



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Corso di Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie, Alimentari, Forestali e Ambientali

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali

S.S.D. AGR/03

**Effetti dell'applicazione di *Edible Coating*
sul comportamento fisiologico e sulle caratteristiche fisico-chimiche,
nutrizionali e sensoriali in prodotti frutticoli di IV Gamma.**

LA DOTTORESSA
ROBERTA PASSAFIUME

IL COORDINATORE
PROF. VINCENZO BAGARELLO

IL TUTOR
PROF. VITTORIO FARINA

IL CO-TUTOR
DOTT. GIUSEPPE SORTINO

CICLO XXXIII

2021

INDICE

ABSTRACT	4
RIASSUNTO.....	5
Introduzione	6
1. Shelf-life.....	7
2. Qualità.....	8
3. IV Gamma	9
4. Tecniche di conservazione	10
5. <i>Edible coating</i>	12
6. Additivi funzionali	14
7. Analisi microbiologiche	16
8. Fisiologia dei prodotti frutticoli dopo la raccolta.....	18
Bibliografia.....	20
Obiettivi e articolazione della Ricerca	27
Capitolo I	29
Analisi qualitativa e microbiologica dei frutti di <i>Diospyros kaki</i> L. ‘Rojo brillante’ rivestiti da <i>edible coating</i> a base di <i>Aloe vera</i>	30
Abstract	30
Introduzione.....	30
Materiale & Metodi.....	32
Risultati e Discussione	35
1. Analisi fisico-chimiche	36
2. Analisi microbiologiche.....	38
3. Analisi sensoriale	39
Conclusioni.....	40
Bibliografia.....	41
Capitolo II.....	44
Analisi degli effetti di quattro differenti <i>edible coating</i> sulle caratteristiche organolettiche e sensoriali di frutti di papaya in IV gamma	45
Abstract	45
Introduzione.....	45
Materiale & Metodi.....	48
Risultati e Discussione	52
1. Analisi fisico-chimiche	52

2. Tasso di respirazione.....	56
3. Analisi sensoriale	57
Conclusioni.....	59
Bibliografia.....	60
Capitolo III	65
Effetto del trattamento con <i>edible coating</i> a base di olio essenziale di limone, gel di <i>Aloe vera</i> e hpmc, sulla qualità dei frutti di melo della varietà ‘Fuji’ in IV Gamma.....	66
Abstract	66
Introduzione.....	66
Materiale & Metodi	70
Risultati e Discussione	74
1. Analisi fisico-chimiche	74
2. Analisi dei composti prossimali.....	78
3. Analisi delle vitamine	80
4. Analisi sensoriale	81
Conclusioni.....	83
Bibliografia.....	84
Capitolo IV.....	90
Studio dell’effetto di nano-particelle di foglie di broccoli ‘Bimi’ in un <i>edible coating</i> applicato su kiwi in IV gamma.....	91
Abstract	91
Introduzione.....	91
Materiale & Metodi	94
Risultati e Discussione	97
1. Analisi fisico-chimiche	97
2. Analisi sensoriale	100
Conclusioni.....	101
Bibliografia.....	102
Capitolo V	107
Studio del funzionamento di <i>edible coating</i> sulle caratteristiche qualitative, microbiologiche e sensoriali di kiwi ‘Hayward’ <i>ready-to-eat</i>	108
Abstract	108
Introduzione.....	108
Materiale & Metodi	111

Risultati e Discussione	116
1. Analisi fisico-chimiche	116
2. Analisi microbiologiche	119
3. Analisi sensoriale	121
Conclusioni.....	124
Bibliografia.....	126
Capitolo VI.....	131
Valutazione dell'evoluzione qualitativa di frutti di <i>Pyrus communis</i> L. var. 'Coscia' ready to eat, trattati con <i>edible coating</i>	132
Abstract	132
Introduzione.....	132
Materiale & Metodi	134
Risultati e Discussione	137
1. Analisi fisico-chimiche	137
2. Analisi microbiologiche.....	140
3. Analisi sensoriale	140
Conclusioni.....	142
Bibliografia.....	143
Note finali.....	147
Pubblicazioni prodotte durante il triennio di Dottorato.....	150
RINGRAZIAMENTI	151

ABSTRACT

The demographic increase and the changing lifestyles of modern society have seen a globalized market and the development of new dynamics in the agri-food sector and growing consumer demand for *ready-to-eat* products. The agri-food industries are responding to this request with *minimally processed* products, i.e., fresh fruit and vegetables, washed, cut, packaged in customized packaging and placed in the refrigerated counters of large organized distribution chains.

As part of the three-year PhD course, it was investigated one of the most advanced techniques the use of the edible coating. This consists of applying, by spraying or dipping technique, an odorless, colorless and tasteless edible substance, consisting of hydrocolloids and/or lipidic substances and waxes, to the surface layer of the fruit, whether cut or whole. We analyzed how the edible coating acts as a barrier for gas exchange with the surrounding atmosphere, reduces water loss and controls microbial growth, preserving quality and giving the product better mechanical resistance. In addition, we have studied how the proliferation of microorganisms on the fruit surface is inhibited by the combined use of antimicrobial substances, potential carriers of anti-browning agents and nutrients. Concerning the antimicrobial power of edible coatings, more consideration has been given to the use of Aloe vera. It has been shown that the gel extracted from its leaves and applied to post-harvest fruit inhibits the growth of microorganisms such as bacteria, fungi, viruses and parasites. Furthermore, the need to reduce waste materials, especially the by-products of the agri-food chain, was highlighted. For these reasons, it was decided to make edible coatings with broccoli leaves or essential oils extracted from fruit seeds, such as pomegranate or lemon. The results obtained showed that edible coating provides, in all the analyzed trials, a valid alternative to many other post-harvest chemical treatments. In particular, a clear improvement of the plant matrices coated with an edible coating containing Aloe vera gel, hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and antioxidant agents such as citric and ascorbic acid was observed. The latter revealed its effectiveness on different types of fruit, enabling the target set at the beginning of the three years to be reached. Besides, the ease with which the edible coating can be produced means that if it passes food safety tests, it could be offered on an industrial scale.

RIASSUNTO

L'incremento demografico e il cambiamento dei ritmi e degli stili di vita della società moderna hanno visto un mercato sempre più globalizzato nonché lo sviluppo di nuove dinamiche nel settore agroalimentare e la crescente richiesta da parte dei consumatori di prodotti pronti al consumo. Le industrie agro-alimentari rispondono a questa richiesta con i prodotti appartenenti alla categoria della IV gamma (detti anche *fresh-cut* o *ready to eat*), ossia frutta e verdura fresca, lavata, tagliata, confezionata in packaging personalizzati e posta nei banchi refrigerati della grande distribuzione organizzata (GDO). Nell'ambito del triennio del Dottorato di Ricerca si è scelto di approfondire una delle tematiche più all'avanguardia e che stimola la curiosità di molti ricercatori, ovvero l'utilizzo di *edible coating*. Questa tecnica consiste nell'applicazione, mediante *spraying* o *dipping*, di una sostanza edibile inodore, incolore e insapore, costituita da idrocolloidi e/o sostanze lipidiche e cere, nello strato superficiale del frutto, che sia esso tagliato o intero. I casi studio analizzati hanno messo in luce come l'*edible coating* funga da barriera per gli scambi gassosi con l'atmosfera circostante, riduca la perdita d'acqua e controlli lo sviluppo microbico preservando la qualità e conferendo al prodotto una migliore resistenza meccanica. Inoltre, la proliferazione dei microrganismi sulla superficie del frutto viene inibita dall'uso combinato di sostanze antimicrobiche, potenziali trasportatori di agenti anti imbrunimento e, al contempo, nutrienti. Per quanto riguarda la capacità antimicrobica degli *edible coating*, maggior considerazione è stata data all'*Aloe vera*. Si è visto, infatti, che il gel estratto dalle sue foglie e applicato sui frutti in post-raccolta inibisce la crescita di microrganismi come batteri, funghi, virus e parassiti. Inoltre, durante il percorso di Dottorato si è evidenziata la necessità di ridurre i materiali di scarto, specialmente i sottoprodotti della filiera agroalimentare. Per queste ragioni si è scelto di realizzare degli *edible coating* con foglie di *Brassica oleracea* L. o oli essenziali estratti da semi di frutti, come melograno o limone. I risultati ottenuti hanno evidenziato che l'*edible coating* fornisce, in tutti i casi studio analizzati, una valida alternativa ai rivestimenti sintetici e ad altri trattamenti chimici post-raccolta. In particolare si è potuto constatare il netto miglioramento delle matrici vegetali rivestite dall'*edible coating* contenente gel di *Aloe vera*, idrossipropil-metilcellulosa (HPMC) e agenti antiossidanti come acido citrico e ascorbico. Quest'ultimo, infatti, ha rivelato la sua efficacia su diverse tipologie di frutto, permettendo di soddisfare l'ipotesi scientifica formulata all'inizio del percorso di ricerca. Inoltre, la facilità di realizzazione dell'*edible coating* evidenzia una facile trasferibilità dei risultati scientifici in un contesto commerciale e una loro applicabilità su scala industriale.

Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad un incremento della popolazione a livello globale che ha determinato, tra le altre cose, una riduzione dell'approvvigionamento alimentare e un incremento di tutti quei processi che provocano il deterioramento dei sistemi naturali e dei loro cicli biologici. Da qui nasce la necessità di stabilire una strategia efficace e sostenibile per arrestare le perdite e gli sprechi alimentari, i quali risultano essere tra le cause maggiori di produzione di gas serra. Secondo diversi studi, entro il 2050 bisognerà raddoppiare la produzione agricola per soddisfare il crescente fabbisogno di cibo (Tilman, D. *et al.*, 2011; FAO, 2009; OECD/FAO, 2012). Nel mondo il 95% delle risorse agricole viene investito per la produzione di alimenti e solo il 5% per la loro conservazione (FAO, 2011). Parallelamente alla crescita della popolazione globale, si è assistito in 10 anni, dal 2007 al 2017, ad un incremento della produzione di frutta (pomacee, agrumi, frutta a nocciolo, frutta tropicale, bacche, meloni, pomodori e avocado) da 2.587.570 tonnellate a 34.622.004 tonnellate (FAOSTAT, 2019). Il business agricolo, infatti, trae profitto dalla vendita di fertilizzanti, pesticidi e prodotti chimici, ma vede pochissimo profitto nel miglioramento delle tecnologie post-raccolta degli alimenti. Pertanto, 1/3 della produzione mondiale di cibo si perde a causa del deterioramento post-raccolta.

I Paesi in via di sviluppo sono quelli che risentono maggiormente del volume di scarti alimentari prodotto (circa il 40%), in particolar modo durante le fasi di post-raccolta e processamento (Maheshwar, C. and Chanakya, T.S., 2006). Le pessime condizioni di stoccaggio dei prodotti raccolti ne determinano la perdita a causa delle condizioni climatiche non favorevoli e della presenza di roditori, parassiti e funghi. L'inadeguatezza delle strutture di commercio e dei trasporti determina la mancanza di continuità della catena del freddo, con conseguente deterioramento delle caratteristiche nutraceutiche e organolettiche dei prodotti. I sistemi di imballaggio e trasporto, spesso inefficienti e la cui funzione è sottovalutata, determinano la maggioranza delle perdite a causa della sovrapposizione dei prodotti, delle lesioni e dei danni dati dall'esposizione dei prodotti a temperature improprie.

1. Shelf-life

Ad oggi, tutte queste limitazioni rappresentano un problema molto complesso per il quale si tenta di realizzare materiali da imballaggio e sistemi adeguati che non prescindano dalla logica dello sviluppo sostenibile ma, soprattutto, che riescano a dare una maggiore "durabilità" ai prodotti. Questo termine designa comunemente la *Shelf-life* di un prodotto. La traduzione più appropriata, ovvero 'vita da scaffale' indica, appunto, che la vita del prodotto in questione non corrisponde al suo intero ciclo di vita, ma al solo intervallo di tempo durante il quale il prodotto risulta utile ai fini commerciali, in

funzione delle sue caratteristiche organolettiche, nutritive e sensoriali (Piergiovanni, L., & Limbo, S., 2016), e che praticamente corrisponde a 5-7 giorni.

L'uso corretto della catena del freddo tra i siti di produzione e quelli di consumo può indicare una strategia per mantenere più a lungo possibile la qualità e la sicurezza dei prodotti deperibili lungo la filiera agroalimentare. Tutte le tecnologie adeguate possono migliorare la redditività, ma nessuna di queste tecnologie, utilizzate singolarmente, può determinare una corretta gestione post-raccolta, né garantire la qualità e la sicurezza dei prodotti (Kader, A.A., 2006).

2. Qualità

La definizione di qualità si basa su due approcci (Shewfelt, R., 1999), uno orientato al prodotto e l'altro al consumatore: il primo si focalizza sui tratti qualitativi, relativi all'aspetto e alla *Shelf-life*, quantificabili mediante strumenti appropriati, il secondo si basa sulle esigenze del consumatore. In nessuno dei due casi però si ha una completa definizione di qualità del prodotto. Infatti, l'approccio strumentale che quantifica le caratteristiche qualitative del prodotto risulta fondamentale per creare degli standard e dei parametri da utilizzare per il monitoraggio della qualità della frutta lungo la filiera agroalimentare; mentre la comprensione delle esigenze dei consumatori è necessaria per fornire al mercato prodotti pertinenti alle loro richieste.

I descrittori standard identificano i gradi di qualità di un prodotto e sono strumenti essenziali in quanto forniscono un linguaggio comune per il commercio tra coltivatori, gestori, trasformatori e consumatori. Ciò fornisce un ordine nella commercializzazione e protegge i consumatori da prodotti di scarsa qualità. Tuttavia, gli standard di qualità si differenziano da paese a paese. Ad esempio, nei paesi in via di sviluppo viene meno l'esigenza di eliminare i prodotti che presentano difetti estetici, rispetto ai paesi sviluppati; inoltre, la consuetudine in fase di confezionamento è quella di collocare i prodotti di buona qualità sopra e quelli di bassa qualità sotto. Per questo motivo i produttori sono invitati a seguire gli standard di qualità e i regolamenti di sicurezza che riguardano le corrette procedure di gestione e gli aspetti riguardanti la salute pubblica. Ad esempio, per garantire la sicurezza e la qualità di tutte le materie prime è stata raccomandata l'implementazione di standard di gestione della qualità, come ISO 9000:2000, come punto di partenza per gli accordi tra il fornitore e il produttore, che dovrebbe includere un'analisi dei rischi dei punti critici di controllo (HACCP) (Tomas-Callejas *et al.*, 2011). Infatti, le buone pratiche agricole, la manipolazione e le procedure di garanzia della sicurezza alimentare sono step fondamentali per il commercio di prodotti di buona qualità (Wiley, 1994). Le procedure igienico-sanitarie riducono al minimo la contaminazione microbica, ad esempio il lavaggio e la sanificazione delle superfici e dei prodotti, la pulizia dei contenitori per il raccolto e per la spedizione, lo smistamento e l'adeguata eliminazione dei prodotti

in progressivo stato di decomposizione nonché la sanificazione degli espositori e delle strutture di stoccaggio. Inoltre, gli standard di qualità dipendono sia da fattori genetici, come ad esempio la specie, la varietà, la fisiologia e il grado di maturazione al momento della raccolta, sia da fattori estrinseci, come i metodi di coltivazione, il tipo di suoli, l'esposizione alla luce o agli agenti inquinanti, le condizioni meteorologiche, ecc. (Musacchi, S., & Serra, S., 2018).

La conoscenza delle caratteristiche qualitative, intese come rapporto tra cibo e benessere, ha determinato un incremento della domanda di prodotti ortofrutticoli che mantengano il loro stato di freschezza e, allo stesso tempo, abbiano un elevato valore nutrizionale (IFPA, 2001). A questa domanda le industrie agroalimentari rispondono con i prodotti appartenenti alla IV gamma, cioè frutta e verdura fresche, minimamente lavorate, confezionate in packaging personalizzati e pronte al consumo (*ready-to-eat*). La preparazione di questi prodotti è caratterizzata però da fasi di processamento (lavaggio, taglio e pelatura) che elevano il rischio di proliferazioni batteriche, generando condizioni non ottimali ai fini della vendita. Infatti, in seguito alle operazioni di taglio, i tessuti che hanno subito il trauma reagiscono con differenti risposte in funzione di diversi fattori: specie e cultivar, concentrazione di O₂ e CO₂ nell'imballaggio, miscela di gas utilizzata per l'atmosfera modificata, umidità relativa e temperatura (Klein, B. P., 1987; Toivonen and Brummel, 2008). Se da un lato i prodotti cosiddetti *ready-to-eat* rappresentano un vantaggio per i consumatori, in quanto sono funzionali in relazione a convenienza, praticità e riduzione degli scarti (Wiley, 1994; Beuchat, 2002; Bruhn, 2002), dall'altro risultano altamente deperibili e, pertanto, devono essere seguite rigorose procedure di controllo per ridurre la perdita di qualità complessiva e garantire la sicurezza ai consumatori.

3. IV Gamma

I prodotti appartenenti alla IV gamma (fig. 1) sono apparsi per la prima volta nei Fast Food in USA nel 1975, nei primi anni '80 in Germania e in Svizzera, continuando con la loro diffusione nel 1985 in Inghilterra, Francia, Paesi Bassi, Spagna e Italia. In Spagna, questa innovazione alimentare è tutt'ora inferiore a quella degli altri Paesi, anche se si registra una crescita esponenziale promettente di circa il 15-20% all'anno (Calero F., A., 2018). In Italia lo sviluppo di questa nuova tecnica ha visto un periodo di arresto a causa di allarmi di natura igienico-sanitaria, ma dalla seconda metà degli anni '90 ha subito nuovamente una forte crescita grazie agli investimenti sulle nuove tecnologie nel settore agroalimentare. Nel 2007 l'Italia rientra, infatti, tra i primi tre paesi europei per consumo e diffusione (con Francia e Inghilterra) e in 10 anni raggiunge un netto incremento delle vendite (Della Casa, 2008).

Varie sono le ragioni per il successo dei prodotti pronti al consumo, più di tutte l'assenza di materiale di scarto che determina una maggiore praticità nel consumo. Infatti, quando si utilizzano prodotti della IV gamma, il 100% è consumabile (Garcia e Barrett, 2005). Uno studio condotto dall'IFPA (2002) ha rivelato che il 76% delle famiglie intervistate preferisce acquistare frutta fresca e pronta al consumo, rispetto ai loro equivalenti non trasformati. Questa tendenza ha portato l'industria ad aumentare gli investimenti in ricerca e sviluppo per affrontare le questioni riguardanti la fornitura di prodotti non lavorati, le tecnologie di confezionamento, gli impianti di lavorazione e di refrigerazione.



