

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO
EMILIA**

Dipartimento di Scienze della Vita

Corso di Laurea in Sostenibilità Integrata dei Sistemi Agricoli



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

**Valutazione dei parametri morfologici e
qualitativi durante la maturazione di cultivar
di arancia rossa (*Citrus sinensis* L. Osbeck) in
Sicilia**

Relatore

Prof. Francesco Reyes

Tesi di Laurea di

Alfredo Randazzo

Co- Relatore

Prof. Alberto Continella

Anno Accademico 2026

Sommario

1.	Introduzione	1
1.1	Origine e Inquadramento tassonomico degli agrumi	1
1.2.	Principali varietà di arancio.....	1
1.3.	Caratteristiche qualitative delle arance rosse	6
1.4.	Fattori agronomici che influenzano la qualità delle arance rosse.....	14
1.5.	Effetto dell'ambiente sulle caratteristiche qualitative delle arance rosse	16
2.	Scopo della tesi.....	22
3.	Materiali e Metodi	23
3.1	Determinazione dei parametri morfologici e fisico-chimici	23
4.	Risultati	25
5.	Discussione	30
6.	Conclusioni	33
7.	Bibliografia	34

1. Introduzione

1.1 Origine e Inquadramento tassonomico degli agrumi

Il termine *Citrus* identifica un genere di piante angiosperme della famiglia delle *Rutaceae*, originarie dell'Asia sud-orientale. Grazie alla loro capacità di adattamento, si sono diffuse in tutto il mondo, specialmente nelle zone a clima temperato caldo. Sono piante sempreverdi, con foglie coriacee e lamina più o meno espansa, ricca di stomi, fiori bianchi che emanano un intenso profumo (Mabberley et al., 2016). La classificazione del genere *Citrus* è particolarmente complessa a causa di diversi fattori. Uno dei più importanti è l'elevato tasso di ibridazione tra le specie, che ha portato alla formazione di numerosi ibridi, rendendo difficile tracciare confini netti tra le specie stesse. A ciò si aggiunge la plasticità fenotipica degli agrumi, che contribuisce alla variazione morfologica in risposta a diverse condizioni ambientali. Inizialmente, gli studi sulle relazioni tra generi e specie si basavano principalmente sulle caratteristiche morfologiche. Tuttavia, questa classificazione non considerava la complessità della genetica degli agrumi. Oggi, la classificazione si avvale di metodi molecolari e genetici che permettono di distinguere gli ibridi e di ricostruire le relazioni filogenetiche tra le specie, fornendo un quadro accurato della diversità del genere *Citrus* (Mabberley et al., 2016). Studi precedenti hanno infatti riscontrato l'esistenza di tre specie vere da cui derivano tutti gli agrumi coltivati: cedro (*C. medica* L., 1753), mandarino (*C. reticulata* Blanco, 1837) e pomelo (*C. maxima* (Burm.) Merr., 1917).

1.2. Principali varietà di arancio

Appartengono a questa specie due varietà: l'arancio amaro (*C. aurantium* L.) che è utilizzato come portinnesto e produce frutti di medie dimensioni, con buccia spessa e rugosa che può variare di colore dal verde al giallo-arancio, con la polpa amara, e l'arancio dolce (*C. sinensis* (L.) Osbeck), coltivato per la produzione di frutti da destinare sia al consumo fresco sia alla trasformazione industriale (La Rosa G et al., 2012). In Italia l'arancio sarebbe arrivato tra il XV e il XVI secolo. La produzione di arance rappresenta oggi quasi il 70% di quella agrumicola totale. Le regioni maggiormente coinvolte nella coltivazione sono quelle meridionali, con la Sicilia in testa, che fornisce più della metà della produzione nazionale, seguita dalla Calabria, Basilicata, Puglia, Sardegna e Campania (La Rosa et al., 2012).

Le cultivar di arancio dolce possono distinguersi in quattro raggruppamenti principali (La Rosa et al., 2012):

1) bionde comuni: con e senza semi, alta resa in succo e dolci;

- 2) bionde ombelicate (Navel): senza semi, bassa resa in succo e alti valori di limonina;
- 3) bionde pigmentate: tipicamente italiane, con polpa rossa per l'alto contenuto di antociani e con alti quantitativi di vitamina C;
- 4) Cultivar a basso contenuto di acidi.

Le arance bionde comuni sono il gruppo più antico e numeroso che comprende diverse cultivar e cloni, che producono frutti con epoca di maturazione che varia da precoce a tardiva. Tra le varietà più importati vi sono:

- Biondo comune: è il gruppo più antico e numeroso che comprendeva diversi cloni, epoca di maturazione che varia da precoce a tardiva. Tutti i frutti sono ricchi di semi.
- Belladonna: gruppo con buone qualità organolettiche, succosi e con pochi semi, ma tendente ad elevata alternanza, con piante per metà cariche e per metà no.
- Ovale: gruppo originato da una mutazione chimerica del biondo comune, molto apprezzato per la loro tardiva epoca di maturazione. Frutti di ottima qualità, si prestavano adatti alla conservazione in ambienti freschi. Tuttavia, presentavano una scarsa plasticità e una marcata. Principale problematica era la loro bassa plasticità, e il fenomeno della rifioritura tendenza alla rifioritura; fenomeno che compromette la commerciabilità del prodotto.
- Valencia Late: è il gruppo più diffuso al mondo per l'elevata plasticità e ottima produttività. Vi sono in commercio varietà destinate principalmente alla trasformazione industriale, in quanto i frutti hanno un'alta resa in succo e apireni.

Le arance bionde ombelicate, denominate anche Navel, si distinguono per la presenza di una cicatrice stilare più o meno evidente, che richiama la forma di un ombelico, da cui il nome. Questo fenomeno prende il nome di sincarpi che determina la formazione di un frutticino parzialmente sviluppato derivante da un secondo verticillo di carpelli (La Rosa et al., 2012). Tra le bionde navel vi sono: Whashington Navel, Navelina, Newhall, Navelate, Lane Late e Cara Cara (La Rosa et al., 2012).

- La Washington Navel è derivante da una mutazione gemmaria della cultivar Selecta. I frutti sono di pezzatura medio-elevata, maturano a partire da gennaio e possono essere raccolti fino a tutto febbraio. Ne esistono alcuni cloni, tra cui il Brasiliano m 500 e Brasiliano nucellare 92.
- La navelina è un'altra mutazione originaria della California. Si differenzia dalla Washington Navel per la minore taglia della pianta e per l'anticipo della maturazione (circa tre settimane). I frutti sono leggermente più piccoli, la produttività è buona e costante. Questa varietà è oggi molto diffusa in Spagna e Italia (La Rosa et al., 2012).

- La cultivar Newhall è molto simile alla Navelina per epoca di maturazione e produttività. I frutti sono un po' più allungati e anticipano di qualche giorno la pigmentazione della buccia (La Rosa et al., 2012).
- Le arance Navelate derivano da una mutazione delle W. Navel. I frutti sono di ottima qualità e pezzatura medio-elevata, di forma tendente all'ovale e di ottimo sapore. L'epoca di maturazione è medio-tardiva, con frutti che si mantengono sulla pianta fino a marzo-aprile.
- La varietà Lane Late è attualmente la cultivar Navel tardiva di maggiore interesse. La sua origine è dell'Australia, la pianta è molto simile a quella della W. Navel e i frutti sono simili; in particolare quelli di Lane Late hanno una buccia più sottile e liscia e un ombelico più piccolo.
- La cultivar Cara Cara, è caratterizzata da frutti con polpa di colore rosso intenso e uniforme, pigmentazione dovuta alla presenza di licopene e non di antociani. Per gli altri parametri qualitativi, inclusa l'epoca di maturazione, risulta sostanzialmente sovrapponibile alla varietà W. Navel.
- Le cultivar Powell e Chislett sono mutazioni di Navel originarie dell'Australia. Le cultivar sono molto apprezzate per la loro tardività, dovuta principalmente alla loro capacità di mantenersi a lungo sulla pianta senza manifestare fenomeni di senescenza.

Le arance a polpa pigmentata sono diffuse principalmente sul territorio nazionale e sono caratterizzate da un ampio calendario di maturazione (Figura 1). La produzione italiana di arance rosse attualmente si avvicina a 1 milione di tonnellate e rappresenta circa il 50% della produzione totale di arance (in Sicilia incidono per il 70%). Particolarità è l'intensa colorazione rossa della polpa dovuta alla presenza di pigmenti rossi appartenente alla classe delle antocianine (La Rosa et al., 2012). L'intensità di colorazione è variabile ed è correlata ai fattori genetici e ambientali. Tradizionalmente, le arance rosse si distinguono in tre gruppi varietali: Sanguigno e Sanguinello, Moro e Tarocco (La Malfa e Caruso, 2022). Le cultivar del gruppo sanguigno sono tra le più antiche e citate in letteratura. I loro frutti hanno una pezzatura ridotta e sono ricchi di semi (La Malfa e Caruso, 2022). In passato si distinguevano in Sanguigno comune e Sanguigno doppio. Per quanto riguarda la colorazione della buccia, il Sanguigno doppio assume una colorazione rosso-violacea dovuta alla maggiore concentrazione di antocianine (La Rosa et al., 2012).

- I Sanguinelli hanno un'ottima qualità dei frutti, per la loro epoca di maturazione, con la raccolta che può arrivare fino a marzo. Questa cultivar era molto apprezzata negli anni '50 per l'intensa pigmentazione della buccia, e della loro resistenza al trasporto.
- Il Moro è una delle cultivar caratterizzate da un'abbondante pigmentazione. A piena maturazione sia la polpa che la buccia presentano un colore rosso intenso tendente al violaceo. A maturazione avanzata i frutti assumono un sapore caratteristico, dovuto all'abbassamento degli acidi e ai processi ossidativi a carico delle antocianine (La Rosa et al., 2012). Esistono una linea nucellare, la Moro 58-8D-1, e una linea risanata mediante microinnesto, la Moro m45.
- Con il termine Tarocco si indica una cultivar-popolazione poiché sono stati individuati nel tempo diversi cloni con caratteristiche diverse in funzione dell'epoca di maturazione, della forma dei frutti e dei livelli di pigmentazione. Tra questi vi sono il Tarocco nucellare 57-1E-1, Tarocco dal muso, Tarocco Scirè, Tarocco Gallo, Tarocco Rosso, Tarocco Sciara, Tarocco Ippolito, Tarocco Meli, Tarocco Sant'Alfio e tanti altri (La Rosa et al., 2012).

Il T. nucellare 57-E1-1 è una delle prime selezioni di Tarocco che si è diffuso agli inizi degli anni 60' in Sicilia. Oltre per una lunga fase giovanile il tarocco nucellare si caratterizza per l'elevata vigoria e la notevole presenza di spine. Una pianta adulta di questa cultivar può produrre fino a 2 quintali di frutti in virtù del notevole sviluppo della chioma. L'epoca di maturazione è precoce, mentre i frutti hanno una pezzatura media, sono sub sferici e con poca pigmentazione sia sulla buccia che nella polpa. I pregi principali sono la precocità e la produttività, mentre il maggior difetto è la spinescenza che può causare ferite ai frutti in presenza di forte vento (La Rosa et al., 2012).

Il T. dal Muso è tra i cloni di più antica coltivazione, si caratterizza per la pezzatura media-elevata dei frutti. La pianta è sensibile al vento e tende a fruttificare nella parte più bassa e interna della chioma. I frutti hanno una bassa pigmentazione, ma vengono apprezzati per la pezzatura, la buccia sottile e l'elevata succosità.

Il T. Sciara è un clone con caratteristiche morfologiche molto simili al Tarocco dal Muso. È caratterizzato da ottima pezzatura e produttività dei frutti.

Il T. Scirè è il clone con maggiore diffusione grazie all'ottima produttività e qualità dei frutti, e per la buona persistenza di questi sulla pianta (caratteristica non frequente nei cloni di Tarocco). I frutti sono di pezzatura media, forma subsferica con buccia medio spessa; la pigmentazione antocianica è bassa.

- Il T. Gallo ha avuto una certa diffusione per la sua precocità e la buona qualità dei frutti che sono di buona pezzatura e sapore gradevole. La pigmentazione antocianica è praticamente assente nella buccia ma presente nella polpa.
- Il T. Rosso è un clone a media epoca di maturazione, caratterizzato da un'intensa colorazione rossa a piena maturazione sia nella polpa che nella buccia (La Rosa et al., 2012).
- Il T. Ippolito deriva da una mutazione scoperta negli anni novanta in Sicilia (Lentini). Il frutto si presenta con un'intensa pigmentazione, in particolare nella polpa. Dopo la cultivar di Moro, i frutti di Ippolito sono i frutti con maggior contenuto di antociani. La pezzatura è elevata con forma leggermente ovale, buccia di spessore medio a tessitura compatta e presenza di screziature rosso-vinose. Il sapore è gradevole per l'armonia tra zuccheri e acidi. La produttività è buona e i frutti riescono a resistere sulla pianta per un lungo periodo (La Rosa et al., 2012).
- Il T. Meli è una selezione nucellare. Apprezzata per la tardiva epoca di maturazione (marzo-aprile) e la buona pezzatura. I frutti hanno forma tendenzialmente ellissoidale, la buccia è medio-spessa con livelli di pigmentazione bassi, mentre nella polpa sono più elevati.
- Il T. Sant'Alfio è il clone più tardivo, con frutti che si mantengono bene sulla pianta fino a tutto maggio. La pezzatura è media, forma sferoidale, la buccia sottile. La pigmentazione antocianica raggiunge livelli modesti sia nella buccia che nella polpa.

