



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZA E TECNOLOGIE ALIMENTARI

**CARATTERIZZAZIONE REOLOGICA
DELLA FRAGOLA A SUPPORTO DELLA
QUALITA' CERTIFICATA**

*RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF STRAWBERRY
SUPPORTING QUALITY CERTIFICATION*

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
LORENZO FARNESI

Primo Relatore:
PROF. PASQUALE M. FALCONE

Secondo Relatore:
LUCA MAZZONI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

A Sara, Cristiano e Alice.

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE	5
ELENCO DELLE FIGURE	6
OBIETTIVI.....	8
CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE.....	9
1.1 Rilevanza nazionale ed internazionale del mercato di riferimento	9
1.2 Qualità.....	10
1.2.1 Qualità commerciale.....	10
1.2.2 Qualità nutrizionale	12
1.2.3 Qualità salutistica	13
1.2.4 Qualità sensoriale	15
1.2.4.1 Texture.....	17
1.2.4.2 Il ruolo delle pareti cellulari	21
1.2.4.3 Effetto della maturazione.....	21
1.3 Shelf life	22
1.3.1 Fattori di prodotto.....	22
1.3.2 Fattori ambientali	25
1.4 Operazioni di raccolta e post-raccolta.....	27
1.4.1 Gestione della raccolta e della movimentazione	27
1.4.2 Gestione della temperatura	27
1.4.3 Confezionamento in atmosfera modificata.....	28
1.4.4 Rivestimenti commestibili.....	29
CAPITOLO 2 - MATERIALI E METODI	31
2.1 Campioni di fragola.....	31
2.2 Colore.....	33
2.3 Dimensionamento	34
2.4 Prove reologiche.....	34
2.4.1 Rilassamento degli sforzi in compressione	34

2.4.2 Rilassamento degli sforzi in penetrazione	36
2.4.3 Durometro	36
2.4.4 Penetrometro	38
2.5 Panel test	39
CAPITOLO 3 - RISULTATI E DISCUSSIONE.....	42
3.1 Classificazione dei frutti sulla base del diametro geometrico medio e ai parametri colorimetrici	42
3.2 Modellazione del comportamento reologico della fragola su scala cellulare .	44
3.3 Analisi sensoriale descrittiva e quantitativa.....	52
3.4 Interplay tra le proprietà reologiche fondamentali, empiriche e sensoriali.....	52
3.5 Classificazione e identificazione non supervisionata dei genotipi di fragola .	56
CAPITOLO 4 – CONCLUSIONI	58
FIGURE E TABELLE	61
BIBLIOGRAFIA.....	87
RINGRAZIAMENTI.....	93

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1 - Stime dei parametri del modello reologico che descrive il rilassamento dello sforzo in condizioni di penetrazione stazionaria (25%) di frutto intero di 13 genotipi di fragola.....	73
Tabella 2 - Stime dei parametri del modello reologico che descrive il rilassamento dello sforzo in condizioni di compressione stazionaria (0.5 mm) di mezzo frutto di 9 genotipi di fragola.....	74

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1 - Immagini fotografiche dei genotipi di fragola oggetto di studio. Vista radiale e assiale (calice).	61
Figura 2 - Distribuzione delle fragole rispetto al diametro medio geometrico (DME).	66
Figura 3 - Distribuzione del peso e del diametro geometrico medio delle fragole in 4 classi dimensionali.	67
Figura 4 – Distribuzione dei parametri colorimetrici rilevati su 13 genotipi di fragola.	68
Figura 5 – Distribuzione dei parametri colorimetrici per genotipo di fragola (13 genotipi).	69
Figura 6 - Spettro reologico del rilassamento degli sforzi in condizioni di compressione stazionaria (0.5 mm) del frutto intero (a) e in condizioni di penetrazione stazionaria (25%) in mezzo frutto (b) di diversi genotipi di fragola. ...	70
Figura 7 - Ipotesi delle relazioni struttura-comportamento reologico degli assemblaggi dei polimeri della parete cellulare nei tessuti della cuticola e del parenchima della fragola.	71
Figura 8 - Modellazione matematica dello spettro di rilassamento degli sforzi in condizione di compressione stazionaria (0.5 mm) di frutto intero di fragola “AN16-34-S5”.	72
Figura 9 - Ipotesi dell’effetto della sollecitazione meccanica sulla resistenza alla frattura della parete cellulare o allo slittamento lungo la lamella mediana all’interno dei tessuti di fragola.	75
Figura 10 - Risultati dell’analisi della varianza ANOVA basata su alcune proprietà reologiche fondamentali (EPR, SFi) ed empiriche (durometro) rilevate sul frutto intero.	76
Figura 11 - Risultati dell’analisi della varianza ANOVA basata su alcune proprietà reologiche fondamentali (EPR, SFi) ed empiriche (penetrometro) rilevate sul mezzo frutto.	77
Figura 12 - Effetto del diametro geometrico medio sulle misure reologiche empiriche e fondamentali - analisi della varianza ANOVA.	78
Figura 13 - Cedimento strutturale dei tessuti superficiali durante una sollecitazione ciclica (a) che comporta una deformazione dello 0.5% rispetto allo spessore radiale massimo iniziale (simulazione delle condizioni di trasporto di fragole stratificate) e corrispondente perdita di resistenza meccanica (b).	79
Figura 14 - Profilo analitico quantitativo degli attributi sensoriali rilevato dal panel sensoriale addestrato comparativo di diversi genotipi di fragola.	80
Figura 15 - Risultati dell’analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA) utilizzando come variabili attive alcune proprietà	

reologiche fondamentali ed empiriche (blu) rilevate sul frutto intero. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).....	81
Figura 16 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA, ROMINA, AN13-13S5, AN14-12-S8, AN15-07-S3, DINA) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche (blu) rilevate sul frutto intero. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).....	82
Figura 17 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA, AN16-42-S4) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche (blu) rilevate sul frutto intero. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).....	83
Figura 18 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN15-07-S3, ROMINA, DINA) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali rilevate sul mezzo frutto e di alcune proprietà empiriche rilevate sul mezzo frutto. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).....	84
Figura 19 - Sviluppo di un modello decisionale per la previsione di classificazione non supervisionata di 13 genotipi di fragola (20 campioni per genotipo) basato sull'algoritmo di decisione ad albero per l'individuazione di cutoff per due proprietà reologiche (EPR, Fmin) che descrivono il rilassamento degli sforzi in condizione di compressione costante (0.5 mm). Il set di dati per la validazione (Test sample) del modello è pari al 25% di quello utilizzato per lo sviluppo (Analysis sample).	85
Figura 20 - Sviluppo di un modello decisionale per la previsione di classificazione non supervisionata di 9 genotipi di fragola (40 campioni per genotipo) basato sull'algoritmo di decisione ad albero per l'individuazione di cutoff per due proprietà reologiche (EPR, Fmin) che descrivono il rilassamento degli sforzi in condizione di penetrazione costante (25 % dello spessore massimo iniziale). Il set di dati per la validazione (Test sample) del modello è pari al 25% di quello utilizzato per lo sviluppo (Analysis sample).....	86

OBIETTIVI

La qualità commerciale e sensoriali della fragola (durezza, succosità, croccantezza, dimensioni, colore, uniformità, distribuzione degli acheni, calice, contenuto in zuccheri) dipende da numerosi fattori che includono il genotipo e le condizioni di raccolta, confezionamento, stoccaggio, trasporto, manipolazione e processo orale. La possibilità di verificare in modo attendibile e verificabile la qualità commerciale e sensoriale della fragola richiede la disponibilità di misure oggettive e ripetibili, soprattutto nella prospettiva di una possibile certificazione di parte terza finalizzata al riconoscimento di un marchio di qualità collettivo (DOP, IGP, AS, STG) che, per sua natura, tutela l'autenticità (genotipo) prima ancora che le proprietà del frutto. In questa prospettiva, il lavoro di tesi si è posto un obiettivo tecnologico e un obiettivo scientifico. L'obiettivo tecnologico è stato quello di mettere a punto un metodo strumentale basato sull'approccio reologico per la misura accurata delle proprietà di struttura strettamente legate alla qualità commerciale e sensoriale della fragola appartenente a diversi genotipi. È stato possibile simulare la capacità dei tessuti di subire variazioni di resistenza meccanica dovuti alle condizioni di confezionamento e di trasporto. L'obiettivo scientifico è stato quello di individuare le relazioni di dipendenza tra le proprietà reologiche e la composizione delle pareti cellulari e della lamella mediana dei principali tessuti della fragola (cuticola e tessuto parenchimatico sottostante). L'acquisizione su larga scala di queste informazioni, includendo un numero sempre maggiore di genotipi e una maggiore numerosità campionaria, consentirebbe la costruzione di un dataset utile per il breeding dei genotipi esistenti e per i programmi di miglioramento genetico finalizzati al conseguimento di più elevate caratteristiche di qualità commerciale e sensoriale.

Capitolo 1 - INTRODUZIONE

1.1 Rilevanza nazionale ed internazionale del mercato di riferimento

La produzione globale di fragole, negli ultimi decenni, è aumentata in termini di superficie coltivata in seguito alla crescente domanda di prodotto. Nel 2021 la produzione mondiale è stata valutata 14 miliardi di dollari (FAO ONU, 2021). La Cina è il più grande produttore di fragole al mondo, con un fatturato di 5 miliardi di dollari, oltre 3 volte il valore del secondo produttore più grande, gli Stati Uniti d'America. Negli Stati Uniti, la California produce la maggior parte del raccolto di fragole (91%), seguita dalla Florida (8%), che produce principalmente per il mercato invernale (Hernández-Martínez N. R. et al., 2023).

Per quanto riguarda l'Europa, la coltivazione delle fragole è diffusa in molti Paesi per una produzione annua in piena area di circa 1,2 mln di tonnellate nel 2019 (Eurostat, 2019). La coltivazione in serra e tunnel prolunga la campagna commerciale di molti Paesi produttori sia continentali (Belgio, Germania, Olanda, Polonia), sia mediterranei (Italia e Spagna), ma non sempre consente di soddisfare completamente la domanda interna. L'export è quindi prevalentemente alimentato dal "gap" di offerta tra i Paesi mediterranei (comunitari e non) e la domanda dei mercati dell'Europa del Nord. Gli scambi commerciali tra i Paesi membri dell'Ue-27 "post brexit" (quindi escluso il Regno Unito, Paese importatore netto di fragole) al termine del quinquennio 2015-19 hanno superato i 900 mln di euro, con un incremento del valore intorno al 20% nel periodo considerato. A sua volta, il commercio intra-comunitario in volume è salito da 360 a oltre 400.000 t.

L'Italia ha condizioni climatiche adatte per la produzione di fragole e una posizione geografica ideale per rifornire anche altri Paesi oltre a quelli del Nord Europa, ma la competizione nel mercato è condizionata dalla leadership produttiva e commerciale della Spagna, che detiene saldamente la leadership dell'export tra i 27 Paesi membri dell'Ue. Il paese iberico incide per oltre il 60% dei volumi di fragole diretti verso gli altri stati membri, precedendo il Benelux (30%), la Grecia e l'Italia. La Spagna rifornisce con continuità l'Europa del Nord. La quasi totalità della produzione iberica proviene dalla provincia di Huelva, in Andalusia. In quest'area le superfici investite a fragole si stima coprano 6.705 ha (-2% sul 2019-20) su un totale destinato ai piccoli frutti di oltre 11.000 ha (Rivista di frutticoltura e ortofrutticoltura, 2021).

In Italia la superficie totale dedicata alla coltivazione di fragola è di 1.715 ha, con una produzione totale di 29.510 tonnellate nel 2023 (Istat). La produzione italiana di fragola non è sufficiente per soddisfare la domanda interna, infatti, nel 2023 sono state importate 1.634 tonnellate di prodotto; tuttavia, è stata registrata una riduzione del 60% rispetto al 2022 in termini di volume importato (Istat).



Figura 1 - Produzione globale di fragola in tonnellate dal 2000 al 2019 (Producepay, 2021).

1.2 Qualità

In ambito agroalimentare la parola qualità assume molteplici significati in funzione di fattori collegati alla società ed alle attività antropiche come usi e consuetudini, cultura e religione, innovazione ed evoluzione tecnologica.

La norma UNI EN ISO 8402 definisce il concetto di qualità come ‘l’insieme delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare le esigenze esplicite ed implicite dell’utente’.

1.2.1 Qualità commerciale

Il consumatore di fragola è sempre più legato ed influenzato dalla marca del prodotto, in quanto è garanzia di qualità. A tal proposito si possono identificare tre parametri, utilizzabili per la definizione della qualità commerciale del prodotto, quali: territorio di provenienza, varietà e marca.

La marca offre al consumatore la certezza di un elevato standard qualitativo nelle diverse stagioni attraverso il ricorso, nelle differenti aree produttive, alle migliori varietà (mix di origine e varietà).

Il luogo di produzione è molto importante e alcune società stanno cercando di promuovere questo concetto, seguendo fortemente le indicazioni fornite dal consumatore.

Negli ultimi anni sta acquistando particolare interesse da parte del consumatore la produzione biologica. Il valore aggiunto per la fragola coltivata in biologico è notevole e deriva dal fatto che, in genere, la coltivazione convenzionale prevede un notevole numero di trattamenti antiparassitari, quindi, il concetto di 'biologico' che implica di non utilizzare pesticidi attira numerosi consumatori.

Purtroppo, la fragola 'bio' non significa sempre fragola di 'buona qualità' in quanto spesso le varietà coltivate in biologico non forniscono un'elevata qualità organolettica. La fragola 'bio' garantisce sicuramente un valore aggiunto per il prodotto, ma deve anche essere di elevato standard qualitativo e avere i parametri garantiti dalla produzione tradizionale (frutticoltura, 2013).

L'Italia ha condizioni climatiche adatte per la produzione di fragole e una posizione geografica ideale per rifornire anche altri Paesi oltre a quelli del Nord Europa, ma in uno scenario in cui la competizione nel mercato è condizionata dalla leadership produttiva e commerciale della Spagna si deve evitare una strategia basata sul prezzo e puntare invece su un'offerta di alta qualità destinata a nicchie di mercato globali. Una valida possibilità per poter proporre un prodotto di alta qualità è la certificazione, quindi la qualità in un ambito regolamentato, riconosciuta a livello nazionale ed internazionale. Il portale MIPAAF (Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali), permette di accedere all'elenco di tutti i prodotti certificati DOP (Denominazione di Origine Protetta), IGP (Indicazione Geografica Protetta) e STG (Specialità Tradizionale Garantita); consultando il portale si può osservare che, ad oggi (2023), non esiste una fragola certificata DOP o IGP.

Entro i primi mesi del 2024 entrerà in vigore il nuovo testo unico europeo che alzerà le garanzie riservate alle denominazioni protette e rafforzerà il ruolo dei consorzi e la trasparenza verso i consumatori; questa riforma rappresenta un ulteriore incentivo per i produttori ad entrare nell'ambito della qualità certificata.

Tra le novità introdotte dal Parlamento e dal Consiglio con il nuovo testo unico ci sono:

- Maggior riconoscimento per i produttori;
- Maggiore tutela per la produzione primaria;

- Semplificazione delle procedure, il regime europeo di qualità legato alle GIs (Geographical Indications) in precedenza articolato in apposite discipline per i prodotti alimentari, i vini e le bevande spiritose, trova ora sintesi in un unico quadro giuridico. La procedura di registrazione è stata semplificata e il suo esame avrà una durata di 6 mesi, prorogabile per altri 3 mesi qualora siano necessarie ulteriori informazioni;
- Protezione rafforzata delle GIs, i nomi e la notorietà delle GIs non possono venire sfruttati indebitamente, neppure quando esse vengano utilizzate come ingredienti di altri prodotti. In questi casi, il loro richiamo al di fuori della lista degli ingredienti sarà ammesso solo previo accordo scritto con l'associazione dei produttori (i.e. consorzio di tutela) ovvero, in sua assenza, mediante accordo sottoscritto dalla maggioranza dei produttori. Gli Stati membri dovranno tutelare la reputazione delle Geographical Indications dovranno prevenire o far cessare l'uso dei nomi di prodotti o servizi e nomi di domini web che violano la protezione delle GIs. EUIPO (European Union Intellectual Property Office) verrà incaricata di controllare la registrazione nell'Unione di nomi di dominio impropri, attraverso un sistema di monitoraggio e allerta sulle possibili non-conformità;
- Incentivi alle 'pratiche di sostenibilità';
- Divieto di sfruttamento indebito della notorietà (GIFT, 2023).

1.2.2 *Qualità nutrizionale*

La fragola è composta prevalentemente di acqua (circa il 90%); ha un basso potere calorico (33 Kcal per 100g di prodotto) e costituisce una fonte di fibre, vitamine, sali minerali ed antiossidanti che pur non avendo potere nutritivo, esercitano un forte effetto protettivo nei confronti della nostra salute. In misura minore, le fragole sono una fonte di acidi grassi sani ed essenziali dato che l'olio di semi di fragola è ricco di acidi grassi insaturi (72% di acidi grassi polinsaturi) (US Department of Agriculture, 2010). Grande interesse si è sviluppato nei confronti delle fragole per il loro contenuto estremamente elevato di vitamina C, che le rende un'importante fonte di questa vitamina per l'alimentazione umana (Scalzo J., et al., 2005). Insieme alla vitamina C, il folato gioca un ruolo cruciale nel sottolineare il contenuto di micronutrienti della fragola se si considera che, tra i frutti, è una delle fonti naturali più ricche di questo micronutriente essenziale; il suo contenuto è considerato compreso tra 20 e 25 mg/100 g di peso fresco. Inoltre la fragola, anche se in misura minore, è fonte di numerose altre vitamine, come la tiamina, la riboflavina, la niacina, la vitamina B6, la vitamina K, la vitamina A e la vitamina E.

Il frutto è anche ricco di manganese, tanto che una porzione di fragole con bacche medie, corrispondenti a 144 g, può fornire più del 20% dell'apporto giornaliero adeguato di questo minerale. La stessa quantità di fragole può fornire circa il 5% dell'apporto adeguato di potassio ed è stata qualificata come una buona fonte di iodio, magnesio, rame, ferro e fosforo.

Oltre a questi composti nutritivi, le fragole contengono una varietà di componenti non nutritivi, i composti fenolici (flavonoidi, acidi fenolici, lignani e tannini).

Type	Nutrient	Per 100 g
Proximates	Water (g)	90.95
	Energy (kcal)	32
	Protein (g)	0.67
	Ash (g)	0.40
	Total lipid (g)	0.30
	Carbohydrate (g)	7.68
	Dietary fiber (g)	2.0
	Sugars (g)	4.89
	Sucrose (g)	0.47
	Glucose (g)	1.99
Minerals	Fructose (g)	2.44
	Calcium (mg)	16
	Iron (mg)	0.41
	Magnesium (mg)	13
	Phosphorus (mg)	24
	Potassium (mg)	153
	Sodium (mg)	1
	Zinc (mg)	0.14
	Copper (mg)	0.048
	Manganese (mg)	0.386
Vitamins	Selenium (µg)	0.4
	Vitamin C (mg)	58.8
	Thiamin (mg)	0.024
	Riboflavin (mg)	0.022
	Niacin (mg)	0.386
	Pantothenic acid (mg)	0.125
	Vitamin B6 (mg)	0.047
	Folate (µg)	24
	Choline (mg)	5.7
	Betaine (mg)	0.2
	Vitamin B12 (µg)	0
	Vitamin A, RAE (µg)	1
	Lutein + zeaxanthin (µg)	26
	Vitamin E, α-tocopherol (mg)	0.29
	β-tocopherol (mg)	0.01
γ-tocopherol (mg)	0.08	
δ-tocopherol (mg)	0.01	
Vitamin K, phylloquinone (µg)	2.2	

Figura 2 - Composizione nutrizionale della fragola (US Department of Agriculture, 2010).

1.2.3 Qualità salutistica

La fragola rappresenta una scelta alimentare sana. Il contenuto di fibre alimentari e fruttosio può contribuire a regolare i livelli di zucchero nel sangue rallentando la digestione, inoltre, il contenuto di fibre contribuisce anche a controllare l'apporto calorico grazie al suo effetto

saziente (Giampieri F. et al., 2012). La vitamina C svolge un ruolo importante in molte funzioni metaboliche, è un antiossidante che protegge il corpo dagli effetti dannosi dei radicali liberi e viene utilizzato come agente terapeutico in molte malattie e disturbi; inoltre protegge il sistema immunitario, riduce la gravità delle reazioni allergiche e aiuta a combattere le infezioni. Sono in fase di studio gli effetti della vitamina C su malattie come il cancro, l'aterosclerosi, il diabete di tipo 2, le malattie neurodegenerative e la tossicità dei metalli (Carr A. C. and Maggini S., 2017). Tra le vitamine del gruppo B attenzione è stata posta alla presenza dei folati. Il folato è considerato un componente alimentare essenziale coinvolto in numerose vie metaboliche, principalmente nelle reazioni di trasferimento del carbonio, come la biosintesi delle purine e delle pirimidine e l'interconversione degli amminoacidi. Il folato ha un effetto protettivo contro i difetti del tubo neurale, gli eventi ischemici e il cancro. Tra le altre cose, la carenza di folati determina una riduzione dei livelli di metionina e un aumento dei livelli di omocisteina. La principale fonte di folato è il cibo, soprattutto di origine vegetale, ma viene sintetizzato anche dai batteri intestinali (Iyer R. and Tomar S., 2009) (Shulpekova Y. et al., 2021).

Per quanto riguarda il contenuto di composti polifenolici, i flavonoidi sono la classe più rappresentata ed includono flavonoli, flavanoli e antociani; i flavanoli includono catechina ed epicatechina, mentre i flavonoli includono kaempferolo e quercetina (Wang S.Y. and Zheng W, 2001). Questi composti svolgono un ruolo protettivo nella cancerogenesi riducendo la biodisponibilità degli agenti cancerogeni e grazie alla presenza di flavonoidi, le fragole riducono il grado di ossidazione del colesterolo LDL. Tuttavia, il gruppo più importante di flavonoidi presenti nelle fragole sono gli antociani e circa il 70% della capacità antiossidante totale del frutto proviene da questi ultimi. L'antocianina principale presente nelle fragole è la pelargonidina 3-glucoside, che è stata segnalata per avere effetti antinfiammatori. Gli altri antociani presenti nelle fragole sono la pelargonidina 3-rutinoside e la pelargonidina 3-glucoside-succinato (Amini A.M. et al., 2017). Importanti acidi fenolici nelle fragole sono gli ellagitannini e i glucosidi dell'acido ellagico, che si scompongono in acido ellagico puro, presente anche nel frutto (Cerdeira B. et al., 2005). L'acido ellagico è prezioso per la salute umana perché è antimutageno e ha attività anticarcinogene contro i tumori indotti da sostanze chimiche (Sharifi-Rad J. et al., 2022) (Newerli-Guz J., et al., 2023).

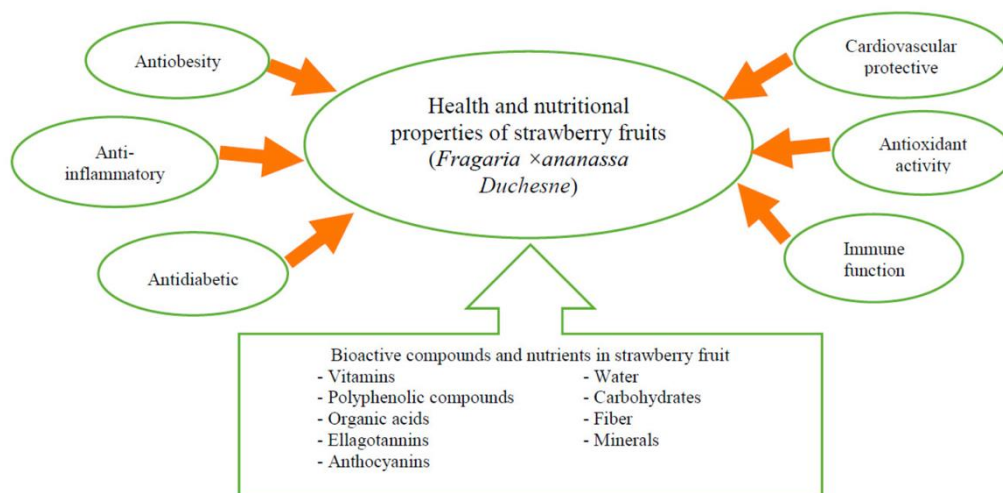


Figura 3 - Nutrienti e composti bioattivi presenti nella fragola, ed il loro impatto sulla salute umana.

1.2.4 Qualità sensoriale

È risaputo che le fragole sono frutti consumati da molte persone ed ogni consumatore si aspetta che siano gustose e belle. Gli acidi organici sono le sostanze che, assieme ai saccaridi, hanno il maggiore impatto sull'appetibilità dei frutti di fragola e sulle loro caratteristiche sensoriali (Ikegaya A. et al., 2019). Gli acidi organici che si trovano in maggior quantità nella fragola sono l'acido malico e l'acido citrico, in minor quantità sono stati identificati l'acido tartarico, succinico, ossalico, gallico e cumarico (Cao X. Et al., 2018) (Ruan J. et al., 2018). La distribuzione degli acidi organici nel frutto è quasi uniforme in tutta la polpa, a differenza degli zuccheri, che sono concentrati maggiormente nella parte superiore del frutto piuttosto che nel peduncolo; questo è un aspetto da tenere in considerazione quando si sperimentano le sensazioni gustative in quanto la parte superiore della fragola è più dolce rispetto al peduncolo, che risulta più acido. La maturazione della fragola ha come risultato l'accumulo di zuccheri composti e di acidi organici. Durante lo sviluppo del frutto, il saccarosio viene continuamente prodotto, grazie alla fotosintesi clorofilliana e successivamente idrolizzato in glucosio e fruttosio; questi tre carboidrati costituiscono i principali zuccheri solubili delle fragole mature, grazie al loro continuo accumulo durante la maturazione. Due molecole chiave nell'aroma delle fragole sono il furaneolo e il metossifosanololo, le cui concentrazioni aumentano man mano che il frutto cresce, raggiungendo il picco a maturazione completata. Quindi sono molti i composti che contribuiscono al sapore di una fragola, tramite un sofisticato equilibrio tra dolcezza e acidità; la dolcezza si sviluppa mentre le fragole maturano, un processo guidato

dall'ormone auxina, mentre l'acidità, principalmente dovuta all'acido citrico, diminuisce durante il processo di maturazione. Bisogna però, tener conto del fatto che la cultivar, le condizioni ambientali e le loro interazioni influenzano le caratteristiche del frutto, alterandone la composizione (Pepe S. et al., 2020). Una delle caratteristiche qualitative più importanti delle fragole è un attraente colore rosso, che deriva dagli antociani (un gruppo di pigmenti idrosolubili con proprietà antiossidanti). I principali antociani presenti nelle fragole sono la pelargonidina-3-glucoside e la cianindina-3-glucoside, che sono quindi responsabili del colore rosso brillante.

Gunness P. et al. (2009), in uno studio, hanno messo a confronto l'analisi sensoriale del singolo frutto di fragola con l'analisi strumentale. Il metodo ha consentito di quantificare la variazione da frutto a frutto degli attributi sensoriali e delle proprietà strumentali. Nell'esperimento, un gruppo addestrato ha valutato le caratteristiche sensoriali di metà di un frutto di fragola, mentre l'altra metà è stata contemporaneamente valutata per il contenuto di solidi solubili (SSC), il pH, l'acidità titolabile (TA), la consistenza e le sostanze volatili. Per l'esperimento è stata scelta la cultivar di fragola "Albion" poiché le bacche sono simmetriche e pesano 24 g o più. Per caratterizzare le variazioni tra i singoli frutti di fragola, sono stati studiati due livelli di maturità: 3/4 rosso (bianco sotto i sepal) e 4/4 rosso.

L'analisi sensoriale è stata eseguita secondo gli standard sensoriali stabiliti (standard ISO 8586-1, 1993). L'odore è stato valutato per il fruttato (fruity), l'erbosità (grassy) e l'intensità dell'odore (intense) mentre il sapore è stato analizzato per la dolcezza, l'acidità, l'amaro, il sapore fermentato, l'intensità del sapore e il retrogusto. La struttura è stata descritta e analizzata in termini di consistenza, succosità (juicy), seminatività (seedy) e consistenza fibrosa del frutto. Sono state effettuate due serie di prove: in un test (Test Individuale), la valutazione sensoriale è stata condotta su singoli frutti semifreschi; nell'altro test (Bulk Test), la valutazione è stata effettuata su campioni di purea sfusa.