Figura 1: IV gamma di prodotti frutticoli esposti nei banchi refrigerati delle grandi distribuzioni organizzate.

4. Tecniche di conservazione

Tra le più importanti tecniche di conservazione della frutta fresca vi è la conservazione a basse temperature o l'utilizzo di atmosfere modificate (MAP, *modified atmosphere packaging*) attive (con modifica delle concentrazioni di gas all'interno dell'imballaggio) o passive (aria). Un'altra tecnica di conservazione dei prodotti ortofrutticoli è quella che si basa sull'applicazione di rivestimenti commestibili (*edible coating*) direttamente sulla superficie del frutto, intero o di IV gamma.

Il metodo della conservazione alle basse temperature sembra preservare la qualità dei frutti per un certo periodo di tempo e non oltre una certa soglia di temperatura, al di sotto della quale viene favorito lo sviluppo di danni da freddo in funzione della matrice vegetale. Per quanto riguarda le tecnologie MAP invece, queste sembrano ridurre l'intensità respiratoria e mantenere la *Shelf-life* dei frutti (Irtwange, S. V. 2006; Valero, D., & Serrano, M., 2010). Il principio di questo metodo è la conservazione di prodotti freschi all'interno di sacchetti, ad esempio in polipropilene, poliammide o

polietilene, in cui viene modificata la concentrazione gassosa mediante l'utilizzo di gas come ossigeno, anidride carbonica o azoto, o attraverso l'utilizzo di gas nobili come argon o ossido di azoto.

Il rivestimento commestibile (*edible coating*) è uno dei metodi che negli ultimi anni ha mostrato risultati promettenti per quanto riguarda il mantenimento della qualità della frutta in post-raccolta (Guimaraes, Abrunhosa, Pastrana, & Cerqueira, 2018). Gli *edible coating* possono essere definiti come un sottile strato di materiale edibile, di origine naturale o sintetica, che riveste la superficie dei prodotti ortofrutticoli, pertanto, la composizione di tali rivestimenti deve essere conforme alle norme che si applicano in materia di salute riguardante il consumo del prodotto fresco. Infatti, tali *edible coating*, che sono a diretto contatto con gli alimenti devono essere riconosciuti come sicuri, nonché approvati dalla European Food Safety Authority (EFSA) o, in America, dalla Food and Drug Administration (FDA) o devono acquisire lo status di GRAS (*Generally Recognized As Safe*). I produttori possono chiedere l'approvazione di un ingrediente o di un composto alimentare, purché siano stati effettuati numerosi studi. Ci sono tre tipi di denominazioni GRAS: *Self-affirmed*, in cui il produttore ha svolto il lavoro necessario e, in caso di contestazione, può dimostrare lo status GRAS del prodotto in questione; *FDA pending*, in cui i risultati della ricerca sono stati presentati alla FDA e si è in attesa dell'approvazione; *No comment* - se dopo la revisione da parte della FDA, non sussiste alcuna contestazione. Tuttavia, lo status GRAS non garantisce la completa sicurezza del prodotto, soprattutto per i soggetti allergici o aventi intolleranze alimentari.

Secondo gli studi finora effettuati, i film commestibili e biodegradabili potrebbero essere una valida alternativa ai materiali da imballaggio sintetici, grazie alla loro capacità di ridurre la traspirazione (perdita di peso e assorbimento di acqua), o la respirazione e la perdita di composti aromatici (Aider, 2010; Dutta, Tripathi, Mehrotra, & Dutta, 2009). Fonti naturali ricche di antiossidanti, vitamine e polifenoli, come l'estratto di tè verde (Li, Miao, Wu, Chen, & Zheng, 2014; Siripatrawan & Harte, 2010), estratti vegetali (Bonilla & Sobral, 2016), oli di canapa e salvia (Mihaly Cozmuta *et al.*, 2015), olio essenziale di zenzero (Alexandre, Lourenço, Bittante, Moraes, & Sobral, 2016) e altri oli vegetali (Nur Fatin Nazurah & Nur Hanani, 2017) sono alcuni esempi di materiale di origine naturale applicati, nell'ultimo decennio, per lo sviluppo di imballaggi alimentari o per creare dei rivestimenti commestibili. Polisaccaridi come amidi, derivati della cellulosa e gomme vegetali sono stati utilizzati come additivi degli *edible coating*, i quali hanno consentito di migliorare la conservabilità degli alimenti pronti al consumo (IV gamma) fungendo da barriera per gli scambi gassosi (Bertuzzi, Vidaurre, Armada, & Gottifredi, 2007).

5. *Edible coating*

Anche se i prodotti ortofrutticoli sono già dotati di un rivestimento naturale a base di cere (cuticola), gli additivi sono da sempre stati utilizzati per controllare la permeabilità e gli scambi di ossigeno e anidride carbonica con l'esterno, e per limitare i danni da manipolazione della frutta durante le varie fasi che precedono lo stoccaggio. Tuttavia, le proprietà che caratterizzano un *edible coating* (rivestimento commestibile – fig. 2) sono la trasparenza, la permeabilità al vapore acqueo e ai soluti e il potere selettivo agli scambi gassosi (Jongsri, Wangsomboondee, Rojsitthisak, & Seraypheap, 2016); un'altra proprietà da non trascurare è che il rivestimento edibile, deve essere tendenzialmente inodore e insapore, per non influenzare il profilo sensoriale (Kester e Fennema, 1986). L'*edible coating* determina un rallentamento della respirazione cellulare e, di conseguenza, della senescenza, oltre a rallentare lo sviluppo e la proliferazione di funghi e batteri e a migliorare l'aspetto esteriore dei frutti (Dhall, 2013; Mahajan, Caleb, Singh, Watkins, & Geyer, 2014).

Alcuni coadiuvanti come soluzioni antimicrobiche, acidificanti e antiossidanti, sono comunemente usati (Leistner e Gould, 2002; Artés e Allende, 2005) per ritardare i processi ossidativi, ma in un mondo in cui la sostenibilità gioca un ruolo del tutto centrale, diventa fondamentale trovare delle valide alternative ai prodotti chimici mantenendo inalterata la qualità del prodotto.

Le Direttive Europee (95/2/CE e 98/72/CE) e il Code of Federal Regulations degli Stati Uniti (FDA 21CFR172, 2006) definiscono i rivestimenti commestibili come 'rivestimenti formulati con additivi alimentari'. L'uso di rivestimenti per prodotti ortofrutticoli freschi è un concetto in continuo sviluppo. Già dal XII secolo in Cina la cera è stata il primo rivestimento commestibile applicato su agrumi, e in seguito, le cere sono entrate nel commercio dei rivestimenti commestibili per alimenti (Park, 1999). A partire dagli anni '50 sono state utilizzate cere, sospensioni colloidali o emulsioni a base di oli per rivestire la frutta fresca. I rivestimenti di maggior successo sono stati i film lipidici, idrocolloidi (polisaccaridi e proteine) e cere (cera d'api, cera carnauba e candelilla, paraffina e crusca di riso).

Gli idrocolloidi rappresentano il gruppo di biopolimeri maggiormente utilizzati nella produzione di materiali edibili. Essi possono essere ottenuti direttamente da piante, animali o microrganismi. Tra questi, i derivati della cellulosa, l'amido, l'alginato, il chitosano, e i carragenani sono i polisaccaridi più comunemente utilizzati nella produzione di film e rivestimenti commestibili, mentre le proteine della soia, il glutine, la zeina, la gelatina, la caseina e la cheratina rientrano tra le proteine maggiormente utilizzate (Falguera, V. *et al.*, 2011). Tuttavia, essendo questi materiali di natura idrofila, sorge la necessità di incorporare oli o grassi vegetali nella matrice idrocolloidale, al fine di migliorare l'effetto barriera del coating nei confronti dell'ambiente esterno (Galus, S. *et al.*, 2015).

L'*edible coating* viene applicato immergendo (*dipping technique*) la frutta nella soluzione o spruzzando (*spraying technique*) la soluzione sulla superficie della frutta. La differenza tra le due tecniche sta nel fatto che, l'immersione determina un maggior consumo di prodotto e un suo maggiore assorbimento da parte del frutto, provocando talvolta una ben visibile stratificazione dell'*edible coating* sulla sua superficie; invece, la tecnica *spraying* prevede l'erogazione di uno strato sottile di *edible coating*, che può essere applicato più volte al fine di creare una diversa stratificazione del rivestimento (LBL – *layer by layer technique*). Questo permette di creare un effetto barriera diverso in funzione delle esigenze del frutto. Tuttavia, nella maggior parte dei lavori presenti in letteratura (effettuati sia su IV gamma che su prodotto intero), viene utilizzata la tecnica di immersione del prodotto nell'*edible coating*.

Tra gli effetti positivi rilevati dalle analisi fisico-chimiche su frutti interi trattati con *edible coating* vi sono: il mantenimento della consistenza e della compattezza, poiché la presenza del rivestimento commestibile permette di tenere legate le pectine della parete cellulare; l'aumento dell'acidità titolabile e delle vitamine, grazie alla presenza di sostanze antiossidanti e/o antimicrobiche. Mentre sulla frutta di IV gamma ritardano notevolmente la perdita d'acqua, non alterano il contenuto dei solidi solubili e mantengono inalterato il colore dei prodotti.

Dunque gli effetti positivi degli *edible coating*, messi in risalto sia nella frutta intera che in quella di IV gamma, hanno stimolato l'interesse dei ricercatori, i quali hanno voluto approfondire gli studi riguardanti la correlazione tra le matrici del rivestimento e le caratteristiche fisiologiche dei frutti sottoposti al trattamento. Dagli studi è infatti emerso che l'applicazione di un rivestimento commestibile è in grado di ridurre l'attività enzimatica della polifenolossidasi (PPO) e della perossidasi (POD) e di rallentare l'imbrunimento e la decolorazione dei frutti. In particolare, alcuni rivestimenti commestibili studiati, come quelli a base di *Aloe vera*, sembrano indurre una riduzione dell'attività della PPO (Chauhan *et al.*, 2011) portando ad un incremento del contenuto di fenoli durante la conservazione. Inoltre l'acido citrico svolge il ruolo di agente chelante, con conseguente inattivazione della PPO, riducendo il pH e la chelazione del rame sul sito attivo dell'enzima (Lee *et al.*, 2003; Qi e Hu 2011). L'acido ascorbico, invece, viene sovente utilizzato come agente anti-imbrunimento poiché riduce i chinoni in composti fenolici (Son *et al.*, 2001). In conclusione, l'*edible coating* migliora la *Shelf-life*, riduce le perdite di acqua e lo scambio gassoso, la respirazione e i processi ossidativi delle cellule, ma anche le fisiopatie post-raccolta (Baldwin *et al.*, 1996). Inoltre, risulta totalmente innocuo per l'ambiente, infatti può essere considerato una valida alternativa *green* a rivestimenti sintetici e ad altri trattamenti chimici post-raccolta.

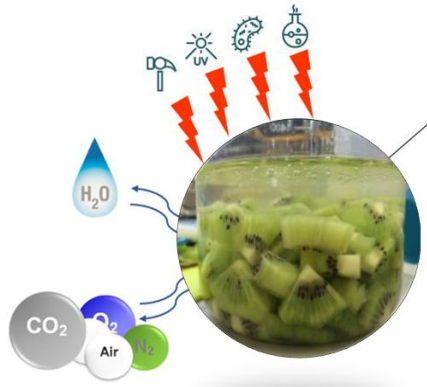


Figura 2: Funzioni dell'*edible coating*.

6. Additivi funzionali

6.1. Idrocolloidi

6.1.1. *Aloe Vera*

Per quanto riguarda il potere antimicrobico degli *edible coating*, maggior considerazione è stata data all'*Aloe vera* L. (fig. 3), pianta perenne succulenta appartenente alla famiglia delle Liliaceae (Aloeaceae). Questa è, ad oggi, la pianta più diffusa in tutto il mondo e la sua foglia è la parte maggiormente usata in medicina (Cock, 2015). L'*Aloe vera* contiene numerose sostanze benefiche per l'uomo, tra queste gli antrachinoni, l'aloina α e β , l'emodina, l'aloemannano (polisaccaride), lecitine aminoacidi, molte vitamine (A, B1, B2, B6, B12, C, E), sali minerali (zinco, magnesio, manganese, selenio, calcio, ferro), acido acetilsalicilico, Colina, Amilasi. Il gel fogliare a base di *Aloe vera* è un componente comune di molti tonici e prodotti cosmetici (Cock, 2015). Recenti studi hanno dimostrato che le azioni dell'*A. vera* si sviluppano anche sui frutti trattati. Il gel estratto dalle sue foglie, infatti, svolge attività antifungina e antimicrobica sui frutti in post-raccolta (Zapata *et al.*, 2013), in quanto uccide o interdice la crescita di microorganismi come batteri, funghi, virus e parassiti. Esso è stato applicato su uva da tavola (Castillo *et al.*, 2010), ciliegie (Martinez-Romero *et al.*, 2006) e susine (Guillen *et al.*, 2013), mostrando ottimi risultati in termini di miglioramento estetico del prodotto, riduzione dei processi di imbrunimento, oltre che la riduzione di proliferazioni batteriche sulle superfici dei frutti trattati.



Figura 3: *Aloe vera* L.

6.1.2. Idrossipropil-metilcellulosa (HPMC)

È stato riscontrato che lo stoccaggio della frutta trattata con *edible coating* aumenta significativamente la frazione cristallina nelle matrici, come avviene ad esempio nel caso dell'amido, comunemente impiegato negli *edible coating* come matrice addensante (Jiménez, Fabra, Talens, & Chiralt, 2012; Mali, Grossmann, García, Martino, & Zaritzky, 2006). Jiménez *et al.* (2012), infatti, hanno correlato l'aumento della cristallinità con le variazioni delle diverse proprietà (lucentezza, trasparenza, fragilità) dei film, che possono influenzarne la funzionalità e, di conseguenza, l'accettabilità dei prodotti trattati, da parte dei consumatori. Al fine di evitare la cristallizzazione del rivestimento è possibile aggiungere altri polimeri, preferibilmente amorfi. Uno dei biopolimeri con questa caratteristica è l'idrossipropilmetil-cellulosa (HPMC), che è il derivato della cellulosa più idrofilo. Lo stato amorfo dell'HPMC è stato definito da Kou *et al.* (2011) attraverso l'analisi di diffrazione a raggi X. Le pellicole di Idrossipropil-cellulosa e metilcellulosa sono barriere molto efficienti per ossigeno, anidride carbonica e lipidi, ma con scarsa resistenza al trasporto del vapore acqueo. L'incorporazione di lipidi, come la cera d'api o l'amido, è stata necessaria infatti per ridurre la permeabilità al vapore acqueo dei film nanocompositi a base di HPMC (Klangmuang, P., & Sothornvit, R., 2016; Villalobos, R., *et al.*, 2005) e per ridurre la perdita di peso di fragole rivestite con *edible coating* a base di chitosano e cera d'api (Velickova, E. *et al.*, 2013). L'HPMC costituisce il derivato della cellulosa più abbondante in natura, ampiamente indicata come una risorsa per la sua rinnovabilità, il basso costo, l'atossicità, la biocompatibilità, la biodegradabilità e la sua stabilità chimica (Wang, S., Lu, A., & Zhang, L., 2016). I film commestibili e i rivestimenti a base di idrossipropil-metilcellulosa (HPMC) sono stati ampiamente studiati per migliorare la conservabilità degli agrumi (Navarro-Tarazaga *et al.*, 2008, Perez-Gago *et al.*, 2002, Valencia-Chamorro *et al.*, 2010, Valencia-Chamorro *et al.*, 2011), contribuendo a mantenerne la qualità, riducendone la perdita di peso e migliorandone l'integrità meccanica. L'HPMC è stato studiato anche in combinazione con diverse componenti, come gli acidi grassi (Jiménez, Fabra, Talens, & Chiralt, 2010). Tuttavia, non c'è letteratura disponibile sulla miscelazione dell'HPMC con gel di *Aloe vera* per formare pellicole o rivestimenti commestibili sui frutti.

6.1.3. Cloruro di Calcio ($CaCl_2$)

Il calcio svolge un ruolo importante nel mantenimento dell'organizzazione cellulare e nella regolazione delle attività enzimatiche. In particolare, la formazione del pectato di calcio aumenta la rigidità della porzione centrale della parete cellulare della frutta e la protegge dalla scissione degli enzimi idrolitici che provocano l'ammorbidimento della membrana (Jones, R.C.W. and Lunt, O.R., 1967). Questo inibisce la degradazione della parete cellulare del frutto e ne migliora la resistenza

meccanica, riducendo la perdita di consistenza e, di conseguenza, la freschezza della polpa (Jackman, R.L. and Stanley, D.W., 1995; Buescher, R.W. and Hobson, G.E., 1982).

6.1.4. K-carragenina

La K-carragenina è uno dei polisaccaridi derivati da alghe rosse appartenenti alla classe delle *Rhodophyceae*, polimeri idrofili naturali (F. A. Osorio, *et al.*, 2011) costituiti da una catena lineare di galattani parzialmente solfonati. I film a base di K-carragenina sembrano prolungare la durata di conservazione degli alimenti mantenendone le caratteristiche organolettiche e sensoriali (R. D. Earle, 1968) e inibendo i processi di ossidazione (K. R. Conca and T. C. S. Yang, 1993).

6.1.5. Alginato di sodio

L'alginato di sodio è il sale dell'acido alginico, isolato dalle alghe brune. Le sue proprietà colloidali determinano la formazione di gel resistenti o polimeri insolubili: caratteristiche che gli permettono di essere ampiamente utilizzato, sia in campo alimentare che farmaceutico, come addensante (ad esempio per i gelati), emulsionante o gelificante e per modificare la consistenza di alcune bevande.

6.2. Oli essenziali

Gli oli essenziali sono sostanze naturali estratte da prodotti vegetali a base di terpeni, terpenoidi e altri costituenti aromatici e alifatici (Bakkali, F. *et al.*, 2008), infatti vengono aggiunti ai film commestibili per modificare il sapore, l'aroma e l'odore, nonché per conferire proprietà antiossidanti e antimicrobiche. L'incorporazione degli oli essenziali negli *edible coating* è stata descritta come una buona alternativa naturale per mantenere i composti bioattivi durante lo stoccaggio e per preservare i prodotti minimamente lavorati (Aghaei, K., & Ghajarbeygi, P., 2019; Hammer, K.A. *et al.*, 2003; Raybaudi-Massilia, R.M., *et al.*, 2008; Rojas-Graü, M.A., *et al.*, 2007; Oms-Oliu, G., *et al.*, 2008). Questi composti, solubili in etanolo, mostrano attività contro i batteri Gram-positivi e Gram-negativi.