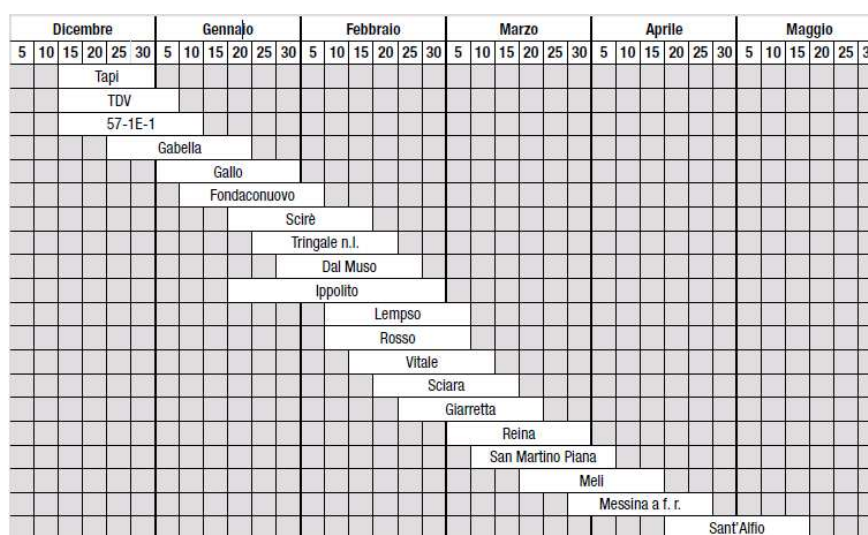


Figura 1. Calendario di maturazione dei principali cloni di Tarocco (La Rosa, 2012).

Le cultivar a basso contenuto di acidi, come il vaniglia apireno e il maltese sanguigno, sono frutti a polpa bionda, destinati al mercato locale. Le cultivar di tarocco oltre a presentare una bassa acidità, sono di media pezzatura, con o senza semi.

1.3. Caratteristiche qualitative delle arance rosse

Tra le diverse varietà di arancio dolce si distinguono le arance pigmentate che sono coltivate in pochi areali limitati (principalmente in Italia) dove le condizioni climatiche sono favorevoli per la sintesi di antocianine, responsabili della tipica colorazione rossa della polpa e della buccia. Questi composti sono idrosolubili e appartengono alla famiglia dei flavonoidi e contribuiscono in modo significativo al valore nutrizionale e commerciale del frutto (Pareek et al., 2015).

Le caratteristiche qualitative delle arance pigmentate, inclusa l'intensità della pigmentazione, sono influenzate in modo sostanziale da diversi fattori, tra cui il genotipo della varietà e del portainnesto, lo stadio di maturazione, l'areale di coltivazione e le condizioni ambientali (Lo Piero, 2015; Lana, 2021). Nel dettaglio, il peso e il calibro variano significativamente tra le varietà; ad esempio è stato riscontrato che nei cloni di Tarocco vi sono valori di peso e calibro più elevati. Il Tarocco dal muso aveva un peso dei frutti di circa 350 g, Tarocco Rosso di 288 g, mentre, il Tarocco Scirè e T. Gallo avevano pesi inferiori (rispettivamente 178 e 183 g) (Butelli, et al., 2021). I Sanguinelli e Tarocco Scirè avevano invece un peso medio/piccolo, il che ne limita l'utilizzo per il mercato fresco, ma vengono preferiti per la trasformazione in succo (Figura 2).

Per quanto concerne gli altri parametri qualitativi, è emerso che le cv. Moro e Tarocco Meli avevano una buccia spessa (rispettivamente 7,7 e 6,6 mm), che conferisce resistenza ai danni meccanici durante il trasporto. Il Tarocco dal muso (3,5 mm) e lo Scirè (4,1 mm) hanno invece bucce sottili e sono più facili da sbucciare (Caruso, et al., 2016).

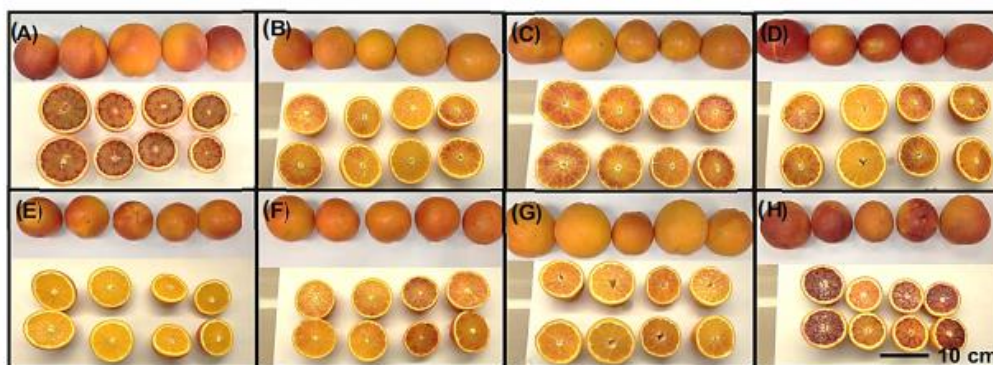


Figura 2. Frutti di arancia rossa: cultivar italiane – (B) Tarocco Sant'Alfio, (C) Tarocco Dalmuso, (D) Tarocco Rosso, (E) Tarocco Gallo, (F) Tarocco Scirè, (G) Tarocco Meli e (H) Moro – contro la varietà spagnola (A) Sanguinelli (Forner-Giner et al., 2023).

Per quanto concerne le analisi biochimiche del succo, solidi solubili totali (TSS), acidi organici (TA), pH, e indice di maturazione (MI) sono tra i parametri più rilevanti (Butelli, et al., 2021). I dati sperimentali sono presentati come media di sei componenti (pH, TSS, TA, MI, metaboliti secondari e primari), venticinque (parametri morfologici) repliche per varietà. l'analisi statistica è stata eseguita mediante analisi della varianza (ANOVA). In tabella 1, Forner-Giner et al. (2023), dopo aver analizzato diverse cultivar di arancio, hanno riportato che il pH era compreso tra 3,83 e 4,42, rispettivamente per Tarocco Meli e Tarocco Gallo, mentre i valori di TSS erano compresi tra 11 e 15 °Brix. Tutti i parametri qualitativi dipendono dall'epoca di maturazione, delle condizioni ambientali e delle pratiche agronomiche (Lado, et al., 2018).

Negli ultimi anni si è registrato un crescente interesse verso le arance rosse, in linea con la maggiore attenzione dei consumatori verso alimenti salutari e ricchi di composti bioattivi, tra cui vi sono gli agrumi pigmentati. Le arance rosse sono ricche di vitamina C; infatti, le cv. Moro e Tarocco hanno concentrazioni generalmente più elevate rispetto a molte varietà di arance bionde. Il gusto caratteristico delle arance rosse presenta una elevata acidità rispetto alle arance bionde, con valori tra 11 e 14 g/L⁻¹ di acido citrico al momento della raccolta (Legua, et al., 2011). Tutto ciò può essere confermato dall'indice di maturazione (MI) che viene calcolato come rapporto tra TSS e TA. In questo senso, la Commissione Europea (CE) ha stabilito i requisiti minimi per i frutti di arancio che per la commercializzazione è 6,5, indipendentemente dalla cultivar o dal tipo di frutto (Anon et al., 2011). Forner-Giner et al. (2023) hanno inoltre riscontrato che T. Gallo presenta l'indice di maturazione più elevato (22,75 TSS/TA), offrendo proprietà sensoriali ottimali, mentre i

frutti di Sanguinello (6,52 TSS/TA) e Tarocco Meli (7,13 TSS/TA) hanno un valore estremamente basso (Tabella 1).

Tabella 1. Parametri morfologici e qualitativi di otto varietà di arance rosse (Sanguinelli, Tarocco Sant'Alfio, Tarocco dal Muso, Tarocco Rosso, Tarocco Gallo, Tarocco Scirè, Tarocco Meli e Moro) innestate su *Citrus macrophylla* “Analisi eseguita mediante ANOVA”. Parametri morfologici (Tratto da Forner-Giner et al., 2023).

	Sanguinelli	T. Sant'Alfio	T. Dal Muso	T. Rosso	T. Gallo	T. Scirè	T. Meli	Moro
FW (g)	225.4 bcd	256.5 bc	350.6 a	288.0 ab	183.2 d	178.3 d	326.2 a	223.5 cd
ED (mm)	74.1 cd	78.4 bc	86.4 a	83.4 bc	72.1 cd	70.1 d	84.5 bc	77.3 bcd
FL (mm)	82.0 ab	80.0 b	88.6 a	77.0 b	69.1 c	68.5 c	88.8 a	75.6 bc
CT (mm)	5.3 b	4.9 bc	3.5 d	5.3 bc	5.1 bc	4.1 cd	6.6 a	5.7 ab
NC	11.12 ab	10.41 abc	9.23 c	11.61 a	10.23 abc	9.61 bc	9.34 c	9.35 c
NS	1.6 a	0.1 b	0.0 b	0.3 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
CW (g)	89.8 cde	108.1 bcd	151.2 a	124.3 abc	80.1 de	63.5 e	143.3 ab	109.4 bcd
Parametri qualitativi								
JW (ww)	131.2 bc	176.5 abc	214.2 a	159.5 abc	106.2 c	115.8 c	198.6 ab	110.2 c
pH	3.91 b	4.23 ab	4.10 ab	3.91 b	4.42 a	4.27 ab	3.83 b	4.11 ab
TSS (°Brix)	10.11 b	12.32 ab	12.52 ab	13.00 ab	13.95 a	13.00 ab	11.00 ab	11.93 ab
TA (g/L)	15.43 a	12.81 ab	10.52 bc	9.22 cd	6.13 d	11.13 bc	15.42 a	10.14 bc
MI (TSS/TA)	6.52 e	9.61 cde	11.88 bc	14.09 bc	22.75 a	11.68 bcd	7.13 de	11.76 bcd

Nella figura 3 è riportata la concentrazione dei metaboliti primari, tra cui il contenuto totale di amminoacidi, acidi organici e zuccheri che sono stati identificati e quantificati in diverse varietà di arance rosse. Capire il loro profilo morfologico è determinante per definire la qualità del succo, ed è stato dimostrato che gli amminoacidi sono responsabili della qualità del prodotto (Susan, et al., 1981). È emerso che il contenuto totale di amminoacidi (figura 4A) aveva valori compresi tra 3821,64 mg L⁻¹ nel Tarocco Sant'Alfio e 2256,88 mg L⁻¹ nel Tarocco Moro. Per quanto riguarda il contenuto di acidi organici (figura 4B), si riscontrano valori compresi tra 14,60 g L⁻¹ nel Tarocco Meli e 7,28 g L⁻¹ nel Tarocco Gallo. Per quanto

riguarda il contenuto di zuccheri totali (figura 4C), vi erano valori compresi tra 90,44 g L⁻¹ nel Tarocco Gallo e 66,78 g L⁻¹ nei Sanguinelli.