Dallo studio è emerso che alcune caratteristiche sensoriali erano meglio valutate sul singolo frutto piuttosto che su campioni di purea sfusa, in particolare l'odore di fragola era meglio analizzato sul singolo frutto. L'aroma del frutto della fragola è molto complesso in quanto il sapore caratteristico è dato da una miscela di almeno 360 composti volatili (Dirinck et al., 1981; Kader, 1991). La combinazione e l'intensità di questi composti volatili variano in funzione della cultivar (Hakala et al., 2002), della stagione, delle condizioni agricole e climatiche di crescita (Zabetakis e Holden, 1997) e della manipolazione post-raccolta del frutto (Forney et al., 2000). La dolcezza e l'acidità della fragola, in media, erano state valutate in modo simile per la purea sfusa e per i singoli campioni di frutta dello stesso raccolto; nella

purea l'equilibrio zuccheri-acidi del frutto non sembrava essere intaccato. La variazione delle proprietà sensoriali critiche: odore fruttato, sapore dolce e retrogusto aromatico erano dovute principalmente a variazioni da frutto a frutto, mentre gli altri attributi sensoriali mostravano variazioni simili nei singoli frutti e nei campioni di purea sfusa. Le variazioni nella consistenza tra i singoli frutti erano ampie, in media, le fragole erano più sode a 3/4 del livello di maturazione rispetto a 4/4.

Questo studio suggerisce che la variazione da frutto a frutto è sostanziale in SSC, TA, consistenza del frutto e caratteristiche sensoriali come “odore fruttato”, “sapore dolce” e “retrogusto”, mentre altre caratteristiche mostrano variazioni simili tra i partecipanti al panel, sia per i singoli frutti che per le puree sfuse. Inoltre, le caratteristiche aromatiche individuali del frutto erano correlate con le proprietà biofisiche del frutto.

1.2.4.1 Texture

La consistenza viene considerata non tanto come assenza di difetti (presenza/assenza di danneggiamenti), ma come un attributo di qualità positivo che denota freschezza del prodotto, eccellenza nella preparazione del cibo e contributo al piacere di mangiare.

È stato raggiunto un accordo generale sulla definizione di struttura che si è evoluta dagli sforzi di un certo numero di ricercatori; si afferma che “la consistenza è la manifestazione sensoriale e funzionale delle proprietà strutturali, meccaniche e superficiali degli alimenti rilevate attraverso i sensi della vista, dell'udito, del tatto e della cinestesia”. Questa definizione trasmette concetti importanti come:

-la consistenza è una proprietà sensoriale e, quindi, solo un essere umano (o un animale nel caso del cibo animale) può percepirla e descriverla. Gli strumenti cosiddetti texture testing sono in grado di rilevare e quantificare solo alcuni parametri fisici che poi devono essere interpretati in termini di percezione sensoriale;

-è un attributo multiparametrico;

-deriva dalla struttura dell'alimento (molecolare, microscopica o macroscopica);

-viene rilevato da diversi sensi, i più importanti sono il tatto e la pressione.

Szczesniak (1963) ha sviluppato un sistema organizzato per la classificazione delle caratteristiche strutturali in 3 gruppi: meccaniche, geometriche e compositive. Le caratteristiche meccaniche sono state suddivise in 5 parametri fondamentali (durezza, coesione, viscosità, elasticità e adesività) e 3 parametri secondari (fragilità, masticabilità e gommosità). Le caratteristiche geometriche comprendevano 2 gruppi generali: quelli relativi

alla dimensione e alla forma e quelli relativi alla forma e all'orientamento. Le caratteristiche compositive erano principalmente legate al contenuto di umidità e di grasso.

	Physical	Sensory
<i>Primary properties</i>		
Hardness	Force necessary to attain a given deformation	Force required to compress a substance between molar teeth (in the case of solids) or between tongue and palate (in the case of semi-solids).
Cohesiveness	Extent to which a material can be deformed before it ruptures.	Degree to which a substance is compressed between the teeth before it breaks.
Viscosity	Rate of flow per unit force.	Force required to draw a liquid from a spoon over the tongue.
Springiness	Rate at which a deformed material goes back to its undeformed condition after the deforming force is removed	Degree to which a product returns to its original shape once it has been compressed between the teeth
Adhesiveness	Work necessary to overcome the attractive forces between the surface of the food and the surface of the other materials with which the food comes in contact.	Force required to remove the material that adheres to the mouth (generally the palate) during the normal eating process.
<i>Secondary properties</i>		
Fracturability	Force with which a material fractures: a product of high degree of hardness and low degree of cohesiveness.	Force with which a sample crumbles, cracks, or shatters.
Chewiness	Energy required to masticate a solid food to a state ready for swallowing: a product of hardness, cohesiveness and springiness	Length of time (in sec) required to masticate the sample, at a constant rate of force application, to reduce it to a consistency suitable for swallowing.
Gumminess	Energy required to disintegrate a semi-solid food to a state ready for swallowing: a product of a low degree of hardness and a high degree of cohesiveness.	Denseness that persists throughout mastication; energy required to disintegrate a semi-solid food to a state ready for swallowing.

Figura 4 - Parametri meccanici per la definizione della texture di un alimento (Civille and Szczesniak, 1973).

La texture del frutto deriva dalla pressione di turgore, dalla composizione delle singole pareti cellulari vegetali e dalla lamella centrale che tiene insieme le singole cellule. La TPA (Texture Profile Analysis) è uno dei metodi più utilizzati per determinare i parametri di consistenza primari (durezza, coesività, viscosità, elasticità, adesività) e i parametri di consistenza secondari (fratturabilità, gommosità, masticabilità), che si basano sul processo di masticazione. Il test si basa sull'applicazione di due cicli dinamometrici in successione. Ogni ciclo è composto da due fasi: una compressione, durante la quale il campione viene compresso di una percentuale della sua altezza normale (diversa a seconda del tipo di prodotto considerato); il materiale viene compattato e, al termine dello sforzo, si ottiene un picco massimo; segue una decompressione, durante la quale il campione recupera una parte della sua forma iniziale. Dopo un certo periodo di tempo (stabilito in base al tipo di prodotto da analizzare) inizia la seconda compressione e il ciclo si ripete. Dal momento, però, che gli alimenti non sono materiali del tutto elastici, la struttura interna del campione durante il secondo ciclo cambia e la risposta del prodotto sarà diversa. Nello specifico, il secondo profilo

di texture sarà tanto più diverso dal precedente quanto più la struttura del materiale sarà stata modificata dalla prima sequenza di compressione/decompressione. La curva ottenuta al termine del test permette di definire i parametri di consistenza del prodotto.

Tra i diversi parametri meccanici che definiscono la texture, la succosità (juiciness) è da tempo riconosciuta come un attributo strutturale altamente desiderabile.

Szczesniak A. S. e Ilker R. (1988), in uno studio, hanno definito il concetto di succosità negli alimenti vegetali e analizzato tutti i fattori che possono influenzare questa proprietà meccanica. Sulla base dei dati analitici e strutturali, i seguenti fattori sono stati identificati come prerequisiti per la succosità: elevato contenuto di acqua, rete cellulare organizzata con adeguato turgore e integrità, pareti cellulari meccanicamente più deboli della lamella centrale, bassa viscosità e pochi solidi sospesi nel liquido espresso.

Il contenuto di acqua è il parametro più importante che differenzia il tessuto vegetale succoso da quello non succoso, poiché senza un contenuto significativo di acqua non può esserci “fluido estraibile”. I frutti succosi contengono tipicamente l'80% di acqua, quindi, la fragola rientra in questa categoria (90% di acqua).

Un altro parametro molto importante da cui dipende la succosità del frutto è la resistenza della parete cellulare. La rigidità meccanica della parete cellulare è fornita da sostanze pectiche; nella lamella mediana sono presenti anche sostanze pectiche che tengono insieme le cellule. Se le pareti cellulari sono più resistenti della lamella mediana, si verificherà la frattura del tessuto durante la masticazione tra le cellule. Se le pareti cellulari sono più deboli, la frattura avverrà attraverso le cellule. Solo in quest'ultimo caso il liquido all'interno delle cellule verrà rilasciato e il tessuto risulterà succoso. Nel primo caso il liquido risulterà confinato all'interno delle cellule e la percezione sensoriale sarà di “farinosità” e mancanza di succosità.

Affinché il fluido spremuto possa essere chiamato “succo”, dovrebbe essere di bassa viscosità (quindi scorrere facilmente) e dovrebbe contenere una minima quantità di materia sospesa rilevata in bocca come particelle discrete.

In merito alla percezione sensoriale, dallo studio è emerso che la definizione comune di succosità (cioè “la quantità di succo rilasciata durante la masticazione”) è troppo semplicistica e che nella percezione orale della succosità sono coinvolte diverse sensazioni, tra cui: forza con cui il succo schizza fuori, quantità di succo espresso alla prima masticazione e alle successive, consistenza del liquido spremuto e contrasto tra la fase liquida e quella solida (o semisolida, cioè i detriti cellulari). Altri fattori che possono influenzare la percezione sensoriale della succosità sono: sensazione iniziale in bocca (bagnato/asciutto), proprietà meccaniche iniziali (durezza, consistenza, freschezza, ecc.), proprietà meccanico/geometriche

del residuo (fibroso, granulare, polposo, ecc.), ed effetto sulla produzione della saliva (stimolante, riducente, disidratante).

Szczesniak A. S. e Ilker R. (1988), sulla base degli esperimenti effettuati, hanno proposto una scala di succosità di dieci prodotti vegetali, riportata nella figura 5. La scala può essere divisa in più parti: prive di succosità e classificate 0 sono le banane o l'arancia albedo; a bassa succosità, classificati da 1 a 5, sono materiali vegetali altamente metabolici o non dolci; dalla posizione 6 alla 10 ci sono frutti completamente maturi, dolci e con tessuti voluminosi, tra cui la fragola.

<u>Product</u>	<u>Ranking</u>
Watermelon/Persian melon	10
Orange	9
Honeydew melon	8
Strawberry	7
Apple	6
Cucumber	5
Tomato wedge	4
Snap bean	3
Mushrooms	2
Carrot	1
Banana	0

Figura 5 - Scala di succosità di dieci prodotti vegetali proposta da Szczesniak A. S. e Ilker R. (1988).

Dallo studio sono emersi ulteriori criteri di succosità, quali: la massa dell'organo o del tessuto, le dimensioni delle cellule, la chimica e lo spessore della parete cellulare, l'integrità della membrana plasmatica e del tonoplasto e i rapporti citoplasma/vacuolo/parete cellulare. Ovviamente, le cellule più grandi contengono vacuoli più grandi che, a loro volta, rilasciano più succo in caso di lesione. Lo spessore della parete cellulare diminuisce con l'aumentare della succosità sensoriale, questo perché i frutti maturi hanno pareti fortemente erose che contengono probabilmente poca emicellulosa o pectina. I tessuti più giovani o altrimenti specializzati possono contenere grandi quantità di polisaccaridi idrofili nelle loro pareti che possono presentarsi come rinforzi emicellulosici o pectinacei. È stato dimostrato che le valutazioni sensoriali della succosità aumentano con l'aumentare delle dimensioni delle cellule e si correlano ragionevolmente bene alla quantità di liquido rilasciato durante la prima masticazione della masticazione strumentale.

1.2.4.2 Il ruolo delle pareti cellulari

Il cedimento dei tessuti è fondamentale per i principali parametri di qualità organolettica, consistenza e rilascio del sapore. Un elevato livello di pressione di turgore farà sì che i tessuti vengano percepiti come “croccanti” e “fragili”. La pressione di turgore risulta dall'afflusso osmotico di acqua in una cellula come risultato della maggiore concentrazione di soluti all'interno del protoplasto che è delimitato da una membrana semipermeabile (plasma). La pressione di turgore è il motore chiave dell'espansione cellulare, che si verifica quindi come risultato dello slittamento controllato tra i polimeri della parete cellulare. Affinché una cellula possa mostrare turgore, la parete cellulare deve mostrare elasticità in un intervallo di tensioni che contrasta l'afflusso osmotico dell'acqua. Senza elasticità non può esserci turgore, ma solo uno stato rigido o uno stato flaccido (Brett C. T. and Waldron K. W. 1996). La pressione interna delle cellule influenza le proprietà meccaniche dei tessuti. Lin T. e Pitt R. E. (1986) hanno sostenuto che le cellule turgide causano uno stress sulla parete cellulare. I tessuti contenenti cellule turgide sono più croccanti e sono caratterizzati da maggiore rigidità e minore tenacità o lavoro di frattura rispetto ai tessuti flaccidi contenenti cellule con bassa pressione di turgore (Hiller S. e Jeronimidis G. 1996).

1.2.4.3 Effetto della maturazione

La maturazione dei frutti è un processo complesso che comporta generalmente un rammollimento dei tessuti. Ciò è importante per lo sviluppo di proprietà sensoriali accettabili per il consumatore finale. È anche il fattore principale nel determinare il deterioramento post-raccolta dei raccolti di frutta e ha un impatto considerevole sulla durata di conservazione e sulla produzione di rifiuti (parametri di qualità nelle prime fasi della catena alimentare).

Il rammollimento dei tessuti del frutto correlato alla maturazione è generalmente associato e probabilmente dovuto a una diminuzione della forza di adesione cellula-cellula. Di conseguenza, la frattura dei tessuti avviene sempre più per separazione cellulare man mano che la maturazione progredisce. Nei frutti troppo maturi e farinosi, l'elevato livello di separazione cellulare determina uno scarso rilascio del succo e una sensazione di secchezza in bocca. Inoltre, la struttura organolettica dei frutti in maturazione può essere influenzata da cambiamenti di turgore e, nelle fasi successive, da danni alla membrana e disidratazione.

L'interesse nel prolungare la durata di conservazione e la conservazione dei frutti commestibili ha stimolato la ricerca per chiarire i meccanismi biochimici che controllano la maturazione dei frutti. Gran parte di questo si è concentrato sui numerosi enzimi coinvolti nella degradazione della parete cellulare durante la maturazione (Giovannoni J., 2001). I primi studi istochimici

sulla maturazione dei frutti hanno dimostrato la dissoluzione dei polisaccaridi pectici dalla lamella mediana di molti frutti in maturazione. In linea con l'ipotesi di lunga data secondo cui la lamella mediana è generalmente responsabile dell'adesione cellulare, particolare interesse è stato rivolto agli enzimi che modificano i polisaccaridi pectici che arricchiscono quella parte della parete cellulare. Gli enzimi responsabili della modificazione correlata alla maturazione dei polisaccaridi pectici includono: l'endopoligalatturonasi (endo-PG), la pectina metil esterasi (PME) e la -galattosidasi. Durante la maturazione di vari frutti sono stati rilevati anche altri enzimi che degradano le pareti, tra cui cellulasi, xiloglucano endotransglicosilasi (XET) ed espansine (Waldron K. W. et al., 2006).

1.3 Shelf life

La shelf life (che in italiano può essere tradotta come ‘vita commerciale’, ‘vita di scaffale’ o ‘stabilità durante la conservazione’) non è da mettere direttamente in relazione alle norme legislative che regolano ‘il termine minimo di conservazione’ o ‘la data di scadenza’ degli alimenti espressi mediante l’indicazione ‘da consumarsi (preferibilmente) entro’, ma, piuttosto, alla reale durata/stabilità qualitativa durante la conservazione.

Per un produttore determinare la shelf life significa impostare un sistema di controllo analitico dei possibili punti critici di decadimento qualitativo. Si può intendere come shelf life, o vita commerciale di un prodotto, in determinate condizioni di conservazione, il tempo limite entro il quale il progredire di singoli eventi reattivi determini modificazioni impercettibili, o comunque ancora accettabili, sul piano della sicurezza d’impiego.

Nel corso della conservazione e distribuzione, gli alimenti sono esposti ad un elevato numero di fattori in grado di modificare le loro proprietà intrinseche; i fattori responsabili della riduzione (o dell’eventuale aumento) della shelf life della fragola possono essere suddivisi in: fattori di prodotto, fattori ambientali e fattori agronomici.

1.3.1 Fattori di prodotto

La fragola è un frutto non-climaterico, per avere la massima qualità in termini di sapore, gusto e colore, deve essere raccolta a piena maturazione. I principali cambiamenti nella composizione del frutto avvengono solo durante il processo di maturazione e a contatto con la pianta madre. Il rammollimento osservato nella fragola in maturazione deriva dalla sintesi e dal trasporto alla parete cellulare di glicosidasi che degradano la parete.

Le grandi cellule e le sottili pareti cellulari dei frutti di fragola contribuiscono al loro alto livello di suscettibilità ai danni meccanici (abrasioni, tagli, ammaccature e fuoriuscita di succo).

Il danno meccanico è considerato un tipo di stress che si verifica durante la raccolta e la manipolazione post-raccolta dei frutti. Questo stress meccanico è accompagnato da cambiamenti fisiologici e morfologici che interessano il frutto. Le contusioni sono uno dei danni meccanici più importanti che potrebbero verificarsi principalmente a causa di tre tipi di abuso meccanico: impatto, vibrazione e compressione e la fragola mostra più lesioni se sottoposta a compressione.

Questi danni meccanici accelerano l'ossidazione e il deterioramento del prodotto. Inoltre, le fragole sono suscettibili alle infezioni fungine e le aree danneggiate possono facilitare l'infezione.

La resistenza meccanica della fragola dipende da fattori intrinseci e estrinseci.

La fragola fresca è altamente suscettibile ai danni durante la movimentazione meccanica. Xue A., et al. (2020), in uno studio, hanno caratterizzato la meccanica del cedimento della fragola e dei suoi tessuti mediante prove di carico-scarico a diverse velocità di compressione e a diverse direzioni di carico. Il frutto della fragola ha mostrato tre fasi di deformazione, ovvero deformazione elastica, plastica locale e di cedimento strutturale. I loro punti limite dipendevano dalla velocità di compressione e dalla direzione di carico, che è stata ulteriormente convalidata dai corrispondenti processi di imbrunimento.

La figura 6 riporta i risultati ottenuti dalle prove sperimentali.

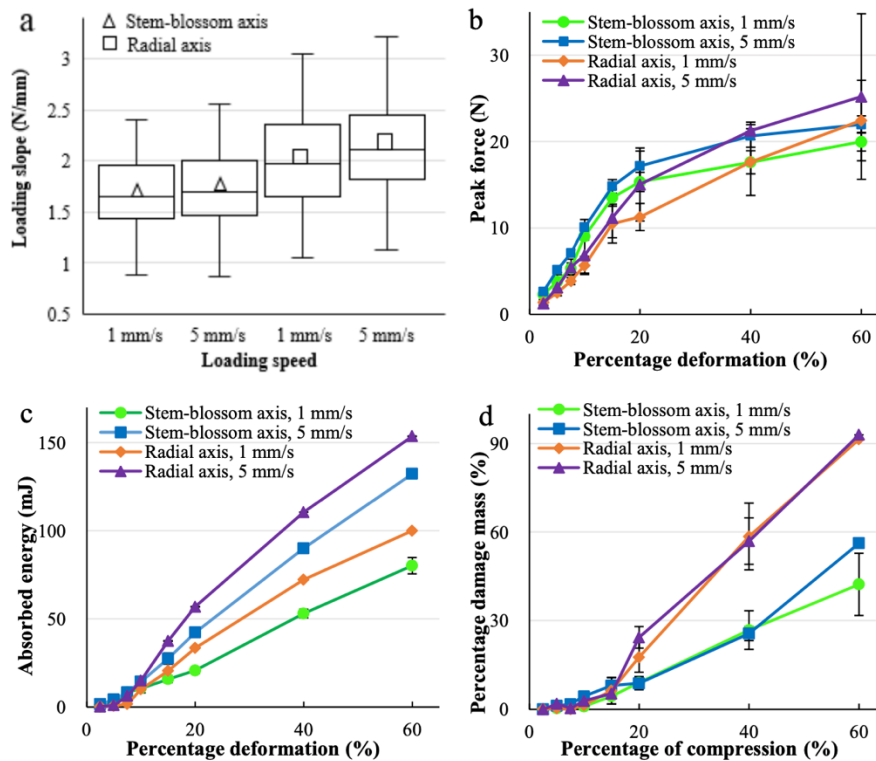


Figura 6 - Pendenza del carico (a) e proprietà meccaniche della fragola sotto compressione (a), (b) e (c). (a) forza di picco, (b) energia assorbita, (c) percentuale di massa danneggiata delle fragole a diverse compressioni (direzione: lungo l'asse fusto-fiore e l'asse radiale / velocità: 1 e 5 mm/s) per ciascuna deformazione percentuale (Xue A., et al., 2020).

Dallo studio è emerso che la forza di picco e l'energia assorbita dipendevano dalla direzione del carico e dalla velocità di compressione mentre la percentuale di massa danneggiata dipendeva solo dalla direzione del carico.

Il frutto era di più suscettibile a danni meccanici quando veniva compresso lungo l'asse fusto-fiore in bassa deformazione percentuale e lungo il suo asse radiale in caso di deformazione percentuale elevata. Una forte correlazione è stata riscontrata tra l'energia assorbita e la percentuale di massa danneggiata del frutto, questo risultato suggerisce che l'energia assorbita potrebbe essere un parametro meccanico appropriato e facilmente misurabile per valutare quantitativamente il grado di danneggiamento dei frutti. Inoltre, è emerso che i tessuti esterni in un frutto di fragola sono più suscettibili ai danni meccanici rispetto ai tessuti interni.

Dalle aziende agricole ai mercati, quindi, una serie di movimentazioni lente e delicate risultano vitali affinché la frutta fresca mantenga un'elevata qualità.

In un altro studio Pădureț S. et al. (2017), hanno valutato i parametri di consistenza di tre varietà di fragola in stretta relazione con la loro anisotropia; le tre varietà (Coral, Darselect ed

Elsanta) erano caratterizzate da diversi stadi di maturazione (quasi mature, mature e sovrature) e tutti i frutti avevano la stessa forma, dimensione e massa.

Per determinare i parametri di consistenza di queste tre varietà di fragole, è stata eseguita una TPA. Per la misurazione dell'anisotropia è stato costruito e brevettato un dispositivo di misurazione optoelettronico, che misura l'irregolarità della deformazione del campione in due direzioni perpendicolari a ciascuna durante la sollecitazione di compressione e trasforma questi valori di deformazione in un coefficiente di anisotropia (K_a) attraverso un software specializzato. Dallo studio è emerso che applicare questo dispositivo di misurazione dell'anisotropia risulta vantaggioso in quanto aumenta la precisione nel determinare le singole caratteristiche di consistenza. La varietà Darselect nei diversi stadi di maturazione ha mostrato il più alto coefficiente di anisotropia, la più alta durezza e, contemporaneamente, una maggiore resistenza allo stress meccanico.

In un altro studio, Xue A. et al. (2023), hanno studiato e valutato l'effetto della distribuzione delle dimensioni cellulari sul tessuto del frutto della fragola e la correlazione con le proprietà meccaniche. Sono stati studiati il coefficiente di assorbimento, la dimensione media delle cellule, la distribuzione volumetrica delle dimensioni delle cellule e la meccanica dei tessuti dei frutti di fragola negli stadi di maturazione rilevanti per la commercializzazione di tre cultivar: "Flair", "Malwina" e "Sonata". La dimensione delle cellule delle tre cultivar è stata determinata con un analizzatore della dimensione delle particelle basato sull'analisi della densità di diffusione della luce laser (LSD). Dallo studio è emerso che lo stress da cedimento e il modulo elastico del tessuto della fragola aumentavano con una maggiore frequenza percentuale della dimensione di picco delle cellule per tutte e tre le cultivar. Una maggiore frequenza percentuale di cellule di grandi dimensioni comportava una maggiore suscettibilità del tessuto della fragola. Nel complesso, questo studio ha dimostrato che i dati sulla distribuzione delle dimensioni delle cellule dell'LSD da un campione di tessuto volumetrico sono correlati alla meccanica dei tessuti del frutto, il che favorisce una migliore analisi degli effettivi problemi di stress e danneggiamento dei campioni di tessuto dei frutti di fragola durante la compressione nei processi della catena di approvvigionamento.

1.3.2 *Fattori ambientali*

A causa della crescente domanda di fragole a livello locale e globale, negli ultimi anni l'attenzione si è spostata sull'aumento della resa e sul miglioramento della qualità dei prodotti a base di fragole. Le fragole sono estremamente sensibili all'ambiente produttivo e fattori ambientali come la temperatura, il fotoperiodo e la luce influenzano in modo significativo la

crescita, la resa e la qualità dei prodotti. Considerando la sensibilità del frutto, la coltivazione controllata in serra è una soluzione ampiamente diffusa per garantire una buona qualità del prodotto finale.

Le serre non solo forniscono un ambiente adatto alla coltivazione ma prevengono anche possibili danni al raccolto dovuti all'ambiente esterno.

La temperatura è uno dei fattori chiave che influenzano la coltura delle fragole; per un tasso di crescita elevato gli intervalli di temperatura diurni e notturni desiderati sono 23–28°C e 5–10 °C. La temperatura controllata all'interno di una serra determina la crescita ottimale delle piante di fragola e migliora la qualità del raccolto in termini di compattezza della polpa, resistenza della buccia, contenuto di zuccheri solubili (SSC), colore della buccia e acidi organici.

N. Khammayom et al. (2022), in uno studio hanno monitorato una coltivazione di fragole in una serra ricoperta da doppi fogli di vinile per studiare l'effetto di fattori ambientali sulla produzione, tra cui la radiazione solare, la temperatura dell'aria e l'umidità relativa. Dallo studio è emerso che la differenza tra la temperatura dell'aria diurna e quella notturna può causare un aumento del contenuto di zuccheri solubili dei frutti. Secondo i risultati, la differenza media tra la temperatura dell'aria diurna e quella notturna ($\Delta\theta$) in alta stagione (circa 12,0°C) era maggiore rispetto a quella di fine stagione (circa 8,5°C). Sulla base di questi risultati, è stato dimostrato che le differenze di temperatura sono uno dei principali fattori responsabili del declino di fine stagione di SSC, consistenza e colore dei frutti di fragola in un sistema di produzione temperato.

W. Cho et al. (2018), in un altro studio hanno analizzato gli effetti di sei variabili ambientali che influenzano la resa delle fragole utilizzando dati reali raccolti da tre aziende agricole. Nelle tre aziende agricole le fragole erano coltivate in serra. Dallo studio è emerso che le variabili ambientali che hanno la maggiore influenza sulla resa delle fragole sono l'umidità interna media, la temperatura interna media e l'irradiazione solare cumulativa. In secondo luogo, il livello medio di anidride carbonica influenza notevolmente l'aumento e la diminuzione della resa, infatti, è opportuno mantenere costante la concentrazione di anidride carbonica ventilando accuratamente la serra e controllando accuratamente l'umidità al fine di migliorare la resa delle fragole.

1.4 Operazioni di raccolta e post-raccolta

1.4.1 *Gestione della raccolta e della movimentazione*

Le operazioni di raccolta e manipolazione sono determinanti sulla qualità finale del frutto. La perdita di qualità è dovuta all'elevato tasso di attività metaboliche ed alla sensibilità dei frutti alla decomposizione fungina (i patogeni fungini più comuni che colpiscono le fragole sono “*Botrytis cinerea*”, “*Rhizopus stolonifer*” e “*Penicillium spp*”). Il frutto è anche molto sensibile alla perdita d'acqua, alle lesioni meccaniche e alle ammaccature.

Sebbene la raccolta manuale sia il metodo più utilizzato per la raccolta delle fragole, sono stati condotti diversi studi sui metodi di raccolta meccanici e robotizzati intelligenti. Uno dei primi sistemi di questo tipo è stato sviluppato per raccogliere le fragole coltivate con il sistema idroponico; allo stesso modo, un sistema robotizzato assistito da visione artificiale è stato sviluppato per rilevare e avvicinarsi alle fragole mature coltivate con un sistema di coltivazione da banco; la programmazione si basava sull'utilizzo di algoritmi di tracciamento della posizione in tempo reale per il rilevamento dei frutti in condizioni di luce naturale; ulteriori funzioni di questo sistema robotico includono la presa e il taglio del gambo del frutto senza danneggiare la fragola stessa.

Durante e dopo la raccolta, i frutti di bosco come la fragola sono naturalmente soggetti a lesioni fisiche perché hanno un'epidermide fragile, pertanto, nella raccolta delle fragole vengono seguite procedure standard adeguate al fine di ottenere una qualità economicamente vantaggiosa; in caso contrario il valore di mercato dei frutti scende bruscamente. Per ridurre tali danni fisici, le fragole vengono raccolte da persone addestrate e movimentate una sola volta durante tutta la filiera ovvero durante la raccolta; subito dopo la raccolta si esegue l'imballaggio in appositi contenitori che vengono poi trasportati con cura in automezzi progettati per ridurre compressioni e sobbalzi.

1.4.2 *Gestione della temperatura*

Il frutto della fragola è molto sensibile alle alte temperature e a temperatura ambiente può sopravvivere fino a 24-48 ore con qualità commerciabile, infatti, una cattiva gestione della temperatura durante la catena di fornitura comportano un rapido deterioramento della qualità e quindi perdite irreversibili.