7. Analisi microbiologiche

La popolazione microbica associata ai prodotti ortofrutticoli freschi varia notevolmente a seconda del prodotto e delle condizioni di conservazione. Solitamente, i prodotti minimamente processati sono soggetti ad un minore rischio di contaminazione microbica, grazie al lavaggio in acque clorate. Tuttavia, le procedure di pelatura e di taglio, se effettuate in scorrette condizioni di sanificazione o in ambienti non antisettici, possono determinare un aumento delle popolazioni di microrganismi aerobici mesofili (Brackett 1992; Nguyen-the e Carlin 1994). Le proliferazioni più comuni vedono la formazione di: Pseudomonadi, enterobatteriacee, lieviti, muffe, psicrofili, salmonella, listeria, clostridium.

La famiglia delle Pseudomonadaceae è composta dai quattro generi: *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Zoogloea* e *Frauteuria* (Palleroni, 1992). Le pseudomonadi contribuiscono al deterioramento dei prodotti freschi producendo enzimi che degradano i tessuti, come le cellulasi pectolitiche, xilanasi, idrolasi glicoside e lipossigenasi che degradano le pareti cellulari del tessuto vegetale. Le pseudomonadi possono anche contribuire all'ingiallimento dei prodotti vegetali durante lo stoccaggio, attraverso la produzione di etilene. Specie di *Pseudomonas* associate ai tagli freschi sono *Pseudomonas putida*, *P. chloraphis*, *P. corrugata*, *P. cepacia*, *P. paucimobillis*, *P. marginalis* (*P. fluorescens* biotype II) e *P. viridflava*. *P. syringae* e *P. stutzeri* sono stati isolati da mango thailandese appena tagliato e conservato (Ngarmsak *et al.*, 2005). Questi agenti patogeni contribuiscono al deterioramento dei prodotti freschi quando le loro popolazioni superano i 108 CFU/g.

I frutti sono spesso colpiti da agenti patogeni fungini a causa del loro livello relativamente alto di acidità (pH basso). In alcuni casi, specifici funghi patogeni delle piante possono essere associati a particolari forme di deterioramento come la degradazione dei tessuti. Le muffe sono microrganismi aerobici e possono quindi essere inibite a concentrazioni di CO₂ fino al 10%.

La maggior parte della frutta e della verdura contiene sostanze nutritive necessarie per sostenere la crescita di microrganismi patogeni e tossici. La temperatura di conservazione e il pH sono i due principali fattori determinanti della crescita per gli agenti patogeni di origine alimentare associati ai prodotti freschi. I batteri psicrotrofici, che sono organismi che possono crescere in condizioni di refrigerazione, variano molto nelle loro tolleranze acide e sono il gruppo di deterioramento più importante per frutta e verdura. I più importanti dal punto di vista della sicurezza alimentare sono *Listeria* e *Clostridium*. Il fatto che questi organismi possano crescere a temperature refrigerate li rende molto importanti dal punto di vista dell'esportazione. Infatti, le buone pratiche di fabbricazione (GMP) e i sistemi di sicurezza alimentare come l'analisi dei rischi e dei punti critici di controllo (HACCP) devono essere applicati nella produzione di frutta e verdura fresca se si vuole che siano riconosciuti come sicuri.

Listeria monocytogenes è un batterio gram-positivo che causa la listeriosi, una grave malattia nelle donne in gravidanza, negli anziani e in coloro che hanno il sistema immunitario indebolito. *L. monocytogenes* si diffonde nel suolo, nell'acqua e nella vegetazione in decomposizione. È stato inoltre isolato negli ambienti di trasformazione alimentare, in particolare nelle zone fresche e umide. Essa può sopravvivere e crescere sia a temperatura ambiente che a temperatura refrigerata ed è stata isolata da prodotti vegetali misti preconfezionati come indivia e lattuga fresca tagliata, cetriolo a fette e frutta, come pomodori e melone.

La salmonella è una causa comune di malattie di origine alimentare (salmonellosi). I prodotti freschi possono essere contaminati da salmonelle a causa del contatto con le acque di scarico o della manipolazione da parte dei lavoratori infetti. Le salmonelle non crescono negli alimenti conservati a temperature inferiori a 7°C, pertanto non dovrebbe rappresentare un rischio nei prodotti freschi tagliati, se questi vengono conservati a una temperatura pari o inferiore a 7°C.

Clostridium botulinum è un batterio che forma spore, le quali si trovano comunemente nei terreni agricoli e sulle superfici di frutta e verdura. Le spore di *C. botulinum* sono in grado di crescere su verdure fresche tagliate in condizioni di bassa O₂ e sottoposti alle elevate temperature (Sugiyama e Yang 1975). Esse generano potenti neurotossine che producono una serie di sintomi nell'uomo tra cui nausea, diarrea e vomito e sintomi neurologici come visione offuscata, pupille dilatate, paralisi dei nervi motori, perdita delle normali funzioni della bocca e della gola, mancanza di coordinazione muscolare, altre complicazioni e possibile morte.

8. Fisiologia dei prodotti frutticoli dopo la raccolta

La frutta ha un periodo di conservazione post-raccolta che varia da alcuni giorni a qualche mese (come nel caso delle mele). Gli aspetti più importanti dei processi metabolici riguardano infatti la vita del frutto dopo la raccolta e sono, in particolare: la respirazione (aerobica e anaerobica), la traspirazione (con conseguente perdita d'acqua), le normali risposte fisiologiche allo stress ossidativo (ROS), la produzione di etilene e il conseguente avanzamento dei processi di maturazione che portano alla senescenza del frutto (Kader, A. A., 1997).

Tali processi in post-raccolta non possono essere fermati, ma possono essere rallentati migliorando i trattamenti e i metodi di conservazione.

La raccolta induce ad una riduzione della disponibilità di acqua e sostanze nutritive, ed espone i frutti a fenomeni di stress ossidativo. Infatti, i prodotti ortofrutticoli freschi vengono divisi in due categorie principali: climaterici e non climaterici: il climaterio è il processo fisiologico che segna la fine della maturazione dei frutti e l'inizio del processo di senescenza (Taiz, L., & Zeiger, E., 2002). Questo è infatti associato all'incremento del tasso di produzione auto catalitica dell'etilene e della respirazione.

Il precursore della biosintesi dell'etilene è la metionina, che viene convertita in sequenza in S-adenosil-metionina, 1-Amino-ciclopropano-carbossilato (ACC) ed etilene, attraverso il ciclo di Yang. La biosintesi dell'etilene è stimolata da fattori fisici e chimici, ma anche da fattori ambientali e da ormoni (come le auxine). Frutti come pera, mela, avocado, mango, kaki, papaia e banana sono degli esempi di frutta climaterica. Il picco climaterico porta anche ad altri cambiamenti nella frutta, tra cui depolimerizzazione delle pectine della parete cellulare, sintesi dei pigmenti (antociani e carotenoidi),

degradazione della clorofilla, conversione da amido a zucchero, polimerizzazione dei tannini e conseguente perdita di consistenza, astringenza e formazione di composti volatili (Valero, D., & Serrano, M., 2010; Díaz-Mula H., M. *et al.*, 2009). Vengono, invece, classificati non climaterici frutti come l'uva, le fragole, gli agrumi, l'ananas e i lichi, i quali maturano con un ridotto tasso di respirazione perché hanno una bassissima emissione di etilene. La fase finale di maturazione del frutto è la senescenza, che comporta una serie di eventi irreversibili che portano progressivamente alla rottura e alla morte delle cellule vegetali.

La respirazione è il processo attraverso il quale i materiali organici immagazzinati (carboidrati, acidi organici e grassi) vengono scomposti con rilascio di energia. Questo processo, legato alle attività enzimatiche, determina il rilascio di CO₂, mentre, tutte le riserve immagazzinate nel frutto vengono usate durante la maturazione. Infatti, il tasso di deterioramento (deperibilità) delle materie prime raccolte è generalmente proporzionale al tasso di respirazione.

Bibliografía

- Aghaei, K. & Ghajarbeygi, P. (2019). The effect of edible chitosan coatings with Cinnamon essential oil on the shelf life of strawberry. (Doctoral dissertation, qazvin university of medical sciences, qazvin, iran).
- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry. *LWT-food science and technology*, 43(6), 837-842.
- Alexandre, E. M. C., Lourenço, R. V., Bittante, A. M. Q. B., Moraes, I. C. F., & Sobral, P. J. A. (2016). Gelatin-based films reinforced with montmorillonite and activated with nanoemulsion of ginger essential oil for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 10, 87–96.
- Artés, F., & Allende, A., (2005). Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices. In: *Emerging Technologies in Food Processing*. Editor. D.W. Sun. Edit. Elsevier. 26, 675-715.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
- Baldwin, E. A., Nisperos, M. O., Chen, X., & Hagenmaier, R. D. (1996). Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2), 151-163.
- Bertuzzi, M. A., Vidaurre, E. C., Armada, M., & Gottifredi, J. C. (2007). Water vapor permeability of edible starch-based films. *Journal of food engineering*, 80(3), 972-978.
- Beuchat, L., (2002). Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbiol. Infect.* 4, 413-423.
- Bonilla, J., & Sobral, P. J. A. (2016). Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. *Food Bioscience*, 16, 17–25.
- Brackett, R. E. (1992). Shelf stability and safety of fresh produce as influenced by sanitation and disinfection. *Journal of food protection*, 55(10), 808-814.
- Bruhn, C., (2002). Consumer issues in quality and safety. In: A.A. Kader (ed.). *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd ed. University of California. 31-37.
- Buescher, R.W. & Hobson, G.E. (1982). Role of calcium and chelating agents on regulating the degradation of tomato fruit tissue by polygalacturonase. *J. Food Biochem.* 6: 147.
- Calero, F. A. (2018) Las industrias de IV gama. Generalidades Hortalizas mínimamente procesadas.
- Castillo, S., Navarro, D., Zapata, P.J., Guillén, F., Valero, D., Serrano, M. & Martínez-Romero, D. (2010). Antifungal efficacy of Aloe vera in vitro and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality. *Postharvest Biology and Technology*. 57: 183–188.

- Chauhan, O. P., Raju, P. S., Ravi, N., Singh, A., & Bawa, A. S. (2011). Effectiveness of ozone in combination with controlled atmosphere on quality characteristics including lignification of carrot sticks. *Journal of Food Engineering*, 102(1), 43-48.
- Cock, I. E. (2015). The genus aloe: phytochemistry and therapeutic uses including treatments for gastrointestinal conditions and chronic inflammation. In *Novel natural products: therapeutic effects in pain, arthritis and gastro-intestinal diseases* (pp. 179-235). Springer, Basel.
- Conca, K. R., & Yang, T. C. S. (1993). Edible food barrier coatings. Activities report of the R and D Associates (USA). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 496-511.
- Della Casa R., (2008). Marketing e commercializzazione: marca e segmentazione. Conv. "IV Gamma e Freschi Pronti a Base Vegetale: da Prodotti di Tendenza a Punto di Riferimento del Sistema Ortofrutticolo Italiano", Cesena (Italy).
- Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(5), 435-450.
- Díaz-Mula, H. M., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., Zapata, P. J., Guillén, F., & Serrano, M. (2009). Sensory, nutritive and functional properties of sweet cherry as affected by cultivar and ripening stage. *Food Science and Technology International*, 15(6), 535-543.
- Directiva 95/2/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de febrero de 1995 relativa a aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes.
- Directiva 98/72/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de febrero de 1995 relativa a aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes.
- Dutta, P. K., Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, J. (2009). Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food chemistry*, 114(4), 1173-1182.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292-303.
- FAO (2009) *Global agriculture towards 2050*. Rome, FAO.
- FAO (2011). *Global Food Losses and Food Waste - extent, causes and prevention*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAOSTAT (2016). *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database*. FAO Online Database. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed on 5 February 2019).
- FDA 21CFR172 (2006) *Food additives permitted for direct addition to food for human consumption. Subpart C. Coatings, Films and Related Substances*.
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283.

- Garcia, E., & Barrett, D. M. (2005). Fresh-cut fruits. Processing fruits. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press. p, 53-72.
- Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martínez-Romero, D. (2013). Aloe arborescens and Aloe vera gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest biology and technology*, 83, 54-57.
- Guimaraes, A., Abrunhosa, L., Pastrana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible films and coatings as carriers of living microorganisms: a new strategy towards biopreservation and healthier foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 594-614.
- Hammer, K. 1., Carson, C. F., & Riley, T. V. (2003). Antifungal activity of the components of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil. *Journal of applied microbiology*, 95(4), 853-860.
- IFPA (2001). International Fresh-cut Produce Association. Fresh-cut produce: get the facts! IFPA home page. See link from: <<http://www.fresh-cuts.org>>. Accessed 2001 Aug 24.
- Irtwange, S. V. (2006). Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Jackman, R.L. & Stanley, D.W. (1995). Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends Food Science Technol.* 6: 187. 7
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2010). Effect of lipid self-association on the microstructure and physical properties of hydroxypropyl-methylcellulose edible films containing fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 585-593.
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Effect of re-crystallization on tensile, optical and water vapour barrier properties of corn starch films containing fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 302–310.
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Influence of hydroxypropylmethylcellulose addition and homogenization conditions on properties and ageing of corn starch-based films. *Carbohydrate polymers*, 89(2), 676-686.
- Jones, R.C.W. and Lunt, O.R. (1967). The function of calcium in plants. *Botanical Review* 33: 407-426. 6
- Jongsri, P., Wangsomboondee, T., Rojsitthisak, P., & Seraypheap, K. (2016). Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *Lwt*, 73, 28-36.
- Kader, A. A. (1997). Fruit maturity, ripening, and quality relationships. In *International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage* 485: 203-208.

- Kader, A.A. (2006). The return on investment in postharvest technology for assuring quality and safety of horticultural crops. *J. Agric. Invest.* 4:45-52.
- Kester, J. J., & Fennema, O. R. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food technology (USA)*.
- Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016). Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 609-616.
- Klein, B. P. (1987). Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*, 10(3), 179-193.
- Kou, W., Cai, C., Xu, S., Wang, H., Liu, J., Yang, D., & Zhang, T. (2011). In vitro and in vivo evaluation of novel immediate release carbamazepine tablets: Complexation with hydroxypropyl- β -cyclodextrin in the presence of HPMC. *International journal of pharmaceutics*, 409(1-2), 75-80.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y., & Choi, W. Y. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT-Food Science and Technology*, 36(3), 323-32.
- Leistner, L. & Gould, G.W. (2002). *Hurdle technologies: combination treatments for food stability, safety and quality*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Li, J. H., Miao, J., Wu, J. L., Chen, S. F., & Zhang, Q. Q. (2014). Preparation and characterization of active gelatin-based films incorporated with natural antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 37, 166-173.
- Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fruits. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 372 ID 20130309.
- Maheshwar, C. & Chanakya, T.S. (2006). Postharvest losses due to gaps in cold chain in India - a solution. *Acta Hort.* 712:777-783.
- Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2006). Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 453–460.
- Martinez-Romero, D., Albuquerque, N., Valverde, J.M., Guillen, F., Castillo. S., Valero, D. & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*. 39: 93–100.
- Cozmuta, A. M., Turila, A., Apjok, R., Ciocian, A., Cozmuta, L. M., Peter, A., & Benković, T. (2015). Preparation and characterization of improved gelatin films incorporating hemp and sage oils. *Food Hydrocolloids*, 49, 144-155.

- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409-430.
- Navarro-Tarazaga, M. L., Del Rio, M. A., Krochta, J. M., & Perez-Gago, M. B. (2008). Fatty Acid Effect on Hydroxypropyl Methylcellulose– Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated ‘Ortanique’ Mandarins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(22), 10689-10696.
- Ngarmsak, M., Ngarmsak, T., Ooraikul, B., Delaquis, P. J., & TOIVONEN, P. A. (2005). Effect of sanitation treatments with heated, chlorinated water on the microbiology of fresh-cut Thai mangoes. *Acta horticulturae*.
- Nguyen-the, C., & Carlin, F. (1994). The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 34(4), 371-401.
- Nur Fatin Nazurah, R., & Nur Hanani, Z. A. (2017). Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Eucheima cottoni*) based films incorporated with various plant oils. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1479–1487.
- OECD/FAO (2012), OECD-FAO Agricultural Outlook 2012–2021, OECD Publishing and FAO.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest biology and Technology*, 50(1), 87-94.
- Osorio, F. A., Molina, P., Matiacevich, S., Enrione, J., & Skurtys, O. (2011). Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. *Procedia food science*, 1, 287-293.
- Palleroni, N.J. (1992). Human- and animal-pathogenic pseudomonads. In A. Balows, H.G. Truper, M. Dworkin, W. Harder & K.H. Schleifer, eds. *The prokaryotes*, 2. Aufl., Bd. 3. Berlin, Springer Verlag.
- Park, H.J. (1999) Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends in Food Science and Technology* 10, 254-260.
- Perez-Gago, M. B., Rojas, C., & Rio, M. D. (2002). Food Chemistry and Toxicology-Effect of Lipid Type and Amount of Edible Hydroxypropyl Methylcellulose-lipid Composite Coatings Used to Protect Postharvest Quality of Mandarins cv. Fortune. *Journal of Food Science*, 67(8), 2903-2910.
- Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2016). *Food packaging materials* (pp. 33-49). Basel, Switzerland: Springer.
- Qi, H., Hu, W., Jiang, A., Tian, M., & Li, Y. (2011). Extending shelf-life of fresh-cut ‘Fuji’ apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(1), 62-66.
- R. D. Earle, U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC, USA, 1968, U.S. Patent No. 3.