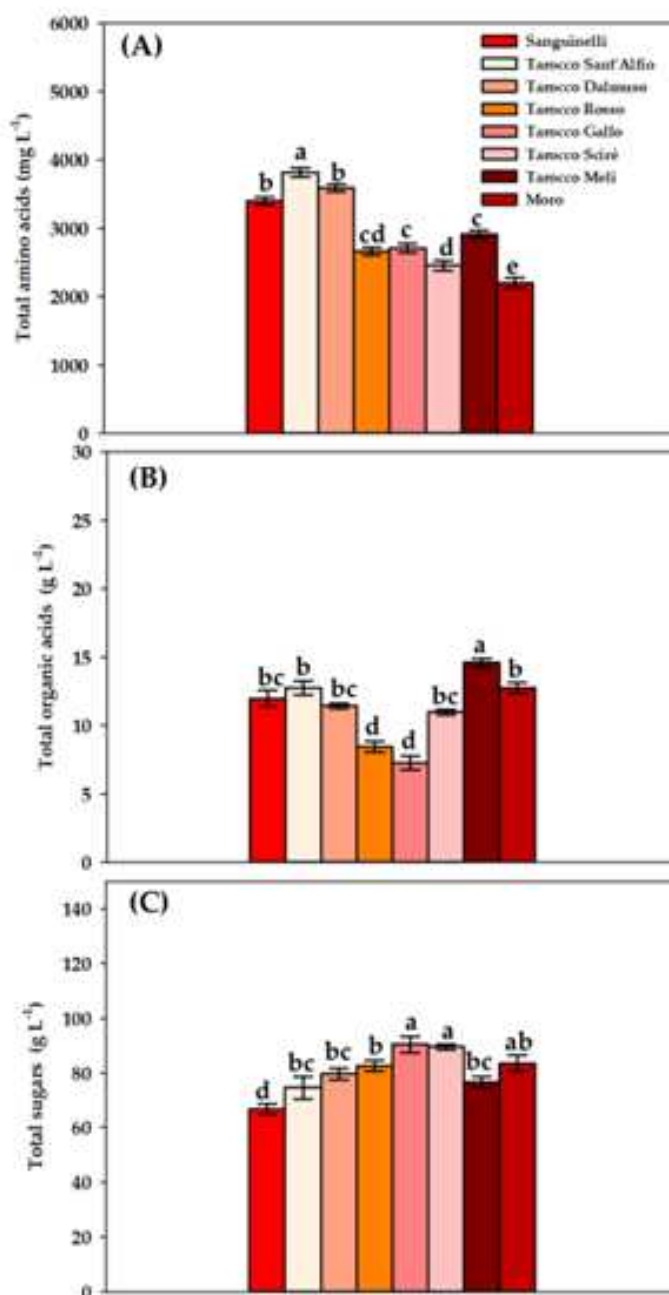


Figura 3. Contenuto totale di aminoacidi (A), acidi organici (B) e zuccheri (C) nel succo di otto varietà di arance rosse (Sanguinelli, Tarocco Sant' Alfio, Tarocco dal Muso, Tarocco Rosso, Tarocco Gallo, Tarocco Sciré, Tarocco Meli e Moro) innestate su *Citrus macrophylla* (Tratto da Forner-Giner et al., 2023).

In tabella 2 sono riportati il contenuto individuale di amminoacidi, acidi organici, zuccheri e altri metaboliti identificati e quantificati in otto varietà di arance rosse (Forner-Giner et al.,

2023). È emerso che la prolina e l'aspartato mostrano concentrazioni più elevate, 1093,88 mg L⁻¹ nel T. Gallo e 651,27 mg L⁻¹ nel T. Rosso per la prolina, 1038,07 mg L⁻¹ nel Tarocco dal muso e 422,94 mg L⁻¹ nei Sanguinelli per l'aspartato. L'arginina e l'asparagina sono i successivi amminoacidi presenti con concentrazioni più elevate, con valori di 827, 15 mg L⁻¹ nel T. Sant'Alfio, e 433,21 mg L⁻¹ nel Sanguinelli per l'arginina. Per quanto riguarda l'asparagina, 1037,01 mg L⁻¹ nel Tarocco Sant' Alfio e 266,84 mg L⁻¹ nel Moro. Anche la glutammina ha presentato un'alta concentrazione, con valori che vanno da 249,78 mg L⁻¹ nel Tarocco Scirè a 334,65 mg L⁻¹ nel Sanguinelli.

Tabella 2. Contenuto di amminoacidi, acidi organici, zuccheri e altri metaboliti di otto varietà di arance rosse (Sanguinelli, Tarocco Sant'Alfio, Tarocco dal Muso, Tarocco Rosso, Tarocco Gallo, Tarocco Scirè, Tarocco Meli e Moro) innestate su Citrus macrophyll. Analisi statistica eseguita mediante ANOVA. (Tratto da Forner-Giner et al., 2023).

Metaboliti primari	Sanguinelli	Tarocco Sant'Alfio	Tarocco Dalmuso	Tarocco Rosso	Tarocco Gallo	Tarocco Scirè	Tarocco Meli	Moro
Amminoacidi (mg L ⁻¹)								
Alanina	88.31 a	39.79 c	63.41 b	33.86 c	45.26 bc	47.34 bc	29.88 c	41.43 c
Arginina	433.91 c	827.15 a	681.51 b	739.33 ab	388.42 c	465.06 c	710.58 b	438.98 c
Asparagina	990.21 a	1037.01 a	406.47 c	392.10 c	439.12 bc	342.90 c	613.20 b	266.84 c
Aspartato	811.08 ab	754.97 b	1038.07 a	804.44 ab	426.49 c	422.94 c	616.57 bc	772.48 ab
Glutammina	334.65 a	313.68 a	304.09 a	ND	250.68 ab	249.78 ab	264.89 ab	179.88 b
Isoleucina	3.50 ab	2.62 ab	2.42 b	2.55 ab	4.00 ab	4.76 a	2.42 b	3.23 ab
Leucina	ND	2.42 a	1.71 ab	ND	ND	ND	1.16 b	1.01 b
Prolina	691.44 bc	837.48 ab	1041.61 a	651.27 bc	1093.88 a	860.44 ab	667.67 bc	516.77 c
Tirosina	34.83 c	ND	41.16 b	32.96 c	53.47 a	51.86 a	ND	29.53 c
Valina	12.51 a	6.49 c	8.69 bc	6.53 c	5.72 c	10.97 ab	7.31 c	6.73 c

Acidi organici (g L ⁻¹)								
Citrato	11.96 b	12.75 ab	11.43 b	8.43 b	7.28 d	10.98 bc	14.60 a	12.75 ab
Lattato	0.0121 a	0.0098 bc	0.0101 b	0.0079 cd	0.0088 bc	0.0089 bc	0.0065 d	0.008 2 bcd
Zuccheri (g L ⁻¹)								
Fruttosio	19.18 c	18.07 c	19.55 c	20.67 bc	26.24 a	25.00 ab	19.66 c	22.54 abc
Glucosio	16.64 d	17.16 d	18.24 cd	19.89 bcd	26.20 a	24.08 ab	18.66 cd	21.89 abc
Saccarosio	30.02 b	37.85 a	40.14 a	40.32 a	36.49 ab	38.96 a	37.38 a	38.10 a
Mio-inositolo	0.94 b	1.51 a	1.71 a	1.67 a	1.51 a	1.52 a	0.89 b	0.96 b
Gluc/Fruc	0.86 b	0.94 ab	0.93 ab	0.99 a	0.99 a	0.96 a	0.94 ab	0.97 a
Gluc/Suc	0.55 bc	0.45 c	0.45 c	0.49 c	0.72 a	0.63 b	0.50 c	0.57 bc
Altro (mg L ⁻¹)								
Colina	9.20 b	7.19 b	13.71 a	13.41 a	12.81 a	12.54 ab	7.21 b	6.38 b
Etanolo	348.45 a	86.49 c	350.84 a	176.07 b	89.43 c	213.96 b	73.87 c	214.10 b
Trigonellina	4.30 b	2.19 c	6.79 a	1.64 c	4.36 b	3.79 b	3.10 bc	4.26 b

Gli zuccheri presenti nella composizione delle arance rosse sono componenti molto importanti e determinanti per la loro qualità e le loro proprietà organolettiche (Butelli et al., 2021). È stato osservato che gli zuccheri sono coinvolti nella biosintesi degli antociani (Abdullah et al., 2018). Il contenuto di zuccheri è un fattore determinante per il sapore, e tra questi il saccarosio è lo zucchero predominante, seguito da fruttosio e glucosio (Figura 3). Il loro rapporto è un indicatore di qualità, e deve essere superiore a 0,85. I rapporti Glu/Fru e Glu/Sac si mantengono con valori compresi tra 0,86 (Sanguinelli) e 0,99 (Tarocco Gallo e Rosso), e tra 0,45 (Tarocco Sant'Alfio e nel T. dal Muso) e 0,72 (Tarocco Gallo).

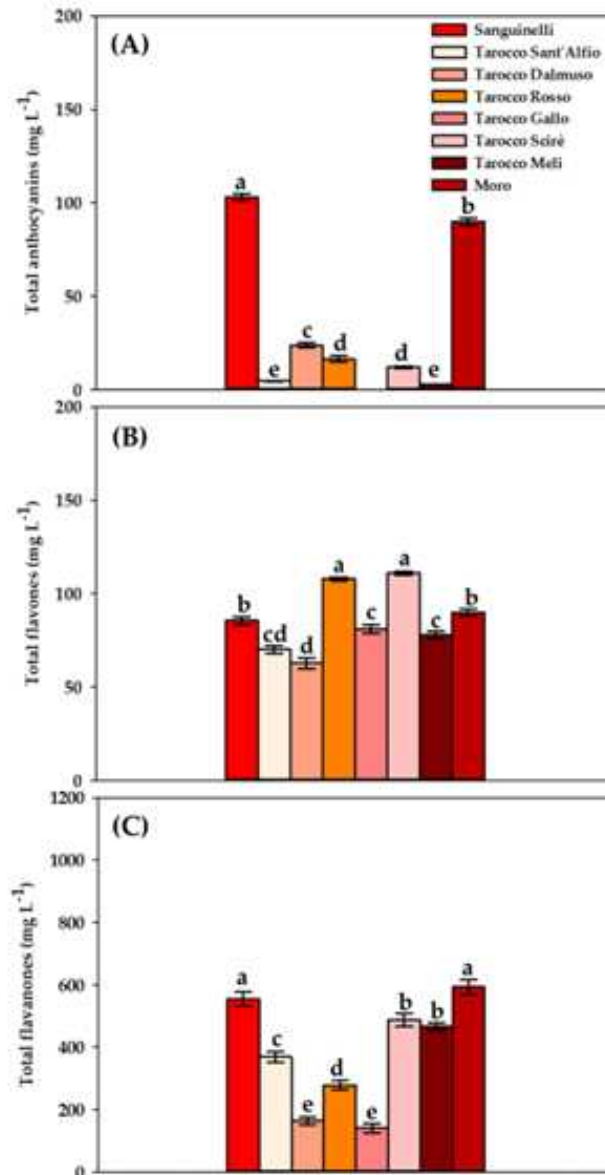


Figura 5. Contenuto totale di antociani (A), flavoni (B) e flavanoni (C) nel succo di otto varietà di arance rosse (Sanguinelli, Tarocco Sant' Alfio, Tarocco dal Muso, Tarocco Rosso, Tarocco Gallo, Tarocco Sciré, Tarocco Meli e Moro) innestate su *Citrus macrophylla* (Tratto da Forner-Giner et al., 2023).

Le varietà di agrumi contengono diverse classi di composti fenolici, ciascuno dei quali possiede uno spettro di comportamenti chimici e bioattivi. Tali composti bioattivi includono antociani, flavoni o flavanoni (Figura 5), tre gruppi molto importanti di antiossidanti naturali su cui si basano la maggior parte delle loro proprietà funzionali (Butelli et al., 2021). Questi metaboliti secondari sono correlati a varie funzioni nella pianta; in particolare, nei frutti, sono correlati al colore, alle caratteristiche organolettiche e nutrizionali, oltre che all'attività antiossidante (Simòn-Grao et al., 2014).

Per quanto concerne la pigmentazione e quindi la colorazione del succo, Forner-Giner et al. (2023) hanno riscontrato che Sanguinelli aveva un maggiore contenuto di antociani ($101,06 \text{ mg L}^{-1}$) rispetto a Moro ($90,14 \text{ mg L}^{-1}$), mentre varietà come il Tarocco Sant'Alfio e il Tarocco dal Muso presentano valori molto più bassi, che oscillano tra $4,66 \text{ mg L}^{-1}$ e $23,8 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 5A). Tra i polifenoli vi sono anche i flavoni che oscillavano in modo significativo da $62,74 \text{ mg L}^{-1}$ a $111,75 \text{ mg L}^{-1}$; in particolare la varietà T. dal Muso è la più bassa, seguita da T. Sant'Alfio, T. Meli, T. Gallo, Sanguinelli e Moro, i cui valori erano tutti inferiori a 100 mg L^{-1} . I valori più elevati sono stati riscontrati nel T. Sciré, seguito dal Tarocco Rosso (Figura 5B).

1.4. Fattori agronomici che influenzano la qualità delle arance rosse

La qualità delle arance è legata alla cultivar, ma anche influenzata da diversi fattori ambientali, tra cui le temperature per quanto riguarda la pigmentazione, e da fattori agronomici come la scelta del portainnesto. La scelta del soggetto è fondamentale poiché garantisce una buona adattabilità alle diverse condizioni pedoclimatiche, una resistenza/tolleranza ai diversi fattori abiotici, come calcare, salinità, pH, umidità, e biotici, influenzando sulle caratteristiche qualitative della varietà coltivata. La diffusione in Italia nei primi anni 2000 della Tristezza (Citrus Tristeza Virus, CTV), ha determinato l'esigenza di sostituire l'arancio amaro, con altri soggetti tolleranti a CTV (Modica et al., 2022).