Dopo la raccolta, la bassa temperatura è la strategia più appropriata per mantenere la qualità del frutto; il metodo più comune è il raffreddamento istantaneo dei frutti e quindi la conservazione continua a basse temperature comprese tra 0 e 4°C

I sistemi antiossidanti enzimatici e non enzimatici nella fragola rispondono alle basse temperature o alle alte in modo differente. A temperature elevate ($\geq 5^{\circ}\text{C}$), gli enzimi presenti nelle fragole coinvolti nel meccanismo antiossidante, vale a dire: glutatione reduttasi, glutatione perossidasi, ascorbato perossidasi, guaiacolo perossidasi, catalasi, superossido dismutasi, monodeidroascorbato reduttasi e deidroascorbato reduttasi mostrano attività maggiori rispetto agli enzimi nella frutta conservata a bassa temperatura (0°C). La conservazione a bassa temperatura influisce anche su una maggiore consistenza del frutto, acidità titolabile, solidi solubili totali, contenuto di acido ascorbico e terpeni totali nei frutti di fragola, inoltre, lo stress da disidratazione è più grave nelle fragole conservate a temperatura ambiente.

1.4.3 *Confezionamento in atmosfera modificata*

Il confezionamento in atmosfera modificata (MAP) è una tecnica relativamente economica utilizzata per mantenere la qualità del frutto di fragola. Generalmente, nel MAP vengono utilizzati film polimerici perforati (i tipi includono micro e macroforati) e non perforati poiché questi film hanno permeabilità specifica e selettiva per CO_2 e O_2 . Gli imballaggi micro e macroforati hanno mostrato risultati promettenti nel sostenere la qualità di conservazione e prolungare la conservabilità dei frutti di fragola.

La composizione raccomandata del MAP per il confezionamento standard delle fragole fresche prevede il 10% di O_2 , il 15-20% di CO_2 e la conservazione a $0-5^{\circ}\text{C}$. Il mantenimento di una temperatura moderatamente bassa è un prerequisito per la conservazione del MAP in quanto la frequenza respiratoria è fortemente influenzata dalla temperatura, piuttosto che dalla concentrazione gassosa.

decadimento.

G. Xiao et al. (2004), in uno studio hanno valutato l'impatto del confezionamento in atmosfera modificata con basso contenuto di ossigeno e alto contenuto di anidride carbonica in combinazione con ozono e un rivestimento con pellicola commestibile sulla conservazione delle fragole. Dallo studio è emerso che una combinazione del 2,5% di O_2 e 15% di CO_2 per il MAP, prolungava la durata di conservazione delle fragole, rispetto alla conservazione all'aria aperta, di 4-6 giorni; inoltre, quando la fragola è stata pretrattata con acqua di ozono e

un rivestimento commestibile prima del confezionamento, la durata di conservazione è stata estesa a 8-10 giorni.

1.4.4 *Rivestimenti commestibili*

Le pellicole o i rivestimenti commestibili sono formulazioni non tossiche, rispettose dell'ambiente e di grado alimentare, utilizzate per mantenere la qualità post-raccolta e aumentare la durata di conservazione di frutta e verdura. Queste formulazioni vengono utilizzate anche come packaging attivo per ridurre la disidratazione, l'attacco microbico, l'imbrunimento della pelle e l'ammorbidimento dei tessuti. I rivestimenti commestibili vengono applicati sotto forma di soluzione, mentre le pellicole commestibili vengono prima modellate in fogli e poi avvolte attorno ai prodotti alimentari. Le pellicole o i rivestimenti commestibili sono a base di carboidrati, proteine, lipidi o loro diverse combinazioni; ad esempio, il chitosano, il pullulano, gli alginati, gli amidi e la pectina sono stati ampiamente studiati come rivestimenti o pellicole commestibili.

V. trinetta et al. (2020), in uno studio hanno valutato l'effetto delle pellicole di imballaggio pullulan caricate con cinnamaldeide SLN sul decadimento microbico postraccolta e sulla qualità di conservazione delle fragole conservate a temperature ottimali (3°C) e non ottimali (12°C). Dallo studio è emerso che le pellicole hanno ridotto la popolazione di lieviti e muffe ad entrambe le temperature, con effetti più evidenti a 3°C; il sistema attivo non è stato efficace nel ridurre i conteggi aerobici totali.

Inoltre, è emerso che pellicole di imballaggio pullulan caricate con cinnamaldeide SLN erano in grado di ridurre il tasso metabolico e mantenere il colore desiderabile delle fragole conservate a 3 °C e 12°C, con una perdita ritardata della consistenza del frutto a 3 °C.

I risultati ottenuti sono mostrati nella figura 7.

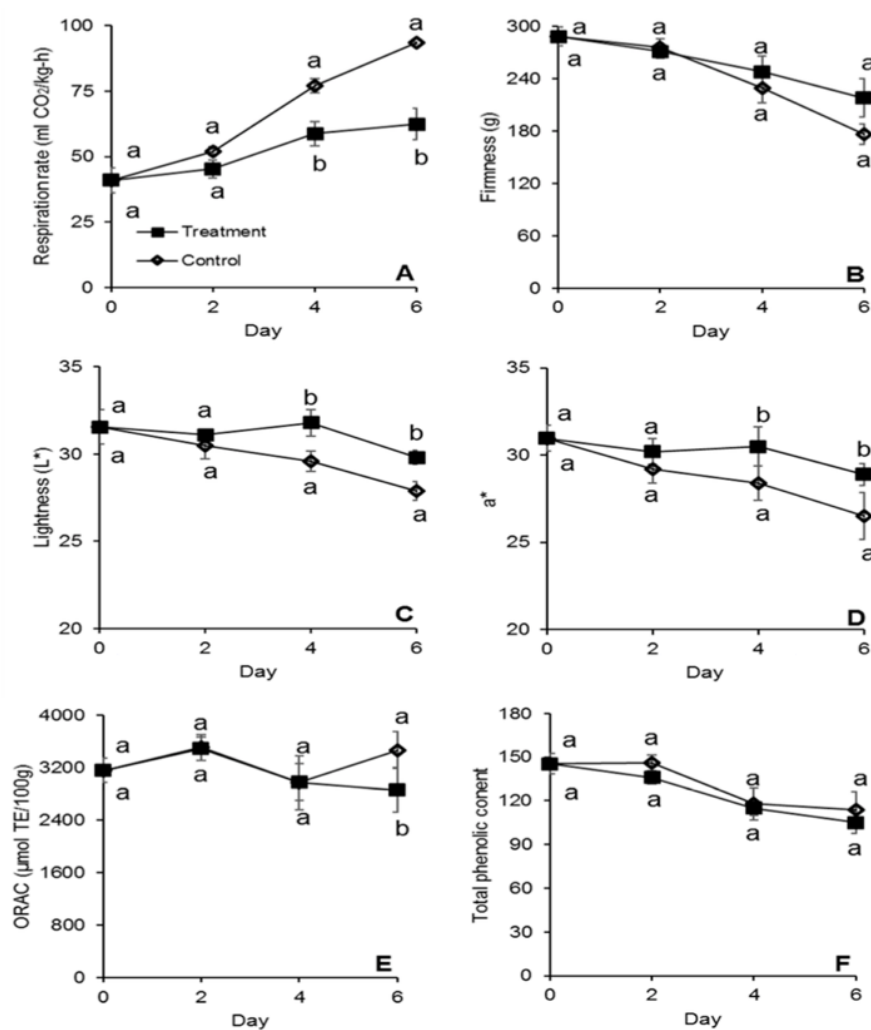


Figura 7 - Frequenza respiratoria (A), consistenza del frutto (B), colore della superficie del frutto misurato come L* e valore a* (D), capacità antiossidante (E) e contenuto fenolico totale (F) di fragole conservate a 12 °C per 6 giorni in cestini in fibra modellata contenenti pellicole da imballaggio in pullulan caricate con l'1% p/p cinnamaldeide SLN (V. trinetta et al., 2020).

Capitolo 2 - MATERIALI E METODI

Questa tesi di laurea nasce come approfondimento delle attività di ricerca già in atto nell'ambito di un progetto europeo EU H2020 (grant agreement 101000747), Pre-breeding strategies for obtaining new resilient and added value berries (Breeding Value). L'obiettivo di Breeding Value è quello di sviluppare nuove strategie per il miglioramento genetico delle varietà di piccoli frutti (fragole, mirtilli, lamponi) per realizzare coltivazioni a basso impatto ambientale ed ottenere frutti più salutari e nutrienti. Lo studio è condotto da Enti di ricerca pubblici e soggetti privati di 8 Paesi Europei, che condividono l'obiettivo di migliorare la sostenibilità e la qualità di queste produzioni, per soddisfare le esigenze dei consumatori, tramite un uso coscienzioso e competente delle risorse genetiche e della biodiversità. Il progetto prevede di verificare lo stato attuale della qualità dei frutti, mettere a fuoco le problematiche del presente, come sostenibilità ambientale, economica e sociale, tutela della biodiversità e della salute dei consumatori. Contribuire a prevedere gli scenari futuri in base alle preferenze, le aspettative e le esigenze dei consumatori e dei produttori e delle opportunità offerte dalla ricerca. Il progetto ha la durata di 4 anni oltre che in Italia sarà condotto in Finlandia, Francia, Germania, Norvegia, Spagna, Turchia e Inghilterra, per avere un quadro dettagliato della situazione europea per meglio operare, realizzare e promuovere varietà più compatibili con l'ambiente, sane e gustose. La ricerca è condotta dall'Istituto di Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

2.1 Campioni di fragola

La coltivazione delle fragole analizzate in questo studio è avvenuta nel campo sperimentale dell'Azienda Agraria Didattico-Sperimentale "Pasquale Rosati" dell'Università Politecnica delle Marche, nel comune di Agugliano (AN).

I campioni di fragola che sono stati oggetto della sperimentazione appartengono a 14 genotipi selezionati per il programma di miglioramento genetico della fragola sviluppato dal D3A- UnivPM.

Di seguito viene riportata una breve descrizione dei 14 genotipi di fragola analizzati:

- ROMINA, Cultivar precoce, di interesse delle zone del centro nord per i frutti precoci e sodi, di alta qualità, bi-fioritura.
- SILVIA, Cultivar tardiva, alta resa, pezzatura e qualità dei frutti.
- DINA, Cultivar molto precoce, frutto molto consistente, di ottima qualità, bi-fioritura. Tolleranza alle malattie.
- FRANCESCA, Cultivar precoce, frutto di forma molto bella, alta qualità, buona resa, bi-fioritura.
- LAURETTA, Cultivar precoce, frutto molto consistente, grande, bella forma, frutto di alta qualità, bi-fioritura.
- AN16-15-S3, Selezione precoce, frutto di buona dimensione, forma, consistenza e qualità.
- AN16-53-S4, Selezione intermedia, frutto di buona dimensione, forma, consistenza, resa elevata.
- AN16-42-S4, Selezione precoce, buona pezzatura e forma del frutto, consistenza e qualità elevate.
- AN14-12-S8, Selezione rifiorente, alta resa e qualità del frutto.
- AN13-13-S5, Selezione precoce, resa molto elevata, ottima pezzatura e forma dei frutti, buona qualità.
- AN15-07-S3, Selezione precoce, frutto compatto e di alta qualità.
- AN16-38-S7, Selezione precoce, frutto sodo, buona dimensione e resa.
- AN12-13-S8, Selezione rifiorente, elevata resa, consistenza e qualità dei frutti.
- AN16-34-S5, Selezione con frutto di buona forma, pezzatura e consistenza, colore rosso scuro ottimale per la trasformazione.

La raccolta dei frutti è stata effettuata selezionando in campo le fragole migliori, cioè quelle contraddistinte da un colore rosso brillante e prive di danni; il colore rosso brillante oltre ad essere un'importante caratteristica qualitativa del frutto, è indice della completa maturazione della fragola.

Per ciascun genotipo sono stati raccolti almeno 20 frutti, in alcuni casi anche un numero maggiore, in modo da effettuare una cernita in laboratorio prima di procedere con le analisi ed anche in via precauzionale, nel caso in cui alcuni campioni siano stati compromessi per cause di varia natura.

Durante la sperimentazione sono stati utilizzate 20 fragole per ciascun genotipo, ogni campione è stato identificato dal nome del genotipo e da un numero (da 1 a 20).



Figura 8 - Campioni di fragola raccolti e divisi per genotipo.

2.2 Colore

L'analisi del colore dei frutti è stata eseguita attraverso l'analisi delle immagini digitali acquisite in condizioni di illuminazione uniforme e standardizzate con telecamera ad alta risoluzione.

Le foto sono state eseguite posizionando il supporto porta campioni all'interno di una scatola di colore bianco, chiusa, illuminata da una lampada, con un'apertura nella parte superiore in modo da consentire l'esecuzione della foto, garantendo un'ottima illuminazione; questa procedura ha permesso di standardizzare le immagini corrispondenti a ciascun genotipo.

L'analisi numerica delle immagini è stata eseguita con il software PhotoShop per la determinazione delle tre coordinate colorimetriche fondamentali nel sistema CIELab, cioè la luminosità (L), il grado di giallo (a), il grado di rosso (b) e la tinta o Hue Angle (hab).

2.3 Dimensionamento

Tutti i campioni di fragola sono stati accuratamente pesati con una bilancia digitale elettronica. Le immagini precedentemente citate, usate per l'analisi del colore, sono state utilizzate anche per il dimensionamento di ciascun campione.

Ciascun genotipo è stato fotografato due volte in modo da avere due immagini: la prima con le fragole disposte con l'asse maggiore perpendicolare al piano; la seconda con le fragole disposte con l'asse maggiore parallelo al piano.

Nel supporto porta campioni, oltre ai 20 campioni, è stato posizionato un corpo metallico di dimensioni note che è stato preso come riferimento durante il dimensionamento.

Per ciascun campione di fragola sono state misurate tre dimensioni:

- Asse longitudinale (L);
- Asse trasversale (R1);
- Asse sagittale (R2).

Una volta misurate le tre dimensioni, è stato calcolato il diametro geometrico medio (GDM) utilizzando la seguente formula:

$$DGM = [(L)^2 + (R1)^2 + (R2)^2]^{1/3}$$

Sulla base dei valori del diametro geometrico medio i campioni di fragola sono stati suddivisi in quattro gruppi o size:

- Size 1 (S1) : $DGM(\text{mm}) < 12\text{mm}$;
- Size 2 (S2): $12\text{mm} > DGM(\text{mm}) < 14\text{mm}$;
- Size 3 (S3): $14\text{mm} > DGM(\text{mm}) < 16\text{mm}$;
- Size 4 (S4): $DGM(\text{mm}) > 16\text{mm}$.

2.4 Prove reologiche

2.4.1 Rilassamento degli sforzi in compressione

Le prove di rilassamento degli sforzi in compressione (metodo non distruttivo) sono state eseguite utilizzando il dispositivo Zwick/Roell-ZwickiLine, Germania (Figura 9); tale strumento è composto da tre componenti principali: una piattaforma mobile, un'unità di guida e un sistema di acquisizione dati (cella di carico, scheda PC e software).

I campioni di fragola analizzati ammontano a 260 e corrispondono a 13 diversi genotipi (AN1213S8, AN1313S5, AN1412S8, AN1507S3, AN1615S3, AN1634S5, AN1638S7, AN1642S4, AN1653S4, DINA, FRANCESCA, ROMINA, SILVIA).

La forza di precarico, cioè la forza necessaria per tenere ferma in una determinata posizione la fragola prima dell'inizio del test, è stata impostata a 0,05 N; le fragole sono state posizionate con l'asse longitudinale parallelo al piatto.

La prova di rilassamento degli sforzi in compressione è stata effettuata applicando una deformazione costante di 0,5 mm, mantenuta per 60 secondi; è un metodo controllato in deformazione.

La velocità di compressione (dal precarico alla deformazione di 0,5 mm) è stata impostata a 100 mm/min.

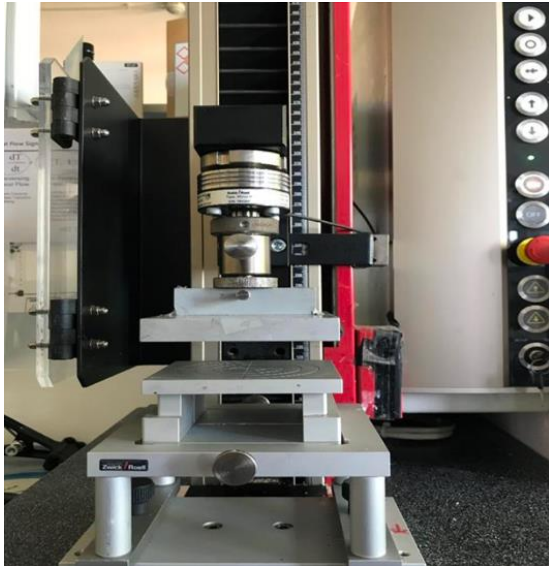


Figura 9 - Zwick-Roell (ZwickiLine, Germania).

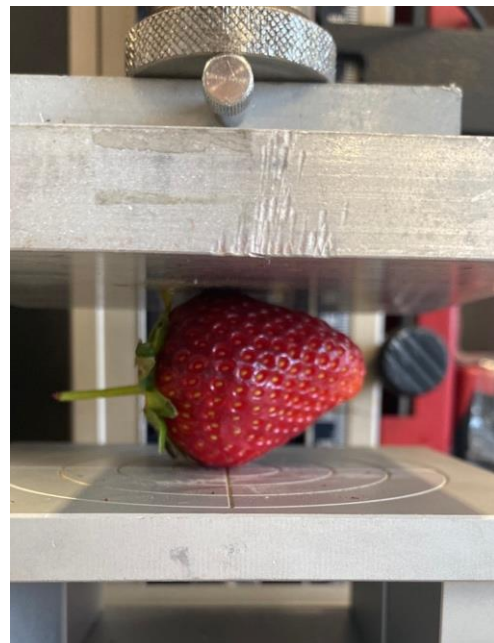


Figura 10 - Prova di rilassamento degli sforzi in compressione.

2.4.2 Rilassamento degli sforzi in penetrazione

Le prove di rilassamento degli sforzi in penetrazione (metodo distruttivo) sono state eseguite utilizzando il dispositivo Zwick/Roell-ZwickiLine, Germania.

Prima di procedere con il test, ciascuna fragola è stata divisa in due metà (taglio lungo l'asse longitudinale) ed entrambe sono state sottoposte alla prova di rilassamento.

I campioni di fragola analizzati (mezze fragole) ammontano a 360 e corrispondono a 9 diversi genotipi (AN1213S8, AN1507S3, AN1615S3, AN1634S5, AN1638S7, AN1642S4, DINA, ROMINA, SILVIA).

Per la prova è stata utilizzata una sonda di penetrazione con geometria cilindrica con un diametro di 2 mm ed una punta a cono a 60°.

La forza di precarico è stata impostata a 0,05 N; le mezze fragole sono state posizionate con il lato tagliato rivolto verso il piano, inoltre, sono state posizionate in modo da garantire la penetrazione della sonda in corrispondenza del tessuto, e non degli acheni che avrebbero potuto compromettere i risultati.

La prova di rilassamento degli sforzi in penetrazione è stata effettuata applicando una deformazione del 25% rispetto allo spessore del campione in direzione radiale, mantenuta per 30 secondi.

La velocità di compressione è stata impostata a 10 mm/s.

2.4.3 Durometro

Il Durometro portatile digitale utilizzato per le misurazioni della durezza è il BAREISS HPE III BASIC Shore D (Figura 11); lo strumento è costituito da un display illuminato ed un manicotto di compressione integrato, per prevenire errori operativi.

Prima di procedere con le misurazioni è stato selezionato il puntale (specifico per frutti diversi a seconda della misura); il puntale selezionato per i campioni di fragola è quello da 0.5 cm².

Le misurazioni sono state eseguite per tutti i 14 genotipi di fragola, per un totale di 280 campioni.

La procedura di misurazione prevede in primo luogo il collegamento dello strumento al PC, dopodiché si appoggia il puntale sul frutto in modo tale da non danneggiarlo, e si esercita una forza costante; per ridurre l'errore legato all'operatore, questa operazione è stata svolta dalla stessa persona su tutti i singoli frutti dei 14 genotipi, cercando di utilizzare la stessa forza di compressione per tutti i frutti.

Comprimendo lo strumento, il puntale misura la resistenza elastica della superficie del frutto, provocando un'impronta sull'epidermide definita "testimone". Questo strumento viene identificato come non distruttivo per la misurazione della qualità, in quanto il puntale non provoca danneggiamenti all'interno della polpa del frutto, pur lasciando una leggera impronta sui frutti più soffici. La misurazione termina all'emissione di un segnale acustico da parte dello strumento, che mostra poi sul display il valore misurato.



Figura 11 - BAREISS HPE III BASIC Shore D.



Figura 13 - Effetto del puntale da 0.5 cm² del Durometro su fragola.



Figura 12 – Misurazione con durometro su fragola.

2.4.4 Penetrometro

Il Penetrometro è uno strumento utilizzato per la determinazione della durezza della polpa ed è riconosciuto come metodo universale.

Similmente al durometro, anche il penetrometro viene solitamente equipaggiato con un puntale di diametro e forma variabile ed intercambiabile a seconda della tipologia di frutto che si misura.

Il penetrometro stima la durezza del frutto tramite la misura della resistenza opposta alla penetrazione, esprimendo il valore in kg, cm² o lb (libre).

Esistono diverse tipologie di penetrometro, il quale può essere sia analogico che digitale.

Per il procedimento di misurazione della durezza di questo studio è stato utilizzato un penetrometro digitale (Fruit Firmness Tester, Turoni, Italia), equipaggiato con una punta a stella del diametro di 6 mm che permette di contrastare efficacemente l'elasticità dell'epidermide della fragola rispetto ad un puntale a punta piatta.

Per ridurre l'errore legato all'operatore, le misurazioni sono state eseguite dalla stessa persona per tutti i frutti dei 14 genotipi; l'operatore ha esercitato una pressione ortogonale al frutto a velocità costante fino al punto di arresto, e lo strumento ha mostrato la resistenza dell'epidermide del frutto alla penetrazione del puntale direttamente sul display analogico.

Questo metodo è considerato distruttivo in quanto il puntale crea una fessura cilindrica ben evidente su una faccia del frutto, a differenza del durometro, che lascia soltanto una leggera impronta sui frutti più soffici.



Figura 14 - Penetrometro digitale Fruit Firmness Tester, Turoni, Italia.



Figura 15 - Effetto puntale a stella da 6 mm del Penetrometro su fragola

2.5 Panel test

Sono stati studiati gli aspetti di qualità legati alla texture con la seguente strategia: test di preferenza del consumatore (consumer test) ed analisi descrittiva quantitativa (DQA).

Il consumer test è stato effettuato per 5 genotipi (AN165354, AN161553, AN164254, LAURETTA, FRANCESCA), per mancanza di frutti dovuta al maltempo delle settimane precedenti al test.

La scheda di valutazione sottoposta ai consumatori prevedeva l'assegnazione di un voto, su una scala da 1 a 7, a diversi descrittori qualitativi della fragola, sia gustativa che visiva.

Sono stati acquisiti 91 responsi (validi), corrispondenti a 40 femmine, 49 maschi e 2 N.A., con un'età media di 29.4 (± 12.64 stdev); in figura 15 e in figura 16 viene riportata la scheda di valutazione sottoposta ai consumatori, divisa in fase gustativa e visiva.

L'analisi descrittiva quantitativa (QDA) è stata effettuata da un panel addestrato (Panel IBE). Sono stati studiati gli stessi campioni relativi al consumer test ad eccezione di "AN1642S4" per la mancanza di frutti a sufficienza, più altri 5 genotipi (ROMINA, DINA, AN1313S5, AN1412S8, AN1507S3), per i quali contrariamente non si è effettuato il consumer test per il medesimo motivo.

Sezione A: Informazioni generali

A1. Indica la tua età *Inserire l'età.*

A2. Genere

Maschio

Femmina

Non binario

Preferisco non rispondere

Sezione B: Campione 853
853

B1. Assaggia il campione e indica quanto ti piace
Assaggia il campione e indica con un voto da 1 a 7 il tuo gradimento (1: non mi piace per nulla; 4: gradimento medio; 7: mi piace moltissimo).

1 2 3 4 5 6 7

Gradimento complessivo

B2. Valuta l'intensità delle seguenti caratteristiche
Assaggia il campione e indica con un punteggio da 1 a 7 il livello di intensità delle seguenti caratteristiche (1: assente; 4: medio; 7: intenso).

	1 - Assente	2	3	4 - Medio	5	6	7 - Intenso
Sapore complessivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sapore tipico di fragola	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dolcezza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Succosità	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acidità	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Freschezza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consistenza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Astringenza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Crocantezza	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1 - Assente	2	3	4 - Medio	5	6	7 - Intenso
Sapore di fragola di bosco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presenza di acheni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Odore tipico di fragola	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altri odori	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B3. Sulla base del sapore quanto saresti disposto a pagare queste fragole rispetto al comune prezzo di mercato?

	Meno	Stesso prezzo	Fino a 10% in più	Fino a 25% in più	Fino a 50% in più	Anche il doppio	Più del doppio
Le pagherei ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 16 - Scheda di valutazione, fase gusutativa.

H3. Sulla base del sapore quanto saresti disposto a pagare queste fragole rispetto al comune prezzo di mercato?

	Meno	Stesso prezzo	Fino a 10% in più	Fino a 25% in più	Fino a 50% in più	Anche il doppio	Più del doppio
Le pagherei ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sezione I: Fase visiva

Abbiamo terminato la valutazione gustativa dei prodotti. Ti chiediamo ora di procedere con la valutazione visiva seguendo le istruzioni che ti verranno fornite dall'operatore.

Procedi pure facendo 'tap' sul tasto Avanti ...

Sezione J: Campione 397
397

J1. Osserva il campione e indica quanto ti piace
Osserva il campione e indica con un voto da 1 a 7 il tuo gradimento (1: non mi piace per nulla; 4: gradimento medio; 7: mi piace moltissimo).

	1	2	3	4	5	6	7
Aspetto complessivo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

J2. Valuta il gradimento visivo delle seguenti caratteristiche
Osserva il campione e indica il livello di apprezzamento delle seguenti caratteristiche (1: non mi piace per nulla; 4: gradimento medio; 7: mi piace moltissimo).

	1	2	3	4	5	6	7
Dimensione del frutto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Colore del frutto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brillantezza del frutto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Forma del frutto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dimensione degli acheni (semi)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Omogeneità dei frutti (dimensione, forma)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

J3. Sulla base dell'aspetto quanto saresti disposto a pagare queste fragole rispetto al comune prezzo di mercato?

	Meno	Stesso prezzo	Fino a 10% in più	Fino a 25% in più	Fino a 50% in più	Anche il doppio	Più del doppio
Le pagherei ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 17 - Scheda di valutazione, fase visiva.

Capitolo 3 - RISULTATI E DISCUSSIONE

La strategia sperimentale adottata in questo studio ha permesso di determinare diverse proprietà sullo stesso frutto, allo scopo di ridurre la naturale variabilità all'interno di ciascun genotipo di fragola. A questo scopo, sono state utilizzate tecniche analitiche con un grado di invasività crescente rispetto alla struttura originale del frutto e siti di misura differenti sul frutto intero e sul mezzo frutto.

In questo modo è stato possibile attribuire le differenze osservate sperimentalmente principalmente alla differenza di sensibilità e ripetibilità dei metodi empirici (durometria, penetrometria) e dei metodi fondamentali (reometria).

3.1 Classificazione dei frutti sulla base del diametro geometrico medio e ai parametri colorimetrici

La texture della fragola è uno degli aspetti che determina l'accettabilità commerciale e la preferenza del consumatore. Ci sono numerosi possibili attributi che concorrono a descrivere la texture della fragola e includono proprietà rilevabili strumentalmente e proprietà rilevabili sensorialmente. In particolare, le dimensioni del frutto sono uno dei principali fattori che spiegano la variabilità del comportamento meccanico del frutto non solo durante il trasporto e la manipolazione ma anche durante il processo orale, condizionandone sensibilmente la percezione sensoriale della qualità del frutto.

Nella Figura 1 sono riportate le immagini relative ai seguenti 14 genotipi AN12-13-S8, AN13-13-S5, AN14-12-S8, AN15-07-S3, AN15-15-S3, AN16-15-S3, AN16-34-S5, AN16-38-S7, AN16-42-S4, AN16-53-S4, DINA, FRANCESCA, ROMINA, SILVIA. Come si può notare, forma, dimensioni e colore dei frutti sono molto variabili tra i diversi genotipi e anche all'interno dello stesso genotipo.