- Raybaudi-Massilia, R. M., Rojas-Graü, M. A., Mosqueda-Melgar, J., & Martín-Belloso, O. (2008). Comparative study on essential oils incorporated into an alginate-based edible coating to assure the safety and quality of fresh-cut Fuji apples. *Journal of Food Protection*, 71(6), 1150-1161.
- Rojas-Graü, M. A., Raybaudi-Massilia, R. M., Soliva-Fortuny, R. C., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., & Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest biology and Technology*, 45(2), 254-264.
- Shewfelt, R., (1999). What is quality? *Postharvest Biol. Technol.* 15, 197–200.
- Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 770–775.
- Son, S. M., Moon, K. D., & Lee, C. Y. (2001). Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry*, 73(1), 23-30.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. 3rd. England: Sinauer Associates.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(50), 20260-20264.
- Toivonen, P. M., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest biology and technology*, 48(1), 1-14.
- Tomas-Callejas, A., Lopez-Velasco, G., Sbdio, A., Artes, F., Artes-Hernandez, F. & Suslow, T.V. (2011). Survival and epidemiology of *Escherichia coli* on diverse fresh-cut baby leafy greens under model preharvest to postharvest conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 151, 216–222.
- US EPA (1994) Reregistration Eligibility Decision (RED) Limonene. US Environmental Protection Agency, Prevention, Pesticides and Toxic Substances (Report No. EPA-738-R-94-034).
- Valencia-Chamorro, S. A., Palou, L., Del Rio, M. A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of ‘Clemenules’ mandarins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2342-2348.
- Valencia-Chamorro, S. A., Pérez-Gago, M. B., Del Río, M. A., & Palou, L. (2010). Effect of Antifungal Hydroxypropyl Methylcellulose-Lipid Edible Composite Coatings on *Penicillium* Decay Development and Postharvest Quality of Cold-Stored “Ortanique” Mandarins. *Journal of food science*, 75(8), S418-S426.
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC press.

- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., & Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 80-92.
- Villalobos, R., Chanona, J., Hernández, P., Gutiérrez, G., & Chiralt, A. (2005). Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. *Food hydrocolloids*, 19(1), 53-61.
- Wang, S., Lu, A., & Zhang, L. (2016). Recent advances in regenerated cellulose materials. *Progress in Polymer Science*, 53, 169-206.
- Wiley, R.C. (1994) Introduction to minimally processed fruits and vegetables. In: R.C. Wiley (ed.), *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Chapman and Hall, London, UK, pp. 1–14.
- Zapata, P. J., Navarro, D., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Serrano, M. (2013). Characterisation of gels from different *Aloe* spp. as antifungal treatment: Potential crops for industrial applications. *Industrial crops and products*, 42, 223-230.

Obiettivi e articolazione della Ricerca

Il progetto di ricerca ha avuto come obiettivo principale quello di studiare gli effetti di diversi *edible coating*, alcuni di nuova formulazione, sull'evoluzione della qualità di differenti tipologie di frutti di IV gamma e sulla loro relativa *shelf-life*, non trascurando la possibile replicabilità di tale tecnica anche a livello industriale.

Per soddisfare tale obiettivo, durante il primo anno di Dottorato di Ricerca si sono determinati gli effetti di differenti *edible coating* su frutti altamente deperibili (kaki e papaya) mentre durante il secondo anno ci si è concentrati sullo studio delle nanotecnologie volte a mantenere la *Shelf-life* dei prodotti frutticoli, applicando nuovi rivestimenti mai studiati prima d'ora. Una parte del II anno di Dottorato è stata svolta presso la *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA)* di Cartagena (in Spagna), al fine di studiare le tecniche di estrazione di nanoparticelle dai prodotti di scarto della filiera agroalimentare e valutarne la possibile utilizzazione all'interno dei coating.

Alla fine del secondo anno di Dottorato è stato realizzato un *edible coating* proficuamente applicabile su frutti a bassa deperibilità (melo). In particolare, questo trattamento è stato realizzato mettendo insieme il gel di *Aloe vera*, l'HPMC e gli acidi citrico e ascorbico. Durante il terzo anno sono stati realizzati due esperimenti che hanno visto l'applicazione di questo *edible coating*, messo a confronto con altre matrici, su kiwi e pera.

Capitolo I

Analisi qualitativa e microbiologica dei frutti di *Diospyros kaki* L. ‘Rojo brillante’ rivestiti da *edible coating* a base di *Aloe vera*

Abstract

L'evoluzione della globalizzazione e la domanda di prodotti di IV gamma da parte dei consumatori, hanno imposto lo sviluppo e l'applicazione di nuove tecnologie per il miglioramento della conservazione post-raccolta, come l'utilizzo di *edible coating*. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di valutare l'effetto di un *edible coating* (EC) a base di gel estratto dalle foglie di *Aloe vera*, gellan gum e CaCl₂, applicato mediante tecnica *spraying* sulla qualità di frutti di kaki (*Diospyros kaki* L.) della varietà ‘Rojo Brillante’, la quale presenta una rapida deperibilità. I frutti sono stati trattati e conservati a 5±1 °C e il 90±5% di UR per 9 giorni. Dopo 3, 6 e 9 giorni sono stati analizzati i parametri fisico-chimici di qualità: perdita di peso (g), indice di saturazione del colore (Chroma – C*), grado di tonalità (Hue angle - h°) e indice di imbrunimento (BI), per quanto concerne i parametri fisici; contenuto totale di solidi solubili (CSST), acidità titolabile (AT) nonché il loro rapporto (CSST/AT), per quanto riguarda i parametri chimici e, infine, l'analisi microbiologica (lieviti e muffe, microrganismi mesofili totali e pseudomonadi) e l'analisi sensoriale. Dai risultati è emerso che i frutti trattati con *edible coating* hanno manifestato un rallentamento dei processi di degradazione cellulare e un ridotto decremento dei parametri di qualità analizzati, al contrario di quanto evidenziato per i frutti non trattati (CTR). L'analisi microbiologica e quella sensoriale, infine, confermano i risultati ottenuti, mostrando, nei frutti rivestiti con *edible coating*, una minore crescita dei gruppi microbici analizzati e le migliori caratteristiche organolettiche durante tutto il periodo di conservazione.

Introduzione

Il database FAOSTAT (2019) dimostra che i kaki (*Diospyros kaki* L. – fig. 1) sono stati addomesticati e coltivati a partire da 3.000 anni fa, e dal VII al XIV secolo erano ampiamente coltivati in Giappone e in Corea del Sud. Cina, Spagna, Corea, Giappone e Brasile sono i principali produttori di kaki. Nell'ultimo decennio si è registrata una rapida impennata nella produzione, con un record di 5,75 milioni di tonnellate nel 2017, in cui la Cina è al primo posto con oltre il 70% della produzione mondiale totale. I kaki sono frutti climaterici, ma a differenza di altri frutti simili, essi producono meno etilene e hanno un tasso di respirazione più basso (Kluge & Tessmer, 2018).

Per determinare il corretto momento di raccolta, viene utilizzato come indice di maturazione il colore dell'epicarpo (Denoya *et al.*, 2020). Infatti, è proprio quest'ultimo che cambia da verde a rosso intenso nella sua fase finale di maturazione (Bordiga *et al.*, 2019). Le diverse cultivar di kaki mostrano un diverso accumulo di tannini nel vacuolo cellulare durante lo sviluppo, che causa un diverso livello

di astringenza per ogni cultivar (Kluge & Tessmer, 2018). Le sue caratteristiche qualitative e sensoriali fanno di esso un frutto molto apprezzato dai consumatori. Tuttavia, a causa dell'astringenza dovuta alla concentrazione di tannini, i frutti non sempre sono graditi al consumo, pertanto se ne studiano i processi fisiologici per individuare il corretto grado di maturazione commerciale. L'esposizione ad elevati livelli di anidride carbonica (95% per 24 ore a 20°C) si è rivelata un modo efficace per eliminare tale astringenza, pur mantenendo la consistenza dei frutti (Arnal, L., & Del Río, M. A., 2003). L'efficacia di questo metodo, infatti, permette al produttore di portare sul mercato frutti con elevati standard qualitativi.

Dal punto di vista nutraceutico, i frutti di kaki sono ricchi di fibre, minerali e composti bioattivi come vitamine, carotenoidi, e composti fenolici (Karaman *et al.*, 2014), i quali hanno molti effetti benefici sulla salute umana (Dauchet, 2006). I kaki vengono utilizzati anche sotto forma di succhi di frutta (El-Hawary *et al.*, 2020), aceto (Hidalgo *et al.*, 2012), vino (Kim *et al.*, 2019), frutta disidratata (Milczarek *et al.*, 2018), gelato (Karaman *et al.*, 2014), dolci (Bolzan & Pereira, 2017) e marmellata (Querido *et al.*, 2013). Le fasi di trasporto e stoccaggio post-raccolta sono quindi fattori determinanti per prevenire le ingenti perdite economiche. Ad oggi, la maggior parte degli studi effettuati, riguardano il controllo dell'imbrunimento enzimatico e della proliferazione microbica, attraverso l'utilizzo di tecnologie MAP (modified atmosphere packaging) associate a *dipping* in soluzioni antiossidanti (dati non pubblicati) o con cloruro di calcio per 7 o 8 giorni di conservazione a 5°C (Sanchís, E., *et al.*, 2017).

L'uso di *edible coating* ha suscitato l'interesse di molti ricercatori e molti studi ne hanno dimostrato i benefici: il rivestimento contribuisce a mantenere la qualità della frutta durante la conservazione, impedisce gli scambi gassosi con l'atmosfera circostante, il tasso di respirazione e l'imbrunimento enzimatico (Olivas & Barbosa, 2005; Rojas *et al.*, 2007; Sung *et al.*, 2013). Sulla base di questi studi, e considerate le attuali ed elevate esigenze dei consumatori e del mercato, abbiamo testato il comportamento di frutti di kaki 'Rojo brillante' sottoposti alle varie fasi di processazione della IV gamma e trattati con una miscela di gel di *Aloe vera* e CaCl₂.



Figura 1: *Diospyros kaki* L. 'Rojo Brillante'

Materiale & Metodi

1. Materiale vegetale

Un campione di 30 frutti di kaki (*Diospyros kaki* L.) 'Rojo Brillante', provenienti dalla cooperativa ECOFARM di Riesi (37°15'26" N 14°07'09" E) sita in provincia di Caltanissetta (Sicilia) a 362 m s.l.m., è stato ottenuto raccogliendo i frutti e selezionandoli per omogeneità di pezzatura, calibro e assenza di difetti, utilizzando il colore, l'acidità e il contenuto di solidi solubili come indici di maturazione. I frutti hanno subito un trattamento di 20 ore all'interno di una cella ad elevata concentrazione di CO₂ al fine di detannizzare i frutti. Dopodiché sono stati trasportati ai laboratori del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari, Forestali e Ambientali per procedere al trattamento di rivestimento.

2. Estrazione del gel di Aloe vera

Un kg di foglie di *Aloe vera* è stato lavato e poi immerso in acqua distillata con 100 µL/L di ipoclorito di sodio per 5 minuti e successivamente si è proceduto alla separazione del parenchima gelatinoso dall'epidermide (fig. 2). Il parenchima gelatinoso ottenuto è stato poi triturato con Ultraturax (Ultra-Turax T25, Janke e Kunkle, Ika Labor Technik, Breisgau, Germania) per 3 minuti a 24,500 rpm, ottenendo così un composto gelatinoso che è stato poi filtrato per rimuovere la porzione fibrosa.



Figura 2: Estrazione del parenchima gelatinoso dalla foglia di *Aloe vera*.

3. Preparazione edible coating

Il 40% di gel di *Aloe vera* è stato sciolto in 300 ml di acqua distillata mantenendo la miscela su un agitatore magnetico (fig. 3). Una volta omogeneizzata la porzione di *A. vera* è stato aggiunto gellan gum (3%) e CaCl₂ (5%). A seguito di un'ulteriore omogeneizzazione con Ultraturax, è stato controllato il valore di pH, il quale è stato mantenuto al di sotto di 3,5 per evitare l'attivazione della carica microbica (Montero-Calderón, *et al.*, 2008). Per questo è stato aggiunto alla soluzione acido

citrico e acido ascorbico in misura dell'1% ciascuno (fig. 4). Infine la soluzione è stata sottoposta a trattamento termico a 40°C per 90 minuti, per abbattere totalmente l'eventuale carica microbica.



Figure 3 e 4: Preparazione *edible coating*.

4. Preparazione della frutta e disegno sperimentale

La frutta è stata lavata prima sotto acqua del rubinetto e poi immersa in acqua distillata a 5°C per 5 minuti con perossido di idrogeno al 2%. I frutti sono stati asciugati e suddivisi in tre lotti da 10 frutti ciascuno. Dieci frutti sono stati analizzati per determinare i valori di partenza (T0); mentre i rimanenti 20 sono stati affettati e sottoposti ai trattamenti:

- CTR: controllo, campioni di frutta non trattata;
- EC: campioni di frutta trattata con *edible coating* a base di gel di *Aloe vera* (40%), gellan gum (3%) e CaCl₂ (5%).

L'*edible coating* è stato applicato per mezzo di un aerografo con ugello da 0,8 mm alimentato da N₂ ad una pressione di 0,2 bar (fig. 5). Le fette di frutta sono state poste all'interno di vaschette in polipropilene e frigo-conservate per 9 giorni a 5±1°C e 90±5% UR, simulando le condizioni di conservazione commerciale. Le analisi fisico-chimiche, microbiologiche e sensoriali sono state effettuate dopo 3, 6 e 9 giorni di conservazione (T3, T6 e T9). Tutte le analisi sono state effettuate in tre repliche.



Figura 5: Applicazione dell'*edible coating*.

5. Analisi fisico-chimiche

5.1. Perdita di peso

L'evoluzione della perdita di peso è stata determinata mediante una bilancia digitale di precisione a due cifre decimali (Gibertini, Italia) ed il valore è stato espresso in grammi di perdita di peso.

5.2. Analisi del colore e indice di imbrunimento

Per determinare il colore della polpa è stato utilizzato lo spazio-colore CIEL*a*b* (Commission Internationale de l'Éclairage) del colorimetro Minolta (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Giappone). In particolare sono stati presi in considerazione (fig. 6) gli indici di saturazione (C*, Chroma) e di tinta (h°, hueangle) mediante le seguenti espressioni:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$$

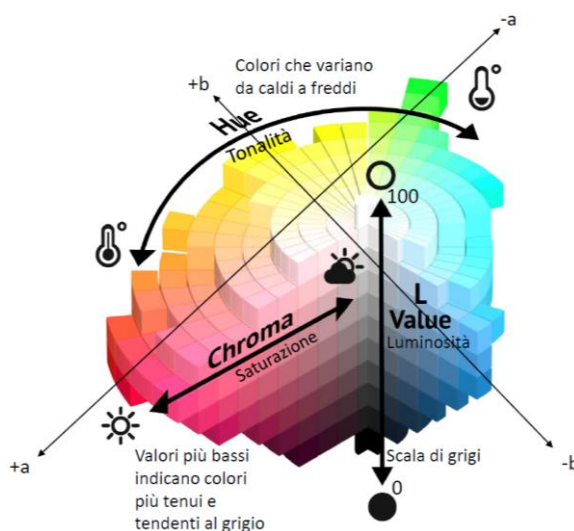


Figura 6: Spazio-colore CIEL*a*b* (Commission Internationale de l'Éclairage).

L'indice di imbrunimento è stato calcolato seguendo la metodologia di Ruangchakpet e Sajjaanantakul (2007):

$$(BI) = [100 (x - 0.31)] / 0.17$$

dove $x = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 0.3012b^*)$.

5.3. Contenuto totale di solidi solubili, acidità titolabile e pH

Il contenuto totale di solidi solubili (CSST) è stato ricavato mediante un rifrattometro ottico digitale ATAGO (Atago Co., Ltd, Tokyo, Giappone) ed espresso in °Brix; l'acidità titolabile (AT), espressa in acido malico ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), è stata ottenuta mediante titolazione con NaOH 0.1N fino al raggiungimento di un valore di pH pari a 8.1, con un pHmetro titolatore Crison Compact (Crison Instruments, SA, Barcellona, Spagna), lo stesso utilizzato per ricavare il valore di pH.

6. *Analisi microbiologiche*

I campioni di frutta (25 g) sono stati omogeneizzati per la prima volta in 225 ml di soluzione Ringer (Sigma-Aldrich) in un omogeneizzatore Stomacher (Bag-Mixer 400; Interscience, Saint Nom, Francia) per 2 minuti alla massima velocità e quindi diluiti in serie. L'inoculazione, la coltivazione e l'incubazione dei diversi gruppi microbici sono stati i seguenti: Microrganismi mesofili totali (TMM) su Plate Count Agar (PCA), incubati a 30°C per 72 h; Microrganismi psicrotrofici totali (TPM) su PCA, incubati a 7°C per 7 giorni; le pseudomonadi su Pseudomonas Agar Base (PAB) additivati di 10 mg/ml di Ceftrimide Fucidin Cefaloridine (CFC), incubati a 25°C per 48 h; membri della famiglia delle Enterobacteriaceae su Viar Red Bile Glucose Agar (VRBGA), incubati a 37°C per 24 ore; lieviti e muffe su agar con estratto di lievito di peptone destrosio (YPD) integrato con 0,1 g/l di cloramfenicolo per evitare la crescita batterica, incubati a 25°C per 48 ore e 7 giorni, rispettivamente. Dopo l'incubazione, le colonie sono state enumerate e i risultati sono stati espressi come log₁₀ cfu/g. Tutti i terreni e i supplementi sono stati acquistati da Oxoid (Milano, Italia).

7. *Analisi sensoriale*

Tutti i campioni sono stati sottoposti a un panel test di undici componenti (22-45 anni e 60% maschi e 40% femmine), al fine di valutare la qualità sensoriale dei kaki a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione.

Nell'ambito degli incontri preliminari sono stati selezionati 15 descrittori per definire il profilo sensoriale, generati secondo la frequenza di citazione (> 60%) ed elencati di seguito:

aspetto visuale (AV); compattezza (C); dolcezza (D); acidità (A); succosità (S); astringenza (As); pungente (P); odore fruttato (OF); cattivi odori (OO); farinosità (F); flavour fruttato (FF), flavour alcolico (FA); valutazione complessiva (VC).

I partecipanti al panel hanno valutato l'intensità di ciascun attributo su una scala discontinua da 1 (nessuna intensità del descrittore) a 9 (massima intensità del descrittore). L'ordine di presentazione dei frutti è stato randomizzato ed è stata fornita acqua per il risciacquo della bocca tra i diversi campioni.

8. *Analisi statistica*

I dati sono stati presentati come media ± deviazione standard (DS). L'analisi statistica è stata effettuata utilizzando il software XLStat® versione 9.0 (Addinsoft, Parigi, Francia). I dati sono stati analizzati utilizzando l'analisi della varianza (ANOVA) e il test di Tukey con $p \leq 0,05$ considerato significativo.