Particolare attenzione deve essere posta all'adattabilità dei nuovi portinnesti con le principali specie e varietà dell'agrumicoltura italiana, valutando tutti gli aspetti: vivaistici, affinità di innesto *in primis*, e qualitativi. Quest'ultimo aspetto appare particolarmente importante per il settore delle cultivar pigmentate, sia arance che ibridi (Russo et al., 2012), soprattutto per l'accumulo di antocianine a livello di polpa e buccia. L'influenza dei diversi portinnesti sullo sviluppo vegetativo delle piante può determinare un maggiore volume della chioma nei diversi agrumi, nelle diverse combinazioni.

Tra i soggetti più diffusi in combinazione con arancio e mandarino, si riportano:

- ibridi di *Poncirus*, quali i citrange Troyere Carrizo [*Citrus sinensis* (L.) Osb. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]. Il *Porcinus* è un agrume a foglia caduca, carattere che induce alla tolleranza alle basse temperature e che si trasmette anche al nesto. Le piante in combinazione con questo soggetto danno un prodotto qualitativamente ottimo.
- I Citrumeli, di cui lo Swingle è il più utilizzato, sono soggetti molto vigorosi che determinano elevate produzioni.

Recentemente sono stati introdotti alcuni portinnesti, quali:

- Bitters (C22), Carpenter (C54) e Furr (C57) (ibridi tra mandarino Sunki x arancio trifoliato Swingle, rilasciati nel 2009 dall'Università di Riverside, California)
- F6P12 e F6P13 (ibridi tra *Citrus latipes* e *Poncirus trifoliata*, rilasciati nel 2014 dal CREA-OFA di Acireale) (Figura 6).

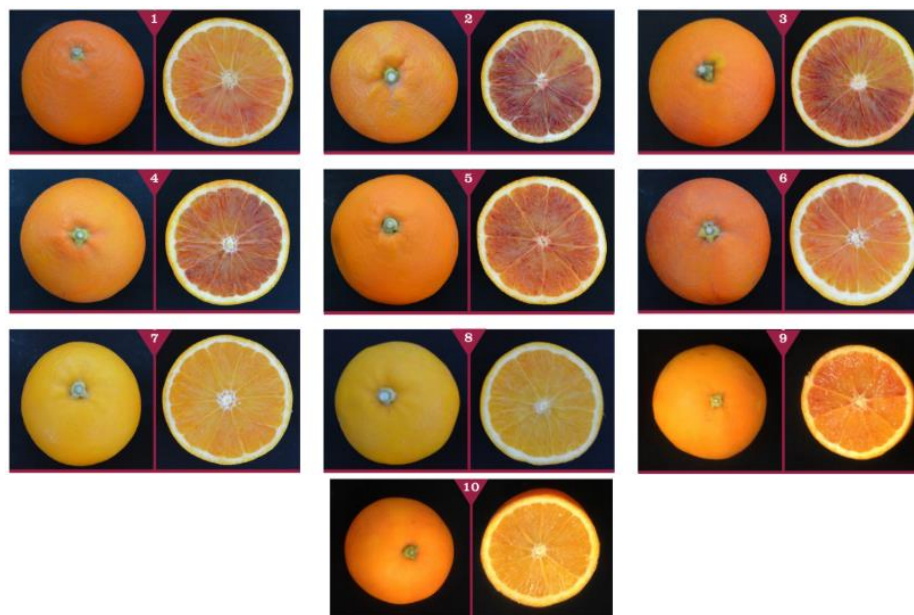


Figura 6 – Frutti di arancia rossa Tarocco Scirè provenienti da piante innestate su 10 diversi portainnesti, da sinistra a destra: Carrizo Citrange (1), Troyer Citrange (2), C35 (3), Bitters (4), Carpenter (5), Furr (6), Swingle Citrumelo (7), Severinia Buxifolia (8), F6P12 (9), F6P13 (10). (Tratto da Modica et al., 2022).

Precedenti studi hanno riportato che la pigmentazione della polpa è fortemente influenzata dal portinnesto (Figura 6). “Modica et al”. (2022) hanno evidenziato che il C35 ha determinato una concentrazione alta di antociani ($15,7 \text{ mg L}^{-1}$), seguito da Furr e Bitters ($14,6 \text{ mg L}^{-1}$ e $14,3 \text{ mg L}^{-1}$, rispettivamente), mentre il citrange Carrizo ha riportato valori intermedi ($9,1 \text{ mg L}^{-1}$). Il contenuto più basso di antocianine è stato indotto da Severinia buxifolia ($2,2 \text{ mg L}^{-1}$), come riportato in figura 7.

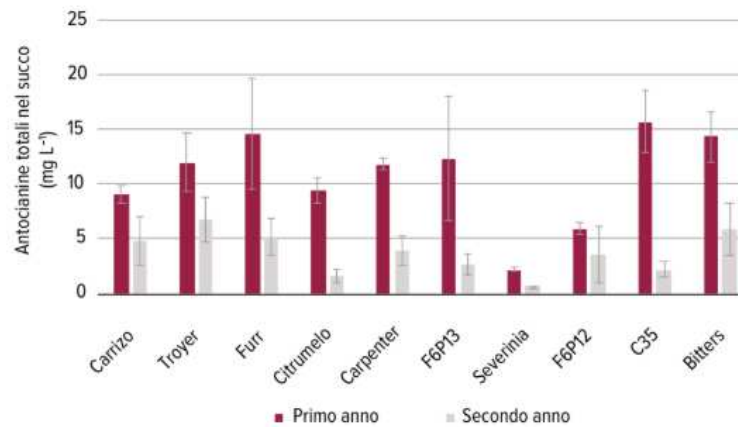


Figura 7. Contenuto di antocianine presenti nel succo dei frutti Tarocco Scirè innesto su 10 portainnesti. Dati di due anni (Tratto da Modica et al., 2022).

Precedenti studi hanno riscontrato inoltre che il C35 ha determinato nel tempo una produzione cumulata più alta rispetto agli altri portainnesti (Modica et al., 2022). Pertanto, hanno riscontrato che il citrange C35, e i citrandarin Bitters, Carpenter e Furr erano considerati portainnesti promettenti per le cultivar di agrumi pigmentati poiché influenzano positivamente la precocità di entrata in produzione, l'efficienza produttiva e le caratteristiche qualitative dei frutti, conferendo un maggiore contenuto di antocianine (Modica et al., 2022). Il colore dei frutti è intrinsecamente legato al processo di maturazione e i pigmenti responsabili della colorazione derivano da vie metaboliche che producono metaboliti secondari o specializzati come carotenoidi e/o flavonoidi (Espley e Jaakola, 2023). Vi sono diverse tecniche agronomiche per migliorare la colorazione dei frutti, tra cui lo stress idrico, l'eccesso o la mancanza di nutrienti, lo stress luminoso e l'utilizzo di basse temperature in post-raccolta (Espley e Jaakola, 2023).

1.5. Effetto dell'ambiente sulle caratteristiche qualitative delle arance rosse

Diversi studi si sono concentrati sull'analisi dei meccanismi necessari allo sviluppo della pigmentazione interna e esterna del frutto, la quale è influenzata da diversi fattori ambientali. Tra questi la temperatura riveste un ruolo predominante sulla qualità dell'arancia rossa (Espley e Jaakola, 2023).

Lo stress termico nelle piante può essere classificato in tre tipologie: i) temperature troppo elevate, ii) basse temperature o iii) di congelamento; influenzando il sistema Reactive Oxygen Species (ROS) nelle cellule vegetali. Le piante rispondono allo stress termico regolando la composizione dei lipidi di membrana, esprimendo fattori di trascrizione (TF)

correlati allo stress e attraverso percorsi di disintossicazione e biosintesi dei metaboliti (Kai & Iba, 2014). Le basse e le alte temperature, lontano dal range delle temperature ottimali di crescita, influenzano l'accumulo di pigmenti vegetali durante la maturazione dei frutti. Le basse temperature, intorno ai 4-10°C, possono causare stress nei frutti in fase di sviluppo a causa di produzione di ROS, però, può favorire anche l'accumulo di fitormoni che regolano le antocianine e i caroteoidi, ABA, jasmonati (JA), etilene (ET) e acido salicilico (SA) (He et al., 2022). La temperatura diurna, con notti fresche e giornate calde, è fondamentale per ottenere il colore ottimale della frutta in alcune specie. Una riduzione dell'escursione termica diurna, che potrebbe diventare più evidente con il riscaldamento climatico, avrà quindi un impatto sulla pigmentazione dei frutti (Qu & Zhou, 2016). Ne consegue che esistono temperature ottimali che aiutino a produrre frutti di alta qualità; basse temperature influenzano positivamente la concentrazione dei pigmenti responsabili del colore, mentre alte temperature influenzano negativamente la concentrazione dei pigmenti (Qu & Zhou, 2016).

In fase di pre-raccolta, il clima in cui l'albero cresce rappresenta il fattore determinante per la colorazione e pigmentazione, tipiche dell'arancia rossa. È stato riscontrato che il sito di coltivazione e le variazioni di temperatura che si registrano durante lo sviluppo del frutto svolgono un ruolo fondamentale nel processo di maturazione degli agrumi. Precedenti studi hanno infatti riscontrato che il sito di coltivazione influisce sulla composizione biochimica del frutto, e sull'attività antiossidante; in particolare sono state riscontrate differenze sul contenuto di zuccheri (glucosio, fruttosio e saccarosio), acido ascorbico e polifenoli nei diversi siti. Per ottenere arance con un'elevata pigmentazione è necessario avere escursioni termiche sufficientemente ampie da stimolare la sintesi degli antociani e, allo stesso tempo, temperature sufficientemente elevate da consentire l'accumulo di zuccheri (Lo Piero et al., 2005; Lado et al., 2018; Modica et al., 2022). In particolare, precedenti studi hanno riportato che temperature di campo comprese tra i 5 e i 10 °C stimolano particolarmente la biosintesi degli antociani (Modica et al., 2022), mentre temperature elevate hanno un effetto diretto sulla maturazione interna degli agrumi (Mesejo et al., 2024).

Habibi et al. (2020) hanno riportato che durante la conservazione a freddo, si verifica una riduzione degli zuccheri e degli acidi organici, consumati dai frutti per mantenere il metabolismo cellulare e per la respirazione. Inoltre, le basse temperature hanno stimolato la sintesi degli antociani, aumentando la pigmentazione della polpa delle varietà Moro, Tarocco, Sanguinello e Sanguine. Tuttavia, non tutte le basse temperature hanno determinato lo stesso effetto; è infatti emerso che una conservazione a 5 °C ha determinato migliori

risultati rispetto alla conservazione a 2 °C, in particolare è stato osservato un aumento maggiore del contenuto di antociani totali (65% in più) e del contenuto fenolico totale (27% in più) rispetto alla conservazione a 2 °C.

Precedenti ricerche hanno studiato diverse cultivar di arancia rossa coltivate in Spagna e Italia con l'obiettivo di valutare come il genotipo e l'ambiente influenzino qualità e contenuto di metaboliti primari e secondari (Modica et al., 2024). L'appezzamento 1 si trovava a Lentini, in Italia (37°17'04" N; 14°53'16" E), l'appezzamento 2 e 3 erano rispettivamente a Orihuela (38°03'57" N; 0°58'58" O), e a Huelva, in Spagna (37°25'05" N; 7°02'54" O). Le piante, distanziate di 5 m × 3 m l'una dall'altra, sono state coltivate con le stesse pratiche agronomiche. Le cultivar valutate sono riportate nella Figura 8. Quattro varietà erano presenti in tutte e tre le parcelle (Tarocco Rosso, Tarocco Scirè, Moro e Sanguinelli), mentre una quinta cultivar è stata campionata solo nelle parcelle 1 e 3 (Tarocco Ippolito). Tutte le cultivar sono classificate come arance a maturazione medio-precoce. I frutti in ciascuna parcella sono stati raccolti a metà febbraio, 275 giorni dopo la piena fioritura. Per ciascuna cultivar, sono stati selezionati per il campionamento quattro alberi replicati di età compresa tra i 5 e i 7 anni, innestati su portainnesto Carrizo citrange (Modica et al., 2024).

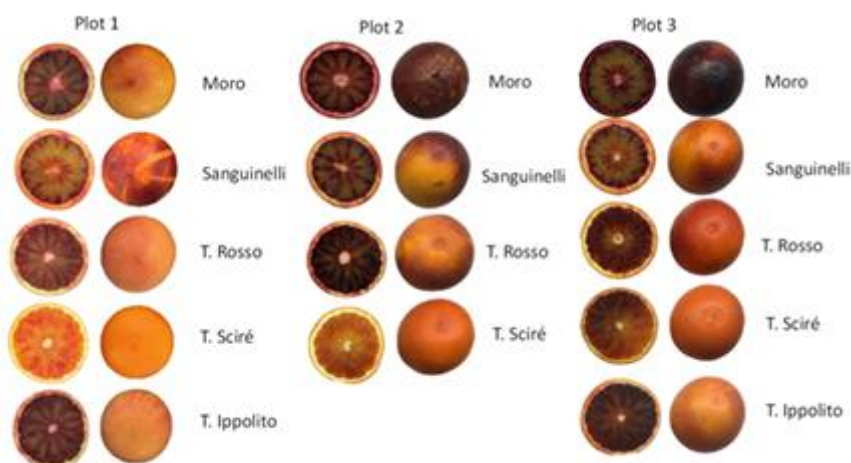


Figura 8. Polpa e buccia di arancia rossa coltivati nei plot 1, 2 e 3 (Modica et., al 2024)

È stato riscontrato che il contenuto di TSS più elevato nel plot 1 (Catania, Italia) era nella varietà T. Scirè (13.6 °Brix), mentre il valore più basso è stato registrato in Sanguinelli (Tabella 3).

