady la quantità di etilene aumenta nella tesi di carica media e rimane invariata nella tesi di carica bassa. Golden Delicious mostra una quantità di etilene maggiore nella tesi di carica media rispetto alle altre due.

4. DISCUSSIONE

La cinetica di crescita dei frutti mostrata nelle **Figure 4 e 5** ha consentito di evidenziare la presenza di un flesso, corrispondente ad un rallentato accrescimento, in tutte le tre varietà testate. Va fatta notare, tuttavia, una maggiore accentuazione di tale flesso nei frutti della tesi a bassa carica fruttifera, che mostrano, pertanto, una cinetica di crescita assimilabile al modello di sviluppo tipico dei frutti delle pomacee rappresentato da una curva sigmoide semplice. Nel caso specifico qui riportato, poiché i dati relativi all'accrescimento dei frutti sono stati raccolti dopo l'imposizione definitiva della carica, la prima parte della curva di crescita non è riportata.

Il fatto che il punto di flesso sia più accentuato nei frutti della tesi di carica bassa lascia pensare che negli alberi di questa tesi sussista, proprio in corrispondenza di questo rallentamento della crescita, uno stress nutrizionale determinato da molteplici fattori. In merito a questo aspetto vanno fatte alcune doverose considerazioni.

In alberi caratterizzati da una carica fruttifera bassa si osserva notoriamente un maggiore sviluppo dell'apparato vegetativo, come testimoniato in **Figura 9**. Un basso numero di frutti ed un'ampia superficie fotosinteticamente attiva si traducono in una maggiore e crescente disponibilità di fotosintati utilizzabili dalla pianta per lo sviluppo dei frutti e dello stesso apparato vegetativo. Viceversa, alberi eccessivamente carichi non riescono a sostenere un accrescimento vegetativo costante e sufficiente a garantire un apporto nutrizionale adeguato ai frutti, tale da far esprimere al massimo il loro potenziale di crescita. Diversi equilibri nutrizionali si traducono anche in differenze sostanziali in termini di induzione a fiore delle gemme per l'anno successivo (vedi Introduzione). Nel melo, la transizione di fase da vegetativa a riproduttiva, a livello dei meristemi, si verifica all'incirca da metà giugno a metà luglio (70-100 GDF; vedi **Figura 5**), in contemporanea allo sviluppo dei frutti e in corrispondenza della cessazione dell'attività degli apici vegetativi. La transizione di fase avviene anche grazie alla traslocazione per via floematica del peptide ormonale FT (denominato "florigeno") sintetizzato a livello fogliare e diretto verso i meristemi per attivare il programma ontogenetico che prevede prima l'acquisizione dell'identità riproduttiva e poi il differenziamento

delle strutture fiorali (Corbesier et al., 2007). Se da un lato è noto l'effetto inibitorio dei frutti, in particolare delle gibberelline prodotte dagli embrioni contenuti nei semi (Greene, 1993), sull'induzione a fiore, dall'altra un maggiore sviluppo dell'apparato vegetativo potrebbe contribuire anche ad un apporto maggiore di florigeno e quindi ad una induzione fiorale più estesa. Durante la transizione si hanno cambiamenti di carattere prevalentemente istologico che non comportano particolari necessità dal punto di vista nutrizionale. Successivamente si ha la differenziazione degli organi fiorali, processo che si completa durante la maturazione dei frutti con l'entrata in dormienza. La durata effettiva della transizione di fase e di ogni tappa dell'organogenesi fiorale può variare anche in maniera significativa nelle diverse varietà. Si può pertanto ritenere che il flesso riscontrato nella cinetica di crescita dei frutti della tesi a bassa carica sia causato dallo stress nutrizionale transiente dovuto alla formazione delle gemme fiorali che rappresentano, in questa fase, un *sink* metabolico che entra in competizione con i frutti, rallentandone così il tasso di crescita.