Risultati e Discussione

1. Analisi fisico-chimiche

I dati ricavati dalle analisi mostrano che i frutti trattati (campione EC) hanno subito una minore perdita di peso rispetto ai frutti non trattati (campione CTR). Il peso del CTR si riduce del 9.23% da T0 a T9, mentre le fette di kaki trattate con *edible coating* (EC) perdono, alla fine dei 9 giorni di conservazione, il 7.69% del peso complessivo (fig. 7). Pertanto è stato possibile verificare l'effettivo miglioramento dovuto al rivestimento con *edible coating*, probabilmente attribuibile alla presenza del CaCl_2 , in accordo con quanto riscontrato da Akhtar *et al.* (2010) e Hussain *et al.* (2012) nei loro studi. Sembra infatti esserci una correlazione tra la presenza del calcio e il mantenimento della struttura della parete cellulare, poiché il calcio, interagendo con l'acido pectico presente nella parete cellulare, mantiene stabili i legami glicosidici evitando la rottura della parete cellulare e la conseguente perdita di liquidi. I risultati ottenuti dai nostri esperimenti sono in linea con quanto osservato da Khan, N. *et al.* (2016), secondo i quali l'attivazione degli enzimi idrolitici, dovuta ai processi di maturazione, favorisce un'intensa solubilizzazione delle pectine metil-estereasi (PME) e poligalatturonasi (PG).

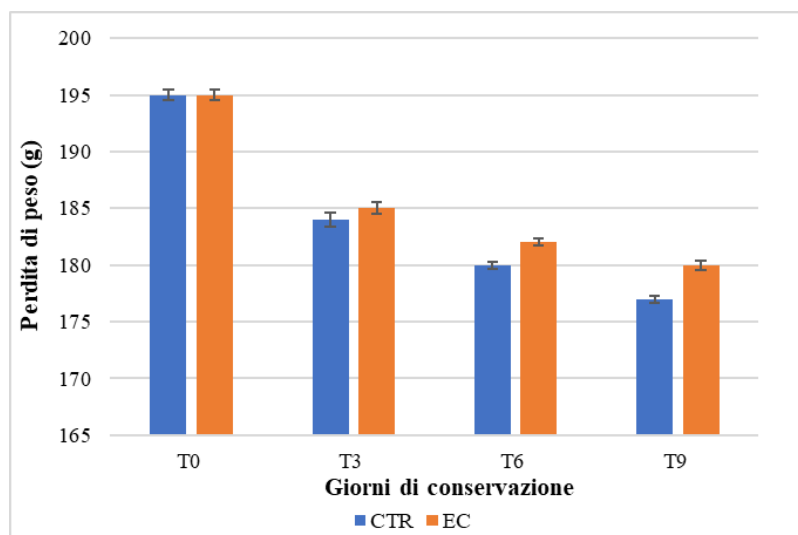


Figura 7: Evoluzione della perdita di peso (g) delle fette di kaki non trattate (CTR) e trattate (EC) a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a $5\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\%\pm 5\%$ di umidità relativa (UR). I valori indicano le medie e le barre indicano le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$).

L'evoluzione del colore nei frutti processati è stata determinata sui due lati delle fette di kaki. Secondo i dati rilevati (tab. 1), nei campioni CTR è possibile notare valori maggiori di saturazione del colore (Chroma – C^*) e di tonalità (Hue angle – h°) rispetto ai campioni EC. Questa differenza si evidenzia particolarmente dal sesto giorno di conservazione. A conferma di questi dati, l'indice di imbrunimento (BI) mette in evidenza come i frutti di controllo (CTR) abbiano valori sempre maggiori, probabilmente perché il processo di maturazione e degradazione cellulare procede rapidamente, al contrario di quanto accade nei frutti trattati (EC), in cui i valori di BI variano più lentamente durante i 9 giorni di conservazione. Questo risultato, in accordo con i risultati rinvenuti in altri lavori (Farina *et al.*, 2016; Han *et al.*, 2005; Martínez-Romero *et al.*, 2006 e Hazrati, S. *et al.*,

2017), dimostra che il gel di *Aloe vera* ha un effetto antiossidante e anti imbrunimento efficace nel preservare la riduzione del colore e nel ridurre l'attività enzimatica (PPO).

Tabella 1: Evoluzione dei parametri chroma (C^*), hue angle (h°) e indice di imbrunimento (BI) dei frutti di kaki 'Rojo brillante' di IV gamma sottoposti a trattamento con *edible coating* e confrontati con un campione di controllo (CTR) non trattato. I dati mostrano le medie e le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$). Le lettere all'apice dei numeri mostrano le differenze statisticamente significative ($p > 0.005$) utilizzando il test di Tukey.

Giorni di conservazione	Trattamenti	C^*		h^*		BI	
T0	FRESCO	34.97 ^d	± 3.00	60.46 ^a	± 0.01	46.62 ^d	± 3.00
T3	CTR	42.09 ^c	± 4.00	58.49 ^b	± 0.03	52.71 ^c	± 3.40
	EC	40.56 ^c	± 3.00	59.39 ^b	± 0.02	48.67 ^d	± 3.00
T6	CTR	56.20 ^b	± 4.00	51.52 ^{cd}	± 0.02	57.28 ^b	± 3.60
	EC	54.95 ^b	± 2.00	54.63 ^c	± 0.02	52.21 ^c	± 2.00
T9	CTR	63.86 ^a	± 5.00	49.54 ^d	± 0.03	59.77 ^a	± 3.30
	EC	60.38 ^a	± 4.00	52.61 ^{cd}	± 0.02	58.03 ^a	± 3.10

Il contenuto totale di solidi solubili (CSST - espresso in °Brix) è un indice di maturazione del frutto di fondamentale importanza per le caratteristiche fisico-chimiche, qualitative e sensoriali dei frutti in post-raccolta. Dalle misurazioni strumentali si evince un incremento del CSST dopo tre giorni e un successivo decremento dello stesso a partire dal giorno 6 di conservazione (tab. 2). Questo comportamento è probabilmente attribuibile al fatto che vengono degradati gli zuccheri, principale substrato dei processi metabolici (Bagheri, M., *et al.* 2015; Akhtar *et al.*, 2010). Nelle fette di frutta trattata (EC), la degradazione degli zuccheri è sempre inferiore rispetto ai frutti non trattati (CTR). Ciò dimostra che la soluzione filmogena è stata utile per rallentare il processo di respirazione metabolica (Guillén, F., *et al.* 2013).

Per quanto concerne l'acidità titolabile (AT – espressa in $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ a. malico), i dati dimostrano che entrambi i trattamenti tendono ad avere un decremento nei valori. Questo dato è sempre maggiore nei frutti che non hanno subito trattamenti (CTR), rispetto ai frutti trattati con EC (tab. 2). È evidente, infatti, che i frutti hanno beneficiato dei trattamenti applicati, permettendo così di rallentare i processi di maturazione e quindi di preservare la degradazione degli acidi organici. Pertanto il rapporto zuccheri/acidi (CSST/AT) mostra che, sia i campioni CTR che quelli trattati, aumentano in maniera costante, tranne negli ultimi tre giorni di conservazione, in cui il CTR mostra un rapporto più elevato rispetto ai frutti della tesi EC (tab. 2), ad indicare che vi è un incremento degli zuccheri dato dai normali processi di maturazione del frutto, al contrario dei frutti trattati con EC che mostrano sempre lo stesso comportamento anche alla fine del periodo di conservazione.

Tabella 2: Evoluzione del contenuto totale di solidi solubili (CSST), dell'acidità titolabile (AT) e rapporto CSST/AT dei frutti di kaki 'Rojo brillante' di IV gamma sottoposti a trattamento con *edible coating* e confrontati con un campione di controllo (CTR) non trattato. I dati mostrano le medie e le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$). Le lettere all'apice dei numeri mostrano le differenze statisticamente significative ($p > 0.001$) utilizzando il test di Tukey.

Giorni di conservazione	Trattamenti	CSST (°Brix)	AT (g/L a. malico)	CSST/AT
T0	FRESCO	17.43 ^b ± 0.05	6.47 ^a ± 0.06	2.69 ^e ± 0.02
T3	CTR	17.70 ^{ab} ± 0.14	5.33 ^b ± 0.07	3.32 ^{cd} ± 0.04
	EC	17.60 ^{ab} ± 0.14	5.76 ^{ab} ± 0.06	3.06 ^d ± 0.03
T6	CTR	18.00 ^a ± 0.14	3.76 ^d ± 0.06	4.79 ^b ± 0.03
	EC	17.65 ^{ab} ± 0.21	5.22 ^{bc} ± 0.06	3.36 ^{cd} ± 0.02
T9	CTR	17.35 ^c ± 0.07	1.57 ^e ± 0.03	11.05 ^a ± 0.07
	EC	17.30 ^c ± 0.14	4.50 ^c ± 0.05	3.84 ^c ± 0.04

2. Analisi microbiologiche

Successivamente sono state condotte le analisi microbiologiche per stabilire i principali gruppi microbici formati nei campioni CTR ed EC e ne sono stati studiati gli aspetti di qualità, igiene e sicurezza. Il rivestimento a base di *Aloe vera* ha rappresentato un ostacolo al deterioramento microbico del kaki e ha consentito inoltre di ridurre il rischio microbico associato alla presenza di potenziali microrganismi patogeni.

Il kaki 'Rojo Brillante', considerato un frutto ad alto rischio microbico (Salvador *et al.*, 2007), ha mostrato una bassa acidità con un pH intorno a 6. Pertanto, l'analisi microbiologica è un fattore importante da considerare per la conservazione di frutta e verdura sottoposte a trattamento (Wiley, 1994).

Nei primi 5 giorni di conservazione i frutti sottoposti a controllo microbiologico non hanno mostrato presenza di colonie batteriche all'interno di ciascun campione analizzato (fig. 8). Diversamente, differenze statisticamente significative tra CTR ed EC sono apparse a 6 giorni di conservazione. I livelli di TMM e pseudomonadi nei frutti CTR sono risultati pressoché simili, mostrando rispettivamente valori di 6.20 e 6.30 log UFC/g a 9 giorni di conservazione. Una tendenza simile è stata osservata per lieviti e muffe per i quali l'aumento di concentrazione è stato registrato sul CTR a 9 giorni. Relativamente ai membri della famiglia delle *Enterobacteriaceae*, che potrebbero includere potenziali microrganismi patogeni, i frutti CTR hanno mostrato un aumento a 6 giorni di circa 3 log UFC/g che rimangono stabili fino alla fine della conservazione. Le indagini microbiche sui frutti trattati (EC) hanno mostrato chiaramente che l'applicazione del gel di *Aloe vera* è stato in grado di inibire la crescita di tutti i gruppi microbici oggetto di indagine (TMM, pseudomonadi, membri della famiglia delle *Enterobacteriaceae*, lieviti e muffe).

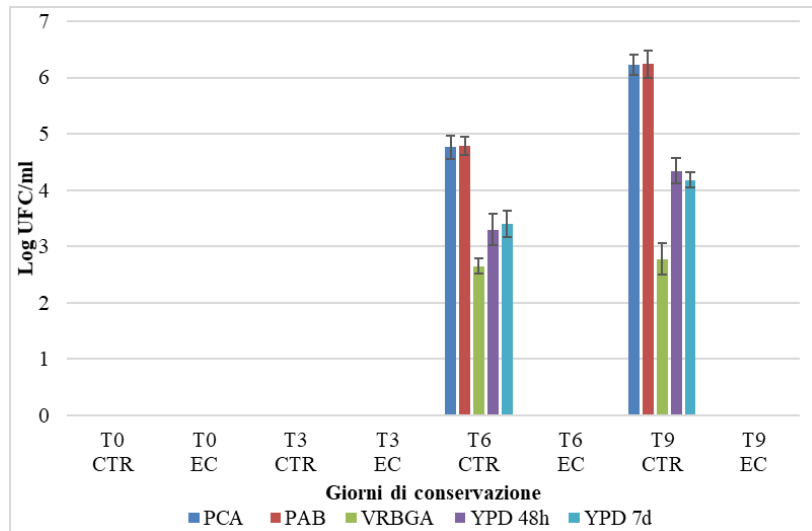


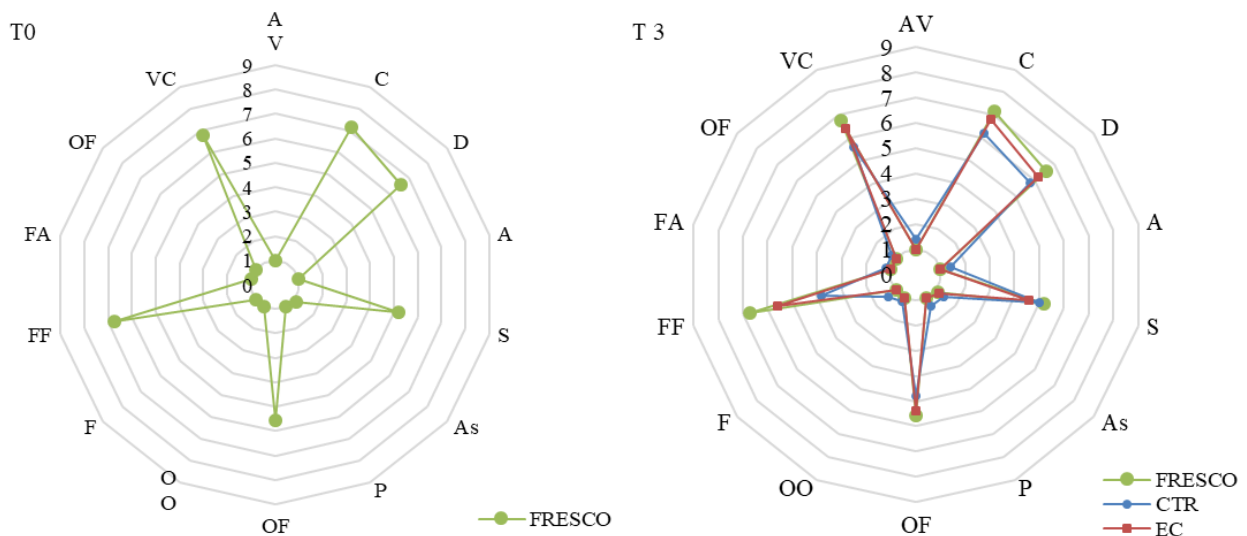
Figura 8: Analisi microbiologiche dei frutti trattati (EC) e di quelli non trattati (CTR). Le colonne mostrano le medie e le barre le deviazioni standard dei valori ottenuti dalle repliche (n = 3).

3. Analisi sensoriale

Per quanto concerne il profilo sensoriale, i giudici hanno valutato il grado di intensità dei suddetti attributi in una scala discontinua da 1 (assenza del descrittore) a 9 (massima intensità del descrittore).

Come mostrano le figure 9a, b, c e d, i frutti dopo la raccolta sono risultati dolci, succosi e ad elevata consistenza, con un odore piacevole e un intenso flavour di frutta. Dopo tre giorni di conservazione sono state rilevate differenze significative in termini di flavour tra i frutti trattati con EC e i frutti CTR, in particolar modo i frutti trattati hanno presentato un valore complessivo migliore.

È quindi evidente che i frutti trattati con EC presentano caratteristiche organolettiche migliori in termini di compattezza, succosità, e odore fruttato, rispetto ai frutti CTR. Ne deriva che l'applicazione dell'*edible coating* ha dato risultati positivi sul miglioramento della *Shelf-life* dei frutti.



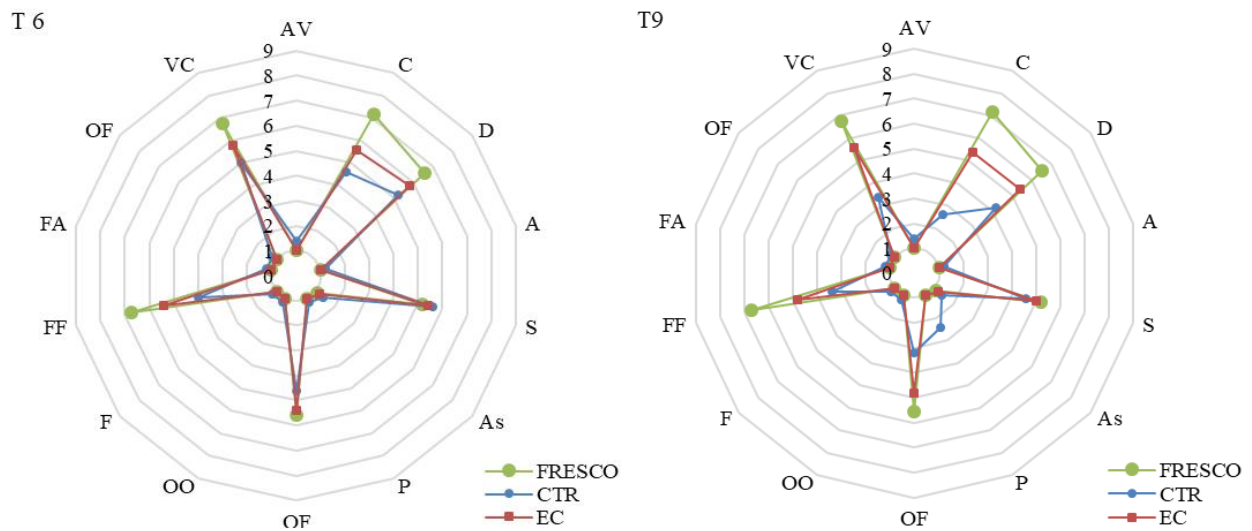


Figure 9a, b, c, d: Profilo sensoriale a T0, T3, T6 e T9. Leggenda: aspetto visuale (AV); compattezza (C); dolcezza (D); acidità (A); succosità (S); astringenza (As); pungente (P); odore fruttato (OF); cattivi odori (OO); farinosità (F); flavour fruttato (FF), flavour alcolico (FA); valutazione complessiva (VC).

Conclusioni

In base ai dati ottenuti al termine dell'esperimento, è stato possibile affermare che il trattamento effettuato sulle fette di frutti di kaki trattate con la soluzione a base di gel di *Aloe vera* consente di rallentare i processi metabolici caratterizzati dalla degradazione degli acidi organici e degli zuccheri, preservando al tempo stesso, colore, imbrunimento enzimatico e serbevolezza del frutto, nonché limitandone la perdita di peso. Ulteriori vantaggi emergono dal punto di vista microbiologico, in quanto l'assenza di colonie batteriche nel campione è garanzia igienico-sanitaria che si traduce in una maggiore sicurezza alimentare.