Tabella 3. Parametri qualitativi dei frutti di diverse cultivar di arancia rossa coltivate in plot 1 (Italia), 2 e 3 (Spagna). TSS: solidi solubili totali (°Brix); TA: acidità titolabile (g L⁻¹); indice di maturazione RI: TSS/TA; percentuale in succo (%); CI: indice di colorazione del succo (CI). (Tratto da Modica et al., 2024).

Varietà	TSS (°Brix)	TA (g L ⁻¹)	RI (TSS/TA)	Juice (%)	CI
Plot 1					
Moro	13.4 ± 0.46 a	13.4 ± 0.28 ab	10.0 ± 0.02 b	51.1 ± 2.92 c	71.2 ± 1.75 a
Sanguinell i	11.0 ± 0.56 b	14.0 ± 0.85 a	7.8 ± 0.03 c	53.4 ± 1.17 b	16.7 ± 7.72 b
T. Rosso	12.9 ± 0.21 b	12.5 ± 0.54 b	10.3 ± 0.02 b	52.1 ± 1.98 c	15.0 ± 2.68 b
T. Sciré	13.6 ± 0.49 a	12.4 ± 1.46 b	11.0 ± 0.12 b	54.7 ± 0.54 ab	9.7 ± 1.22 c
T. Ippolito	12.5 ± 0.25 ab	7.8 ± 0.20 c	16.0 ± 0.02 a	57.3 ± 3.98 a	63.8 ± 20.49 a
Plot 2					
Moro	14.4 ± 0.12 b	13.8 ± 0.66 a	10.4 ± 0.03 b	48.6 ± 1.00 a	250.5 ± 14.62 a
Sanguinell i	12.5 ± 0.38 c	14.1 ± 0.28 a	8.9 ± 0.03 c	44.6 ± 3.20 b	92.7 ± 15.13 b
T. Rosso	15.3 ± 0.17 a	12.3 ± 0.83 b	12.4 ± 0.06 a	47.6 ± 3.79 ab	72.2 ± 5.57 b
T. Sciré	13.5 ± 0.13 c	12.1 ± 0.39 b	12.5 ± 0.05 a	47.6 ± 5.23 ab	27.3 ± 1.41 c
Plot 3					
Moro	11.6 ± 0.17 c	13.2 ± 0.92 b	8.8 ± 0.11 c	47.0 ± 2.54 b	162 ± 8.77 ab
Sanguinell i	12.8 ± 0.16 b	16.3 ± 0.75 a	7.8 ± 0.10 c	44.0 ± 6.62 c	333.5 ± 11.12 a
T. Rosso	15.9 ± 0.65 a	15.9 ± 0.64 a	10.0 ± 0.10 b	48.9 ± 23.68 ab	153.7 ± 4.75 ab
T. Sciré	12.1 ± 0.72 b	11.8 ± 0.78 c	10.3 ± 0.15 b	58.7 ± 4.18 a	48.4 ± 1.43 c
T. Ippolito	12.0 ± 0.76 b	10.9 ± 0.92 c	11.0 ± 0.17 a	49.2 ± 2.61 ab	103.5 ± 4.21 b

Nel plot 2 (Orihuela, Spagna) il T. Rosso ha raggiunto il valore più elevato di TSS (15,4 °Brix), mentre Sanguinelli aveva i valori più bassi (12,4 °Brix) e il più alto contenuto di acidi organici. Nel plot 3 (Huelva, Spagna), il T. Rosso era la cultivar con il più alto contenuto di zuccheri, mentre Moro aveva i valori più bassi (11,6 °Brix) (Modica et al., 2024). Per quanto concerne i quantitativi di polifenoli, ed in particolare il contenuto di antocianine, è emerso che Moro e T. Ippolito avevano i valori più alti di pigmentazione nel plot 1 e 3, mentre Moro e T. Rosso nel plot 2 (Figura 9).

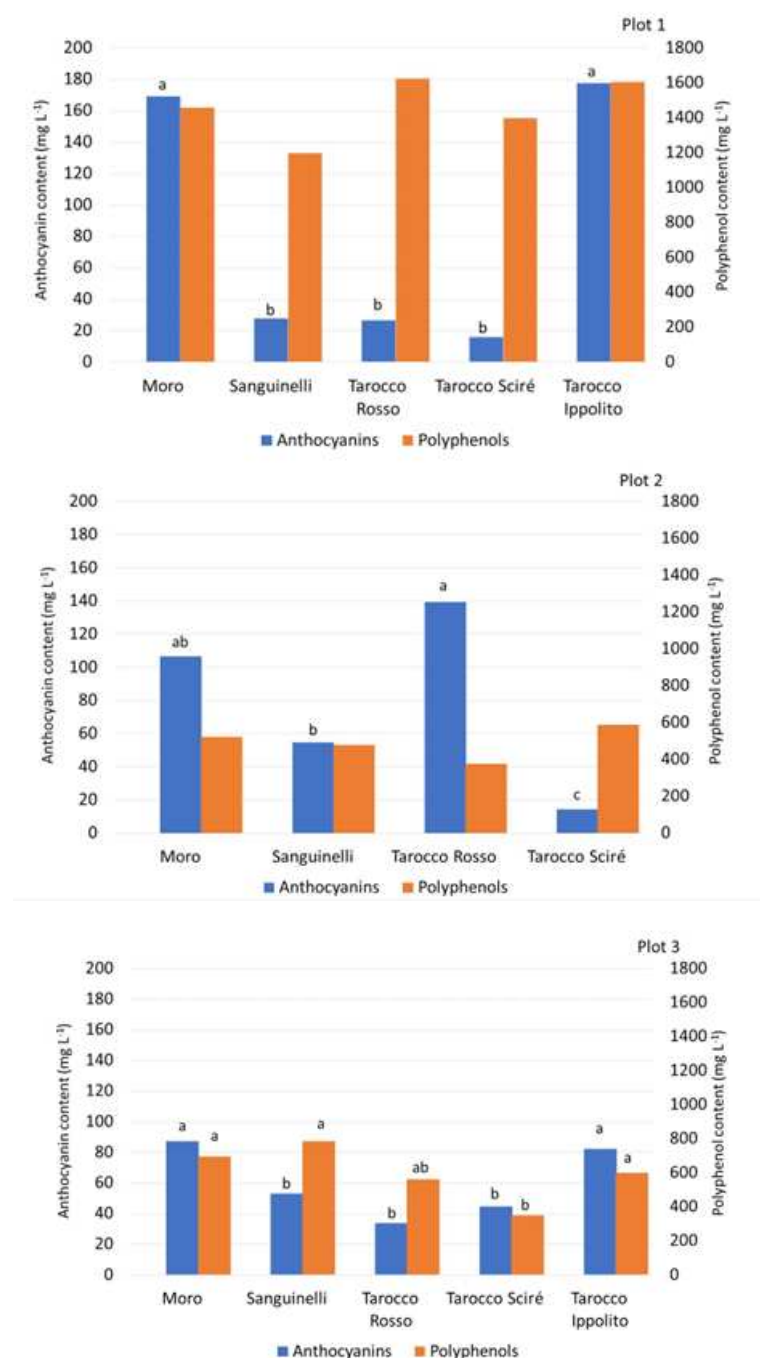


Figura 9. Contenuto totale di antociani (mg L^{-1}) dei frutti di diverse cultivar di arancia rossa coltivate in plot 1 (Italia), 2 e 3 (Spagna). I valori senza lettere non presentano differenze significative secondo la procedura LSD di Fisher con livello di confidenza del 95% (Tratto da Modica et., al 2024).

Anche altri studi hanno riportato che il Moro aveva il maggiore contenuto di antociani nel succo rispetto a Tarocco Rosso e a Sanguinello, un'altra varietà italiana (Kelebek et al., 2008; Morales et al., 2021). Modica et al (2024) hanno pertanto riscontrato che le condizioni ambientali influenzano le caratteristiche qualitative delle arance, in particolare il contenuto

di zuccheri, acidi organici e composti bioattivi. Inoltre è stato anche riscontrato che Moro, Tarocco Ippolito e Tarocco Rosso avevano il più alto contenuto di antociani, evidenziando il ruolo del genotipo nella pigmentazione (Modica et al., 2024).

2. Scopo della tesi

Lo scopo del presente lavoro è studiare l'evoluzione dei principali parametri morfologici e chimico-fisici durante il processo di maturazione di due cultivar di arancia rossa: Moro e Tarocco Scirè, coltivate in Sicilia. In particolare, si propone di valutare i parametri morfologici come:

- *Diametro equatoriale*
- *Altezza polare*
- *Spessore buccia*
- *Citrus Color Index (CCI)*

E parametri chimico-fisici:

- *Contenuto di solidi solubili totali (TSS)*
- *Acidità totale (TA)*
- *Indice di maturazione (IR)*

al fine di caratterizzare il comportamento fisiologico delle cultivar durante la maturazione. L'analisi è inoltre finalizzata a evidenziare eventuali differenze tra le due cultivar sia nelle fasi di maturazione sia nella qualità del frutto alla maturazione fisiologica.

3. *Materiali e Metodi*

L'evoluzione della maturazione delle arance rosse è stata studiata in due diverse cultivar coltivate in Italia, a Lentini (37°17'04" N; 14°53'16" E). In particolare, sono stati monitorati i parametri morfologici e biochimici delle seguenti varietà di arancia rossa: Moro (Figura 10) e Tarocco Scirè (Figura 11), entrambe innestate su citrange Carrizo. Il sesto impianto adottato era di 5 m × 3 m, e tutte le piante sono state coltivate con le medesime pratiche agronomiche.

3.1 *Determinazione dei parametri morfologici e fisico-chimici*

Dieci frutti rappresentativi di ciascuna varietà sono stati campionati e trasportati presso i laboratori del Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente dell'Università di Catania. I frutti sono stati pesati singolarmente (g), misurati e successivamente utilizzati per l'estrazione del succo (Figura 12 e 13).



Figura 11 – Frutti di arancia rossa Tarocco Scirè raccolti il 27/01/2026.

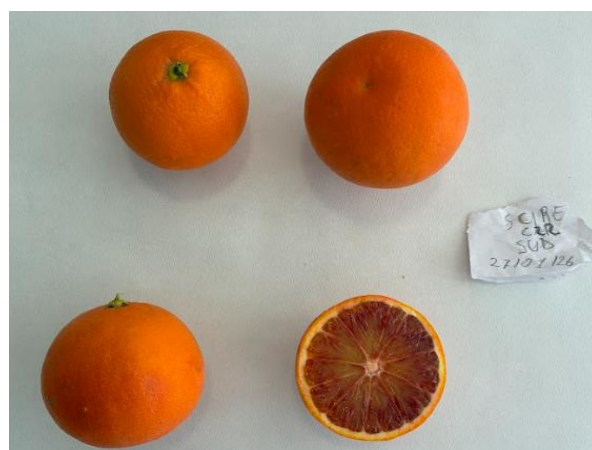


Figura 10 – Frutti di arancia rossa Moro raccolti il 27/01/2026.



Figura 12 - Frutti di Moro divisi per campioni.



Figura 13 - Frutti di Tarocco Scirè divisi per campioni.