Per questo motivo, si è reso necessario eseguire una classificazione dei frutti sulla base del diametro geometrico medio (DGM). A tale scopo è stata utilizzata una tecnica di analisi delle immagini digitali rilevate in condizioni di illuminazione standardizzate e dimensionalmente calibrate per misurare i tre assi principali di ciascun frutto (asse longitudinale, L; asse radiale minore, R1; e asse radiale maggiore, R2). Nella Figura 2 è riportata la distribuzione di

frequenza del diametro geometrico medio rilevato sui 14 genotipi di fragola. Come si può osservare, la distribuzione del diametro geometrico medio segue la legge Gaussiana suggerendo che il campionamento dei frutti è stato eseguito in modo del tutto casuale e privo di condizionamenti soggettivi nella scelta al momento della raccolta. Il range dimensionale è molto ampio e ricade tra 9 mm e 20 mm, con una massima frequenza intorno a 12-13 mm. Tutti i frutti sono stati classificati in quattro classi dimensionali: S1 (< 12 mm), S2 (12-14 mm), S3 (14-16 mm), S4 > 16 mm). Questa classificazione dimensionale ha reso possibile evidenziare il ruolo delle dimensioni sulle proprietà reologiche e sulla variabilità all'interno dello stesso genotipo e tra genotipi diversi, come riportato più avanti. Nella Figura 3 è posto a confronto il diametro geometrico medio e il peso della fragola. È interessante notare che il peso del frutto non è linearmente correlato al diametro geometrico medio. In particolare, si osserva una relazione di proporzionalità tra peso del frutto e diametro geometrico medio per le classi dimensionali S4, S3, e S2.

Nella Figura 4 è riportata la distribuzione della cromaticità (intensità del colore), luminosità e tinta (colore) rilevate su 14 genotipi di fragola. Come si può notare, le distribuzioni sono Gaussiane. La luminosità dei frutti varia in un ampio intervallo compreso tra 10 e 40, con una frequenza massima compresa tra 20 e 25 e circa l'81% dei frutti ha una luminosità compresa tra 10 e 30. Questo risultato indica che i frutti presentano una luminosità molto ampia. Il colore dei frutti, espresso dal parametro colorimetrico Hue Angle (hab) varia in un ampio intervallo compreso tra 8 e 42, con una frequenza massima compresa tra 30 e 35 e circa l'84% dei frutti ha un colore compreso tra 25 e 40. Questo risultato indica che i frutti presentano un colore rosso con una componente non trascurabile di giallo.

La cromaticità (intensità del colore), espressa dal parametro colorimetrico Cab varia in un ampio intervallo compreso tra 5 e 60, con una frequenza massima compresa tra 30 e 40 e circa l'89% dei frutti ha una cromaticità compresa tra 20 e 50. Questo risultato indica che più del 80% dei frutti presentano rosso molto scuro.

Nella figura 5 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza ANOVA dei tre parametri colorimetrici in funzione del genotipo. In particolare, sono riportati i valori medi e gli intervalli di confidenza (95%) per valutare la significatività statistica delle differenze tra i valori medi e quindi tra i genotipi. Come si può osservare, i genotipi FRANCESCA, AN16-38-S7 e AN12-13-S8 presentano i livelli di luminosità più alti, i genotipi DINA e AN16-34-S5 presentano i livelli di luminosità più bassi. Tutti gli altri genotipi presentano una luminosità intermedia e ampiamente distribuita. I genotipi AN14-12-S8, AN16-53-S4, DINA, AN16-34-S5 e AN12-

13-S8 presentano i livelli di rosso più puri, mentre i genotipi SILVIA e AN13-13-S5 e AN16-38-S7 presentano un colore rosso con la maggiore componente gialla. Tutti gli altri genotipi presentano un colore rosso con una contaminazione del giallo intermedia e ampiamente distribuita tra i genotipi. I genotipi AN16-38-S7 e AN16-15-S3, FRANCESCA presentano i più alti livelli di intensità di rosso, mentre i genotipi AN16-34-S5 e AN14-12-S8 e AN16-53-S4 presentano i più bassi livelli di intensità di rosso. Tutti gli altri genotipi presentano un'intensità di rosso intermedia e ampiamente distribuita tra i genotipi.

3.2 Modellazione del comportamento reologico della fragola su scala cellulare

Come per tutti i materiali vegetali, numerose proprietà legate alla texture della fragola inclusi la durezza e la succosità sono di fondamentale importanza ai fini della qualità commerciale e sensoriale del frutto. Per esempio, la resistenza meccanica della fragola durante la raccolta (manuale o meccanica), trasporto e stoccaggio è uno degli aspetti qualitativi principali, insieme alla capacità di rilasciare i liquidi intracellulari durante la masticazione. La resistenza meccanica e la succosità della fragola devono essere considerate il risultato su scala macroscopica del comportamento reologico dei tessuti su scala cellulare e sovra cellulare. Ampiamente consolidato nella letteratura scientifica che la texture di un frutto o vegetale dipende da numerosi fattori genotipo-dipendenti che includono la composizione e l'interazione dei principali polimeri che costituiscono la parete cellulare e la lamella mediana (cellulosa, emicellulosa e pectina), lo spessore delle cellule, la pressione del turgore all'interno della cellula e, infine, orientamento, raggruppamento e forma delle cellule nei tessuti.

A causa della loro intrinseca bassa sensibilità al carico e alla deformazione, i dati derivanti da prove di compressione su larga scala non possono essere adatti per valutare il contributo degli elementi di base della microstruttura dei tessuti di fragola. Come riportato da Cosgrove, a causa della biosintesi anisotropa della parete nelle cellule in crescita nei tessuti vegetali e della complessità della microstruttura su scala locale, l'analisi delle proprietà reologiche della parete di una cellula vegetale richiede il riconoscimento di almeno tre componenti del modulo elastico volumetrici nelle tre direzioni ortogonali. Per questo motivo, in questa tesi di laurea, sono state condotte prove di rilassamento degli sforzi in condizioni di deformazione costante minimamente invasivi e su piccola scala. Come rivisto da Jarvis, lo stress meccanico indotto dal turgore cellulare è distribuito nelle giunzioni tricellulari che unisce le cellule parenchimali con due componenti: la prima componente di stress agisce a livello della parete cellulare sul piano di ciascuna contatto cellula-cellula, e la seconda componente di stress agisce a livello lamellare come stress radiale che separa le cellule negli angoli di unione. In questo lavoro, la

seconda componente di stress della pressione di turgore che resiste alla deformazione imposta dall'esterno è stata considerata responsabile del meccanismo di resistenza alla separazione durante il regime di rilassamento plastico (stazionario). La separazione cellulare è stata associata alla rottura meccanica dei microdomini di pectina all'interno della lamella mediana che comporta uno slittamento cellula-cellula senza decompartmentalizzazione delle cellule. Diversamente, la prima componente di stress della pressione di turgore che resiste alla deformazione imposta dall'esterno è stata considerata responsabile dell'aumento degli sforzi durante il regime di rilassamento elastico e viscoelastico. La rottura parziale o l'allentamento dei domini di cellulosa, di emicellulosa e di pectine all'interno della parete cellulare è stata associata ai meccanismi di decompartmentalizzazione e di rilascio dei liquidi intracellulari su scala microscopica.

Nella Figura 6 (a e b) sono riportati gli spettri di rilassamento rilevati rispettivamente su frutto intero (13 genotipi) durante prove di compressione a deformazione costante (0.5 mm) e su mezzo frutto (9 genotipi) durante prove di penetrazione a profondità costante (25% rispetto all'asse radiale maggiore, R2). Il profilo di rilassamento dello sforzo segue una tendenza di tipo esponenziale e indica che tutti i genotipi si comportano come materiali viscoelastici, come suggerito dalla risposta quasi-istantanea, seguita da una risposta ritardata e dal raggiungimento di un valore di quasi equilibrio legato alla resistenza dei tessuti alle condizioni di sollecitazione esterna. I genotipi si distinguono significativamente per i livelli di resistenza istantanea (registrati nei primi istanti di sollecitazione), per la velocità di rilassamento ma anche per i livelli di resistenza osservati sperimentalmente in condizioni di quasi-equilibrio (osservati alla fine del test). In entrambe le condizioni di sollecitazione meccanica (compressione e penetrazione) si osserva una risposta materiale sempre inferiore a 1N. Questo suggerisce che le condizioni di sollecitazione adottate sono minimamente invasive in termini sia di sforzo applicato sia di variazione dimensionale nella direzione di applicazione del carico. Prove preliminari di compressione uniassiale dei frutti di fragola (5mm/min) hanno evidenziato che il carico alla rottura è compreso tra 10 e 15 N. Nelle condizioni di compressione i frutti presentano una resistenza alla sollecitazione esterna mediamente più elevata che in penetrazione. Questo risultato è stato attribuito al fatto che durante la compressione del frutto, l'area di applicazione della forza aumenta durante il test generando sforzi maggiori con i quali i tessuti del frutto entrano in equilibrio.

Il tipico profilo del rilassamento degli sforzi registrato per tutti i genotipi oggetto di studio ha corroborato l'idea che il rilassamento degli sforzi generati all'interno dei tessuti di fragola si

basa su meccanismi di rilassamento elastico, viscoelastico e plastico a diversi livelli della gerarchia della struttura su scala cellulare e sovra cellulare. Ciò significa che gli elementi strutturali della parete cellulare interagiscono gerarchicamente e in modo additivo, contribuendo a controbilanciare da un lato la pressione del turgore intracellulare dall'altro la deformazione esterna attraverso un ampio spettro di meccanismi di rilassamento. I tessuti della fragola sono solitamente sottoposti a deformazione meccanica in diversi momenti del loro ciclo di vita come, ad esempio, durante la raccolta (manuale o meccanica), durante il trasporto e lo stoccaggio, e durante il processo orale.

Per tale ragione la texture della fragola può essere studiata attraverso l'analisi quantitativa del profilo del rilassamento degli sforzi. Sulla base di esperimenti di rilassamento dello stress e di creep, diversi studi hanno dimostrato che le proprietà meccaniche dei tessuti vegetali su scala macroscopica hanno origine dall'organizzazione gerarchica della parete cellulare sia su scala nano che microstrutturale. Come esaminato da Cosgrove, la microfibrilla di cellulosa è il principale componente elastico portante, mentre la pectina svolge un ruolo plastico diminuendo il modulo e modificando l'estensibilità degli assemblaggi di fibrille di cellulosa. Ancora una volta, la presenza di polimeri di pectina nella matrice di cellulosa riduce le sue proprietà elastiche in proporzione al loro contenuto, mentre l'aumento di xiloglucani (emicellulosa) nella matrice di cellulosa o in una matrice di cellulosa-pectina porta a un materiale viscoelastico (che si deforma reversibilmente nei limiti inferiori a quelli dello snervamento strutturale).

In questa tesi di laurea, il profilo di rilassamento degli sforzi su piccola scala è stato considerato come marcatore fisico della resistenza alle deformazioni della microstruttura del tessuto della fragola, alla quale gli elementi di base della parete cellulare contribuiscono gerarchicamente e additivamente attraverso meccanismi di rilassamento elastico, viscoelastico e plastico. In particolare, il rilassamento degli sforzi della fragola è stato oggetto di analisi teorica mirata alla messa a punto di un modello matematico in grado di descrivere quantitativamente il rilassamento degli sforzi osservato sperimentalmente. Tale modello è basato su un'ipotesi di relazione struttura-funzione degli insiemi supramolecolari tra cellulosa, emicellulosa e pectina ed è stato concettualizzato tenendo conto del modo in cui sono interconnessi nella parete cellulare e nei microdomini della lamella mediana, come ampiamente documentato in letteratura. Negli ultimi due decenni sono state pubblicate eccellenti recensioni e articoli dettagliati incentrati sulla composizione polimerica e sull'interconnessione gerarchica su scala sopramolecolare nelle pareti cellulari e nella lamella centrale delle piante, nonché sulle loro

proprietà meccaniche. Come rivisto da Cosgrove, Ranganathan et al., la microstruttura della parete cellulare primaria dei tessuti vegetali può essere immaginata come quattro domini polimerici strutturalmente indipendenti ma interagenti. Il primo dominio è costituito da strati paralleli e lamelle di microfibrilla di cellulosa (catene lineari con legami covalenti β -(1,4) tra residui glucosilici) con regioni cristalline e amorfe che si assemblano in un secondo dominio, una rete tridimensionale di emicellulosa (costituiti da xiloglucani e arabinosilani acidi). Le emicellulose sono collegate alle microfibrille di cellulosa tramite legami idrogeno, con evidenza di un legame covalente per gli arabinosilani con la cellulosa tramite diferuloilesteri che svolge un ruolo nella spaziatura delle microfibrille e che fornisce forma e resistenza alla parete cellulare. La rete cellulosa-emicellulosa è incorporata in un terzo dominio, la lamella centrale, costituito da pectina idrosolubile legante il calcio (circa il 30% della sostanza secca della parete cellulare primaria), che può essere considerata un'estensione ai domini di cellulosa-emicellulosa. La pectina è una matrice idratata di tipo gel di eteropolisaccaridi ricca di acido D-galatturonico, comprende catene laterali neutre di polisaccaridi, costituita da omogalatturonani lineari e blocchi ramificati di ramnogalatturonani. La funzione di cementazione delle sostanze pectiche tra le singole cellule dipende principalmente dalle loro regioni omogalatturoniche non metile esterificate, che formano strutture a “scatola delle uova” attraverso il legame ionico con ioni bivalenti (principalmente calcio). Esistono prove che la pectina può anche essere reticolata covalentemente attraverso legami covalenti ad acidi fenolici ed emicellulose mediante dimeri di acido ferulico. Il quarto dominio della struttura della parete cellulare è costituito da glicoproteine strutturali, orientate radialmente all'interno della rete primaria della parete cellulare, le quali sono solubili in acqua e con proprietà lubrificanti (viscose e plastiche).

Nella Figura 7 è riportato uno schema che descrive l'ipotesi delle interazioni tra i microdomini di cellulosa, emicellulosa, pectine e proteine cellulari all'interno dei tessuti principalmente coinvolti nelle prove di compressione e penetrazione su piccola scala, la cuticola e lo strato di cellule parenchimatiche radiali immediatamente sottostanti alla cuticola.

È stato proposto un modello matematico che descrive il comportamento reologico di 4 elementi di Maxwell in serie, ciascuno costituito da uno spring (molla) e un dashpot (pistone) per tenere in conto delle componenti elastiche in grado di deformare istantaneamente e delle plastiche in grado di rallentare la deformazione reversibile delle componenti elastiche e di subire a loro volta una deformazione plastica irreversibile.

Ogni elemento meccanico nel modello è stato qui associato a uno specifico microdominio supramolecolare di cellulosa, emicellulosa e pectina che interagiscono in modo additivo a livelli distinti della gerarchia della microstruttura. Un elemento elastico (spring) indipendente in serie che descrive il rilassamento istantaneo della microstruttura, è stato associato ai legami covalenti presenti nelle microfibrille di cellulosa situati nella parete cellulare della cuticola della fragola. La mancanza di una componente plastica in un microdominio di questo tipo è stata giustificata dalla bassa percentuale di cellule meristematiche nella cuticola. Un array viscoelastico in serie (elemento Maxwell) che descrive il rilassamento reversibile e ritardato nel modello, è stato associato alla rete di tutti i legami non covalenti (con proprietà viscoelastiche) presenti nel microdominio di cellulosa-emicellulosa della parete cellulare della cuticola della fragola. Tale complesso microstrutturale è situato a livello intermedio tra la parete cellulare e la lamella mediana, ed è considerato il principale elemento strutturale in grado di controbilanciare la pressione di turgore. Un elemento plastico (dashpot) che descrive il rilassamento irreversibile e stazionario della microstruttura è stato associato ai legami non covalenti presenti nei microdomini calcio-pectina-proteine all'interno della cuticola della fragola.

La stessa sequenza di elementi meccanici è stata proposta per descrivere il comportamento del tessuto parenchimatico immediatamente sottostante la cuticola, caratterizzato dalla disposizione radiale delle cellule vegetali. In questo studio è stato considerato trascurabile il contributo al rilassamento degli sforzi offerto dai tessuti parenchimatici più interni, per la ridotta scala di compressione adottata nei test di rilassamento degli sforzi.

Ciascun degli elementi meccanici introdotti nel modello strutturale che descrive il rilassamento degli sforzi dei tessuti di fragola è caratterizzato da una specifica proprietà reologica fondamentale.

La resistenza dei tessuti di fragola, espressa in termini di forza (N) opposta alla deformazione costante durante i test di rilassamento degli sforzi in compressione e in penetrazione su piccola scala, è stata descritta matematicamente utilizzando la seguente funzione matematica costruita sulla base dell'ipotesi di relazione struttura-funzione dei costituenti cellulari:

$$F(t) = \sum_{i=1}^4 K_i \cdot \epsilon \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)$$

Dove

K_i rappresenta un parametro legato al modulo di elasticità dell'elemento i -esimo ($i = 1, 2, 3, 4$) dei microdomini di cellulosa presenti nelle pareti cellulari del tessuto (cuticola e parenchima); corrisponde al prodotto del modulo di elasticità per l'area di applicazione del carico (variabile durante il test) diviso per lo spessore radiale maggiore della fragola (direzione di applicazione del carico); ha le seguenti unità di misura [Pa * m]

Tau i rappresenta il tempo [s] di rilassamento caratteristico di ciascun elemento viscoelastico all'interno del modello ed è associato al rilassamento ritardato dell'elemento i -esimo ($i = 1, 2, 3, 4$) dei microdomini cellulosa-emicellulosa nelle pareti cellulari del tessuto (cuticola e parenchima). Il tempo di rilassamento caratteristico τ_i può essere moltiplicato il parametro K_i per stimare la viscosità ($E\tau_i$) degli elementi plastici

La stima dei valori dei parametri del modello reologico è stata effettuata performando una regressione non lineare della funzione matematica sui dati sperimentali utilizzando l'algoritmo di ottimizzazione non lineare robusto.

A titolo di esempio, la Figura 8 mostra i dati sperimentali relativi al rilassamento degli sforzi in compressione e i corrispondenti valori simulati con il modello reologico proposto per il genotipo AN16-34-S5. Come si può osservare chiaramente, il modello reologico proposto fitta soddisfacentemente i dati sperimentali, come evidenziato dall'elevato grado di sovrapposizione dei dati simulati su quelli sperimentali. Questo risultato suggerisce che l'ipotesi di relazione struttura-funzione dei microdomini polimerici delle pareti cellulari e la resistenza meccanica dei tessuti di fragola è accettabile. Inoltre, An, X. Et al. (2023) hanno dimostrato che la resistenza alla frattura delle pareti cellulari espressa in termini di carico massimo e di modulo elastico del tessuto di fragola, aumenta con la percentuale di cellule di dimensioni maggiori. Le condizioni di compressione adottate in questo studio, sia in compressione che in penetrazione, hanno consentito di valutare le proprietà reologiche dei tessuti di fragola con una prevalenza di cellule oblunghe rispetto a quelle tonde.

Nella Tabella 1 sono riportati i valori medi e gli intervalli di confidenza associati ai singoli parametri del modello reologico che descrive il rilassamento degli sforzi in condizioni di compressione costante.

Nella Tabella 2 sono riportati i valori medi e gli intervalli di confidenza associati ai singoli parametri del modello reologico che descrive il rilassamento degli sforzi in condizioni di penetrazione costante.

Dal confronto degli intervalli di confidenza associati ai singoli parametri K_i , Tau_i , EPR_i si può ritenere che le componenti elastiche, viscoelastiche e plastiche dei tessuti di fragola siano significativamente diversi tra i genotipi investigati.

Allo scopo di stimare la capacità dei tessuti di fragola di resistere alla deformazione meccanica in termini di integrità delle pareti cellulari piuttosto che della lamella mediana sono stati proposti nuovi descrittori basati sui parametri del modello reologico:

$$SF_i = \sum_{i=1}^4 K_i \cdot \epsilon$$

$$STau_i = \sum_{i=1}^4 Tau_i$$

$$EPR_i = \frac{SF_i}{STau_i}$$

dove:

SF_i rappresenta la sommatoria delle forze di resistenza meccanica dei tessuti di fragola dovute esclusivamente alle componenti elastiche nelle pareti cellulari. Questo parametro è stato messo in relazione alla durezza (firmness) delle fragole rilevata strumentalmente con le tecniche empiriche (penetrometria e durometria) e alla durezza percepita sensorialmente

$STau_i$ rappresenta la sommatoria dei tempi di rilassamento dei tessuti di fragola dovuti esclusivamente alle componenti plastiche delle lamelle mediane;

EPR_i descrive la capacità dei tessuti di fragola di resistere alla deformazione meccanica in termini di rottura delle pareti ($EPR > 1$) rispetto allo scorrimento delle cellule senza rottura ($EPR < 1$).

La figura 9 rappresenta una semplificazione del modello concettuale che descrive la capacità dei tessuti di fragola di resistere alla deformazione meccanica in termini di rottura delle pareti ($EPR > 1$) rispetto allo scorrimento delle cellule senza rottura ($EPR < 1$). Nella condizione $EPR > 1$ si verifica uno slittamento delle pareti cellulari senza rottura a causa del cedimento dei microdomini di pectina nelle lamelle mediane, con la conseguenza di una maggiore durezza e minore succosità. Nella condizione $EPR < 1$ si verifica una rottura delle pareti cellulari a causa del cedimento dei microdomini di cellulosa-emicellulosa con la conseguenza di una minore durezza dei tessuti e della succosità della fragola.

Questo parametro è stato messo in relazione alla succosità delle fragole percepito sensorialmente in funzione del genotipo.

La figura 10 riporta i risultati dell'analisi della varianza ANOVA in funzione dei parametri reologici fondamentali EPR, SF_i, ed empirici, il grado di durezza espresso in Shore (durometria), misurati sul frutto intero di 13 genotipi di fragola. Come si può osservare, i genotipi AN16-34-S5, AN16-38-S7, AN16-42-S4, SILVIA presentano livelli più alti di EPR prossimi a 1 o superiori. Questo risultato è stato attribuito alla maggiore presenza di componenti elastiche delle pareti cellulari dei tessuti di questi genotipi di fragola. È interessante notare come le misure di EPR ottenute con l'analisi reologica delle proprietà viscoelastiche su piccola scala sono coerenti sia con la resistenza elastica, come suggerito dalla sommatoria delle forze elastiche SF_i, e con il diametro geometrico medio. Questo risultato suggerisce che la resistenza meccanica è strettamente proporzionale alle dimensioni della fragola. Tuttavia, è possibile osservare una mancanza di corrispondenza con le misure empiriche ottenute con il durometro.

La figura 11 riporta i risultati dell'analisi della varianza ANOVA in funzione dei parametri reologici fondamentali EPR, SF_i, ed empirici, il grado di durezza espressa in libbre (penetrometria), misurati sul mezzo frutto di 9 genotipi di fragola. Come si può osservare, i genotipi AN15-07-S3, AN16-15-S3, AN16-38-S7 presentano livelli di EPR inferiori a 1 più bassi tra i genotipi studiati. Questo risultato è stato attribuito alla minore presenza di componenti elastiche delle pareti cellulari dei tessuti di questi genotipi di fragola. È interessante notare come le misure di EPR ottenute con l'analisi reologica delle proprietà viscoelastiche su piccola scala sono coerenti sia con la resistenza elastica, come suggerito dalla sommatoria delle forze elastiche SF_i, sia con le misure empiriche della durezza rilevata con il penetrometro e con il diametro geometrico medio.

La resistenza meccanica delle fragole è stata investigata anche in condizioni cicliche di deformazione costante. A titolo di esempio, nella Figura 13 è riportato il profilo di rilassamento degli sforzi registrato in un test di compressione ciclica (con deformazione costante pari a 0.5 mm). Si può osservare che la resistenza massima si riduce significativamente ad ogni ciclo successivo fino ad arrivare a meno del 50% del valore iniziale dopo 50 cicli. Inoltre, considerando che la massima forza registrata al primo ciclo (circa 0.08 N) è tipicamente prossima a quella esercitata dal peso di una fragola di piccolo calibro (S1, S2) sotto l'effetto della gravità, è facile immaginare che la sollecitazione meccanica applicata nel test ciclico simula gli effetti della comune stratificazione delle fragole durante il trasporto.

3.3 Analisi sensoriale descrittiva e quantitativa

L'analisi sensoriale delle fragole è stata effettuata su un set di genotipi più ampio di quelli oggetto di questa tesi di laurea. Nella Figura 14 sono riportati i risultati dell'analisi sensoriale di 9 genotipi di fragola (AN131355, AN141258, AN150753, AN161553, AN165354, DINA, FRANCESCA, LAURETTA, ROMINA) ottenuti utilizzando una scala da 1 a 7 per analizzare gli attributi solitamente considerati utili ai fini commerciali. L'analisi statistica della varianza ANOVA ha permesso di individuare gli attributi sensoriali con la maggiore varianza sperimentale e quindi maggiormente discriminanti tra i genotipi e con diverso grado di confidenza della significatività statistica:

Significatività al 99% : Crunchiness, Juiciness, Firmness, Green

Significatività al 95% : Fibrous, Sour, Sweet, Citrus, Strawberry

Significatività al 90% : Seedy, Metallic, Watery flavor, wild wood strawberry, caramel, peach, strawberry

Questi attributi sensoriali sono stati messi in relazione alle proprietà reologiche fondamentali ed empiriche.

3.4 Interplay tra le proprietà reologiche fondamentali, empiriche e sensoriali

Nella Figura 15, sono riportati i risultati dell'analisi multivariata (Analisi delle Componenti Principali, PCA) realizzata utilizzando come variabili attive (in blu) alcune proprietà colorimetriche insieme ad alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche che descrivono rispettivamente il rilassamento degli sforzi su piccola scala e la durezza su scala macroscopica di 3 genotipi di fragola (AN16-15-S3, AN16-53-S4, FRANCESCA). A tale scopo sono stati utilizzati i valori medi delle variabili che sono risultate più significative tramite il test ANOVA nel discriminare le differenze all'interno del set di genotipi di riferimento. Le prime tre componenti principali spiegano nel loro insieme più del 79% della varianza sperimentale. Tutti gli attributi sensoriali valutati attraverso il test di preferenza del consumatore (panel non addestrato) insieme a quelli valutati attraverso il test discriminante (panel addestrato) sono stati utilizzati come variabili supplementari solo ai fini comparativi e di classificazione dei campioni; in particolare, la succosità (Juiciness), la durezza (firmness), la croccantezza (crunchiness) e la dolcezza (sweet) sono stati valutati con il panel addestrato (in figura indicati con il pedice "2") e con il panel non addestrato (in figura indicati con il pedice "1"). Nella figura sono riportate anche le coordinate dei genotipi di fragola in funzione delle prime due componenti principali (Factor1 e Factor2).

Si può osservare che la luminosità (L^*) della superficie delle fragole è correlata positivamente alla cromaticità (C^*ab) e al diametro geometrico medio (DME), al peso (Weight) e componenti viscoelastiche (K3) nella cuticola. Le proprietà di durezza su scala macroscopica rilevate con i metodi empirici (durometro e penetrometro) risultano in relazione inversa con il peso e il diametro geometrico medio e risultano correlati positivamente alle proprietà viscoelastiche (K3) del tessuto cuticolare, alle componenti plastiche (Eta2, Eta4) del tessuto parenchimatico. La dimensione degli acheni (AchenesSize) percepita sensorialmente appare inversamente correlata alla dimensione e peso del frutto e positivamente correlata alle misure di durezza rilevate con il penetrometro e durometro.

La componente viscoelastica del tessuto della cuticola (K3) è correlato positivamente al diametro geometrico medio e al peso della fragola e negativamente correlata alla componente plastica della lamella mediana nello stesso tessuto. Questo risultato è stato attribuito alla maggiore presenza di microdomini di cellulosa-emicellulosa nelle pareti cellulari della cuticola rispetto ai microdomini di pectina nelle lamelle mediane. Nei tessuti parenchimatici sottostanti alla cuticola si osserva un equilibrio tra componenti elastiche (K4) e viscoelastiche (K2) delle pareti e componenti plastiche (Eta4, Eta2) delle lamelle mediane. Questi risultati suggeriscono che la durezza misurata su scala macroscopica con durometro e penetrometro è correlata positivamente con le componenti viscoelastiche delle pareti cellulari della cuticola. Il parametro EPR risulta inversamente correlato alla componente plastica (Eta3) nella cuticola e positivamente correlato a tutte le componenti viscoelastiche (K3) della cuticola e (K4) del tessuto parenchimatico; è inversamente correlato al parametro sensoriale "Juiciness". Il rilascio dei liquidi intracellulari, evidentemente legato alla rottura delle pareti cellulari dei tessuti, è chiaramente legato ai bassi livelli di EPR, che per sua definizione rappresenta un indice relativo della resistenza delle pareti cellulari rispetto a quella della lamella mediana di entrambe i tessuti cuticolari e parenchimatici.