Bibliografía

- Akhtar, A., N.A. Abbasi, & A. Hussain. (2010). Effect of Calcium Chloride Treatments on Quality Characteristic of Loquat Fruit During Storage. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 42(1):181-188.
- Arnal, L., & Del Río, M. A. (2003). Removing astringency by carbon dioxide and nitrogen-enriched atmospheres in persimmon fruit cv. "Rojo brillante". *Journal of Food Science*, 68(4), 1516-1518.
- Bagheri, M., Esna-Ashari, M., & Ershadi, A. (2015). Effect of postharvest calcium chloride treatment on the storage life and quality of persimmon fruits (*Diospyros kaki* Thunb.) cv. 'Karaj'. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(1), 15-26.
- Bolzan, A. B., & Pereira, E. A. (2017). Preparation and characterization of a sweet creamy persimmon pudding with the addition of Brazilian pine seeds. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016061
- Bordiga, M., Travaglia, F., Giuffrida, D., Mangraviti, D., Rigano, F., Mondello, L., & Coisson, J. D. (2019). Characterization of peel and pulp proanthocyanidins and carotenoids during ripening in persimmon —Kaki Tipol cv, cultivated in Italy. *Food Research International*, 120, 800-809.
- Dauchet, L., Amouyel, P., Hercberg, S., & Dallongeville, J. (2006). Fruit and vegetable consumption and risk of coronary heart disease: a meta-analysis of cohort studies. *The Journal of Nutrition*, 136(10), 2588- 2593.
- Denoya, G. I., Pataro, G., & Ferrari, G. (2020). Effects of postharvest pulsed light treatments on the quality and antioxidant properties of persimmons during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 160, 111055.
- El-Hawary, S. S., Tadros, S. H., AbdelMohsen, M. M., Mohamed, M. S., El Sheikh, E., Nazif, N. M., & ElNasr, M. S. (2020). Phyto-and bio-chemical evaluation of *Diospyros kaki* L. cultivated in Egypt and its biological activities. *Brazilian Journal of Biology*, 80(2), 295-304.
- Farina, V., Gentile, C., Sortino, G., Gianguzzi, G., D' Asaro, A., Saletta, F., ... & Liguori, G. (2016, June). Effects of gellan-based coating application on litchi fruit quality traits. In VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits-Ethical and Technological Issues 1194 (pp. 335-342).
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2019). Food and Agriculture Organization, FAO. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (accessed Jan 16, 2020).
- Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martínez-Romero, D. (2013). Aloe arborescens and Aloe vera gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest biology and technology*, 83, 54-57.
- Han, C., Lederer, C., McDaniel, M., & Zhao, Y. (2005). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings. *Journal of Food Science*, 70(3), S172-S178.

- Hazrati, S., Kashkooli, A. B., Habibzadeh, F., Tahmasebi-Sarvestani, Z., & Sadeghi, A. R. (2017). Evaluation of Aloe vera Gel as an Alternative Edible Coating for Peach Fruits During Cold Storage Period. *Beurteilung von Aloe-vera-Gel als alternative essbare Beschichtung für Pfirsichfrüchte während der kalten Lagerphase. Gesunde Pflanzen*, 69(3), 131-137.
- Hidalgo, C., Mateo, E., Mas, A., & Torija, M. J. (2012). Identification of yeast and acetic acid bacteria isolated from the fermentation and acetification of persimmon (*Diospyros kaki*). *Food Microbiology*, 30(1), 98-104.
- Hussain, P. R., Meena, R. S., Dar, M. A., & Wani, A. M. (2012). Effect of post-harvest calcium chloride dip treatment and gamma irradiation on storage quality and shelf-life extension of Red delicious apple. *Journal of food science and technology*, 49(4), 415-426.
- Karaman, S., Toker, Ö. S., Yüksel, F., Çam, M., Kayacier, A., & Dogan, M. (2014). Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 97-110.
- Khan, N., Shah, N., Bibi, F., Zeb, S., Khan, M., Iqbal, J. & Faisal, S. (2016). Post-harvest life of persimmon (*Diospyros kaki* L.) as affected by coating materials and storage intervals. *Pure and Applied Biology*, 5(4), 963- 970.
- Kim, D. H., Lee, S. B., Jeon, J. Y., & Park, H. D. (2019). Development of air-blast dried non-*Saccharomyces* yeast starter for improving quality of Korean persimmon wine and apple cider. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 193-204.
- Kluge, R. A., & Tessmer, M. A. (2018). *Caqui—Diospyros kaki*. In *Exotic Fruits* (pp. 113-119). Academic press.
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93-100.
- Milczarek, R. R., Woods, R. D., LaFond, S. I., Breksa, A. P., Preece, J. E., Smith, J. L., & Vilches, A. M. (2018). Synthesis of descriptive sensory attributes and hedonic rankings of dried persimmon (*Diospyros kaki* sp.). *Food Science & Nutrition*, 6(1), 124-136.
- Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 657-670.
- Querido, A. F., Silva, C., Pelegri, D., & Alves, G. L. (2013). Persimmon pulp and jelly: Chemical characterization and rheological behavior. *Applied Research & Agrotechnology*, 6(2), 97-104.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Rodríguez, F. J., Carmona, A. J., & Martín-Belloso, O. (2007). Alginate and gellanbased edible coatings as carriers of anti-browning agents applied on fresh-cut fuji apples. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 118-127.

- Ruangchakpet, A., & Sajjaanantakul, T. (2007). Effect of browning on total phenolic, flavonoid content and antioxidant activity in Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica* Linn.). *Agriculture and Natural Resources*, 41(5), 331-337.
- Salvador, A., Arnal, L., Besada, C., Larrea, V., Quiles, A., & Pérez-Munuera, I. (2007). Physiological and structural changes during ripening and destringency treatment of persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 181-188.
- Sanchís, E., Ghidelli, C., Sheth, C. C., Mateos, M., Palou, L., & Pérez-Gago, M. B. (2017). Integration of antimicrobial pectin-based edible coating and active modified atmosphere packaging to preserve the quality and microbial safety of fresh-cut persimmon (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 252-260.
- Sung, S. Y., Sina, L. T., Tee, T. T., Bee, S. T., Rahmat, A. R., & Rahman, W. A. (2013). Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 3(3), 110-123.
- Wiley, R. C. (1994). *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. New York, London: Chapman and Hall.

Capitolo II

Analisi degli effetti di quattro differenti *edible coating* sulle caratteristiche organolettiche e sensoriali di frutti di papaya in IV gamma

Abstract

I prodotti cosiddetti '*ready-to-eat*' sono soggetti ad un elevato rischio di danneggiamento dei tessuti, dovuto a fattori come l'esposizione a O₂ e CO₂, gli sbalzi termici e l'imbrunimento enzimatico, specialmente nelle fasi che succedono la pelatura e il taglio. L'uso di agenti antimicrobici e di antiossidanti naturali su diverse tipologie di frutti ha permesso di prolungare la durata di conservazione dei frutti. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di studiare gli effetti di quattro diversi agenti anti-imbrunimento aggiunti ad *edible coating* (EC) a base di gel di *Aloe vera* e applicati su fette di papaya in IV gamma. Il trattamento EC1 è caratterizzato da solo gel di *Aloe vera* (30%); il trattamento EC2 contiene CaCl₂ (5%) e gel di *Aloe vera* (30%); il trattamento EC3 contiene K carragenina (0,5%) e gel di *Aloe vera* (30%) e il trattamento EC4 contiene alginato di sodio (1,5%), K carragenina (0,5%) e gel di *Aloe vera* (30%). I risultati ottenuti hanno evidenziato che i frutti trattati con il rivestimento EC2 hanno mantenuto elevati valori in termini di consistenza della polpa e un miglior contenuto di zuccheri e di acidi organici. In conclusione è stato possibile affermare che l'aggiunta di CaCl₂ all'*edible coating* a base di gel di *Aloe vera* ha ridotto notevolmente la perdita delle caratteristiche fisico-chimiche e sensoriali del prodotto studiato. Mentre i trattamenti EC3 ed EC4 hanno fornito una barriera agli scambi gassosi riducendo la frequenza respiratoria e aumentando la compattezza della parete cellulare e mantenendo più elevati i valori di brillantezza e colore della polpa, grazie alla presenza della K-carragenina e dell'alginato di sodio.

Introduzione

Negli ultimi anni, i frutti di origine tropicale e subtropicale hanno generato un incremento dell'interesse dei consumatori italiani, i quali sono sempre più attenti alle proprietà nutrizionali e nutraceutiche e alle caratteristiche sensoriali che li differenziano dai prodotti frutticoli mediterranei. Recentemente, infatti, in Sicilia si è assistito all'introduzione di molte specie frutticole tropicali, le quali generano una maggiore redditività per i produttori. In particolare, per quanto riguarda i frutti di papaya (*Carica papaya* L.) i primi impianti sono stati introdotti nelle zone del palermitano, grazie anche all'impiego di colture protette in grado di ripristinare le condizioni ottimali di temperatura e umidità che individuano un corretto sviluppo della pianta. Coltivare frutta tropicale in Sicilia, in opportune condizioni pedologiche e climatiche, permette di offrire ai consumatori un prodotto con migliori caratteristiche organolettiche rispetto ai prodotti importati direttamente dai paesi di origine, grazie all'enorme riduzione delle distanze (Farina, V. *et al.*, 2017). Inoltre, grazie alla vicinanza della

Sicilia ai mercati italiani ed europei, rispetto ai paesi di origine della frutta tropicale, il consumatore può gustare dei prodotti *mature-ripe* con le caratteristiche qualitative intrinseche del frutto maturato in pianta, il che porta ad innumerevoli vantaggi, sia dal punto di vista nutrizionale che sensoriale, che conferiscono al frutto delle proprietà uniche.

La papaia appartiene alla famiglia delle *Caricaceae* ed è originaria del Messico meridionale e del Costa Rica, inoltre è stata introdotta come piantagione coltivata in ambienti protetti in tutte le regioni tropicali e subtropicali e, nell'ultimo decennio si è diffusa in alcuni paesi del Mediterraneo quali Israele, Spagna. In Italia si rinviene esclusivamente sulle coste tirreniche della Sicilia. I frutti di papaia sono climaterici e sono noti per il loro elevato valore nutritivo: essi infatti contengono un basso contenuto calorico e sono ricchi in vitamine, come la vitamina A, C, tiamina, riboflavina, niacina e acido pantotenico, molti minerali come calcio, acido folico, ferro, potassio e fibre (Prajapati, H. N., Patil, R. K., & Shukla, Y. M., 2017). La papaia è consumata in tutto il mondo come frutta fresca o come prodotto trasformato; inoltre, le parti intere della pianta, tra cui radice, corteccia, epicarpo, semi e polpa, hanno proprietà medicinali. Nella medicina tradizionale, infatti, la foglia di *Carica papaya* è stata utilizzata per una vasta gamma di trattamenti terapeutici comprese le malattie della pelle ed il cancro (Nguyen *et al.*, 2015). I molti benefici della papaia sono dovuti all'alto contenuto di enzimi proteolitici come la papaina e la chimopapaina che hanno proprietà antivirali, antimicotiche e antibatteriche. La papaina, il principio attivo che esercita un effetto protettivo dell'ulcera (Shaheen e Hasan, 2015), è un enzima che scompone le proteine ed allevia i disturbi della digestione.

I frutti di *Carica papaya* presentano numerosi problemi post-raccolta principalmente legati ad un rapido imbrunimento della polpa, disidratazione e perdita di consistenza che portano ad una rapida riduzione della *Shelf-life*. La papaia è consumata fresca in molti paesi, è una coltura di grande importanza economica in tutto il mondo (Zerpa-Catanhoa *et al.*, 2017) ma nonostante ciò, la sua commercializzazione ha limitazioni relative alla rapida deperibilità post-raccolta. La perdita di consistenza del frutto durante la maturazione, infatti, aumenta la suscettibilità alle sollecitazioni meccaniche ed alle infezioni da parte di agenti patogeni, aumentando le perdite post-raccolta (Chen *et al.*, 2007).

La papaia ha un periodo di conservazione post-raccolta molto breve (7-14 giorni) (Marpudi, S. L. *et al.*, 2011; Pimentel, R. M. D. A., & Walder, J. M. M. M., 2004), per tale ragione molti ricercatori studiano e sviluppano tecniche di conservazione che possano minimizzare il deterioramento della qualità dei frutti (Rohani, M. Y., *et al.*, 1997), contribuendo a ridurre, quanto più possibile, l'alterazione degli attributi sensoriali e nutrizionali. Ad esempio, le condizioni ottimali di stoccaggio e trasporto variano in relazione allo stadio di maturazione: con stadio di maturazione ¼ giallo la temperatura ottimale è di 13°C; per quelli parzialmente maturi (1/4-1/2 giallo) di 10°C; e per quelli

maturi (> 1/2 giallo) di 7°C, con umidità relativa pari al 90-95% (O'Hare, 1993). Alcune tecniche di conservazione post-raccolta influenzano le caratteristiche organolettiche dei frutti, altre utilizzano additivi alimentari (Mohamed Salleh, N. S., 2013). Ad esempio, il metodo della disidratazione provoca l'eccessiva perdita di umidità, modificando quindi l'aspetto esteriore e il sapore del frutto. Il rivestimento commestibile potrebbe essere il metodo più favorevole per mantenere le condizioni della frutta di IV gamma. Uno strato di materiale commestibile è, infatti, particolarmente efficace nel preservare la qualità post-raccolta e nel ridurre i costi di produzione per frutti altamente deperibili come la papaia (Rhim *et al.*, 2013; Sena *et al.*, 2016; Gol *et al.*, 2015). Sebbene la sua efficacia sia stata testata su diversi frutti, la sua applicazione non è ancora diffusa (Lambert, R. J. W., Skandamis, P. N. N., Coote, P. J., & Nychas, G. J. J., 2001), soprattutto sulla papaia pronta al consumo. Tavassoli-Kafrani, E., *et al.* (2016) hanno studiato l'applicazione del cloruro di calcio, della K-carragenina e dell'alginato di sodio come agenti filmogeni: il calcio forma legami tra le sostanze pectiche all'interno della parete cellulare (Demarty, M., *et al.*, 1984) dandogli il potenziale di aumentare la qualità post-raccolta di frutta e verdura (Kirkby, E. A. & Pilbeam, D. J., 1984; Bangerth, F., 1979); le proprietà colloidali dell'alginato provocano la formazione di gel resistenti o polimeri insolubili reagendo con gli ioni Ca⁺ dopo il trattamento con CaCl₂ (Keshri, R. C. C., & Sanyal, M. K., 2009). La K-carragenina prolunga il periodo di conservazione degli alimenti mantenendone inalterate le caratteristiche organolettiche e sensoriali (Earle, R. D., 1968) e inibendo i processi di ossidazione (Conca, K. R. & Yang, T. C. S., 1993). Un altro aspetto interessante è che i prodotti utilizzati nei rivestimenti commestibili sono totalmente naturali e sono considerati più sicuri per il consumo, in quanto non tossici, oltre che essere relativamente economici.

Per questo motivo, recenti studi hanno dimostrato che il gel estratto da parti di diverse piante, ha un effetto antimicrobico sul frutto, come il gel estratto dalle foglie di *Aloe vera* (Zapata, P. J., *et al.*, 2013). Il gel di *Aloe vera* è stato già applicato su frutti interi di papaia (Marpudi *et al.*, 2011), oltre che su ciliegie (Martínez-Romero, D., *et al.*, 2006) e prugne (Guillén, F., *et al.*, 2013) sotto forma di film edibile, mostrando ottimi risultati in termini di riduzione dell'imbrunimento e di alterazioni fungine sulle loro superfici.

Pertanto, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di valutare le variazioni degli attributi qualitativi della papaia *ready to eat* grazie alla potenziale attività antiossidante di quattro differenti *edible coating* aventi tutti come base il gel di *Aloe vera* e come addensanti i seguenti additivi: cloruro di calcio, K carragenina e alginato di sodio.



Figura 1: *Carica papaya* L.

Materiale & Metodi

1. *Materiale vegetale*

L'azienda agricola "Orto di Nonno Nino", sita nel territorio di Terrasini (PA) (38°08' N, 13°10' E), ha fornito frutti di papaia con grado di maturazione 1 (verde in tutta la superficie, con tracce di giallo sulla polpa), di forma regolare e di dimensioni uniformi. La descrizione delle fasi di maturazione dei frutti di papaia, riportata nella tabella 1, è stata proposta nel programma di studio sulla papaia brasiliana, del Ministero dell'Agricoltura, dell'allevamento e dell'ambiente e correlata al colore dell'epicarpo.

Tabella 1: Fasi di maturazione dei frutti di papaia brasiliana. Programma di studio del Ministero dell'Agricoltura, dell'allevamento e dell'ambiente.

Fase di maturazione	Descrizione
0	Frutto completamente sviluppato. Colore della buccia verde al 100%.
1	Il colore giallo non copre più del 15% della superficie del frutto.
2	1/4 maturo. Frutto con fino al 25% della superficie gialla, circondata da colore verde chiaro.
3	2/4 maturo. Frutta con fino al 50% della superficie gialla, circondata da colore verde chiaro.
4	3/4 maturo. Frutto con il 50-75% della superficie gialla, circondata da colore verde chiaro.
5	Maturo. Frutto con 76-100% della superficie gialla. Solo la zona vicino al gambo è verde.

2. *Prodotti chimici*

L'alginato di sodio alimentare (Keltones LV, ISP, San Diego, CA USA) e la gomma gellan (Kelcogels, CPKelco, Chicago, IL USA) sono stati utilizzati come biopolimeri di carboidrati nelle formulazioni del rivestimento. La glicerina (Merck, Whitehouse Station, NJ, USA) è stata aggiunta come plastificante. Il CaCl₂ (Sigma-Aldrich Chemic, Steinhein, Germania) è stato impiegato per mantenere saldi i legami delle pectine e il gel di *Aloe vera* è stato aggiunto come agente antimicrobico.

3. *Estrazione del gel di Aloe vera*

Sono stati selezionati omogeneamente 2 kg di foglie di *Aloe vera*. Il gel è stato estratto dal parenchima manualmente, tritato mediante Ultra-Turax T25 (Janke e Kunkle, IKA Labor Technik, Breisgau, Germania) per 5 minuti a 24,500 rpm e filtrato per estrarre il gel puro rimuovendo la parte fibrosa e altri residui (fig. 2).



Figura 2: Estrazione del parenchima gelatinoso dalla foglia di *Aloe vera*.