L'altezza del frutto, il diametro equatoriale e lo spessore della buccia (mm) sono stati misurati mediante un calibro digitale elettronico (modello CD-15 DC; Mitutoyo (UK) Ltd, Telford, Regno Unito) con una precisione di 0,01 mm. Il colore della buccia è stato rilevato su due punti opposti della regione equatoriale per ciascun frutto utilizzando un colorimetro Minolta CR-400 (Minolta Corp., Osaka, Giappone) secondo la metodologia descritta da Pannitteri et al. (2017). I risultati sono stati espressi come indice di colore degli agrumi (CCI):

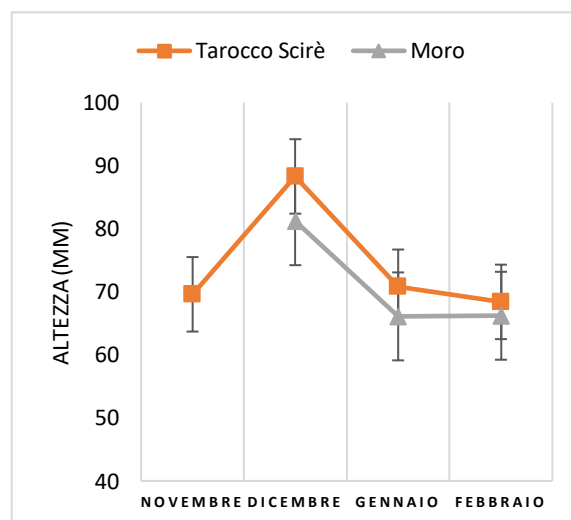
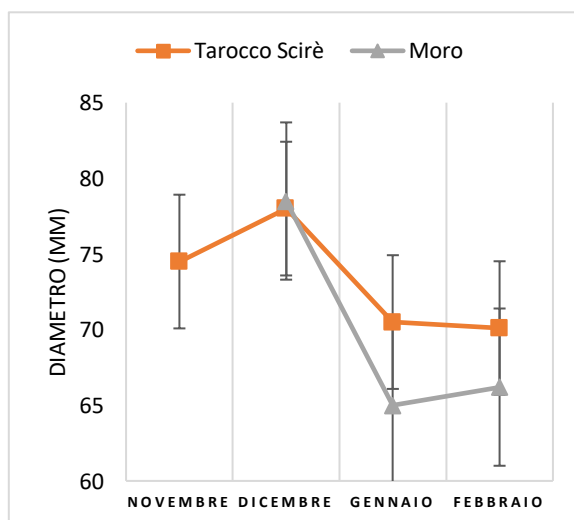
$$CCI = \frac{1000 \times a^*}{L^* \times b^*}$$

dove L^* o luminosità indica quanto il colore sia chiaro o scuro, con valore che va da 0 (nero assoluto) a 100 (bianco assoluto), a^* indica la cromaticità su un asse che va dal verde (—) al rosso (+) e b^* indica la cromaticità su un asse che va dal blu (—) al giallo (+); questo indice è ampiamente utilizzato nell'industria degli agrumi come indice di maturazione (DOGV, 2006). L'estrazione del succo è stata effettuata mediante spremiagrumi elettrico (Kenwood Citrus Juicer JE290, Regno Unito). Per le analisi chimiche sono stati utilizzati tre campioni di succo (tre repliche tecniche). Il succo ottenuto è stato pesato ed espresso come percentuale del peso totale del frutto.

Il contenuto di solidi solubili totali (TSS) è stato determinato utilizzando un rifrattometro digitale (Atago Co., Ltd., modello PR-32 α , Tokyo, Giappone), con i risultati espressi in °Brix. L'acidità titolabile (AT) è stata determinata mediante titolazione potenziometrica (Hach, TitraLab AT1000 Company, Loveland, CO, USA) del succo con NaOH 0,1 N a pH superiore a 8,1 secondo il metodo AOAC (AOAC, Washington, DC, USA, 1995); i risultati sono stati espressi in g L⁻¹ di equivalente di acido citrico. L'indice di maturazione (IR) è stato calcolato come rapporto tra TSS e AT.

4. Risultati

I dati riportati in figura 14 e figura 15-16-17-18 evidenziano dinamiche di maturazione distinte tra le cultivar Tarocco Scirè e Moro, pur condividendo alcuni trend evolutivi generali. L'evoluzione delle dimensioni dei frutti mostra andamenti simili tra le due cultivar, sebbene con intensità differenti. Il diametro equatoriale raggiunge per entrambe il valore massimo a dicembre (78,0 mm per Tarocco Scirè e 78,5 mm per Moro), per poi subire una contrazione nei mesi successivi. Tuttavia, la riduzione risulta più marcata nella cultivar Moro, che scende fino a 63,7 mm a febbraio, rispetto ai 70,1 mm registrati per il Tarocco Scirè. Un andamento del tutto analogo si osserva per l'altezza del frutto: il picco massimo si registra a dicembre (88,3 mm per T. Scirè e 81,2 mm per Moro), seguito da una sensibile diminuzione. A febbraio, l'altezza si assesta su 66,2 mm per il Moro, confermando una generale contrazione dei volumi nella fase avanzata. La differenza più significativa tra le due cultivar emerge nell'analisi del peso dei frutti. Mentre il Tarocco Scirè si mantiene relativamente stabile durante tutto il periodo di osservazione (con valori compresi tra 186,7 g e 192,7 g), la cultivar Moro registra un calo drastico. Quest'ultima, infatti, passa dai 189,9 g di dicembre ai 145,4 g di gennaio, per poi stabilizzarsi a 141,0 g a febbraio. Un ulteriore elemento di divergenza riguarda lo spessore della buccia. Nel Tarocco Scirè, questo parametro aumenta progressivamente da novembre (2,6 mm) a dicembre (4,0 mm), per poi stabilizzarsi a 3,8 mm tra gennaio e febbraio. Al contrario, nel Moro lo spessore della buccia si mantiene costante per l'intera durata della maturazione.



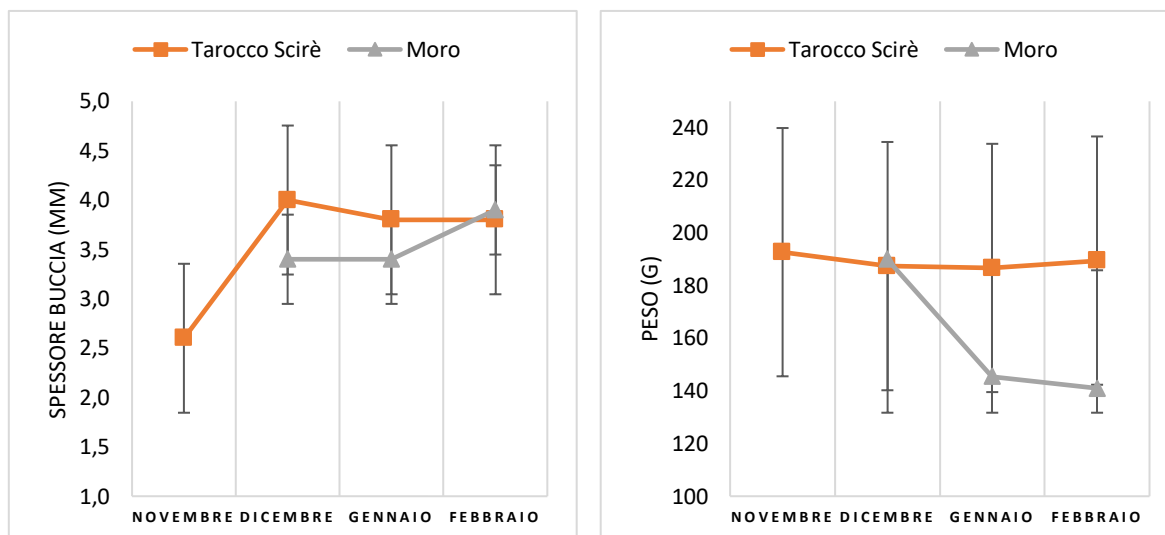


Figura 14 - Parametri morfologici (anno 2025/2026) misurati su arancia rossa T. Scirè durante la maturazione: diametro equatoriale (mm), altezza polare (mm), spessore della buccia (mm) e peso del frutto (g).

Per una corretta stima del grado di maturazione, l'analisi dell'epicarpo risulta spesso ingannevole a causa dell'influenza dei fattori ambientali come temperatura e umidità (Modica et al., 2022). Pertanto, ci si è basati sugli indici di qualità interna: resa in succo, solidi solubili totali (TSS) e acidità titolabile (TA), il cui rapporto (TSS/TA) rappresenta il parametro più affidabile (Legua et al., 2011). L'evoluzione della qualità interna documenta una chiara progressione della maturazione. La resa in succo delle cultivar siciliane mostra una fase iniziale di forte accumulo di liquidi, passando dal 22% di novembre al picco massimo del 30% a dicembre per Tarocco Scirè, ed un picco massimo del 29% a dicembre per il Moro. Successivamente, si assiste a una lieve flessione (28% a gennaio, 25% a febbraio) per Scirè, e una lieve flessione (27% a gennaio e 24% a febbraio) per il Moro. Parallelamente, il contenuto di TSS registra un incremento complessivo, salendo da 9,8 °Brix a novembre fino a 11,4 °Brix a gennaio, con una successiva e lieve flessione a febbraio (10,9 °Brix). Situazione differente è per il Moro, con incremento progressivo del contenuto di TSS da 10,2 °Brix a gennaio a 11,4 °Brix a febbraio. L'acidità titolabile (TA), come atteso, mostra invece una degradazione marcata e continua lungo tutto il periodo di campionamento, dimezzandosi dai 32,9 g L⁻¹ iniziali (novembre) fino ai 15,8 g L⁻¹ registrati a fine prova (febbraio) per Tarocco Scirè. Situazione analoga sarà per il Moro con diminuzione continua lungo tutto il periodo di campionamento, passando dai 22,6 g L⁻¹ iniziali (dicembre) fino ai 19,1 g L⁻¹ registrati a fine prova (febbraio).

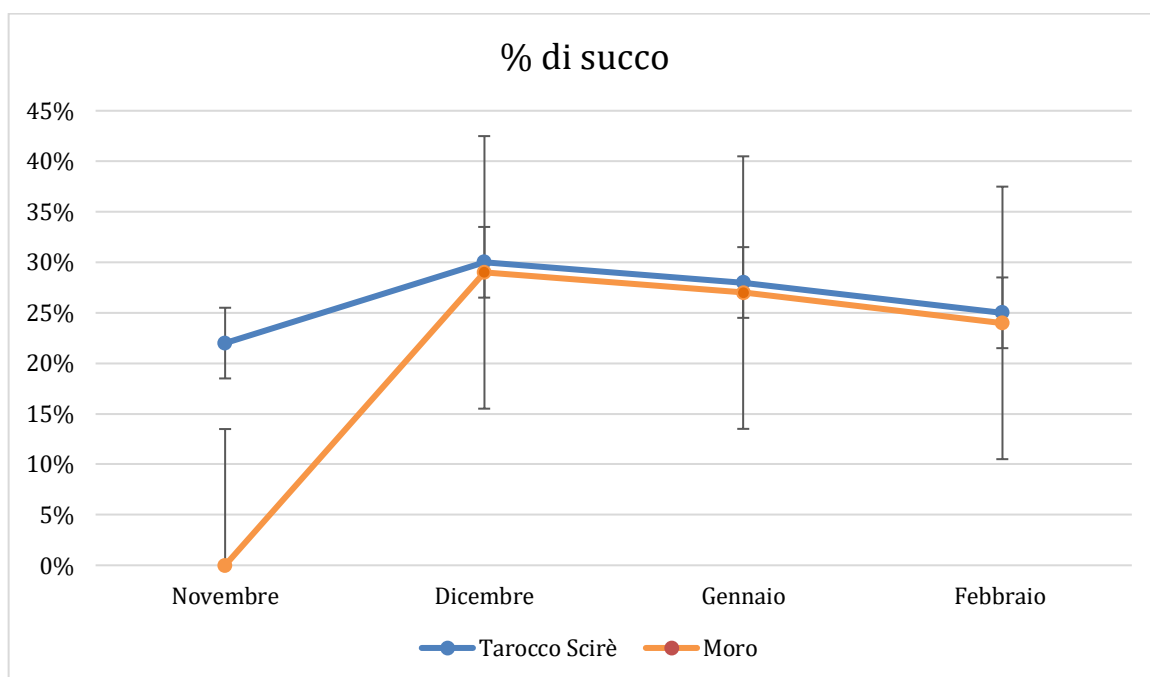


Figura 15– Percentuale in succo misurati su arancia rossa Moro durante la maturazione

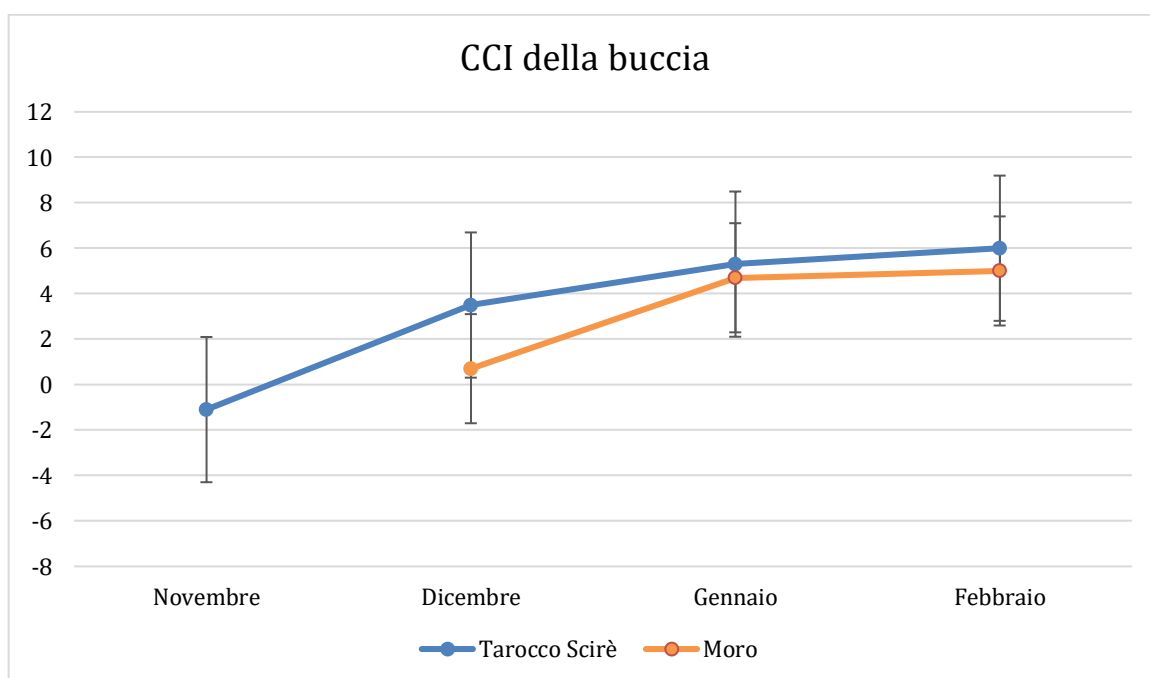


Figura 16 – Citrus Color Index (CCI) della buccia misurati su arancia rossa Moro durante la maturazione.