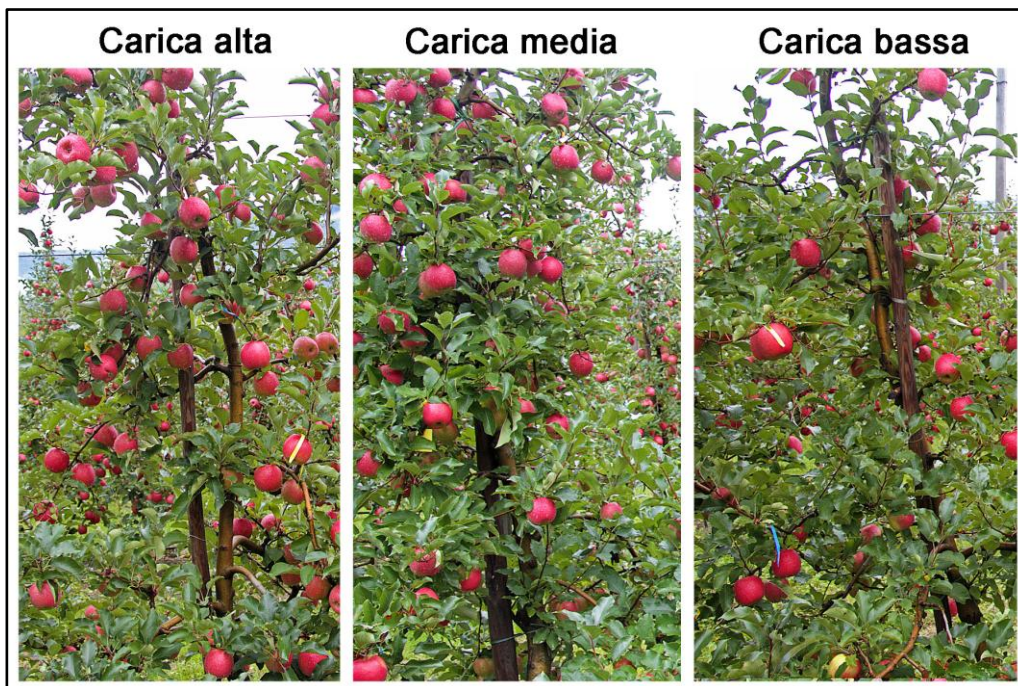


Figura 9 – Alberi della cv Pink Lady delle tesi a carica alta, media e bassa. Si noti il maggiore sviluppo vegetativo al diminuire della carica fruttifera.

Obiettivo di questa prova è stato indagare come la carica fruttifera (alta, media e bassa) abbia inciso sui parametri quantitativi e qualitativi dei frutti rilevati in

corrispondenza della raccolta commerciale nelle cultivar Golden Delicious, Fuji e Pink Lady.

La sensibilità dei frutti, in termini di qualità finale percepita, alla variazione del livello di carica fruttifera risultava essere, sulla base di valutazioni fatte in precedenza, caratteristica per ciascuna delle tre varietà: i frutti della cultivar Fuji sarebbero qualitativamente molto sensibili alla carica fruttifera, quelli di Golden Delicious mediamente sensibili e i frutti della varietà Pink Lady poco sensibili. Un parametro che gioca un ruolo fondamentale nella qualità organolettica del frutto è l'acidità titolabile, espressa come concentrazione di acido malico (**Tabella 4**). Le evidenze sperimentali qui raccolte dimostrano che la diminuzione della carica fruttifera si riflette positivamente sull'acidità titolabile dei frutti proprio come ci si attendeva. Considerando le cariche estreme, in Pink Lady si è osservato un aumento dell'acidità pari al 12%, in Golden del 14% e nei frutti della cultivar Fuji il contenuto acido è aumentato del 17%. Va detto anche che una maggiore acidità titolabile contribuisce al mantenimento delle proprietà organolettiche dei frutti durante la loro conservazione, rivestendo così un'importanza ancor più marcata. La cv Fuji mostra anche un aumento significativo del contenuto zuccherino (°Brix), mentre le altre due varietà mostrano variazioni di questo parametro non significative dal punto di vista statistico. Nel complesso, quindi, i risultati confermano gli effetti attesi.

Tabella 5 - Valore economico (V.E.) espresso in migliaia di € per ettaro (k€/ha) della produzione degli alberi delle tesi di carica alta, media e bassa in Golden Delicious, Fuji e Pink Lady. Le lettere indicano le differenze statisticamente significative.

Varietà	Livello di carica	V.E. (k€/ha)
Golden Delicious	Alta	23 a
	Media	23 a
	Bassa	15 b
Fuji	Alta	34 a
	Media	20 b
	Bassa	8 c
Pink Lady	Alta	51 a
	Media	49 a
	Bassa	33 b

Note: in tutti i casi contraddistinti dalle lettere, le differenze sono altamente significative ($P < 0,001$).

Infine, va fatto notare che nonostante Fuji sia la varietà che trae il maggior vantaggio dal punto di vista qualitativo dall'abbassamento della carica fruttifera, questa mostra anche la più significativa perdita di produzione (-52%) rispetto alla carica più alta. Nella logica della singola stagione produttiva, questa perdita non sarebbe sostenibile, soprattutto dal punto di vista economico (-66%) come mostrato in **Tabella 5**. Tuttavia, dato che Fuji è una varietà con una fioritura molto abbondante, livelli di carica troppo elevati comporterebbero inevitabilmente un'alternanza di produzione ancora meno tollerabile della perdita produttiva generata dalla ridotta carica fruttifera. Per le altre due varietà, le perdite dal punto di vista economico sono invece più contenute e pari al 35% sia in Golden Delicious che in Pink Lady nel passare dalla carica alta a quella bassa. Vale la pena notare come la produzione di Pink Lady mantenga un valore economico nella tesi a bassa carica tra i più alti, inferiore solo alla produzione della carica alta in Fuji.

5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Il presente lavoro di tesi ha confermato la diversa sensibilità dei tre genotipi testati (Golden Delicious, Fuji e Pink Lady) alla variazione della carica fruttifera. In termini di equilibrio zuccheri/acidi, i frutti raccolti da alberi meno carichi mostrano sempre livelli qualitativi marcatamente migliori di quelli con carichi superiori, anche se la cv Fuji sembra trarre il maggior vantaggio qualitativo dall'abbassamento della carica rispetto agli altri due genotipi.