I tre genotipi di fragola sono stati agevolmente descritti sulla base dei descrittori reologici, colorimetrici e sensoriali. Il genotipo FRANCESCA risulta con il più basso livello di succosità (più alto livello di EPR) e minore durezza al penetrometro e al durometro; inoltre presenta il più alto livello delle seguenti proprietà: diametro geometrico medio, peso, presenza di componenti elastiche nelle pareti cellulari della cuticola, luminosità e intensità cromatica. Il genotipo AN16-15-S3 risulta con i più alti livelli delle seguenti proprietà: succosità (più basso livello di EPR), durezza al penetrometro e al durometro, diametro geometrico medio. Il peso AN16-15-S3 risulta simile a FRANCESCA. AN16-53-S4 presenta i livelli più alti di durezza

al penetrometro e durometro (e delle componenti viscoelastiche della cuticola, K3, Eta3), ma livelli più bassi di intensità cromatica e luminosità

L'indice di gradimento visivo (LikingV) rileva che AN16-15-S3 è il genotipo più gradito al gruppo di consumatori, probabilmente a causa della succosità (JuicinessGus1), sapore (Strawberry) e colore (Color) e dimensioni (Size) percepiti sensorialmente. L'indice di gustativo (LikingG) suggerisce il massimo gradimento per FRANCESCA, probabilmente per il maggiore contenuto in zuccheri e flavor (TotFLV, TypFLV), dolcezza (SweetGus1) e la croccantezza (CrunchinessGus1) percepite sensorialmente.

Nella Figura 16, sono riportati i risultati dell'analisi multivariata realizzata utilizzando come variabili attive alcune proprietà colorimetriche insieme ad alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche che descrivono rispettivamente il rilassamento degli sforzi su piccola scala e la durezza su scala macroscopica di 8 genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA, ROMINA, AN13-13S5, AN14-12-S8, AN15-07-S3, DINI). A tale scopo sono stati utilizzati i valori medi delle variabili che sono risultate più significative tramite il test ANOVA nel discriminare le differenze all'interno del set di genotipi di riferimento. Le prime due componenti principali spiegano nel loro insieme il 100% della varianza sperimentale. Tutti gli attributi sensoriali analizzati esclusivamente dal panel addestrato sono stati utilizzati come variabili supplementari solo ai fini comparativi e di classificazione dei campioni. Nella figura sono riportate anche le coordinate dei campioni di fragola in funzione delle prime due componenti principali (Factor1 e Factor2).

Anche in questo caso il peso (Weight) e la dimensione geometrica media (DME) del frutto risultano correlate positivamente ai parametri colorimetrici e inversamente correlate alla croccantezza (crunchiness) e durezza (Penetrometro, Durometro) e succosità (Juiciness) percepite sensorialmente. Diversamente da quanto osservato nella comparazione dei tre genotipi (Figura 15), le proprietà di durezza misurate su scala macroscopica in modo empirico (penetrometro e durometro) sul set di 8 genotipi risultano inversamente correlate alle componenti viscoelastiche (K3) della cuticola e alle componenti viscoelastiche (K4) del tessuto parenchimatico del frutto. Come già discusso in precedenza (Figura 12) analizzando l'influenza del diametro geometrico medio sulle misure reologiche empiriche e fondamentali, questo risultato può essere attribuito all'influenza della disomogenietà della superficie del frutto per la diversa proporzione delle dimensioni degli acheni (inversamente correlati alla dimensione del frutto). In altre parole, nei frutti relativamente più piccoli la presenza di acheni

mediamente più grandi come evidenziato dalla proprietà sensoriale “Seedy” è correlata negativamente alla dimensione del frutto.

In questo set di genotipi, la durezza del frutto, espressa in termini di lavoro alla deformazione su piccola scala $W(F_{max})$ e in termini di rapporto (EPR) tra componenti elastiche e plastiche dei tessuti, risulta positivamente correlato alla durezza (Firmness) e croccantezza (Crunchiness) percepiti sensorialmente. La durezza dei frutti espressa in termini di $W(F_{max})$ consente di stabilire il seguente ordine decrescente tra i genotipi investigati: (AN16-53-S4) > (AN15-07-S3) > (FRANCESCA) \approx (ROMINA), (AN16-15-S3) \approx (DINA), (AN13-13-S5) \approx (AN14-12-S8).

Nella Figura 17, sono riportati i risultati dell’analisi multivariata realizzata utilizzando come variabili attive alcune proprietà colorimetriche insieme ad alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche che descrivono rispettivamente il rilassamento degli sforzi su piccola scala e la durezza su scala macroscopica di 4 genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA, AN16-42-S4). A tale scopo sono stati utilizzati i valori medi delle variabili che sono risultate più significative tramite il test ANOVA nel discriminare le differenze all’interno del set di genotipi di riferimento. Le prime due componenti principali spiegano nel loro insieme il 100% della varianza sperimentale. Tutti gli attributi sensoriali analizzati esclusivamente dal panel addestrato sono stati utilizzati come variabili supplementari solo ai fini comparativi e di classificazione dei campioni. Nella figura sono riportate anche le coordinate dei campioni di fragola in funzione delle prime due componenti principali (Factor1 e Factor2).

Anche in questo caso il peso (Weight) e la dimensione geometrica media (DME) del frutto risultano correlate positivamente ai parametri colorimetrici e inversamente correlate alla durezza misurata su scala macroscopica (Penetrometro, Durometro). Diversamente da quanto osservato nella comparazione dei tre genotipi (Figura 15), le proprietà di durezza misurate su scala macroscopica in modo empirico (penetrometro e durometro) sul set di 4 genotipi risultano inversamente correlate alle componenti viscoelastiche (K_4) del tessuto parenchimatico del frutto. In questo set di genotipi, la durezza del frutto, espressa in termini di lavoro alla deformazione su piccola scala $W(F_{max})$ e in termini di rapporto (EPR) tra componenti elastiche e plastiche dei tessuti, risulta positivamente correlato alla durezza (Firmness) percepita sensorialmente. La durezza dei frutti espressa sia in termini di $W(F_{max})$ che di grado Shore (durometro) e di resistenza al penetrometro consente di stabilire il

seguinte ordine decrescente tra i genotipi investigati: (AN16-42-S4) > (AN16-53-S4) > (AN16-15-S3) > (FRANCESCA).

Nella Figura 18, sono riportati i risultati dell'analisi multivariata realizzata utilizzando come variabili attive alcune proprietà colorimetriche insieme ad alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche che descrivono rispettivamente il rilassamento degli sforzi su piccola scala e la durezza su scala macroscopica di 4 genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN15-07-S3, ROMINA, DINÀ). A tale scopo sono stati utilizzati i valori medi delle variabili che sono risultate più significative tramite il test ANOVA nel discriminare le differenze all'interno del set di genotipi di riferimento. Le prime due componenti principali spiegano nel loro insieme il 100% della varianza sperimentale. Tutti gli attributi sensoriali analizzati esclusivamente dal panel addestrato sono stati utilizzati come variabili supplementari solo ai fini comparativi e di classificazione dei campioni. Nella figura sono riportate anche le coordinate dei campioni di fragola in funzione delle prime due componenti principali (Factor1 e Factor2).

Anche in questo caso il peso (Weight) e la dimensione geometrica media (DME) del frutto risultano correlate positivamente. Le proprietà reologiche misurate su piccola scala risultano correlate alle proprietà elastiche (K1) della cuticola e alle proprietà viscoelastiche (K4) del tessuto parenchimatico del frutto. Il parametro EPR risulta correlato inversamente alla succosità percepita sensorialmente (Juiciness). La durezza espressa in termini di proprietà reologiche empiriche (durometro e penetrometro) e fondamentali W(Fmax) sono correlate positivamente e consentono la seguente classificazione dei genotipi nel seguente ordine decrescente: DINÀ, ROMINA, AN15-07-S3, AN16-15-S3.

3.5 Classificazione e identificazione non supervisionata dei genotipi di fragola

Nella Figura 19 sono riportati i risultati di analisi di classificazione e identificazione non supervisionata ad albero decisionale (Regression/Classification Tree Model) dei seguenti 13 genotipi basata su alcune proprietà reologiche fondamentali rilevate sul frutto intero: ROMINA, FRANCESCA, AN14-12-S8, AN15-07-S3, AN16-15-S3, AN16-38-S7, AN16-42-S4, AN16-53-S4, DINÀ, SILVIA, AN16-34-S5, AN13-13-S5, AN12-13-S8. In particolare, nella stessa figura è riportato lo schema di classificazione ad albero decisionale, le costanti di splittaggio dei valori assunti dalla proprietà reologiche considerate, le matrici di classificazione ottenute sia in fase di addestramento del modello sia in fase di validazione. Come si può osservare dalla figura, I risultati evidenziano la robustezza della capacità di

classificazione del modello statistico proposto, senza alcun errore di classificazione dei frutti rispetto ai 13 genotipi studiati.

L'algoritmo di classificazione performa un processo di decodifica top down iniziando la classificazione dei frutti utilizzando casualmente una delle proprietà reologiche considerate per l'analisi, Fmin, EPR, SFi, Weight, ERA, Fmax, W((fmax), individuandone un valore di suddivisione critico (split value) e dividendo il numero iniziale di frutti in due sottogruppi la cui numerosità dipende dallo specifico valore presentato per la proprietà reologica considerata. Da questo punto in poi l'algoritmo procede scegliendo in ordine di importanza la proprietà reologica che meglio discrimina i frutti di fragola assegnandoli a due successivi sottogruppi distinti tra loro da un nuovo valore di divisione per questa proprietà reologica. E così via, l'algoritmo continua la suddivisione dei frutti fino a individuare gruppi finali omogenei associando a questi ultimi il genotipo più probabile. Il modello di regressione e classificazione ad albero è stato validato utilizzando il metodo V-fold e con V-fold pari a 10. Il set dei dati originali è stato suddiviso arbitrariamente in due sub-sets: il primo set (70% rispetto al set originale) è stato utilizzato per lo sviluppo del modello statistico di identificazione-classificazione, il secondo è stato utilizzato per la regressione del modello stesso. Questo procedimento di validazione è stato ripetuto automaticamente 10 volte e i risultati mediati tra loro. La validazione del modello di identificazione-classificazione è stata effettuata utilizzando il secondo set di dati (70% rispetto al set originale) indipendenti da quelli utilizzati per lo sviluppo. In questo modo il modello di identificazione e classificazione dei genotipi è stato verificato nella sua capacità predittiva.

Nella Figura 20 sono riportati i risultati di analisi di classificazione e identificazione non supervisionata ad albero decisionale (Regression/Classification Tree Model) dei seguenti 9 genotipi basata su alcune proprietà reologiche fondamentali rilevate sul frutto intero: ROMINA, AN15-07-S3, AN16-15-S3, AN16-38-S7, AN16-42-S4, DINA, SILVIA, AN16-34-S5, N12-13-S8. In particolare, nella stessa figura è riportato lo schema di classificazione ad albero decisionale, le costanti di splittaggio dei valori assunti dalla proprietà reologiche considerate, le matrici di classificazione ottenute sia in fase di addestramento del modello sia in fase di validazione. Come si può osservare dalla figura, i risultati evidenziano la robustezza della capacità di classificazione del modello statistico proposto, senza alcun errore di classificazione dei frutti rispetto ai 13 genotipi studiati.

Capitolo 4 – CONCLUSIONI

La fragola è un frutto di elevato valore commerciale, nutrizionale e salutistico, ma deve essere considerato un prodotto altamente deperibile a causa della sua texture delicata. La qualità commerciale e sensoriale della fragola (durezza, succosità, croccantezza, dimensioni, colore, uniformità, distribuzione degli acheni, calice, contenuto in zuccheri) dipende da numerosi fattori che includono il genotipo e le condizioni di raccolta, confezionamento, stoccaggio, trasporto, manipolazione e processo orale. La possibilità di verificare in modo attendibile e verificabile la qualità commerciale e sensoriale della fragola richiede la disponibilità di misure oggettive e ripetibili, soprattutto nella prospettiva di una possibile certificazione di parte terza finalizzata al riconoscimento di un marchio di qualità collettivo (DOP, IGP, AS, STG) che, per sua natura, tutela l'autenticità (genotipo) prima ancora che le proprietà del frutto. In questa prospettiva, il lavoro di tesi si è posto un obiettivo tecnologico e un obiettivo scientifico. L'obiettivo tecnologico è stato quello di mettere a punto un metodo strumentale basato sull'approccio reologico per la misura accurata delle proprietà di struttura strettamente legate alla qualità commerciale e sensoriale della fragola appartenente a diversi genotipi. È stato possibile simulare la capacità dei tessuti di subire variazioni di resistenza meccanica dovuti alle condizioni di confezionamento e di trasporto. L'obiettivo scientifico è stato quello di individuare le relazioni di dipendenza tra le proprietà reologiche e la composizione delle pareti cellulari e della lamella mediana dei principali tessuti della fragola (cuticola e tessuto parenchimatico sottostante). L'acquisizione su larga scala di queste informazioni, includendo un numero sempre maggiore di genotipi e una maggiore numerosità campionaria, consentirebbe la costruzione di un dataset utile per il breeding dei genotipi esistenti e per i programmi di miglioramento genetico finalizzati al conseguimento di più elevate caratteristiche di qualità commerciale e sensoriale.

In questo studio è stato utilizzato un approccio reologico basato sulla deformazione su piccola scala per determinare le proprietà fondamentali dei tessuti della cuticola e del tessuto parenchimatico immediatamente sottostante. Allo stesso tempo sono state determinate alcune proprietà reologiche empiriche utilizzando il durometro e il penetrometro tenendo in considerazione le raccomandazioni delle linee guida internazionali. Al fine di tenere in conto degli effetti della dimensione della fragola, tutte le proprietà reologiche fondamentali ed

empiriche sono state analizzate in funzione del diametro geometrico medio dei frutti. La dimensione del frutto influenza significativamente tutte le misure reologiche indipendentemente dal genotipo considerato: la resistenza alla deformazione del frutto aumenta con la dimensione e il peso. Le misure rilevate con il penetrometro e soprattutto quelle rilevate con il durometro hanno evidenziato una grande variabilità in funzione della dimensione del frutto. Nella prospettiva di verifica della qualità commerciale e sensoriale della fragola, l'approccio reologico su piccola scala di deformazione ha presentato risultati più attendibili rispetto al penetrometro e al durometro. Un test di deformazione ciclica, basato sull'applicazione dinamica delle condizioni di sollecitazione meccanica, ha consentito di valutare gli effetti potenzialmente distruttivi della struttura dei tessuti di fragola alle normali condizioni di confezionamento stratificato e di trasporto. I risultati evidenziano che la presenza di un singolo strato di fragole sovrapposto causa la deformazione di circa 0,5 mm e provoca la progressiva riduzione della resistenza dei tessuti cuticolari e parenchimatici sottostanti fino a raggiungere circa il 50% dopo solo 50 cicli di sollecitazione.

Il danno meccanico strutturale osservabile macroscopicamente e che deriva da sollecitazioni meccaniche esterne durante la raccolta, confezionamento, stoccaggio e trasporto, è il risultato della rottura delle pareti cellulari su ampia scala dimensionale, da scala microscopica a macroscopica. Le proprietà reologiche del frutto sono determinate dall'interazione della parete cellulare, dimensione e forma delle cellule, turgore cellulare e intensità ed estensione della lamella mediana che unisce le cellule. È stato concettualizzato un modello matematico con 8 parametri per descrivere l'interazione gerarchica e sinergica tra i principali costituenti polimerici (cellulosa, emicellulosa, pectine) della parete cellulare e della lamella mediana in condizioni controllate di compressione e penetrazione meccanica. Il modello consiste in un array di elementi elastici, plastici e viscoelastici ciascuno caratterizzato da una specifica proprietà reologica fondamentale. I valori medi e gli errori associati corrispondenti ai singoli parametri del modello evidenziano la validità delle ipotesi di interazione gerarchica e sinergica tra i principali costituenti polimerici della parete cellulare e della lamella mediana dei tessuti cuticolari e parenchimatici della fragola. Inoltre, alcuni parametri sono stati indicizzati per stimare la capacità dei tessuti di subire deformazioni completamente distruttive della struttura compartmentalizzata delle cellule che implicano la rottura delle pareti cellulari oppure una deformazione non distruttiva della struttura compartmentalizzata. Questo parametro reologico è risultato inversamente correlato con la succosità rilevata sensorialmente e positivamente correlato alle componenti elastiche e viscoelastiche dei tessuti della fragola. La disponibilità di proprietà reologiche fondamentali rilevate in modo accurato ha consentito anche la

classificazione dei genotipi rispetto ai singoli descrittori della qualità commerciale e sensoriale attraverso un'analisi multivariata. Inoltre, è stato sviluppato e validato un metodo di basato sull'algoritmo decisionale ad albero che impiega le proprietà reologiche fondamentali rilevate su piccola scala di deformazione per l'identificazione e classificazione dei genotipi senza errori. La disponibilità di misure reologiche fondamentali e del metodo di identificazione e classificazione ad albero decisionale rappresentano un valido punto di partenza a supporto della politica di valorizzazione della qualità commerciale e sensoriale della fragola anche nella prospettiva di una certificazione volontaria di parte terza.

FIGURE E TABELLE

Figura 1 - Immagini fotografiche dei genotipi di fragola oggetto di studio. Vista radiale e assiale (calice).



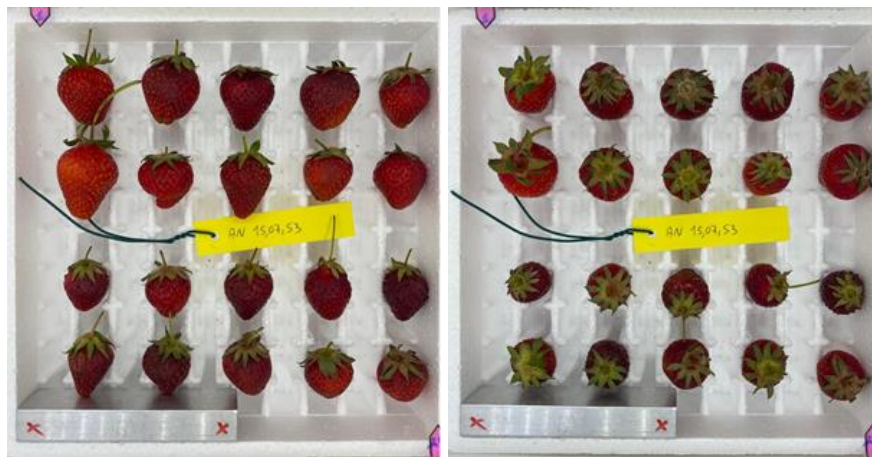
AN12-13-S8



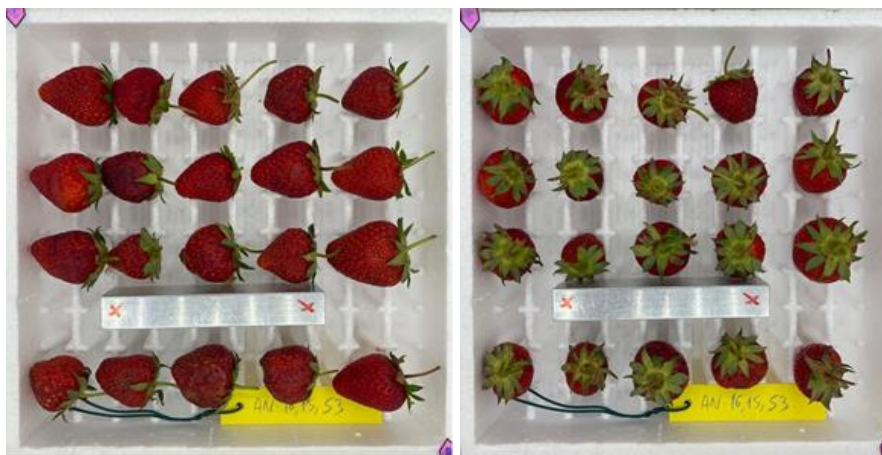
AN13-13-S5



AN14-12-S8



AN15-07-S3



AN16-15-S3



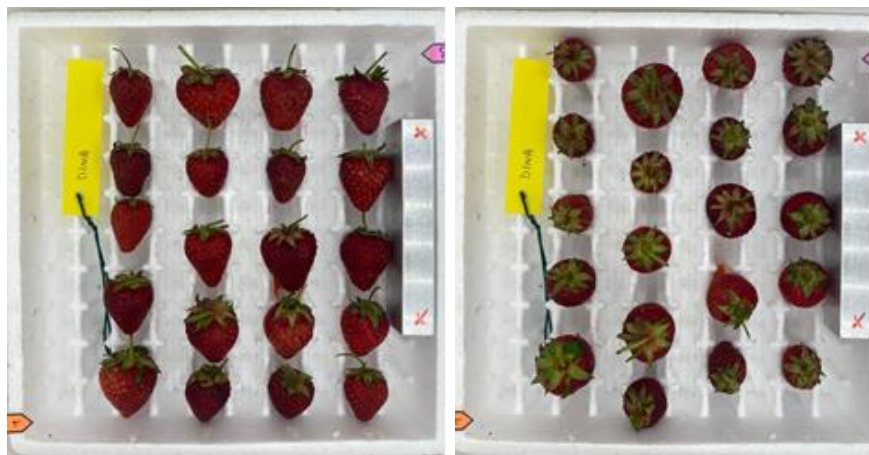
AN16-38-S7



AN16-42-S4



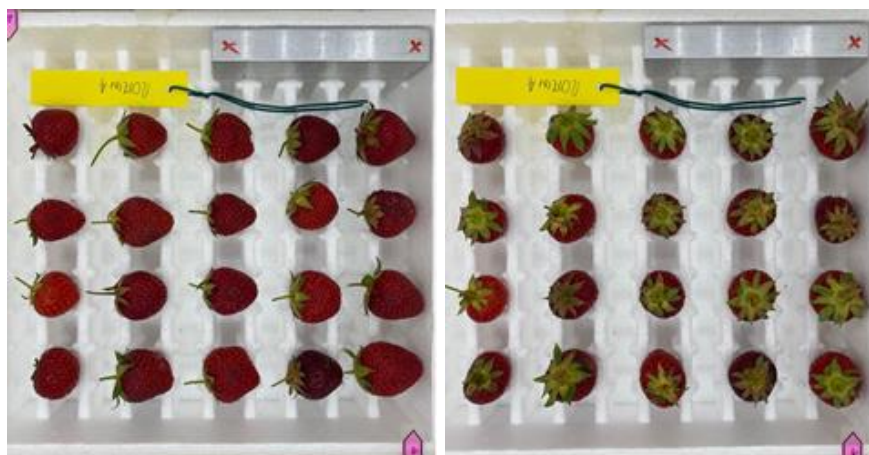
AN16-53-S4



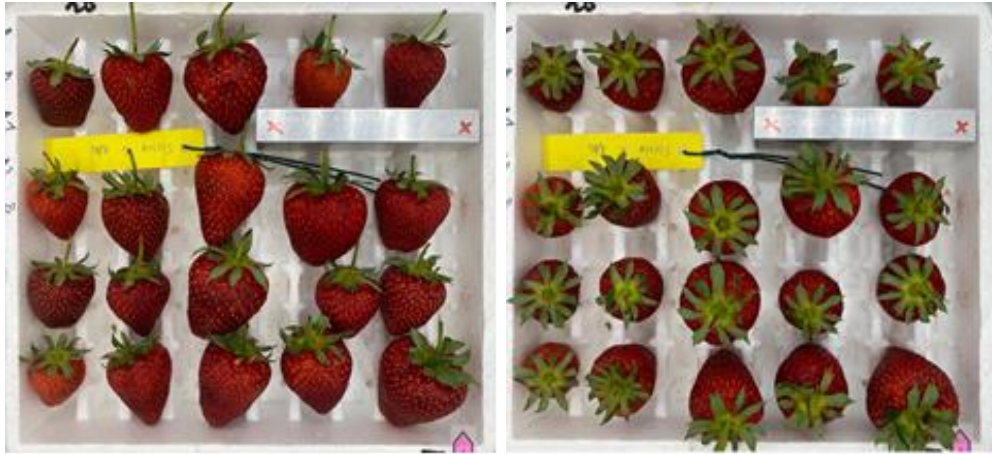
DINA



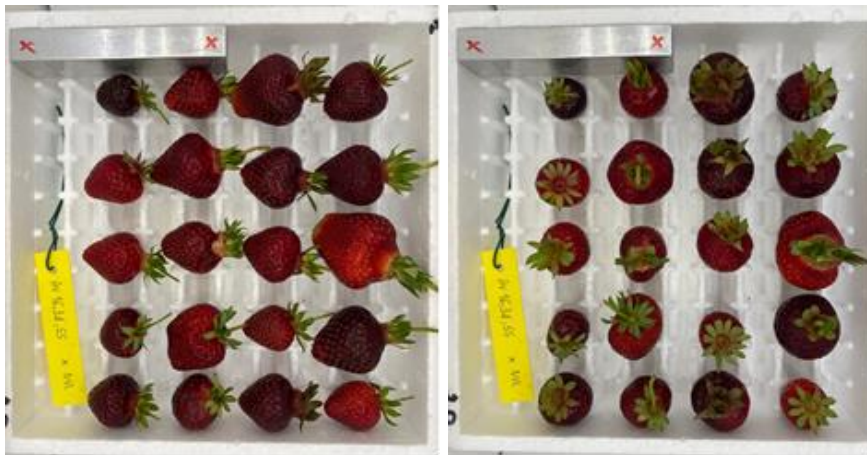
FRANCESCA



ROMINA

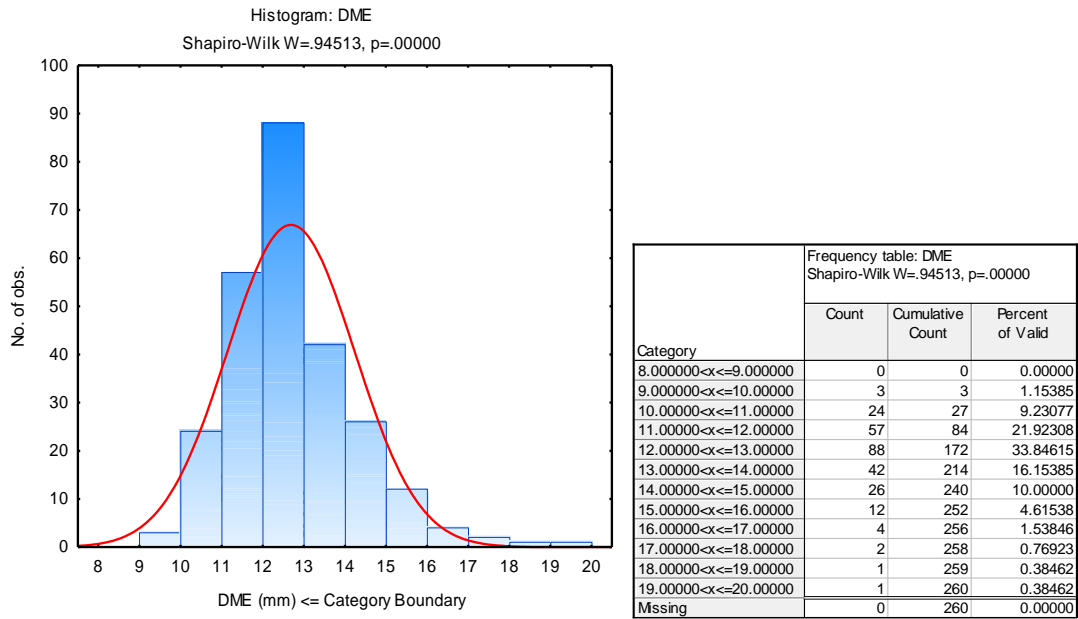


SILVIA



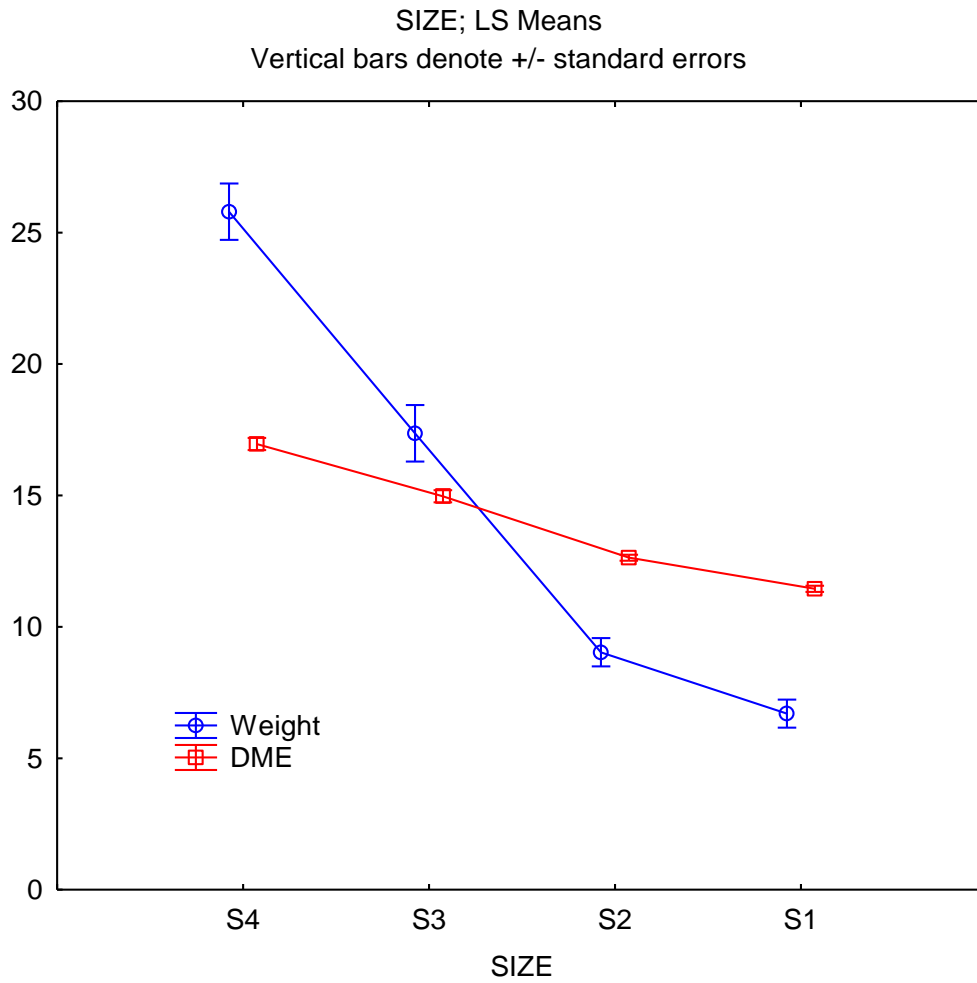
AN16-34-S5

Figura 2 - Distribuzione delle fragole rispetto al diametro medio geometrico (DME).