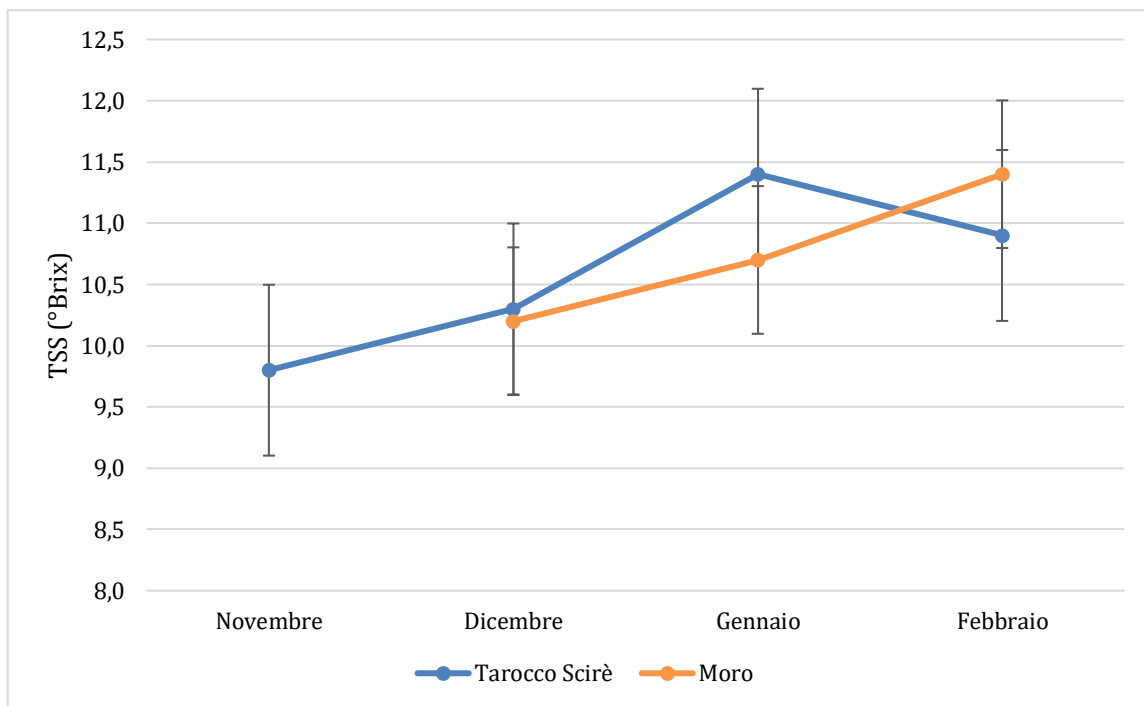


Figura 17 – Solidi solubili totali (TSS, °Brix) misurati su arancia rossa Moro durante la maturazione.

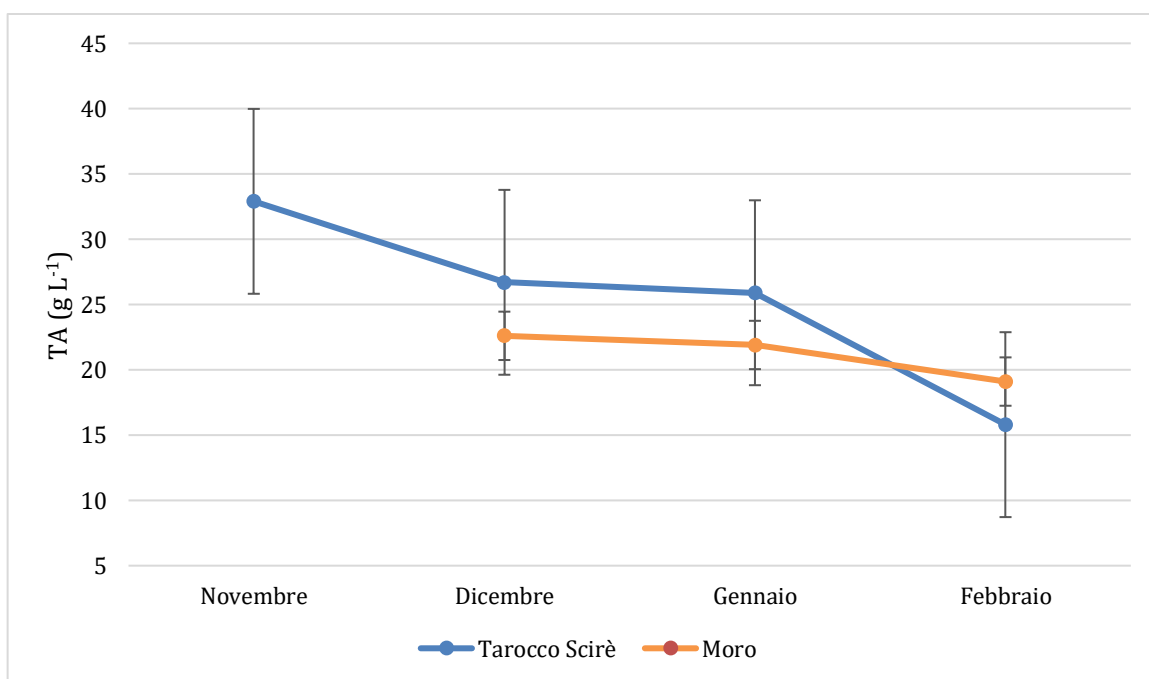


Figura 18 - Acidità Totale (g L⁻¹) misurata su arancia rossa Moro durante la maturazione.

Il grafico dell'andamento della temperatura media dell'aria (Figura 19) tra fine novembre 2025 e febbraio 2026 mostra una variabilità tipica della stagione invernale, con frequenti oscillazioni giornaliere. Il valore massimo si registra il 25 novembre 2025 con circa 18,6 °C, mentre il minimo assoluto si osserva il 13 gennaio 2026 con circa 5,8 °C. Nel complesso si nota una discesa progressiva delle temperature a fine dicembre, seguita da una graduale ripresa a partire da fine gennaio e durante febbraio.

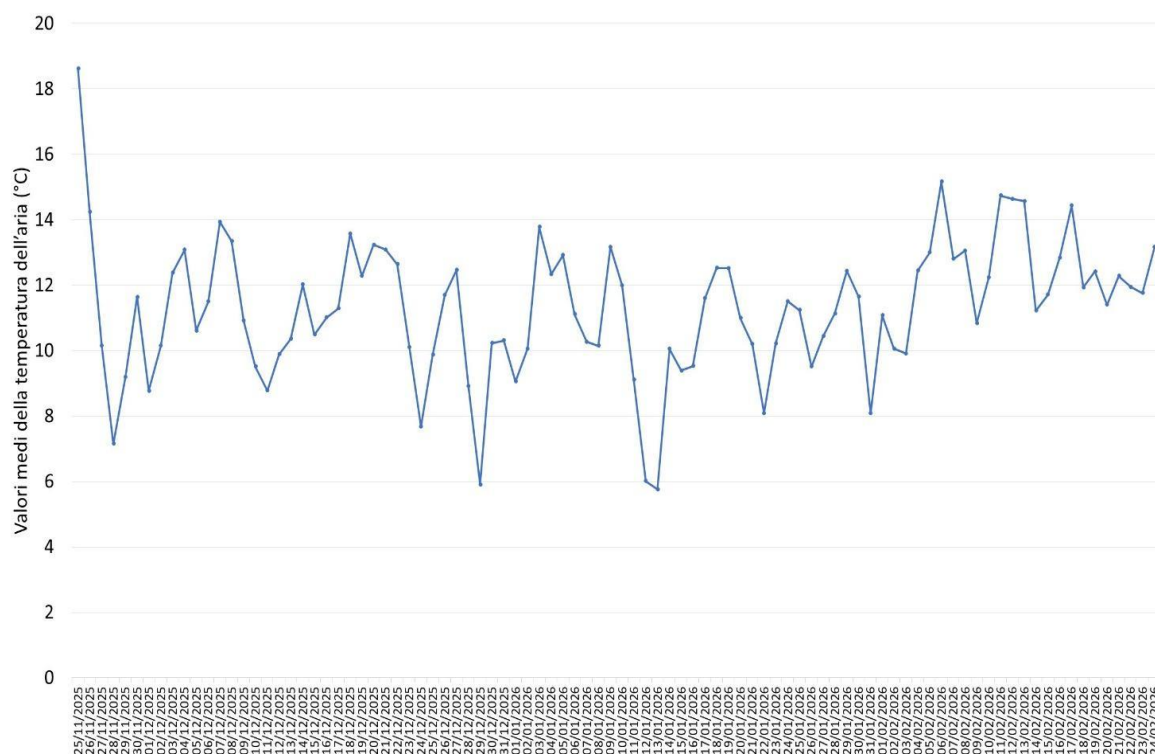


Figura 19 - Andamento della temperatura media dell'aria da novembre a febbraio.

5. *Discussione*

I risultati ottenuti nel presente studio evidenziano l'evoluzione dei parametri morfologici, cromatici e biochimici durante la maturazione delle cultivar di arancio dolce Tarocco Scirè e Moro. Il confronto tra le due varietà ha permesso di delineare dinamiche di accrescimento e maturazione distinte, seppur accomunate dai processi fisiologici tipici degli agrumi.

L'analisi delle dimensioni dei frutti mostra un progressivo accrescimento fino al mese di dicembre, fase in cui sia il Tarocco Scirè (78,0 mm) che il Moro (78,5 mm) raggiungono il picco massimo per il diametro equatoriale, con un andamento del tutto analogo per l'altezza polare. I valori morfologici rilevati nel corso del nostro studio, in particolare l'altezza e il diametro, risultano mediamente più elevati rispetto a quelli riportati da Continella et al. (2018). Tale differenza potrebbe essere attribuita alle elevate precipitazioni registrate durante il periodo invernale dell'anno di prova, le quali potrebbero aver favorito un maggiore turgore cellulare e un conseguente accrescimento volumetrico dei frutti, determinando pezzature finali più elevate.

Nei mesi successivi a dicembre, si osserva una contrazione dimensionale in entrambe le cultivar, che risulta tuttavia molto più marcata nel Moro. Quest'ultimo, infatti, subisce una drastica riduzione del peso, passando dai 189,9 g di dicembre ai 141,0 g di febbraio, mentre il Tarocco Scirè mantiene

una spiccata stabilità (tra 186,7 g e 192,7 g) per tutto il periodo di osservazione. La significativa riduzione di peso e volume registrata nel Moro è coerente con una fisiologica perdita di acqua per traspirazione e con l'innescio dei processi di senescenza che interessano il frutto negli stadi di maturazione più avanzati, come documentato anche da Lado et al. (2018).

Un ulteriore elemento di divergenza tra le due cultivar è rappresentato dallo spessore della buccia. Nel Tarocco Scirè si osserva un ispessimento da novembre a dicembre, suggerendo che la fase centrale della maturazione sia associata a un maggiore sviluppo dell'endocarpo (Sadka et al., 2019). Diversamente, nel Moro questo parametro si mantiene costante. Confrontando i nostri risultati con la letteratura (Meral et al., 2013), si nota che altri studi riportavano per il Moro spessori della buccia superiori a quelli da noi osservati, pur in assenza di differenze significative per peso e diametro. Queste evidenze confermano come il portinnesto, l'interazione con le specifiche condizioni pedoclimatiche dell'areale di coltivazione e le pratiche agronomiche adottate svolgano un ruolo determinante nel modulare la morfologia finale dell'epicarpo.