4. Preparazione degli edible coating

Per la preparazione del rivestimento commestibile (EC) sono stati confrontati quattro trattamenti applicando gli additivi in concentrazioni prestabilite sulla base di indagini preliminari e sulla base di studi condotti da altri autori (Akhtar, A., *et al.*, 2010; Narsaiah, K., *et al.*, 2015):

- EC1: in 300 ml di H₂O distillata sono stati disciolti: gellan gum (1%) e glicerolo (3%) come plasticizzanti e gel di *Aloe vera* (30%);
- EC2: in 300 ml di H₂O distillata sono stati disciolti: gellan gum (1%) e glicerolo (3%) come plasticizzanti, gel di *Aloe vera* (30%) e CaCl₂ (5%);
- EC3: in 300 ml di H₂O distillata sono stati disciolti: gellan gum (1%) e glicerolo (3%) come plasticizzanti, gel di *Aloe vera* (30%) e K carragenina (0,5%);
- EC4: in 300 ml di H₂O distillata sono stati disciolti: gellan gum (1%) e glicerolo (3%) come plasticizzanti, gel di *Aloe vera* (30%), K carragenina (0,5%) e alginato di sodio (1,5%).

Tutti gli *edible coating* sono stati confrontati con un campione di frutta non trattata (CTR).

Per ridurre il rischio di contaminazione microbica il pH è stato mantenuto al di sotto di 3,5 aggiungendo acido ascorbico e acido citrico in misura dell'1% del volume totale della miscela. Gli *edible coating* sono stati infine posti in autoclave per 90 minuti a 45° per abbattere la carica batterica.

5. Preparazione della frutta

Cinquanta frutti di papaia sono stati lavati con acqua del rubinetto per rimuovere la contaminazione superficiale e successivamente sono stati igienizzati immergendoli per 10 minuti in

acqua sanificata con ipoclorito di sodio (2%) e refrigerata (5°C). Dopodiché sono stati lasciati ad asciugare per 5 minuti e infine ciascun frutto è stato interamente pelato e tagliato a fette di 2 cm con un coltello in acciaio inossidabile precedentemente sterilizzato (fig. 3).

Tutti gli *edible coating* sono stati applicati per mezzo di un aerografo con ugello di 0,8 mm di diametro, alimentato da N₂ (fig. 4).



Figure 3 e 4: Processamento dei frutti e applicazione dell'*edible coating*.

6. *Disegno sperimentale*

Sono state preparate in totale 90 vaschette in PET (polietilentereftalato), ciascuna contenente 100 g di frutta fresca tagliata (fig. 5).

Tutte le analisi sono state effettuate in tre repliche e ad intervalli di tre giorni (T0, T3, T6, T9 e T12) per un totale di 12 giorni di conservazione.



Figura 5: Stoccaggio vaschette a 5±1°C e 90±5% UR.

7. *Analisi fisico-chimiche*

7.1. *Perdita di peso*

La perdita di peso è stata misurata mediante una bilancia digitale di precisione a due cifre decimali (Gibertini, Italia). Il valore è stato espresso in percentuale relativa alla perdita di peso dal giorno iniziale (T0) al giorno finale (T12) di conservazione. In particolare è stata utilizzata la seguente formula:

$$WL (\%) = (W_i - W_t) / W_i \times 100$$

Dove WL indica la perdita di peso, W_i indica il peso iniziale e W_t il peso finale delle vaschette.

7.2. Consistenza

La consistenza della polpa (N) è stata determinata mediante un penetrometro (mod. 53205, Turoni, Forlì, Italia), nei due lati opposti della fetta ed in posizione equatoriale.

7.3. Contenuto di solidi solubili totali

Il contenuto di solidi solubili totali (CSST) è stato determinato mediante l'utilizzo del rifrattometro digitale ATAGO (Atago Co., Ltd, Tokyo, Giappone) ed espresso in °Brix.

7.4. Acidità titolabile e pH

Il Ph e l'acidità titolabile (AT), espressa in $g \cdot L^{-1}$ di acido citrico, sono stati misurati mediante un pHmetro-titolatore, titolando con una soluzione di NaOH 0.1N fino al raggiungimento di un valore di pH pari a 8.1 (Crison, SA, Barcellona – Spagna).

7.5. Colore della polpa

Per determinare il colore della polpa è stato utilizzato lo spazio-colore $CIEL^*a^*b^*$ (Commission Internationale de l'Éclairage) del colorimetro Minolta (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Giappone). In particolare sono stati presi in considerazione i seguenti valori: L^* , ovvero il parametro che indica la luminosità, che ha un range di valori compresi tra 0 (nero) e 100 (bianco); il parametro a^* , che ha un range di valori compresi tra -100 (verde) e +100 (rosso); infine il parametro b^* , che ha valori compresi tra -100 (blu) e +100 (giallo). Sulla base di questi parametri sono stati calcolati gli indici di saturazione (C^* , Chroma) e di tinta (h° , hueangle) mediante le seguenti espressioni:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

8. Tasso di respirazione

Il tasso di respirazione di ogni vaschetta è stato monitorato usando un analizzatore di gas (CheckMate II, PBI-Dansensor (Far East) Limited, Copenhagen, Danimarca).

9. Analisi sensoriale

L'analisi sensoriale è stata eseguita mediante un panel semi-addestrato costituito da otto giudici: 4 maschi e 4 femmine, con età compresa tra i 24 e i 33 anni. Per lo studio delle caratteristiche organo-sensoriali delle fette di papaia sono stati presi in considerazione venti descrittori: colore della polpa (CP), presenza di filamenti (PF), consistenza (C), odore di mare (OM), odore di pesca (OP), odore di frutta esotica (OES), odore di medicinali (Omed), odore di formaggio (Ofmg), odore di olio

bruciato (Oob), acidità (A), dolcezza (D), amaro (Am), succosità (S), farinosità (Fr), flavour di mare (FM), flavour di pesca (FP), flavour di frutti esotici (FES), flavour di medicinale (Fmed), flavour di formaggio (Ffmg) e, infine, flavour di olio bruciato (Fob).

I giudici hanno valutato l'intensità di ogni descrittore su una scala discontinua da 1 (assenza del descrittore) a 9 (massima intensità del descrittore). L'ordine di presentazione dei campioni non è stato dichiarato, affinché non venissero influenzati i giudici e, per ogni partecipante è stata fornita acqua per il risciacquo della bocca tra i diversi campioni di papaia. Il profilo sensoriale di ciascun campione è stato poi riportato in spider plot.

10. *Analisi statistica*

I dati sono stati presentati come media \pm deviazione standard (DS). L'analisi statistica è stata effettuata utilizzando il software XIStat® versione 9.0 (Addinsoft, Parigi, Francia). I dati sono stati analizzati utilizzando l'analisi unidirezionale della varianza (ANOVA) e il test di Tukey con $p \leq 0,05$ considerato significativo.

Risultati e Discussione

1. *Analisi fisico-chimiche*

Lo studio del comportamento dei frutti di papaia durante il periodo di conservazione di dodici giorni, ha rivelato che il campione di controllo (CTR) è stato caratterizzato da una maggiore percentuale di perdita di peso (fig. 6) già a partire dal terzo giorno di conservazione, mentre comportamenti simili sono stati osservati tra i trattamenti EC1, EC3 ed EC4. EC2, invece, sembra essere il trattamento che ha avuto una minore percentuale di perdita di peso. Questo risultato è stato poi confrontato con la letteratura, secondo cui il gel estratto dalle foglie di *Aloe vera* sembra aver ridotto i fenomeni di respirazione anche in altri frutti, trattenendo i liquidi al suo interno. Infatti, grazie all'*edible coating* a base di gel di *Aloe vera*, Guillén *et al.* (2013) hanno dimostrato un efficace controllo della perdita di peso sia in frutti di pesco che di susino; mentre nella loro sperimentazione, Benítez, S., *et al.* (2013), hanno osservato una riduzione dei processi di depolimerizzazione delle pectine nella parete cellulare in kiwi *ready to eat*. Il ruolo determinante potrebbe essere attribuito al cloruro di calcio: Mahajan, B. V. C., & Dhatt, A. S. (2004) hanno affermato, nei loro studi, che il calcio potrebbe aver ritardato la senescenza e ridotto il tasso di respirazione in frutti di pera della cv. 'Pathernakh'. Inoltre, diverse concentrazioni di cloruro di calcio introdotte in rivestimenti commestibili applicati su nespola (Akhtar, A., *et al.*, 2010) e fragole (García, J. M., Herrera, S., & Morilla, A., 1996) hanno mostrato risultati positivi per quanto riguarda la perdita di peso. Anche Ahmed, M. J., *et al.* (2009) hanno condotto lo stesso studio sulla nettarina, applicando il 2,5% di gel di *Aloe vera*, dimostrando che il rivestimento ha contribuito a mantenere il peso del frutto e ad

aumentarne la conservabilità post-raccolta. Pertanto, i nostri dati evidenziano che entrambi i materiali presenti nel rivestimento possono contribuire a ridurre la perdita di peso della frutta durante la conservazione, riducendo il tasso respirazione.

Per quanto riguarda la perdita di consistenza delle fette di papaia (fig. 7), anche qui il trattamento EC2 ha evidenziato i migliori risultati in quanto, rispetto al CTR si riduce del 35,8% alla fine del periodo di conservazione. I trattamenti EC1 ed EC3, invece, mostrano un andamento simile (rispettivamente 24,3% e 22,3%) in termini di perdita di consistenza, mentre il CTR ha mostrato una maggiore perdita della consistenza della polpa (78,3%) durante i dodici giorni di conservazione. Questi risultati mettono in luce quanto finora dimostrato circa gli effetti benefici del gel di *Aloe vera*. Infatti, come riscontrato da Batisse *et al.* (1996) e Vidrih *et al.* (1998), la perdita di consistenza dei frutti cambia durante il periodo di conservazione in funzione di numerosi fattori, quali ad esempio la perdita di liquidi per i normali processi metabolici e di respirazione cellulare. Inoltre, è stato ripetutamente osservato il comportamento del CaCl_2 per mantenere la qualità alimentare e la consistenza di frutti di nespolo (Shuiliang *et al.*, 2002) e papaia (Mahmud T. M. M. M. *et al.*, 2008) nel settore della IV gamma. White & Broadly (2003) e prima di loro Grant, G. T. *et al.*, (1973), invece, dimostrano che il mantenimento della consistenza nei frutti trattati con calcio può essere dovuta al suo accumulo nelle pareti cellulari, il che facilita l'attraversamento dei polimeri pectici aumentando la resistenza delle pareti e la coesione cellulare. Il processo di 'ammorbidente' della parete cellulare del frutto dipende infatti dall'aumento dell'enzima poligalatturonasi e dall'attività della β -galattosidasi e della pectina metilesterasi (Rem'on, 2003), principali responsabili della perdita di qualità della frutta. Infine, Narsaiah *et al.* (2015) nelle loro prove effettuate su papaia *ready to eat* hanno dimostrato che un aumento della concentrazione di alginato di sodio riduce ulteriormente la perdita di consistenza. Anche Lerdthanangkul e Krochta (1996) hanno ottenuto risultati simili e sono giunti alla conclusione che i rivestimenti e/o i film a base di gel di *Aloe vera* hanno un effetto significativo sulla consistenza dei frutti durante l'intero periodo di conservazione.

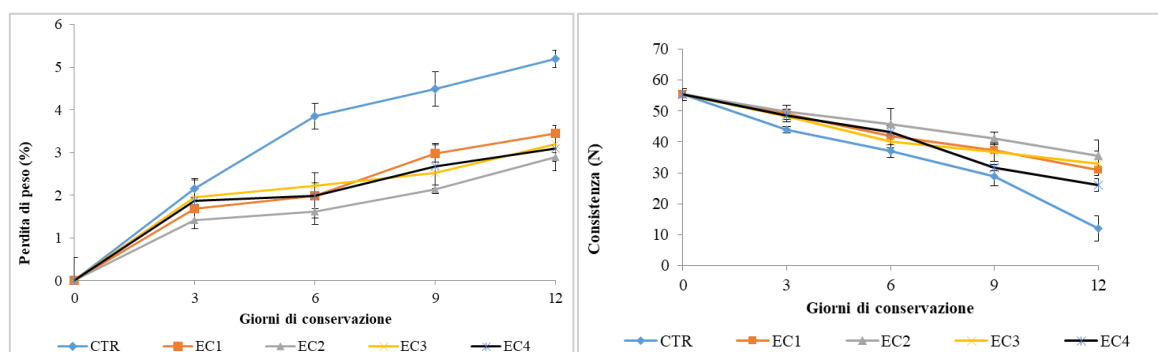


Figure 6 e 7: Evoluzione della perdita di peso (%) e della consistenza (N) di papaia in IV gamma trattata con quattro *edible coating* e confrontata con un campione non trattato (CTR). Valori registrati a 0, 3, 6, 9 e 12 giorni di conservazione a 5 ± 1 °C e 90 ± 5 % UR. I valori indicano la media, e le barre indicano le deviazioni standard (DS) delle repliche (n = 3).

Dal giorno 0 al giorno 12 di conservazione, il contenuto di solidi solubili (CSS) è aumentato significativamente sia nei campioni di controllo (CTR), sia nei campioni che hanno subito il trattamento con *edible coating* (fig. 8). Partendo dallo stesso valore (6,85 °Brix), i frutti non trattati (CTR) raggiungono valori prossimi ai 10 °Brix. L'aumento dei solidi solubili nei frutti, generalmente si verifica a causa dei normali processi di maturazione. Nelle fette non trattate si assiste ad un maggiore aumento di questo valore, probabilmente perché nessun rivestimento della parete cellulare può inibire la degradazione dei polisaccaridi in zuccheri semplici, come avviene nei campioni rivestiti. Questo fenomeno porta ad una degradazione degli acidi organici della frutta (TA – fig. 9). Tuttavia, tutti i campioni trattati con *edible coating* hanno mostrato un aumento ridotto dei solidi solubili totali, rispetto al campione non trattato (CTR).

Biale (1960) ha affermato che un aumento del CSS si osserva quando i frutti raggiungono il picco climaterico. In particolare, il trattamento EC2 è risultato quello statisticamente differente, mostrando un lieve (quasi lineare) aumento del contenuto in solidi solubili, ma con valori sempre inferiori rispetto agli altri trattamenti (7,90°Brix), fino al 12° giorno di conservazione. Risultati simili sono stati riportati da Li *et al.* (2017), riguardanti l'applicazione di un *edible coating* su kiwi in IV gamma, mentre Cortez-Vega *et al.* (2014) hanno riportato risultati simili su papaia in IV gamma. La riduzione dei tassi di respirazione (fig. 6a e b) ha rallentato l'uso dei metaboliti e, di conseguenza, la maturazione dei frutti (Yaman e Bayoindirli, 2002).

L'acidità titolabile (AT) diminuisce sia nei frutti sottoposti ai trattamenti che nei frutti non trattati (CTR), a partire dallo stesso valore (fig. 9). A 5°C e 90% UR i frutti hanno un comportamento simile e il valore di AT regredisce lentamente durante il periodo di conservazione. In questo caso, l'acidità titolabile non sembra essere influenzata dal trattamento dei frutti con calcio. A questo proposito, Manganaris *et al.* (2005) hanno spiegato che trattamenti con cloruro di calcio a differenti concentrazioni non hanno effetti nella variazione dell'acidità titolabile, ma essa è direttamente correlata alla concentrazione di solidi solubili totali presenti nei frutti, che sono substrati per le reazioni di respirazione (Ball, J. A., 1997). Il trattamento EC1 si differenzia dagli altri in quanto mostra un trend costante nell'intervallo di tempo da 0 a 6 giorni; dal 6° al 12° giorno, invece, inizia il trend decrescente. I trattamenti EC2, EC3 ed EC4 mostrano più o meno gli stessi valori durante tutto il periodo di conservazione, mentre CTR è caratterizzato da valori piuttosto bassi nel periodo di conservazione 0 - 12 giorni, rispetto ai frutti trattati.

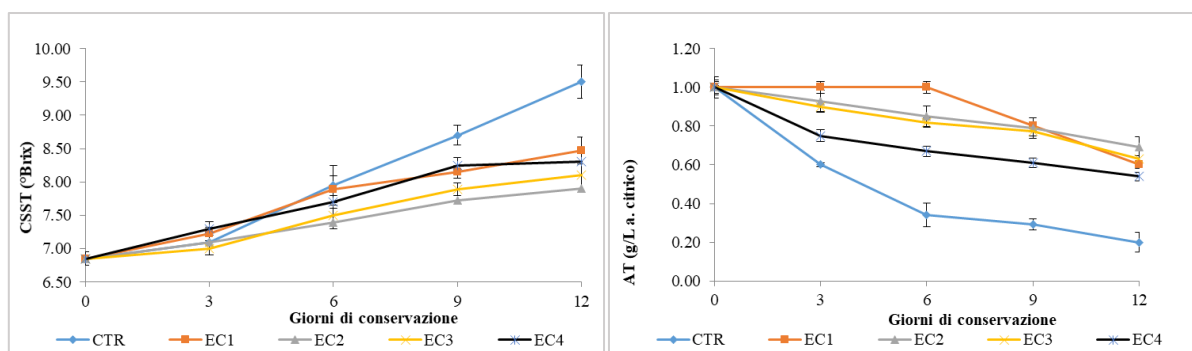


Figure 8 e 9: Evoluzione del contenuto totale di solidi solubili (CSST - °Brix) e dell'acidità titolabile (AT - g/L a. citrico) di papaia in IV gamma trattata con quattro *edible coating* e confrontata con un campione non trattato (CTR). Valori registrati a 0, 3, 6, 9 e 12 giorni di conservazione a 5 ± 1 °C e $90\pm 5\%$ UR. I valori indicano la media, e le barre indicano le deviazioni standard (DS) delle repliche (n = 3).