Le misurazioni del colore effettuate con lo spettrofotometro hanno consentito di mettere a punto una strategia non distruttiva per il campionamento di frutti omogenei dal punto di vista dello stadio di maturazione, anche se l'indice adottato (angolo di hue, h) ha mostrato i suoi limiti soprattutto nel caso della cv Golden Delicious. Dato che si dispone dei valori di riflettanza alle singole lunghezze d'onda, varrà la pena in futuro di analizzarle e di valutare le singole componenti del colore per individuare un indice più affidabile e possibilmente cultivar-specifico che consenta di stabilire l'epoca di raccolta tramite misure non distruttive effettuate in campo.

Esperimenti futuri saranno volti a chiarire nel dettaglio, anche dal punto di vista metabolomico, la diversa allocazione degli assimilati tra apparato vegetativo e riproduttivo nelle diverse condizioni di carica fruttifera, anche in funzione della transizione di fase e dei conseguenti processi differenziativi a livello dei meristemi riproduttivi.

BIBLIOGRAFIA

Baldini E, 1986. Arboricoltura generale Bologna: Cooperativa Libraiia Universitaria Editrice Bologna.

Basak A. 2006. The effect of fruitlet thinning on fruit quality parameters in the apple cultivar 'gala'. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* (14): 143-150.

Bergh O. 1990. Effect of time of hand-thinning on apple fruit size. *S Afr J Plant Soil* (7): 1-10.

Comai M., Dorigoni A., Micheli F., Piffer I., Dallabetta N. e Stoppa G. 2006. Influenza della carica degli alberi su quantità, qualità e valore delle produzioni di Golden Delicious in Val di Non. *Frutticoltura* (11): 71-78.

Corbesier L., Vincent C., Jang S., Fornara F., Fan Q., Searle I., Giakountis A., Farrona S., Gissot L., Turnbull C. e Coupland G. 2007. FT protein movement contributes to long-distance signaling in floral induction of *Arabidopsis*. *Science*(316):1030-1033.

Dennis F.G. Jr. 2000. The history of fruit thinning. *Plant Growth Regulation* (31): 1-16.

Do P. T., Prudent M., Sulpice R., Causse M. e Fernie A. R. 2010. The influence of fruit load on the tomato pericarp metabolome in a *Solanum chmielewskii* introgression line population. *Plant Physiology* (10): 1-39.

Dorigoni A., Dallabetta N., Micheli F., Piffer I. e Lezzer P. 2006. Le migliori strategie diradanti per regolare la carica di Fuji: interventi chimici e manuali su una varietà sensibile all'alternanza (50): 34-40.

Elfving D.C. e Schechter I. 1993. Fruit count, fruit weight, and yield relationships in delicious apple-trees on 9 rootstocks. *HortScience* (28) 793–795.

Greene D.W. 1993. Effects of GA₄ and GA₇ on flowerbud formation and russet development on apple. *Journal of Horticultural Science* (68), 171-176

Jones K.M., Bound S.A., Oakford M.J. e Gillard P. 2000. Modelling thinning of Pome fruits. *Plant Growth Regulation* (31): 75–84.

Lespinnasse J.M. 1977. La conduite du pommier. Types de fructification. Incidence sur la conduite de l'arbre. Paris: I.N.V.U.F.L.E.C.

Link H. 1967. Der Einfluß der Ausdünnung auf Fruchtqualität und Erntemenge bei der Apfelsorte 'Golden Delicious'. *Gartenbauwiss* (32): 423–444.

Link H. 1986. Einfluß von Ausdünnungsmitteln auf die Fruchtqualität bei Apfel. *VDLUFA* (20): 797–808.

Link H. 2000. Significance of flower and fruit thinning on fruit quality. *Plant Growth Regulation* (31): 17–26.

Schauer N. , Semel Y., Roessner U., Gur A., Balbo I., Carrari F., Pleban T., Perez-Melis A., Bruedigam C., Kopka J., Willmitzer L., Zamir D. e Fernie A.R. 2006. Comprehensive metabolic profiling and phenotyping of interspecific introgression lines for tomato improvement. *NatBiotechnol* (24): 447-454.

Schumacher R. e Stadler W. 1987. Zusatzpräparate verbessern die Ausdünnungswirkung von Naphthylacetamid. *Schweiz Zeitschr Obst-Weinbau* (123): 248–252.

Szot I. 2010. Flower and fruit thinning effects on the development and quality of 'šampion' Apple fruits. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 18(2): 129-138.

Wünsche J. N., Palmer J. W. e Greer D. H. 2000. Effects of crop load on fruiting and gas-exchange characteristics of 'Braeburn'/M.26 apple trees at full canopy. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(1):93–99.

Yuri J.A., GonzálezTalice J., Verdugo J. e del Pozo A. 2011. Responses of fruit growth, quality, and productivity to crop load in apple cv. Ultra Red Gala/MM111. *Scientia Horticulturae* (127): 305–312.