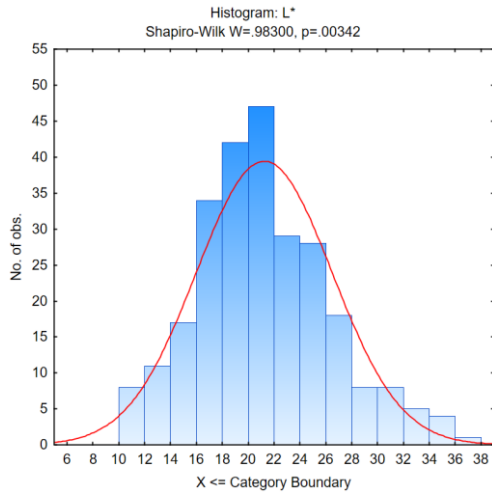
DME (mm): diametro medio geometrico calcolato come: $[(L)^2+(R1)^2+(R2)^2]^{1/3}$;
L: asse maggiore (mm); R1 e R2 sono i raggi radiale e sagittale rispettivamente (mm).

Figura 3 - Distribuzione del peso e del diametro geometrico medio delle fragole in 4 classi dimensionali.

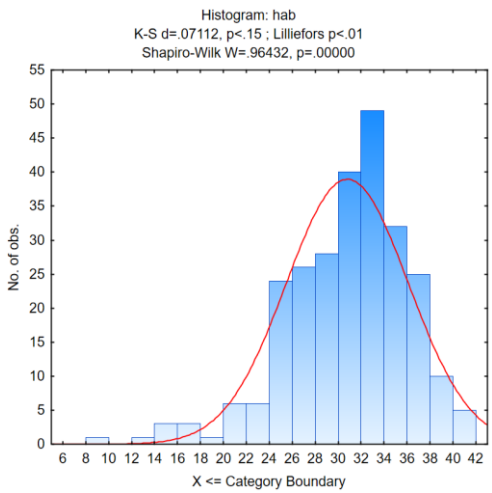


La classe S1 include le fragole con diametro geometrico medio inferiore a 12 mm;
La classe S2 include le fragole con diametro geometrico medio compreso tra 12 e 14 mm ;
La classe S3 include le fragole con diametro geometrico medio compreso tra 14 e 16 mm;
La classe S4 include le fragole con diametro geometrico medio superiore a 16 mm.

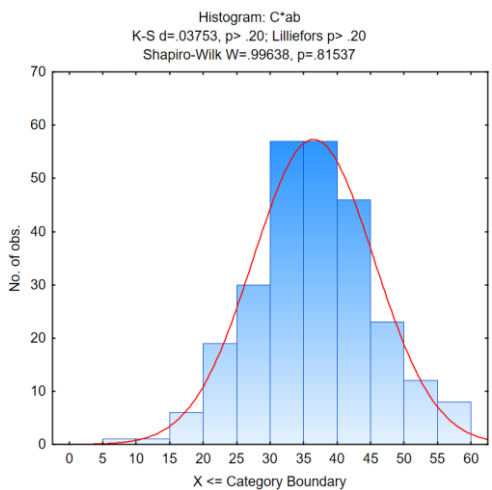
Figura 4 – Distribuzione dei parametri colorimetrici rilevati su 13 genotipi di fragola.



Frequency table: L*						
Shapiro-Wilk W=.98300, p=.00342						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
5.000000<x<=10.00000	0	0	0.00000	0.0000	0.00000	0.0000
10.00000<x<=15.00000	30	30	11.53846	11.5385	11.53846	11.5385
15.00000<x<=20.00000	82	112	31.53846	43.0769	31.53846	43.0769
20.00000<x<=25.00000	93	205	35.76923	78.8462	35.76923	78.8462
25.00000<x<=30.00000	37	242	14.23077	93.0769	14.23077	93.0769
30.00000<x<=35.00000	16	258	6.15385	99.2308	6.15385	99.2308
35.00000<x<=40.00000	2	260	0.76923	100.0000	0.76923	100.0000
Missing	0	260	0.00000		0.00000	100.0000

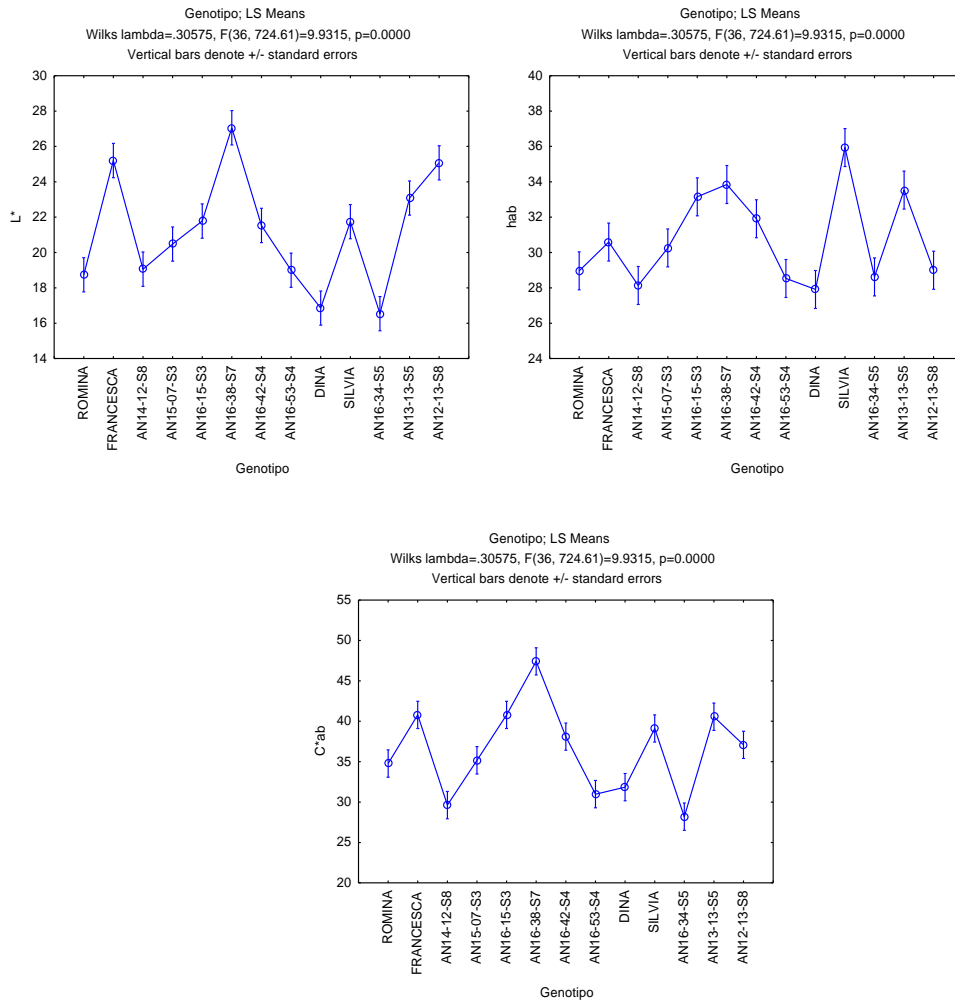


Frequency table: hab						
Shapiro-Wilk W=.96432, p=.00000						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
5.000000<x<=10.00000	1	1	0.38462	0.3846	0.38462	0.3846
10.00000<x<=15.00000	3	4	1.15385	1.5385	1.15385	1.5385
15.00000<x<=20.00000	5	9	1.92308	3.4615	1.92308	3.4615
20.00000<x<=25.00000	27	36	10.38462	13.8462	10.38462	13.8462
25.00000<x<=30.00000	63	99	24.23077	38.0769	24.23077	38.0769
30.00000<x<=35.00000	103	202	39.61538	77.6923	39.61538	77.6923
35.00000<x<=40.00000	53	255	20.38462	98.0769	20.38462	98.0769
40.00000<x<=45.00000	5	260	1.92308	100.0000	1.92308	100.0000
Missing	0	260	0.00000		0.00000	100.0000



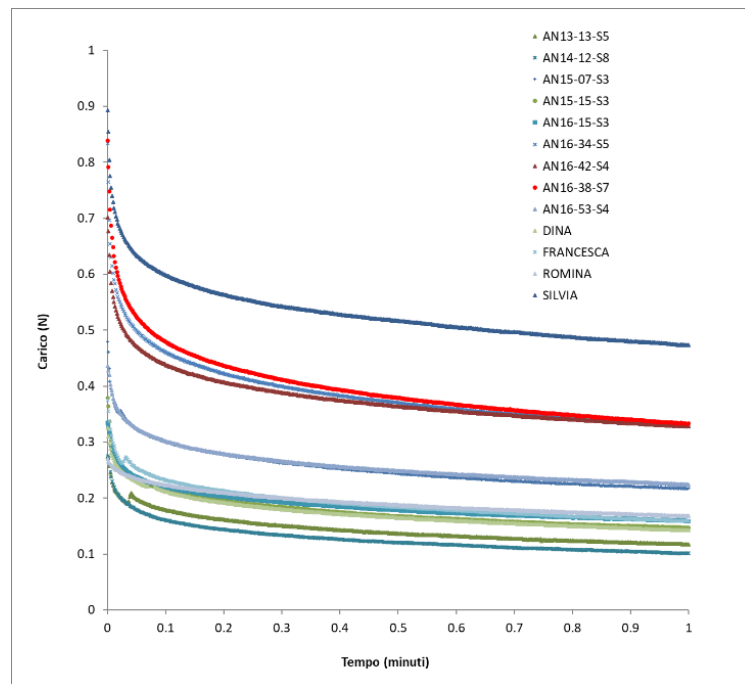
Frequency table: C*ab						
Shapiro-Wilk W=.99638, p=.81537						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
0.000000<x<=10.00000	1	1	0.38462	0.3846	0.38462	0.3846
10.00000<x<=20.00000	7	8	2.69231	3.0769	2.69231	3.0769
20.00000<x<=30.00000	49	57	18.84615	21.9231	18.84615	21.9231
30.00000<x<=40.00000	114	171	43.84615	65.7692	43.84615	65.7692
40.00000<x<=50.00000	69	240	26.53846	92.3077	26.53846	92.3077
50.00000<x<=60.00000	20	260	7.69231	100.0000	7.69231	100.0000
Missing	0	260	0.00000		0.00000	100.0000

Figura 5 – Distribuzione dei parametri colorimetrici per genotipo di fragola (13 genotipi).

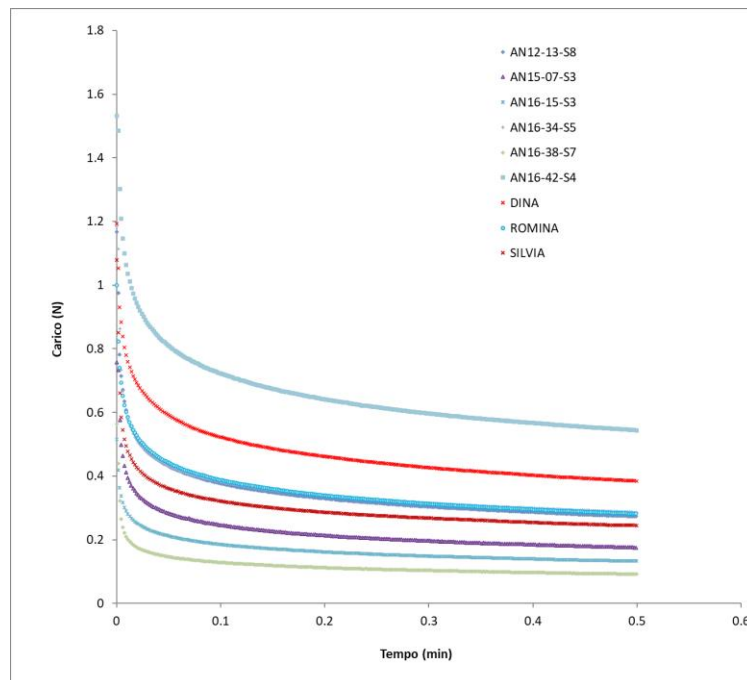


Effect	Descriptive Statistics (Matrice_DATI_STRA_WBERRY_FL.sta)										
	Level of Factor	N	L* Mean	L* -95.00%	L* +95.00%	hab Mean	hab -95.00%	hab +95.00%	C*ab Mean	C*ab -95.00%	C*ab +95.00%
Total		260	21.24205	20.59969	21.88442	30.79893	30.14850	31.44936	36.49544	35.39067	37.60022
Genotipo	ROMINA	20	18.74039	17.18945	20.29134	28.95974	26.71594	31.20354	34.77084	31.98921	37.55246
Genotipo	FRANCESCA	20	25.20176	22.72473	27.67880	30.59104	27.50860	33.67348	40.78712	35.95264	45.62160
Genotipo	AN14-12-S8	20	19.05961	17.00210	21.11712	28.13963	24.67345	31.60581	29.62563	26.21978	33.03148
Genotipo	AN15-07-S3	20	20.47902	18.44739	22.51065	30.26316	27.61807	32.90825	35.16962	31.19422	39.14502
Genotipo	AN16-15-S3	20	21.77765	20.53429	23.02101	33.14903	31.74653	34.55153	40.79247	38.25824	43.32671
Genotipo	AN16-38-S7	20	27.05667	25.00305	29.11029	33.84480	32.77338	34.91622	47.41797	43.93790	50.89805
Genotipo	AN16-42-S4	20	21.53118	19.63051	23.43184	31.90852	29.94243	33.87462	38.10200	34.72765	41.47635
Genotipo	AN16-53-S4	20	18.99725	16.92558	21.06893	28.53099	25.76309	31.29888	30.97816	27.80978	34.14654
Genotipo	DINA	20	16.85667	15.21468	18.49865	27.91238	25.65119	30.17357	31.85075	29.24953	34.45197
Genotipo	SILVIA	20	21.74843	19.85980	23.63706	35.93666	34.64461	37.22872	39.10900	36.58515	41.63285
Genotipo	AN16-34-S5	20	16.54020	14.55426	18.52613	28.62137	26.69192	30.55081	28.19105	23.70567	32.67642
Genotipo	AN13-13-S5	20	23.08137	20.25457	25.90817	33.53109	32.09174	34.97044	40.55794	37.14838	43.96750
Genotipo	AN12-13-S8	20	25.07647	22.89712	27.25583	28.99763	26.76292	31.23233	37.08820	32.72126	41.45514

Figura 6 - Spettro reologico del rilassamento degli sforzi in condizioni di compressione stazionaria (0.5 mm) del frutto intero (a) e in condizioni di penetrazione stazionaria (25%) in mezzo frutto (b) di diversi genotipi di fragola.



(a) Frutto intero, 13 genotipi di fragola.



(b) Mezzo frutto, 13 genotipi di fragola.

Figura 7 - Ipotesi delle relazioni struttura-comportamento reologico degli assemblaggi dei polimeri della parete cellulare nei tessuti della cuticola e del parenchima della fragola.

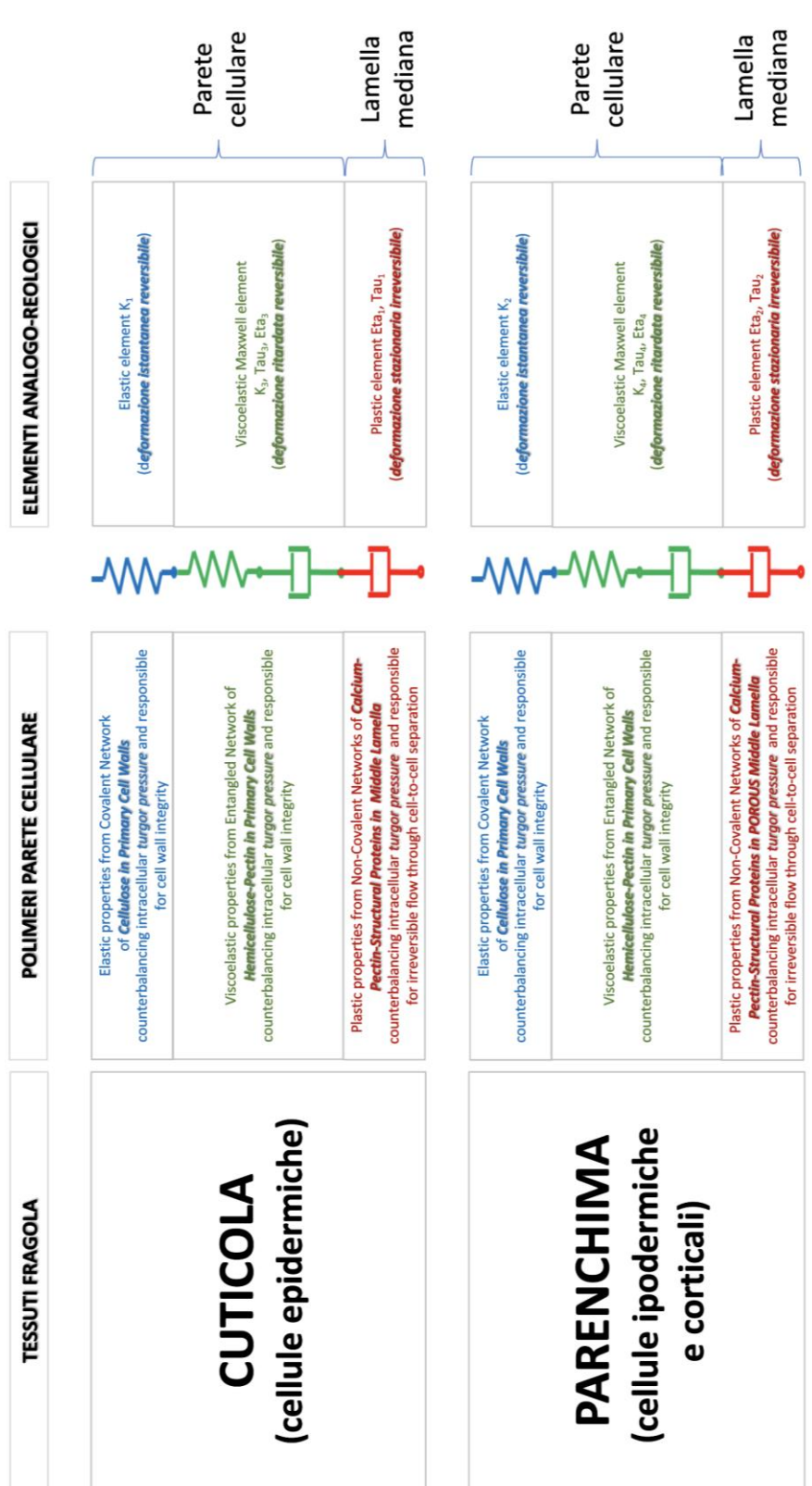


Figura 8 - Modellazione matematica dello spettro di rilassamento degli sforzi in condizione di compressione stazionaria (0.5 mm) di frutto intero di fragola “AN16-34-S5”.

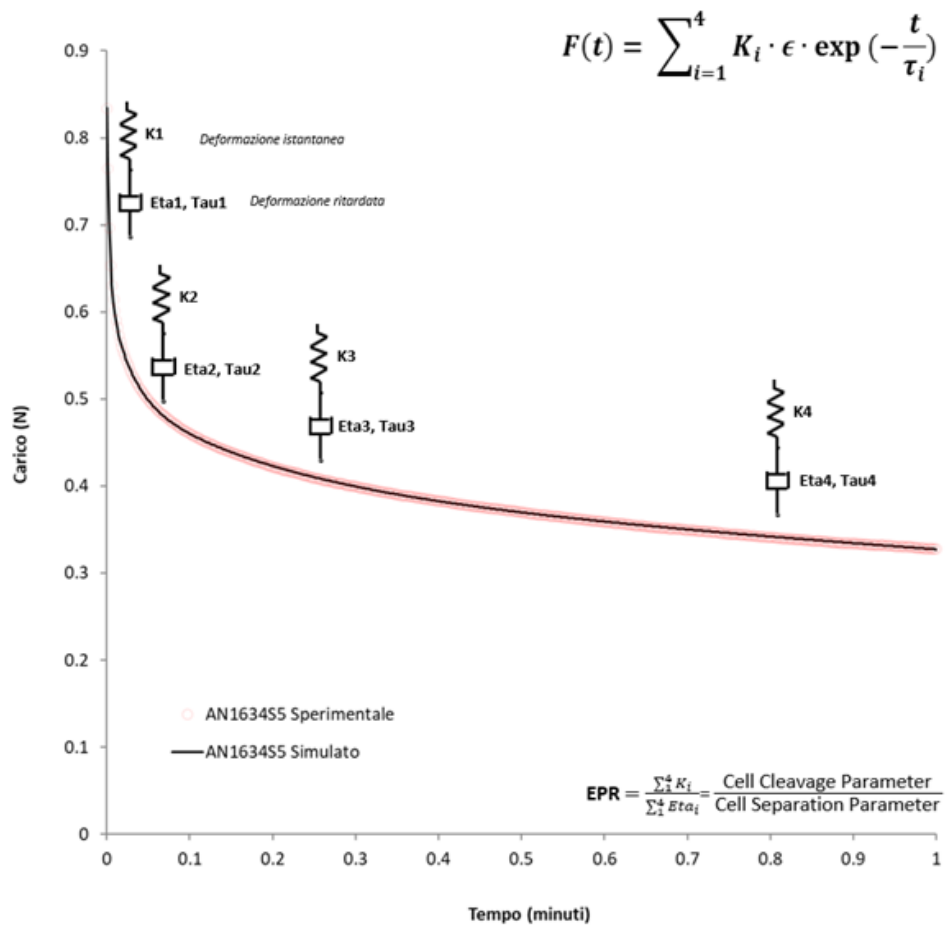


Tabella 1 - Stime dei parametri del modello reologico che descrive il rilassamento dello sforzo in condizioni di penetrazione stazionaria (25%) di frutto intero di 13 genotipi di fragola.

Genotipo	AN12-13-58	AN13-13-55	AN14-12-58	AN15-07-53	AN15-15-53	AN16-15-53	AN16-34-55	AN16-38-57	AN16-42-54	AN16-53-54	DINA	FRANCESCA	ROMINA	SILVIA
K1	0.2156	0.1351	0.1197	0.2399	0.1724	0.1787	0.4014	0.4068	0.3897	0.2626	0.1805	0.1789	0.1667	0.5558
LCL	0.2140	0.1040	0.0825	0.2161	0.0953	0.1587	0.4003	0.3188	0.3885	0.2607	-0.1732	0.1772	0.1643	0.5550
UCL	0.2171	0.1662	0.1568	0.2637	0.2495	0.1986	0.4026	0.4949	0.3909	0.2644	0.5342	0.1806	0.1691	0.5567
K2	0.0268	0.0358	0.0516	0.0690	0.0563	0.0461	0.1210	0.1255	0.0944	0.0522	0.0382	0.0520	0.0279	0.1052
LCL	0.0248	-0.0158	0.0137	0.0187	0.0091	0.0079	0.1193	0.0163	0.0926	0.0502	-0.0367	0.0507	0.0272	0.1030
UCL	0.0288	0.0873	0.0895	0.1193	0.1034	0.0842	0.1227	0.2347	0.0962	0.0542	0.1132	0.0533	0.0286	0.1075
K3	0.0301	0.0677	0.0665	0.1003	0.0925	0.0662	0.2016	0.1892	0.1352	0.0657	0.0566	0.0879	0.0174	0.1390
LCL	0.0290	0.0203	0.0153	0.0147	0.0288	0.0152	0.1994	0.0450	0.1330	0.0633	-0.0543	0.0863	0.0166	0.1361
UCL	0.0313	0.1150	0.1176	0.1859	0.1562	0.1172	0.2037	0.3334	0.1375	0.0682	0.1674	0.0895	0.0181	0.1418
K4	0.0494	0.0451	0.0426	0.0765	0.0606	0.0471	0.1106	0.1160	0.0859	0.0594	0.0483	0.0585	0.0567	0.0947
LCL	0.0479	0.0069	0.0222	0.0573	0.0144	0.0298	0.1098	0.0635	0.0849	0.0580	-0.0464	0.0576	0.0551	0.0933
UCL	0.0509	0.0833	0.0630	0.0956	0.1068	0.0643	0.1115	0.1684	0.0869	0.0608	0.1430	0.0595	0.0584	0.0961
Tau1	7.2136	6.0140	4.8139	8.1675	5.8738	7.2377	4.8608	4.8809	5.7583	6.2704	4.2180	6.6486	14.9604	6.1345
LCL	7.0362	1.9192	1.3330	4.5367	-7.5881	4.1737	4.7883	-0.0892	5.6571	6.0081	-4.0493	6.4394	13.6770	6.0683
UCL	7.3909	10.1089	8.2948	11.7983	19.3357	10.3016	4.9332	9.8510	5.8596	6.5328	12.4854	6.8577	16.2439	6.2006
Tau2	0.4247	0.3882	0.4231	0.3474	0.2691	0.3665	0.1865	0.2163	0.1951	0.2233	0.2154	0.4234	0.6517	0.1544
LCL	0.3934	-0.2915	-0.2306	0.1040	-0.2514	0.0044	0.1822	-0.1205	-0.1871	0.2073	-0.2068	0.4008	0.6151	0.1501
UCL	0.4559	1.0679	1.0768	0.5908	0.7895	0.7286	0.1908	0.5530	0.5773	0.2393	0.6376	0.4461	0.6884	0.1586
Tau3	0.0159	0.0056	0.0085	0.0039	0.0048	0.0085	0.0032	0.0057	0.0049	0.0081	0.0069	0.0056	0.0134	0.0038
LCL	0.0150	-0.0018	-0.0036	-0.0027	-0.0011	-0.0029	0.0031	-0.0014	0.0048	0.0077	-0.0066	0.0053	0.0124	0.0037
UCL	0.0168	0.0131	0.0206	0.0105	0.0107	0.0200	0.0033	0.0128	0.0051	0.0085	0.0203	0.0058	0.0144	0.0039
Tau4	0.1033	0.0911	0.0619	0.0402	0.0347	0.0564	0.0254	0.0348	0.0312	0.0439	0.0493	0.0633	0.0918	0.0253
LCL	0.0920	-0.0796	-0.0230	-0.0084	-0.0212	-0.0254	0.0248	-0.0222	0.0301	0.0404	-0.0473	0.0602	0.0869	0.0243
UCL	0.1146	0.2618	0.1468	0.0888	0.0907	0.1382	0.0261	0.0918	0.0324	0.0475	0.1459	0.0665	0.0966	0.0263

K1, K2, K3, K4 rappresentano le costanti elastiche delle pareti cellulari nei tessuti della cuticola e del parenchima monocellulare;
 Tau1, Tau2, Tau3, Tau4 rappresentano i tempi caratteristici del rilassamento viscoelastico delle pareti cellulari nei tessuti della cuticola e del parenchima monocellulare;
 LCL, UCL rappresentano rispettivamente il limite inferiore e superiore di confidenza (95%) rispetto al valore medio di ciascun parametro del modello ($p < 0.05$).