L'evoluzione cromatica dell'epicarpo ha mostrato il completamento dei processi di viraggio tipici degli agrumi sanguigni (Lado et al., 2018; Modica et al., 2025). Nel Tarocco Scirè, il Citrus Color Index (CCI) è passato da valori negativi in novembre (-1,1), indicativi di una colorazione ancora immatura e tendente al verde/giallo, a un incremento costante fino a raggiungere un valore di 6,0 a febbraio. Anche il Moro ha mostrato una chiara e progressiva evoluzione verso tonalità più rosse e intense, passando da un CCI di 0,7 a dicembre fino a 5,0 a febbraio. Questo viraggio riflette i fisiologici processi di degradazione della clorofilla e concomitante biosintesi di carotenoidi e antocianine, strettamente correlati all'accumulo progressivo di zuccheri solubili durante la maturazione (Lado et al., 2018; Modica et al., 2025). I risultati qui ottenuti sono pienamente concordi con i valori riportati in studi precedenti sul Moro e su altre cultivar di arancia rossa (Continella et al., 2018; Legua et al., 2022; Modica et al., 2024).

Per una valutazione accurata della qualità interna del frutto, che risulta più affidabile rispetto alla sola ispezione visiva della buccia (Legua et al., 2011; Modica et al., 2022), sono stati analizzati i parametri del succo. La resa in succo (%) ha evidenziato in entrambe le cultivar un andamento crescente nella fase iniziale, culminato con il valore massimo registrato a dicembre (es. 30% per il Tarocco). Questo incremento è coerente con quanto riportato in letteratura sullo sviluppo dei frutti di agrumi, in cui si assiste a un progressivo aumento del contenuto d'acqua e del volume cellulare (Sadka et al., 2019; Singh et al., 2023). Nei mesi di gennaio e febbraio si è poi registrata una lieve diminuzione, fisiologica per l'avvicinarsi della senescenza.

Per quanto riguarda i solidi solubili totali (TSS), si è osservato un accumulo progressivo degli zuccheri durante la fase centrale della maturazione, seguito da una leggera riduzione nella fase più avanzata (febbraio), fenomeno imputabile a una possibile diluizione o all'aumentato consumo metabolico da parte del frutto (Modica et al., 2025). Parallelamente, l'acidità titolabile (TA) ha mostrato una marcata e continua diminuzione lungo tutto il periodo di campionamento, comportamento fisiologico tipico della maturazione legato alla degradazione metabolica degli acidi organici (Lado et al., 2018; Modica et al., 2025).

L'interazione tra queste due dinamiche (accumulo di zuccheri e degradazione degli acidi) si riflette nell'indice di maturazione ($RI = TSS/TA$). Nel Tarocco Scirè, l'RI è aumentato in maniera costante e significativa da 3,0 (novembre) a 6,8 (febbraio). Un andamento speculare è emerso per il Moro, che ha visto il proprio rapporto evolvere da 4,5 (dicembre) a 6,0 (febbraio). Tale incremento documenta un progressivo miglioramento dell'equilibrio

zuccheri/acidi, confermando il raggiungimento di un'ottima qualità organolettica del frutto in fase di raccolta, in linea con quanto riportato da Lado et al. (2018) e Modica et al. (2025).

6. *Conclusioni*

In conclusione, il confronto tra le due cultivar evidenzia differenze sostanziali nell'evoluzione dei parametri qualitativi e morfologici durante la maturazione.

La cultivar Tarocco Scirè mostra una maggiore stabilità per quanto riguarda la pezzatura, ma un incremento più marcato dello spessore della buccia. Per quanto riguarda il peso, è emerso che risultano più variabili rispetto alla cultivar Moro.

La cultivar Moro evidenzia un'evoluzione più regolare dei parametri qualitativi, con un miglioramento costante del rapporto zuccheri/acidi e della colorazione esterna della buccia. Nel complesso, i risultati confermano che la risposta alla maturazione è cultivar-dipendente e fortemente influenzata da condizioni agronomiche e ambientali.

7. Bibliografia

- Abdullah M, Xi C, Shakoor A, Cao Y, Lin, Yi L, Yongping C, Gao J, (2018). New Opinion of Sugar and Light Crosstalk in the Induction of Anthocyanins Biosynthesis in Fruits. *International Journal of Agriculture and Biology*. Volume 20, Pages 2465-2474. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0790>
- AOAC International, (1995). Official methods of analysis of AOAC International. <https://worldcat.org/title/1200934158>
- Butelli E, Licciardello C, Zhang Y, Liu J, Mackay S, Bailey P, Reforgiato-Recupero G, Martin C, (2012). Retrotransposons control fruit-specific, cold-dependent accumulation of anthocyanins in blood oranges, Volume 24, Pages 1242-1255. doi: 10.1105/tpc.111.095232.
- Caruso M, Ferlito F, Licciardello C, Allegra M, Strano M.C, Di Silvestro S, Russo M.P, Paolo D.P, Caruso P, Las Casas G, (2016). Pomological diversity of the Italian blood orange germplasm. Volume 213, Pages 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.044>
- Continella A, Panniteri C, Caruso M, Gentile A, Russo G, La Malfa S, (2017). Influenza del portinnesto su messa a frutto e contenuto antocianico nei frutti. <https://hdl.handle.net/20.500.11769/18728>
- DOGV, (2006). Diari Oficial de la Comunitat Valenciana 5346. pp. 30321–30328. [http://refhub.elsevier.com/S0304-4238\(17\)30678-7/sbref0040?](http://refhub.elsevier.com/S0304-4238(17)30678-7/sbref0040?)
- Continella A, Pannitteri C, La Malfa S, Legua P, Distefano G, Nicolosi E, Gentile A, (2018). Influence of different rootstocks on yield precocity and fruit quality of ‘Tarocco Scirè’ pigmented sweet orange, *Scientia Horticulturae*, Volume 230, Pages 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.006>.
- Espley RV, Jaakola L, (2023). The role of environmental stress in fruit pigmentation. *Plant Cell Environ*, Volume 46, Pages 3663-3679. doi: 10.1111/pce.14684.
- Forner-Giner, M.Á, Ballesta-de los Santos M, Melgarejo P, Martínez-Nicolás J.J, Melián-Navarro, A, Ruíz-Canales A, Continella A, Legua P, (2023). Fruit Quality and Primary and Secondary Metabolites Content in Eight Varieties of Blood Oranges. *Agronomy*, Volume 13 (4), Pages 1037. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041037>
- Habibi F, Ramezani A, Guillén F, Castillo S, Serrano M, Valero D (2020). Changes in Bioactive Compounds, Antioxidant Activity, and Nutritional Quality of Blood Orange Cultivars at Different Storage Temperatures. *Antioxidants (Basel)*, Volume 9 (10), Pages 1016. doi: 10.3390/antiox9101016.

- He, J., Yao, L., Pecoraro, L., Liu, C., Wang, J., Huang, L. et al. (2022). Cold stress regulates accumulation of flavonoids and terpenoids in plants by phytohormone, transcription process, functional enzyme, and epigenetics. *Critical Reviews in Biotechnology*, Volume 43, Pages 680-697. <https://doi.org/10.1080/07388551.2022.2053056>
- Kai H, Iba K, (2014) Temperature stress in plants. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001320.pub2>
- Kelebek H, Canbas A, Selli S (2008). Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey. *Food Chem*, Volume 107 (4), Pages 1710-1716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.004>
- Lado J, Gambetta G, Zacarias L (2018). Key determinants of Citrus fruit quality: Metabolites and main changes during maturation. *Sci. Hortic.* <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.055>
- La Mafa S, Caruso M (2022). Arancio dolce. *Arboriotra speciale*. In Alessandra Gentile, Paolo Inglese, Massimo Tagliavini (2022). *Edagricole* pp: 27
- Lana G, Modica G, Las Casas G, Siracusa L, La Malfa S, Gentile A, Sicilia A, Distefano G, Continella A (2021). Molecular insights into the effects of rootstocks on maturation of blood oranges, Volume 7 (11), Pages 468. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110468>
- La Rosa G, (2012). L'arancio. *Gli agrumi, coordinamento scientifico di E. Tribulato e P. Inglese*. Collana *Coltura&Cultura*, ideata da R. Angelini- Bayer CropScience, Ed. Script, Bologna, Pages 336-353.
- Legua P, Modica G, Porras I, Conesa A, Continella A. (2022), Bioactive compounds, antioxidant activity and fruit quality evaluation of eleven blood orange cultivars, Volume 102 (7), Pages 2960-2971. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11636>.
- Lo Piero AR, Puglisi I, Rapisarda P, Petrone G (2005). Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage. *J Agric Food Chem*. Volume 53, Pages 9083-9088. doi: 10.1021/jf051609s. PMID: 16277406.
- Lo Piero AR (2015). The State of the Art in Biosynthesis of Anthocyanins and Its Regulation in Pigmented Sweet Oranges [(*Citrus sinensis*) L. Osbeck]. Volume 63 (16), Pages 4031-4041. doi: 10.1021/acs.jafc.5b01123.
- Mabberley D.J (2022). A classification for edible Citrus: an update, with a note on *Murraya* (Rutaceae), Volume 25, Pages 271–284. <https://doi.org/10.7751/telopea15954>.

- Modica G, Siracusa L, Ruberto G, Di Guardo M, La Malfa S, Gentile A, Continella A (2022). L'accumulo di polifenoli dipende dal portainnesto e dalle temperature invernali. Volume 86, Pages 22-25. <https://hdl.handle.net/20.500.11769/546922>
- Modica G, Pannitteri C, Di Guardo M, La Malfa S, Gentile A, Ruberto G., Pulvirenti L, Parafati L, Continella A, Siracusa L (2022). Influence of rootstock genotype on individual metabolic responses and antioxidant potential of blood orange cv. Tarocco Scirè. Volume 105, Pages 104246. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104246>
- Modica G, Di Guardo M, Puglisi I, Baglieri A, Fortuna S, Arcidiacono F, Costantino D, La Malfa S, Gentile A, Arbona V (2024). Novel and widely spread citrus rootstocks behavior in response to salt stress. Environ. Volume 225, Pages 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105835>
- Modica G, Legua P, La Malfa S, Gentile A, Continella A (2024). Qualitative Traits and Antioxidant Properties of Blood Oranges Are Affected by the Genotype and the Climatic Conditions. Foods. Volume 13 (19), Pages 3137. doi: 10.3390/foods13193137.
- Modica G, Pulvirenti L, Strano T, La Malfa S, Gentile A, Drago C, Continella A, Siracusa, L (2025). Metabolite content and antioxidant potential of blood oranges as affected by rootstock. Food Chemistry. Volume 478, Pages 1-15. doi: 10.1016/j.foodchem.2025.143634
- Morales J, Bermejo A, Navarro P, Forner-Giner MÁ, Salvador A (2021). Rootstock effect on fruit quality, anthocyanins, sugars, hydroxycinnamic acids and flavanones content during the harvest of blood oranges 'Moro' and 'Tarocco Rosso' grown in Spain. Volume 342, Pages 128305 doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128305.
- Pannitteri C, Continella A, Lo Cicero L, Gentile A, La Malfa S, Sperlinga E, Napoli E.M., Strano T, Ruberto G, Siracusa L (2017). Influence of postharvest treatments on qualitative and chemical parameters of Tarocco blood orange fruits to be used for fresh chilled juice, Food Chemistry, Volume 230, Pages 441-447. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.041>.
- Pareek S, Valero D, Serrano M, (2015). Postharvest biology and technology of pomegranate. Volume 95(12), Pages 2360-79. doi: 10.1002/jsfa.7069.
- Qu Z, & Zhou G. (2016). Possible Impact of Climate Change on the Quality of Apples from the Major Producing Areas of China. Atmosphere, Volume 7(9), Pages 113. <https://doi.org/10.3390/atmos7090113>
- Russo G, Recupero S, Pietro Paolo D, Di Leo A, Filippelli S, Intrigliolo F, Reforgiato Recupero G. (2012). Adattamento di mandarini triploidi agli ambienti agrumicoli

- meridionali. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura*, Volume 74, Pages 1-2: 52-561-9384(81)90298-5
- Sadka, A, Shlizerman L, Kamara I, Blumwald E. (2019). Primary metabolism in citrus fruit as affected by its unique structure. *Frontiers in plant science*, Volume 10, Pages 1167. DOI: [10.3389/fpls.2019.01167](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01167)
- Simón-Grao S, Gimeno V, Simón I, Lidón V, Nieves M, Balal RM (2014). Fruit quality characterization of eleven commercial mandarin cultivars in Spain. Volume 165, Pages 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.022>
- Singh N, Sharma R. M, Dubey A. K, Awasthi O. P, Porat R, Saha S, Carmi, N. (2023). Harvesting maturity assessment of newly developed citrus hybrids (*Citrus maxima* Merr. × *Citrus sinensis* (L.) Osbeck) for optimum juice quality. *Plants*, Volume 12(23), Pages 3978. <https://doi.org/10.3390/plants12233978>
- Susan S.S, Sennewald K, Gagnon J. (1981) Comparison of taste qualities and thresholds of D- and L-amino acids. *Physiol. Behav.* Volume 27, Pages 51–59. DOI: 10.1016/003