Tabella 2 - Stime dei parametri del modello reologico che descrive il rilassamento dello sforzo in condizioni di compressione stazionaria (0.5 mm) di mezzo frutto di 9 genotipi di fragola.

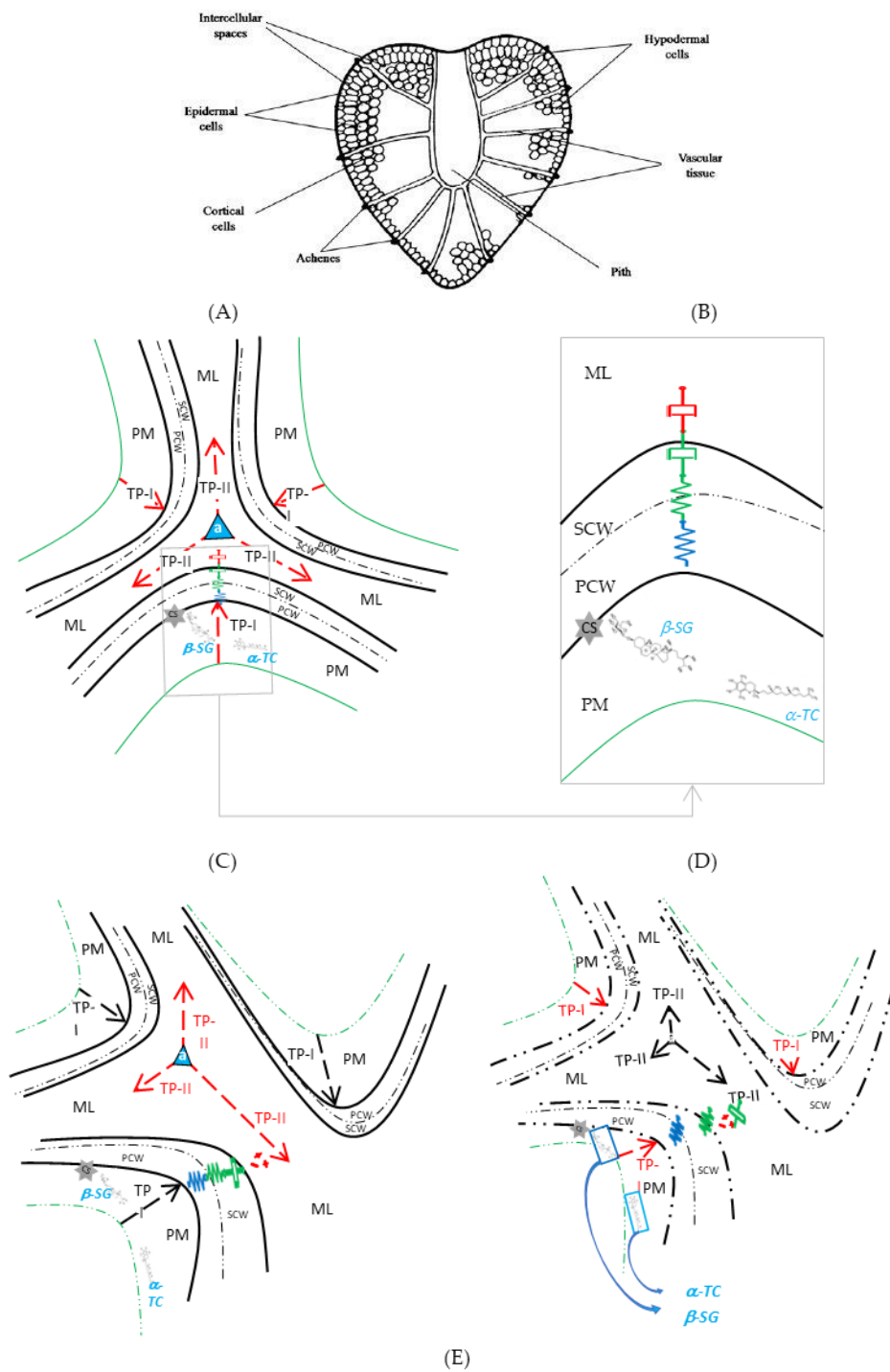
Genotipo	AN12-13-S8	AN15-07-S3	AN16-15-S3	AN16-34-S5	AN16-38-S7	AN16-42-S4	DINA	ROMINA	SILVIA
K1	0.5044	0.3954	0.1765	0.6209	0.3607	0.4672	0.3429	0.2880	0.5417
LCL	0.4878	0.3737	0.1737	0.4230	0.3535	0.0442	0.3353	0.2841	0.3904
UCL	0.5209	0.4171	0.1793	0.8187	0.3679	0.8901	0.3505	0.2919	0.6929
K2	0.1922	0.1082	0.0936	0.1582	0.0407	0.2350	0.2057	0.2002	0.1458
LCL	0.1778	0.0519	0.0914	0.0094	0.0336	-0.0950	0.1980	0.1972	0.0318
UCL	0.2066	0.1645	0.0957	0.3070	0.0478	0.5649	0.2134	0.2032	0.2598
K3	0.3395	0.2049	0.1713	0.3376	0.1143	0.6310	0.4733	0.3524	0.2979
LCL	0.3273	0.1147	0.1700	0.1554	0.0989	0.2206	0.4655	0.3505	0.2362
UCL	0.3518	0.2951	0.1725	0.5198	0.1297	1.0414	0.4811	0.3544	0.3596
K4	0.1421	0.0818	0.0742	0.1177	0.0573	0.2324	0.1740	0.1574	0.1030
LCL	0.1317	0.0471	0.0728	0.0287	0.0448	0.0396	0.1686	0.1557	0.0158
UCL	0.1525	0.1165	0.0755	0.2066	0.0698	0.4252	0.1793	0.1592	0.1903
Tau1	0.0027	0.0045	0.0023	0.0036	0.0030	0.0045	0.0029	0.0021	0.0025
LCL	0.0026	0.0042	0.0023	0.0018	0.0029	0.0000	0.0028	0.0021	0.0014
UCL	0.0029	0.0049	0.0024	0.0055	0.0031	0.0101	0.0030	0.0022	0.0037
Tau2	0.0184	0.0333	0.0146	0.0244	0.1232	0.0249	0.0206	0.0144	0.0179
LCL	0.0156	0.0128	0.0140	0.0000	0.0354	0.0000	0.0191	0.0139	0.0000
UCL	0.0213	0.0538	0.0153	0.0707	0.2111	0.0986	0.0221	0.0148	0.0460
Tau3	2.2412	2.9361	1.9245	2.9001	2.2121	3.1788	2.3455	2.1902	2.4749
LCL	1.8757	0.0000	1.8673	-5.0285	1.0470	0.0000	2.1714	2.1331	0.0000
UCL	2.6067	8.7928	1.9818	10.8288	3.3772	14.5020	2.5195	2.2472	5.0878
Tau4	0.0986	0.1526	0.0858	0.1251	0.0255	0.1280	0.1065	0.0901	0.0916
LCL	0.0787	0.0000	0.0822	0.0000	0.0174	0.0000	0.0962	0.0874	0.0000
UCL	0.1184	0.4264	0.0895	0.5062	0.0337	0.5703	0.1169	0.0928	0.2442

K1, K2, K3, K4 rappresentano le costanti elastiche delle pareti cellulari nei tessuti della cuticola e del parenchima monocellulare;

Tau1, Tau2, Tau3, Tau4 rappresentano i tempi caratteristici del rilassamento viscoelastico delle pareti cellulari nei tessuti della cuticola e del parenchima monocellulare;

LCL, UCL rappresentano rispettivamente il limite inferiore e superiore di confidenza (95%) rispetto al valore medio di ciascun parametro del modello ($p < 0.05$).

Figura 9 - Ipotesi dell'effetto della sollecitazione meccanica sulla resistenza alla frattura della parete cellulare o allo slittamento lungo la lamella mediana all'interno dei tessuti di fragola.



$$EPR = \frac{\sum_1^4 K_i}{\sum_1^4 E t a_i} = \frac{\text{Cell Cleavage Parameter}}{\text{Cell Separation Parameter}}$$

Figura 10 - Risultati dell'analisi della varianza ANOVA basata su alcune proprietà reologiche fondamentali (EPR, SFi) ed empiriche (durometro) rilevate sul frutto intero.

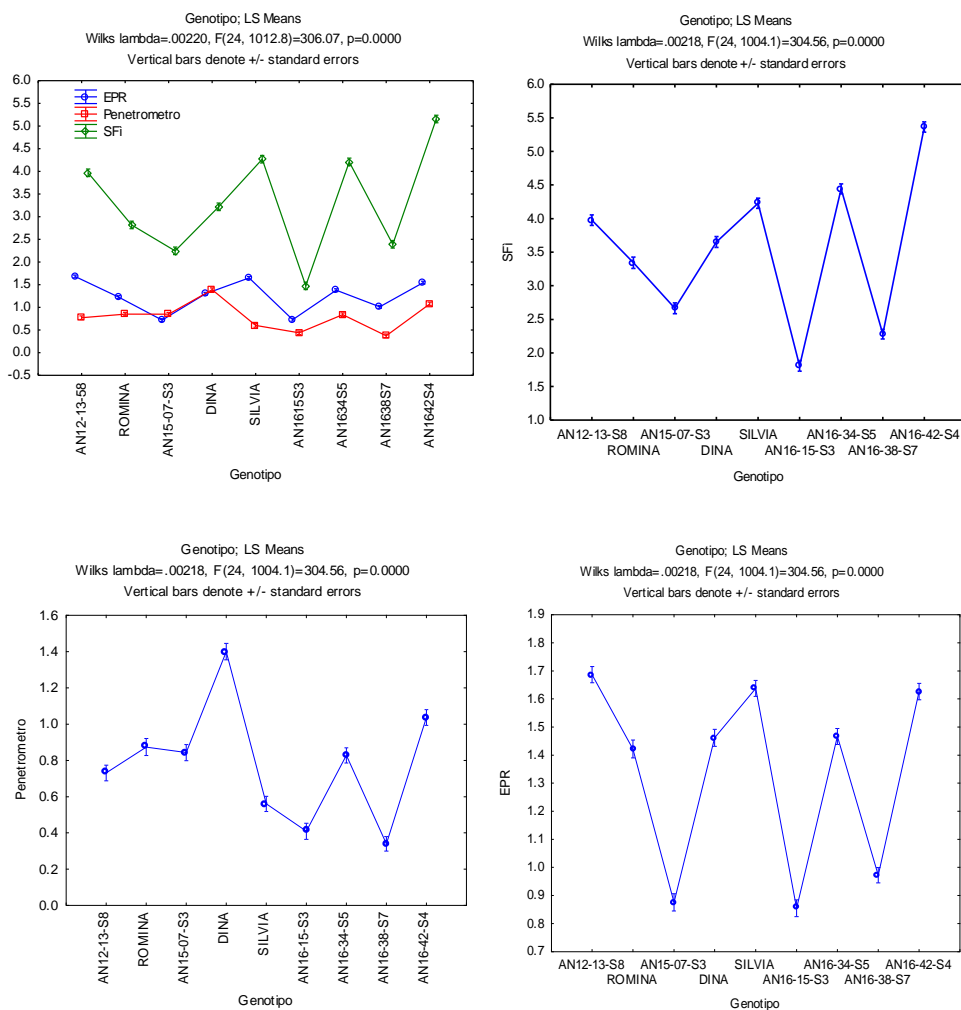


EPR [(mm/min)-1]: rappresenta il rapporto tra le componenti elastiche e plastiche dei tessuti di fragola rilevate durante il rilassamento degli sforzi nelle condizioni di deformazione costante (0.5 mm);

SFi (N): rappresenta la sommatoria delle forze elastiche dei tessuti della fragola rilevate durante il rilassamento degli sforzi nelle condizioni di deformazione costante (0.5 mm);

Durometro (0-100 gradi Shore): la misura corrisponde alla forza massima registrata durante la compressione di un tool cilindrico di area pari a 0.5 cm². Il grado Shore si può esprimere in N moltiplicando per 0.4445. Le misure sono state eseguite in conformità alla linea guida internazionale ASTM-D2240-Durometer-Hardness.

Figura 11 - Risultati dell'analisi della varianza ANOVA basata su alcune proprietà reologiche fondamentali (EPR, SFi) ed empiriche (penetrometro) rilevate sul mezzo frutto.

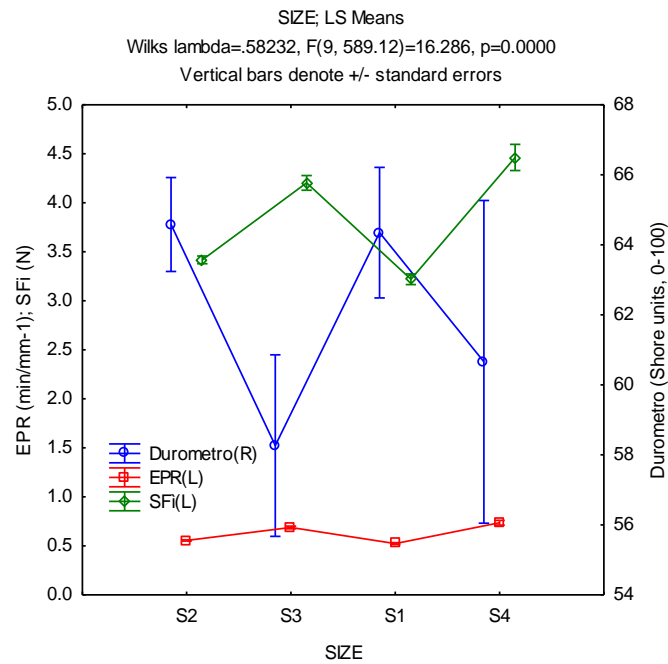


EPR [(mm/min)-1]: rappresenta il rapporto tra le componenti elastiche e plastiche dei tessuti della fragola rilevate durante il rilassamento degli sforzi nelle condizioni di deformazione costante (0.5 mm);

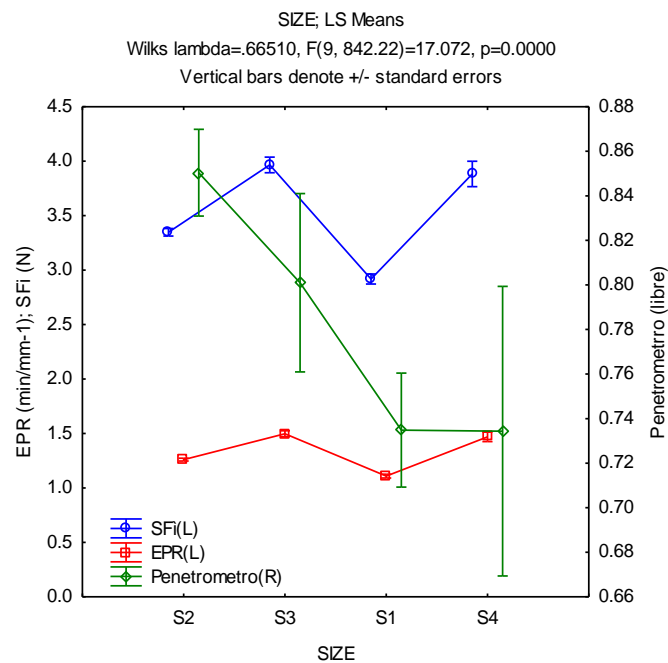
SFi (N): rappresenta la sommatoria delle forze elastiche dei tessuti della fragola rilevate durante il rilassamento degli sforzi nelle condizioni di deformazione costante (0.5 mm);

Penetrometro (libre): la misura corrisponde alla forza massima registrata durante la penetrazione di un tool a stella con diametro area pari a 6 mm. Le libre si possono convertire in N moltiplicando per 0.4445 e per 9.8.

Figura 12 - Effetto del diametro geometrico medio sulle misure reologiche empiriche e fondamentali - analisi della varianza ANOVA.

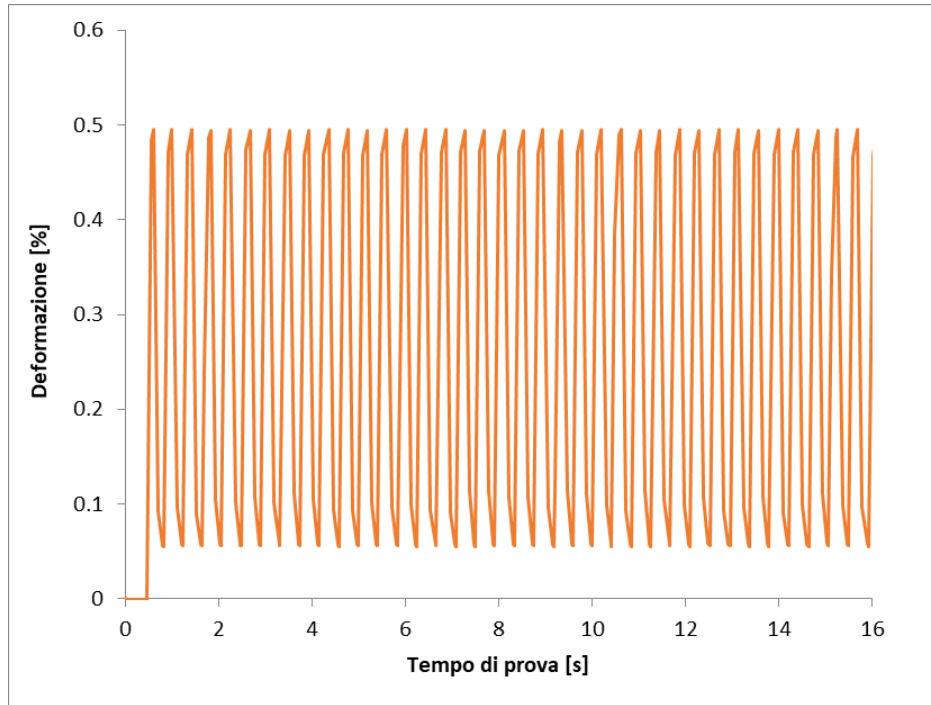


(a)

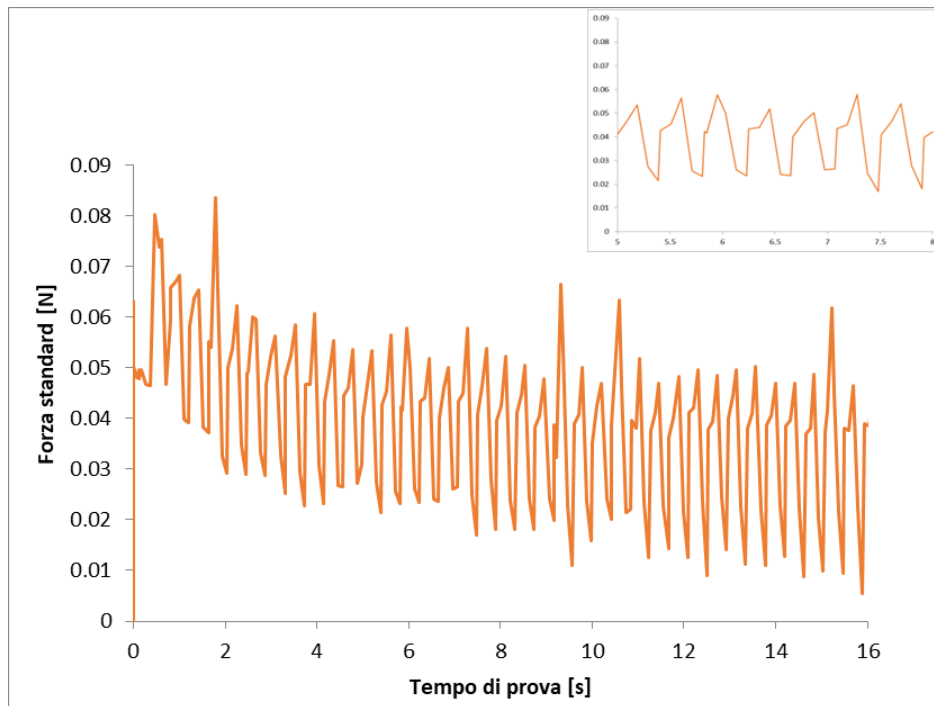


(b)

Figura 13 - Cedimento strutturale dei tessuti superficiali durante una sollecitazione ciclica (a) che comporta una deformazione dello 0.5% rispetto allo spessore radiale massimo iniziale (simulazione delle condizioni di trasporto di fragole stratificate) e corrispondente perdita di resistenza meccanica (b).

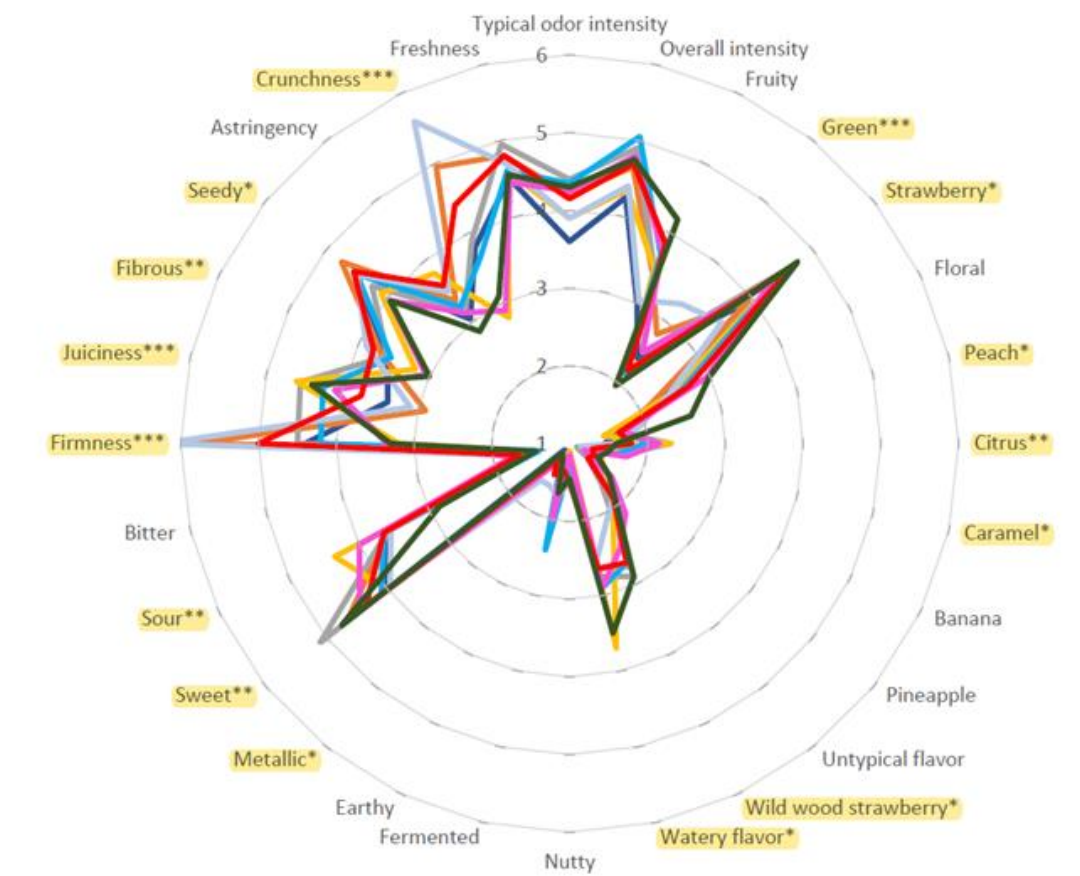


(a)



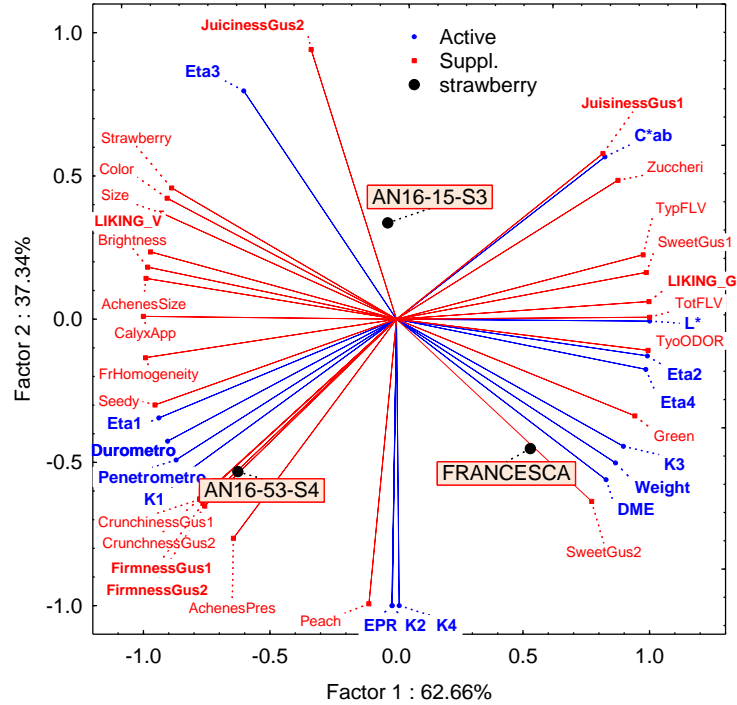
(b)

Figura 14 - Profilo analitico quantitativo degli attributi sensoriali rilevato dal panel sensoriale addestrato comparativo di diversi genotipi di fragola.



Genotipi: AN13-13-S5, AN14-12-S8, AN15-07-S3, AN16-15-S3, AN16-53-S4, DINA, FRANCESCA, LAURETTA, ROMINA.

Figura 15 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche (blu) rilevate sul frutto intero. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).



ScorePlot (a) - (20 campioni di fragole per ciascun genotipo).

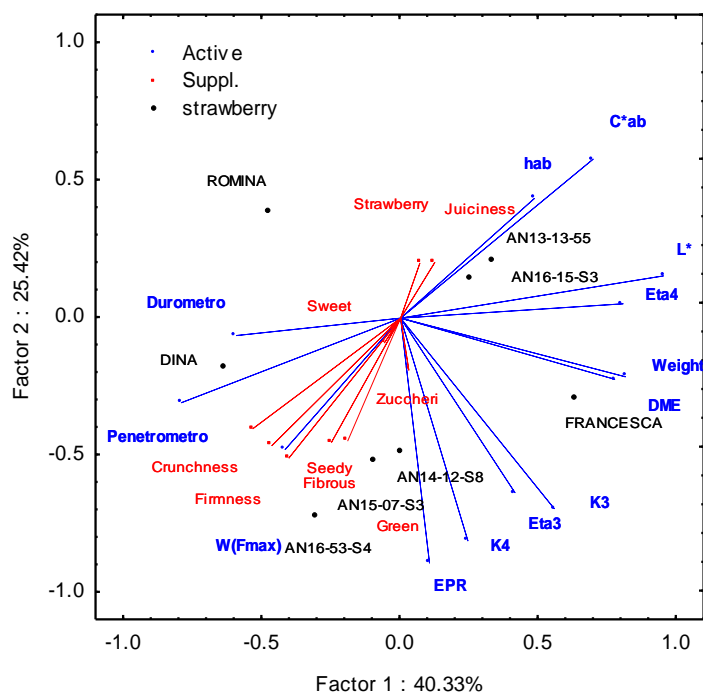
Value number	Eigenvalues of correlation matrix Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	5.243070	40.33130	5.24307	40.3313
2	3.305217	25.42475	8.54829	65.7561
3	1.776063	13.66202	10.32435	79.4181

Eigenvalues of active variables (b) - Percentuale di varianza sperimentale spiegata dalle prime tre componenti principali.

Variable	Factor coordinates of the variables, Active and Supplementary variables	
	Factor 1	Factor 2
Weight	0.865071	-0.501650
DME	0.828076	-0.560615
L*	0.999976	-0.006938
C*ab	0.823840	0.566823
K3	0.896284	-0.443481
K4	0.010779	-0.999942
K1	-0.840398	-0.541969
K2	-0.016582	-0.999863
EPR	-0.018014	-0.999838
Eta3	-0.603693	0.797217
Eta4	0.984588	-0.174888
Eta1	-0.938673	-0.344810
Eta2	0.991751	-0.128177
Durometro	-0.904759	-0.425925
Penetrometro	-0.870981	-0.491317
*Zuccheri	0.874633	0.484786
*LIKING_V	-0.972041	0.234811
*LIKING_G	0.998102	0.061587
*Brightness	-0.983351	0.181714
*Color	-0.906465	0.422280
*Size	-0.928667	0.370913
*AchenesSize	-0.989802	0.142447
*FrHomogeneity	-0.990951	-0.134223
*CalyxApp	-0.999952	0.003796
*TotFLV	0.999976	0.006934
*TypFLV	0.974415	0.224756
*SweetGus1	0.986568	0.163349
*JuicinessGus1	0.815860	0.578249
*AchenesPres	-0.644250	-0.764815
*TyoODOR	0.994067	-0.108768
*Green	0.941430	-0.337210
*Straw berry	-0.888649	0.458588
*Peach	-0.108768	-0.994067
*JuicinessGus2	-0.337096	0.941470
*Seedy	-0.954195	-0.299184
*CrunchinessGus2	-0.778437	-0.627723
*FirmnessGus2	-0.758156	-0.652073
*CrunchinessGus1	-0.777511	-0.628870
*FirmnessGus1	-0.765270	-0.643710
*SweetGus2	0.771487	-0.636245

Factor coordinates (c) – Correlazione tra le proprietà reologiche e le componenti principali.

Figura 16 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA, ROMINA, AN13-13S5, AN14-12-S8, AN15-07-S3, DINA) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche (blu) rilevate sul frutto intero. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).



ScorePlot (a) - (20 campioni di fragole per ciascun genotipo).

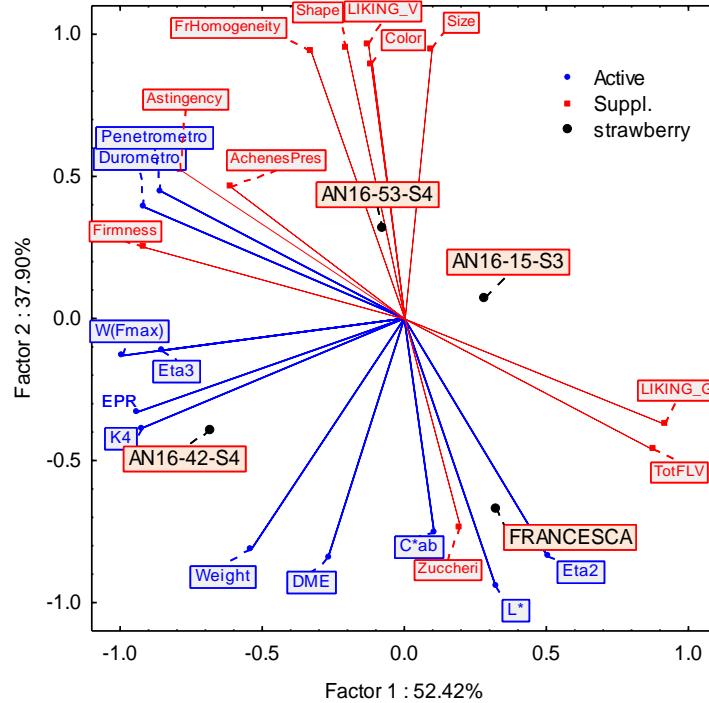
Value number	Eigenvalues of correlation matrix, Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	9.398763	62.65842	9.39876	62.6584
2	5.601237	37.34158	15.00000	100.0000

Eigenvalues of active variables (b) - Percentuale di varianza sperimentale spiegata dalle prime tre componenti principali.

Variable	Factor coordinates of the variables Active and Supplementary variables		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Weight	0.813047	-0.213295	-0.511218
DME	0.774680	-0.222341	-0.534579
L*	0.950724	0.153771	0.113535
C*ab	0.696796	0.578103	0.247562
hab	0.483963	0.435393	0.354136
W(Fmax)	-0.417673	-0.477892	0.605615
EPR	0.104579	-0.890629	-0.159455
K4	0.243402	-0.809998	0.429962
K3	0.555949	-0.693080	0.245724
Eta4	0.804663	0.052113	-0.231139
Eta3	0.413476	-0.634956	0.040346
Durometro	-0.595473	-0.063345	-0.371158
Penetrometro	-0.794688	-0.308084	-0.446207
*Zuccheri	0.029815	-0.188766	-0.348474
*Crunchness	-0.536251	-0.403205	-0.522905
*Juiciness	0.124041	0.202769	0.872768
*Firmness	-0.465665	-0.463450	-0.525727
*Sweet	-0.059610	-0.091460	0.221697
*Fibrous	-0.405195	-0.510578	-0.324390
*Seedy	-0.250950	-0.453062	-0.507406
*Straw berry	0.069664	0.199595	0.702751
*Green	-0.191662	-0.447575	-0.466619

Factor coordinates (c) - Correlazione tra le proprietà reologiche e le componenti principali.

Figura 17 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN16-53-S4, FRANCESCA, AN16-42-S4) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali ed empiriche (blu) rilevate sul frutto intero. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).



ScorePlot (a) - (20 campioni di fragole per ciascun genotipo)

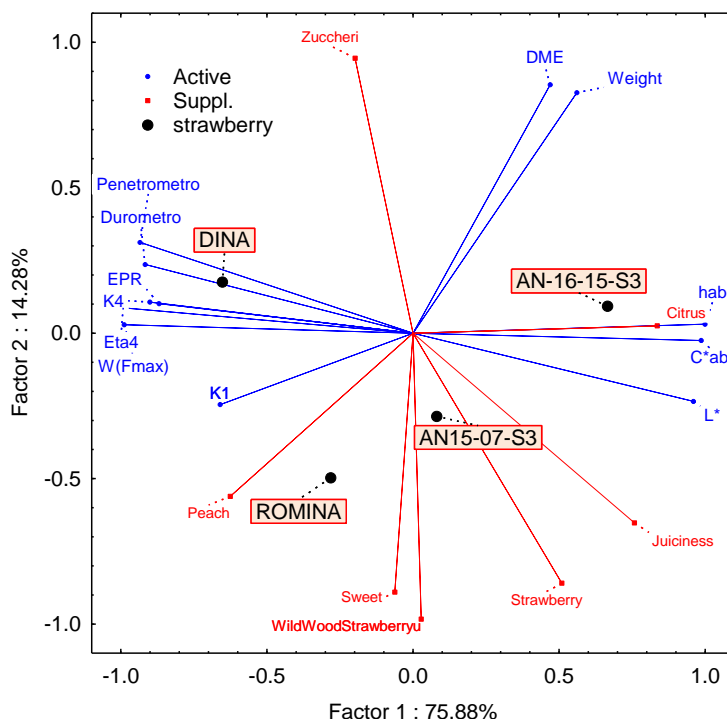
Value number	Eigenvalues of correlation matrix Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	9.105474	75.87895	9.10547	75.8789
2	1.713513	14.27928	10.81899	90.1582
3	1.181013	9.84177	12.00000	100.0000

Eigenvalues of active variables (b) - Percentuale di varianza sperimentale spiegata dalle prime tre componenti principali.

Variable	Factor coordinates of the variables Active and Supplementary variables *Supplementary variable		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Weight	-0.538261	-0.812727	-0.223047
DME	-0.267119	-0.838135	-0.475581
L*	0.322207	-0.943044	0.082766
C*ab	0.105240	-0.754902	0.647339
W(Fmax)	-0.991345	-0.130806	-0.011199
K4	-0.920696	-0.385200	0.062767
Eta3	-0.854010	-0.113537	0.507717
Eta2	0.504124	-0.837619	-0.210364
EPR	-0.943434	-0.330938	-0.020298
Durometro	-0.919051	0.393412	-0.023916
Penetrometro	-0.861125	0.450243	-0.236104
*Zuccheri	0.195332	-0.733070	0.651501
*LIKING_V	-0.128124	0.962796	0.237923
*Size	0.094830	0.946731	0.307745
*Color	-0.114957	0.896541	0.427783
*Shape	-0.204205	0.953631	0.221108
*FrHomogeneity	-0.329533	0.939650	-0.092014
*LIKING_G	0.919081	-0.371681	-0.130935
*TotFLV	0.873809	-0.459692	-0.158562
*Firmness	-0.917093	0.252955	-0.308145
*AchenesPres	-0.609281	0.462645	-0.644000
*Astringency	-0.786772	0.523177	-0.327528

Factor coordinates (c) - Correlazione tra le proprietà reologiche e le componenti principali.

Figura 18 - Risultati dell'analisi delle prime due componenti principali (Factor 1, Factor 2) finalizzata alla discriminazione di tre genotipi di fragola (AN16-15-S3; AN15-07-S3, ROMINA, DINA) utilizzando come variabili attive alcune proprietà reologiche fondamentali rilevate sul mezzo frutto e di alcune proprietà empiriche rilevate sul mezzo frutto. Alcuni descrittori sensoriali sono utilizzati come variabili supplementari (rosso).



ScorePlot (a) - (40 campioni di fragole per ciascun genotipo)

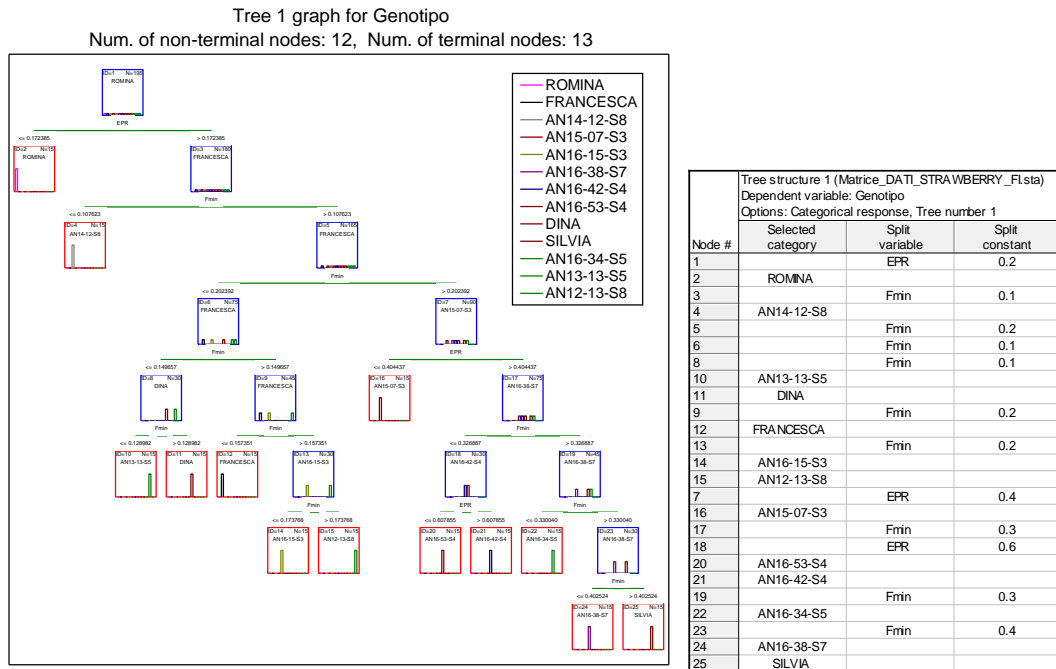
Value number	Eigenvalues of correlation matrix, Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	5.332966	76.18523	5.332966	76.1852
2	1.328867	18.98381	6.661833	95.1690
3	0.338167	4.83096	7.000000	100.0000

Variable	Factor coordinates of the variables, Active and Supplementary variables		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
W(Fmax)	-0.976833	-0.196201	-0.085454
K2	-0.893966	-0.447885	-0.014980
Eta1	-0.876775	-0.189117	0.442155
Eta4	0.574062	-0.793681	-0.201303
EPR	-0.914679	-0.392210	-0.097639
Durometro	-0.940289	0.331783	-0.076006
Penetrometro	-0.872082	0.400209	-0.281614
*Zuccheri	0.200650	-0.742120	0.639530
*LIKING_V	-0.210387	0.942573	0.259408
*Size	0.007855	0.938845	0.344250
*Color	-0.205661	0.870329	0.447473
*Shape	-0.284326	0.928980	0.236972
*FrHomogeneity	-0.386712	0.918320	-0.084512
*LIKING_G	0.949388	-0.304353	-0.077669
*TotFLV	0.912307	-0.394102	-0.111268
*TypFLV	0.988854	-0.148704	0.007420
*Firmness	-0.909214	0.202442	-0.363796
*Achenes Pres	-0.594438	0.444566	-0.670078
*Astingency	-0.796886	0.481296	-0.365140

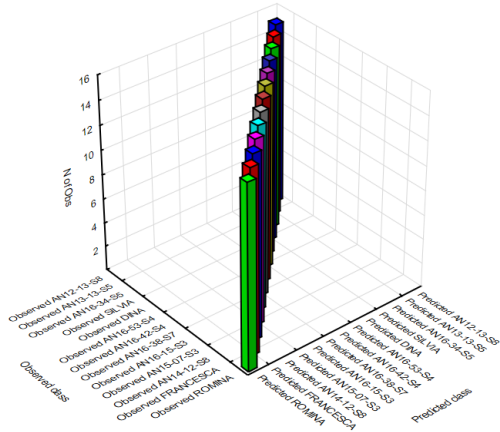
Eigenvalues of active variables (b) - Percentuale di varianza sperimentale spiegata dalle prime tre componenti principali.

Factor coordinates (c) – Correlazione tra le proprietà reologiche e le componenti principali.

Figura 19 - Sviluppo di un modello decisionale per la previsione di classificazione non supervisionata di 13 genotipi di fragola (20 campioni per genotipo) basato sull' algoritmo di decisione ad albero per l' individuazione di cutoff per due proprietà reologiche (EPR, Fmin) che descrivono il rilassamento degli sforzi in condizione di compressione costante (0.5 mm). Il set di dati per la validazione (Test sample) del modello è pari al 25% di quello utilizzato per lo sviluppo (Analysis sample).



Classification matrix 1
Dependent variable: Genotipo
Options: Categorical response, Tree number 1, Analysis sample



Classification matrix 1
Dependent variable: Genotipo
Options: Categorical response, Tree number 1, Test sample

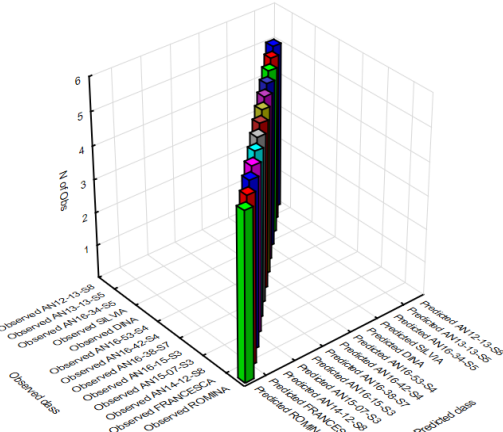
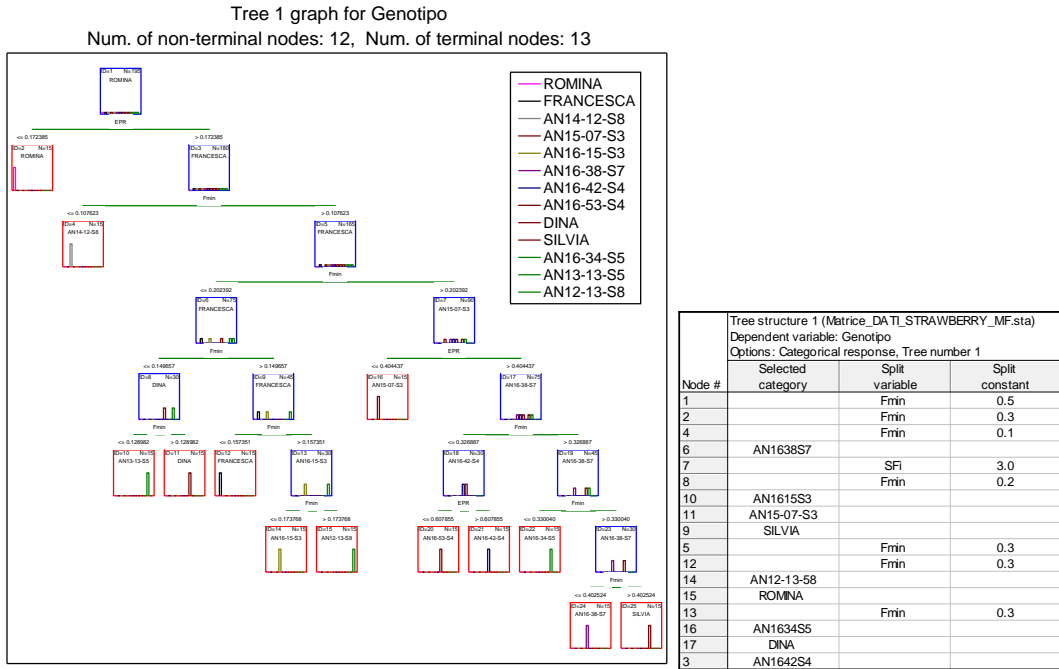
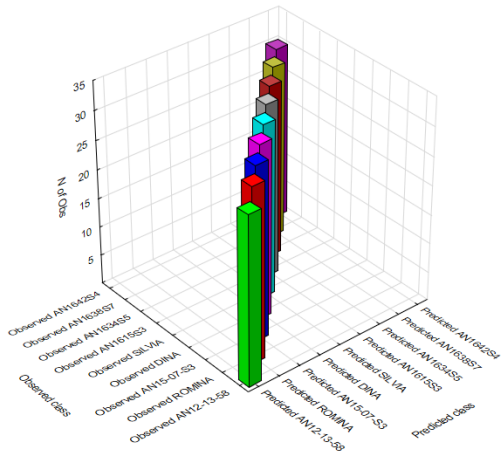


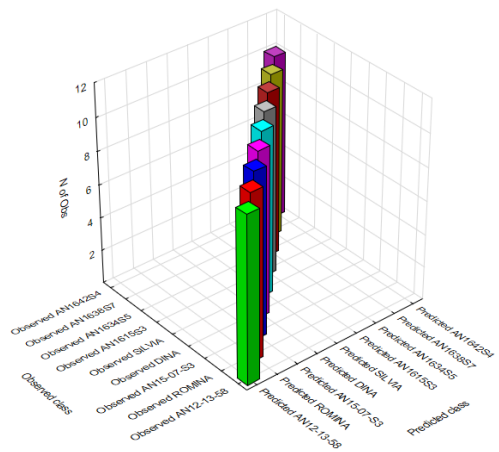
Figura 20 - Sviluppo di un modello decisionale per la previsione di classificazione non supervisionata di 9 genotipi di fragola (40 campioni per genotipo) basato sull'algoritmo di decisione ad albero per l'individuazione di cutoff per due proprietà reologiche (EPR, Fmin) che descrivono il rilassamento degli sforzi in condizione di penetrazione costante (25 % dello spessore massimo iniziale). Il set di dati per la validazione (Test sample) del modello è pari al 25% di quello utilizzato per lo sviluppo (Analysis sample).



Classification matrix 1
Dependent variable: Genotipo
Options: Categorical response, Tree number 1, Analysis sample



Classification matrix 1
Dependent variable: Genotipo
Options: Categorical response, Tree number 1, Test sample



BIBLIOGRAFIA

FAO ONU, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). https://www.fao.org/news/archive/newsbydate/2021/it/?page=2&ipp=10&tx_dynalist_pi1%5Bpar%5D=YToxOntzOjE6IkwiO3M6MToiMCI7fQ%3D%3D

Hernández-Martínez N. R.; Blanchard C.; Wells D.; Salazar-Gutiérrez M. R. ; Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review (2023). *Scientia Horticulturae*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>

ISTAT, Istituto Nazionale di Statistica (2023). <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=37850>.

Lunati F. ; Riguardare spazio nel mercato europeo è la sfida per la fragola italiana (2021). *Rivista di frutticoltura e di ortofrutticoltura*. <https://rivistafrutticoltura.edagricole.it/prezzi-frutta/mercato-europeo-fragola-italiana/>

Strawberry analysis 2021 (2021). Producepay. <https://unindexed-files.s3.us-west-2.amazonaws.com/whitepaper-strawberry.pdf>

Della Casa R. and Baruzzi G. ; Speciale fragola (2013). *Frutticoltura* n. 6. https://rivistafrutticoltura.edagricole.it/wp-content/uploads/sites/18/2015/01/FR_13_06_Speciale_fragola_mercato.pdf

GIFT, Great Italian Food Grade (2023). <https://www.greatitalianfoodtrade.it>

US Department of Agriculture, Agriculture Research Service ; USDA national nutrient for standard references, release 23. *Fruits and fruit juices* (2010), pp. 785–7. <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/mafcl-site-pages/sr11-sr28/>

Scalzo, J.; Politi, A.; Pellegrini, N.; Mezzetti, B.; Battino, M. ; Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit (2005). *Nutrition*, 21, pp. 207–13.

<https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.03.025>

Giampieri, F.; Tulipani, S.; Alvarez-Suarez, J. M.; Quiles, J.L.; Mezzetti, B.; Battino, M. ; The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health (2012). *Nutrition*, 28 pp. 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>

Carr, A.C. and Maggini, S. ; Vitamin C and Immune Function (2017). *Nutrients*, 9. <https://doi.org/10.3390/nu9111211>

Iyer, R. and Tomar, S. ; Folate: A Functional Food Constituent (2009). *J. Food Sci.*, 74, pp. 114–122. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01359.x>

Shulpekova, Y.; Nechaev, V.; Kardasheva, S.; Sedova,, A.; Kurbatova, A.; Bueverova, E.; Kopylov, A.; Malsagova, K.; Dlamini, J.; Ivashkin, V. ; The Concept of Folic Acid in Health and Disease (2021). *Molecules*, 26. <https://doi.org/10.3390/molecules26123731>

Wang, S.Y. and Zheng, W. ; Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry (2001). *J. Agric. Food Chem.*, 49, pp. 4977–4982.

<https://doi.org/10.1021/jf0106244>

Amini, A.M.; Muzs, K.; Spencer, J.P.; Yaqoob, P. ; Pelargonidin-3-O-glucoside and its metabolites have modest anti-inflammatory effects in human whole blood cultures (2017). *Nutr. Res.*, 46, pp. 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.09.006>

Cerda, B.; Toma's-Barbera, F.A.; Espin, J.C. ; Metabolism of antioxidant and chemopreventive ellagitannins from strawberries, raspberries, walnuts, and oak-aged wine in humans: Identification of biomarkers and individual variability (2005). *J. Agr. Food Chem.*, 53, pp. 7–235. <https://doi.org/10.1021/jf049144d>

Sharifi-Rad, J.; Quispe, C.; Castillo, C.M.S.; Caroca, R.; Lazo-Vélez, M.A.; Antonyak, H.; Polishchuk, A.; Lysiuk, R.; Oliinyk, P.; De Masi, L. ; Ellagic Acid: A Review on Its Natural Sources, Chemical Stability, and Therapeutic Potential (2022). *Oxidative Med. Cell Longev.*, 24. <https://doi.org/10.1155/2022/3848084>

Newerli-Guz, J.; Śmiechowska, M.; Drzewiecka, A.; Tylingo, R. ; Bioactive Ingredients with Health-Promoting Properties of Strawberry Fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne) (2023). *Molecules*, 28. <https://doi.org/10.3390/molecules28062711>

Ikegaya, A.; Toyozumi, T.; Ohba, S.; Nakajima, T.; Kawata, T.; Ito, S.; Arai, E. ; Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries (2019). *Food Sci. Nutr.*, 7, pp. 2419–2426. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1109>

Cao, X.; Wang, Y.; Liao, X.; Hu, X. ; Characterization of physico-chemical and bio-chemical compositions of selected four strawberry cultivars (2018). *J. Appl. Bot. Food Qual.*, 91, pp. 155–162. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.021>

Ruan, J.; Lee, Y.H.; Hong, S.J.; Yeoung, Y.R. ; Sugar and organic acid contents of day-neutral and ever-bearing strawberry cultivars in high-elevation for summer and autumn fruit production in Korea (2013). *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 54, pp. 214–222. DOI: 10.1007/s13580-013-0186-8

Pepe S. ; la chimica della fragola (2020). Goldelicious. <https://www.godelicious.it/la-chimica-della-fragola/>

Gunness, P.; Kravchuk, O.; Nottingham, S. M.; D’Arcyb, B. R.; Gidleya, M. J. ; Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis (2009). *Postharvest Biology and Technology*, 52, pp. 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.11.006>

Dirinck, P.J.; De Pooter, H.L.; Willaert, G.A.; Schamp, N.M. ; Flavor quality of cultivated strawberries: the role of the sulphur compounds (1981). *J. Agric. Food Chem.*, 29, pp. 316–321.

Kader, A.A. ; Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry (1991). In: Dale, A.; Luby, J.J. (Eds.) ; The strawberry into the 21st century. Proceedings of the Third North American Strawberry Conference (1990). Houston, Texas, pp. 145–152.

Hakala, M.; Tahvonen, R.; Huopalahti, R.; Kallio, H.; Lapveteläinen, A. ; Quality factors of Finnish strawberries (2002). *Acta Hort.*, 567, pp. 727–730.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.567.159>

Zabetakis, I. and Holden, M.A. ; 1997. Strawberry flavour: analysis and biosynthesis (1997). *J. Agric. Food Chem.*, 74, pp. 421–434. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199708\)74:4<421::AID-JSFA817>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199708)74:4<421::AID-JSFA817>3.0.CO;2-6)

Forney, C.F.; Kalt, W.; Jordan, M.A. ; The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity, and storage (2000). *HortScience*, pp. 1022–1026.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.6.1022>

Szczesniak, A. S. ; Classification of Textural Characteristics (1996). *Journal of food science*, 28, pp. 385-389. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>

Civille, G. V. and Szczesniak, A.S. ; Guidelines to training a texture profile panel (1973). *Journal of texture studies*, 4, pp. 204-223. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1973.tb00665.x>

Szczesniak, A. S. and Ilker, R. ; The meaning of textural characteristic – juiciness in plant foodstuff (1988). *Journal of texture studies*, pp. 61-78.

Brett, C.T.; Waldron K.W. ; Physiology and biochemistry of plant cell walls (1996). In: Black, M.; Charlwood, B. ; Topics in plant functional biology. London, U.K.: Chapman and Hall, pp. 230.

Lin, T.T. and Pitt, R.E. ; Rheology of apple and potato tissue as affected by cell turgor pressure (1986). *J Text Stud*, 17, pp. 291-313. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1986.tb00554.x>

Hiller, S. and Jeronimidis, G. ; Fracture in potato tuber parenchyma (1996). *J Mater Sci*, 31 pp. 2779-96.

Giovannoni, J. ; Molecular biology of fruit maturation and ripening (2001). *Ann Rev Plant Physiol Plan Mol Biol*, 52, pp. 725-49.

<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.725>

Waldron, K. W.; Parker, M.L.; Smith, A.C. ; Plant Cell Walls and Food Quality (2003). *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2, pp. 128-146.

<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x>

Xue, A.; Zhiguo, L.; Zude-Sasse, M.; Tchuenbou-Magaia, F.; Yougang, Y ; Characterization of textural failure mechanics of strawberry fruit (2020). *Journal of Food Engineering*, 282.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110016>

Pădureț, S.; Oroian, M.; Gutt, G.; Amariei, S. ; Evaluation of strawberry texture in close relation with their anisotropy (2007). *INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD PROPERTIES*, 20, pp. 247–259. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2016.1155054>

Xue, A.; Zhiguo, L.; Wegner, G.; Zude-Sasse, M. ; Effect of cell size distribution on mechanical properties of strawberry fruit tissue (2023). *Food Research International*, 169.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112787>

Khammayom, N.; Maruyama, N.; Chaichana, C. ; The Effect of Climatic Parameters on Strawberry Production in a Small Walk-In Greenhouse (2022). *AgriEngineering*, 4, pp. 104–121. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101945>

Na, M.H.; Jeon, W.B.; Cho, Y.; Lee, H.R.; Park, Y.; Cho, W.H.; Kim, D.H. ; Discrimination of Environmental Factors Affecting Strawberry Yield (2018). *Intelligent Environments*, 22, pp. 79-86. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1265.38>

Azam, M.; Ejaz, S.; Rehman, R.N.U.; Khan, M.; Qadri, R. ; Postharvest Quality Management of Strawberries (2019). *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.82341

Xiao, G.; Zhang, M.; Luo, G.; Peng, J.; Salokhe, V.M.; Guo, J. ; Effect of modified atmosphere packaging on the preservation of strawberry and the extension of its shelf-life (2004). *International Agrophysics*, 18.

Trinetta, V.; McDaniel, A.; Batziakas, K.G.; Yucel, U.; Nwadike, L.; Pliakoni, E. ; Antifungal Packaging Film to Maintain Quality and Control Postharvest Diseases in Strawberries (2020), *Antibiotics*, 9, 618. doi:10.3390/antibiotics9090618

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio i miei genitori e mia sorella per avermi permesso di intraprendere questo percorso e per essermi stati sempre vicini;

Ringrazio i nonni per il loro affetto e per la loro presenza, vi voglio bene;

Ringrazio gli zii e zie, cugini e cugine;

Ringrazio Giorgia per avermi sempre supportato e sopportato;

Ringrazio il Dott. Buster;

Ringrazio i miei amici;

Ringrazio il gruppo di ricerca di Scienze e Tecnologie Alimentari, in particolare il Prof. P. M. Falcone per la sua disponibilità e professionalità;

Ringrazio il gruppo di ricerca di arboricoltura generale e coltivazioni arboree, in particolare il Prof. B. Mezzetti, F. Capocasa, L. Mazzoni per la loro encomiabile competenza nei programmi di selezione e miglioramento genetico della fragola;