Durante i 12 giorni di conservazione, l'applicazione dell'*edible coating* ha contribuito a preservare le caratteristiche di colore delle fette di papaia analizzate. Per quanto concerne la luminosità (L^* - fig. 10), nel periodo di conservazione i campioni rivestiti hanno mostrato valori più elevati rispetto alle fette di controllo. I fenomeni di imbrunimento della polpa sono stati più accentuati nelle fette di papaia non trattate (CTR), come si è riscontrato in altri studi (Rattanapanone, N., *et al.*, 2001). Per quanto riguarda il valore di croma (C^* - fig. 11), i parametri misurati indicano che la saturazione diminuisce durante il periodo di conservazione, per cui le fette di papaia tendono a diventare più scure. Una diminuzione più marcata dei valori di saturazione si riscontra nelle fette di papaya della tesi EC3, fenomeno probabilmente dovuto alla presenza della K carragenina che fornisce una barriera all'ossigeno e riesce a ridurre il tasso di respirazione e il processo di maturazione, ritardando le attività metaboliche che causano la riduzione dei valori di croma, come riscontrato da Hamzah, K., M., *et al.* (2013). Inoltre, Martinez-Romero *et al.* (2006), mostrano che i valori di colore sono migliori nei frutti trattati con gel di *Aloe vera* rispetto a quelli non trattati (CTR). In particolare, durante i 12 giorni di conservazione, si è osservato un cambiamento di colore da toni più caldi a toni più freddi (h°), più accentuato nelle fette di papaia non trattate (CTR). Infatti, come si può vedere in figura 12, i frutti di controllo (CTR) subiscono una maggiore riduzione dei valori di *Hue angle* rispetto ai frutti trattati che, invece, hanno un andamento quasi simile e costante per tutto il periodo di conservazione. Questo comportamento potrebbe essere attribuito alla presenza di acido ascorbico e acido citrico aggiunti nelle formulazioni del rivestimento. Infatti, questi acidi agiscono come agenti anti imbrunimento, riducendo talvolta significativamente le variazioni dei parametri di L^* e h° rispetto al controllo, come è avvenuto nel caso studio riportato da González-Aguilar *et al.* (2004) riguardante i cambiamenti di colore dell'ananas di IV gamma conservata alle basse temperature per due settimane. Moline *et al.* (1999), invece, hanno dimostrato che la combinazione di acido citrico e acido ascorbico risulta efficace nel ridurre l'imbrunimento in frutti di banana minimamente

processata. Questi risultati, infatti, dimostrano che i trattamenti con *edible coating* riducono la perdita di colore del frutto, mantenendone più a lungo le caratteristiche iniziali di freschezza.

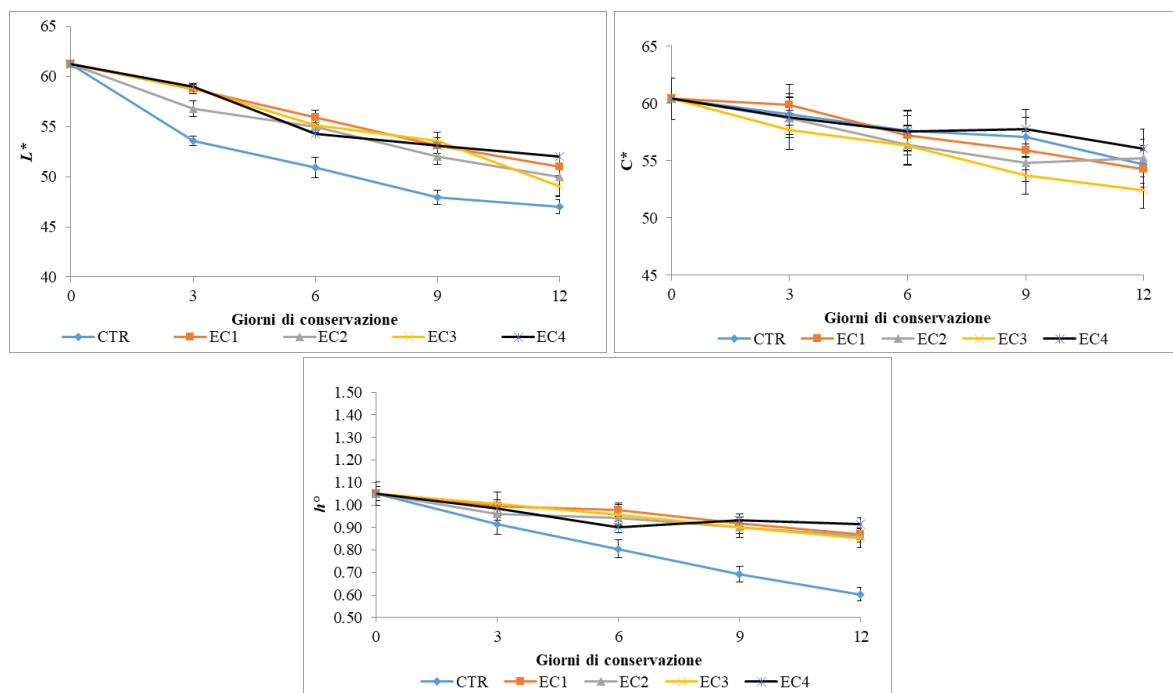


Figure 10, 11 e 12: Evoluzione della luminosità (L^*), della saturazione (C^*) e della tonalità (h°) di papaia in IV gamma trattata con quattro *edible coating* e confrontata con un campione non trattato (CTR). Valori registrati a 0, 3, 6, 9 e 12 giorni di conservazione a $5\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ UR. I valori indicano la media, e le barre indicano le deviazioni standard (DS) delle repliche ($n = 3$).

2. Tasso di respirazione

Per quanto riguarda le misurazioni del contenuto di O_2 e CO_2 , la concentrazione di ossigeno durante i 12 giorni di stoccaggio si riduce sia nei frutti trattati che nel CTR. Come si può vedere nella figura 13, i valori iniziali di O_2 sono simili tra CTR e frutti trattati, mentre al 12° giorno di conservazione i valori sono diminuiti più lentamente per i frutti che hanno beneficiato dei vari trattamenti. In particolare, l'EC2 è risultato il trattamento più efficace. Questo comportamento è ancora una volta attribuibile alla presenza degli ioni Ca che intervengono nella riduzione della frequenza respiratoria e dei processi metabolici dei frutti (Ferguson, I., B., 1984). Nel CTR, invece, si registra una riduzione piuttosto rapida, infatti al 12° giorno i valori sono dimezzati, mettendo in evidenza i normali processi di maturazione dei frutti. Ciò dimostra che il frutto, al termine del periodo di conservazione, ha una minima attività respiratoria, comportamento associato al fatto che l'ossigeno è quasi completamente consumato. Considerando che i livelli di O_2 sono complementari ai livelli di CO_2 , i frutti hanno un tasso di respirazione più basso a causa dell'elevata presenza di CO_2 . Per quanto concerne l'evoluzione della concentrazione di anidride carbonica nelle fette di papaia (fig. 14), questo valore cresce sia nei quattro trattamenti che nel CTR, partendo da valori iniziali di CO_2 prossimi allo 0%, uguali per tutti. Il trattamento EC2 è stato quello che, alla fine dei 12 giorni di conservazione, ha mostrato valori di CO_2 accettabili. Questo dato è risultato in accordo con gli studi di Ferguson (1984),

Maftoonazad e Ramaswamy (2005) e Alonso e Alique (2004); mentre, Narsaiah, K. (2015) conferma che l'alginate di sodio (presente nel trattamento EC4) forma una barriera per lo scambio di gas. Il CTR, invece, mostra una maggiore produzione di CO₂ al 12° giorno e una conseguente riduzione dell'O₂.

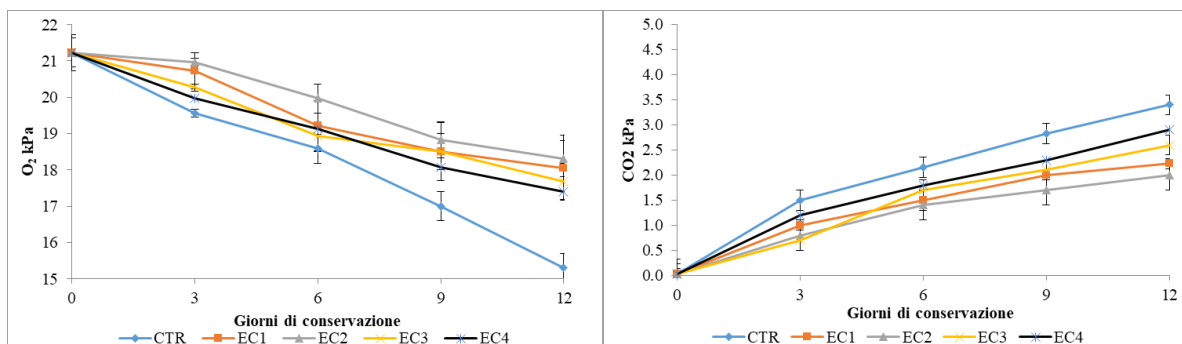


Figure 13 e 14: Evoluzione del tasso di respirazione (O₂ e CO₂) di papaia in IV gamma trattata con quattro edibile coating e confrontata con un campione non trattato (CTR). Valori registrati a 0, 3, 6, 9 e 12 giorni di conservazione a 5±1 °C e 90±5% UR. I valori indicano la media, e le barre indicano le deviazioni standard (DS) delle repliche (n = 3).

3. Analisi sensoriale

Per quanto riguarda l'analisi sensoriale i giudici hanno riscontrato, al primo giorno di analisi (per i frutti freschi non trattati - T0 - fig. 15a), un ottimo colore della polpa, una gradevole dolcezza, una buona consistenza, media succosità, odore e sapore di frutta esotica; mentre non hanno percepito la presenza di filamenti, sapore amaro, odore e sapore di medicinale o di olio bruciato. In conclusione, il giudizio è stato positivo in quanto sono stati riscontrati solo attributi positivi e non sono stati riscontrati difetti estetici nella polpa.

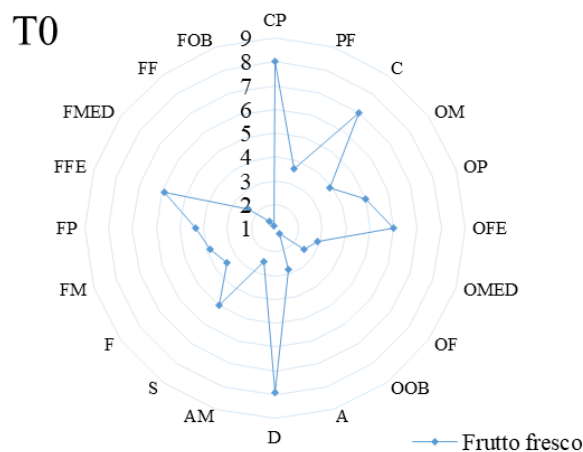
Al giorno 3, il profilo sensoriale dei frutti trattati secondo le quattro tesi è stato confrontato con il CTR per analizzarne le differenze (fig. 15b). Il trattamento EC2 è risultato il più efficace nel mantenere elevati valori di dolcezza e consistenza della polpa, buon odore di frutta esotica ed elevata succosità. Tutti i trattamenti hanno mostrato risultati simili. Il trattamento EC1 ha dato i migliori risultati in termini di sapore di frutta esotica, mentre il trattamento EC3 è stato quello che ha mantenuto la maggiore succosità rispetto agli altri. Nel CTR i risultati sono stati simili, la differenza è stata riscontrata nella consistenza della polpa e nella succosità che sono diminuite e il panel ha evidenziato un leggero sapore e odore di formaggio.

Dopo sei giorni di conservazione (T6 - fig. 15c), le fette trattate non presentano ancora alcun difetto, a differenza del CTR, che è caratterizzato da un leggero odore e sapore di formaggio e una maggiore farinosità della polpa. La compattezza della polpa è stata mantenuta a livelli ottimali per tutti i trattamenti, soprattutto per il trattamento EC2, che diminuisce significativamente nel CTR. La dolcezza rimane allo stesso valore per tutti i trattamenti, ma la succosità diminuisce soprattutto, ancora una volta, nel CTR. La consistenza non mostra differenza significative fra i trattamenti, anche

se si riduce leggermente (circa 0,5 pt.). Nel trattamento EC1, rispetto ad altri trattamenti, si evidenzia un sapore di pesca misto a quello di frutta esotica, più accentuato.

Anche al giorno 9 (T9 - fig. 15d) la consistenza della polpa delle fette trattate con *edible coating* viene mantenuta in condizioni ottimali, a differenza del CTR, in cui diminuisce in modo significativo, dimostrando il successo dei trattamenti. Il trattamento EC2 è stato quello che ha mantenuto elevate le caratteristiche di consistenza, succosità e dolcezza. Il trattamento EC1 continua a mantenere un valore medio di sapore di pesca misto a frutta esotica. Il CTR mostra i risultati meno incoraggianti, in quanto è ormai caratterizzato da odore di medicinale, odore di formaggio e scarsa consistenza.

Infine, al giorno 12 (T12 - fig. 15e), la consistenza della polpa si riduce anche nei quattro campioni trattati pur continuando a mantenere una buona qualità, a differenza del CTR in cui questo parametro è ormai ridotto al minimo (circa 2,5 pt.). La consistenza diminuisce per tutti i trattamenti, mostrando risultati leggermente migliori nel trattamento EC3. Anche la succosità diminuisce, mantenendo i migliori risultati nel trattamento EC2 e i più bassi nel CTR.



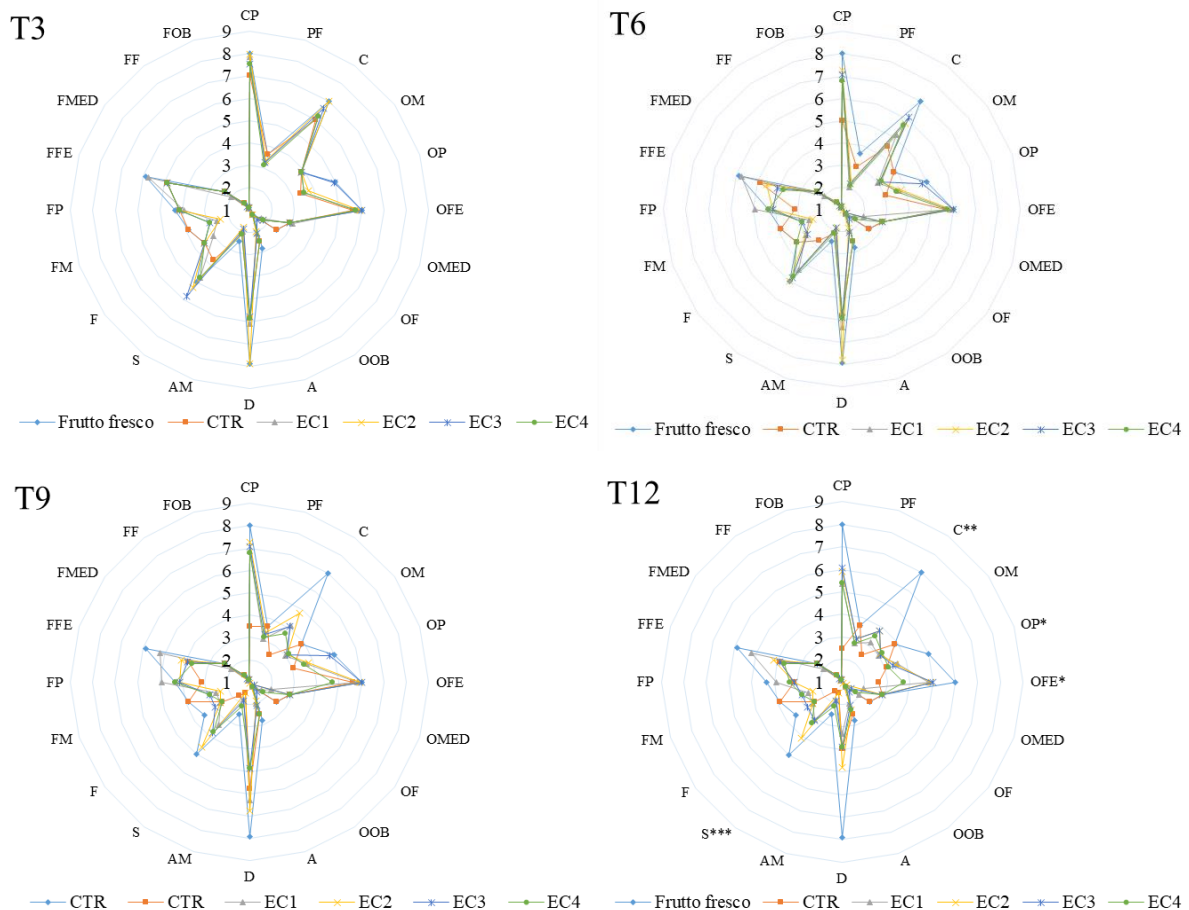


Figure 15 a, b, c, d, e: Profilo sensoriale a T0, T3, T6, T9 e T12. Legenda: colore della polpa (CP), presenza di filamenti (PF), consistenza (C), odore di mare (OM), odore di pesca (OP), odore di frutta esotica (OES), odore di medicinali (Omed), odore di formaggio (Ofmg), odore di olio bruciato (Oob), acidità (A), dolcezza (D), amaro (Am), succosità (S), farinosità (Fr), flavour di mare (FM), flavour di pesca (FP), flavour di frutti esotici (FES), flavour di medicinale (Fmed), flavour di formaggio (Ffmg) e, infine, flavour di olio bruciato (Fob).

Conclusioni

I nostri risultati hanno dimostrato che l'*edible coating* ha preservato i parametri di qualità dei frutti trattati. In particolare le fette di papaia hanno beneficiato del trattamento a base di gel di *Aloe vera* associato a CaCl_2 (trattamento EC2), mantenendo i più elevati valori in termini di peso, compattezza, SSC, AT e tasso di respirazione. A conferma di ciò, i dati ottenuti hanno messo in evidenza un ridotto decadimento qualitativo in termini di colore e, infine, i risultati dell'analisi sensoriale hanno mostrato che i giudici hanno preferito i campioni trattati durante tutto il periodo di conservazione, confermando che l'uso di *edible coating* non ha alterato il gusto naturale dei frutti di papaia.

Bibliografia

- Akhtar, A., Abbasi, N. A., & Hussain, A. Z. H. A. R. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 181-188.
- Alonso, J., & Alique, R. (2004). Influence of edible coating on shelf life and quality of "Picota" sweet cherries. *European Food Research and Technology*, 218(6), 535-539. DOI 10.1007/s00217-004-0908-3
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Baker, R. A. (1995). Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(6), 509-524. DOI:10.1080/10408399509527713
- Ball, J. A. (1997). Evaluation of two lipid-based edible coatings for their ability to preserve post-harvest quality of green bell peppers (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Bangerth, F. (1979). Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual review of phytopathology*, 17(1), 97-122.
- Batisse, C., Buret, M., & Coulomb, P. J. (1996). Biochemical differences in cell wall of cherry fruit between soft and crisp fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, 44(2), 453-457.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2013). Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 29-36.
- Biale, J. B. (1960). Respiration of fruits. *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, 12(Part II), 536-92.
- Brecht, J. K., Saltveit, M. E., Talcott, S. T., Schneider, K. R., Felkey, K., & Bartz, J. A. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. *Horticultural Reviews*, 30(30), 185-251. DOI: 10.1002/9780470650837.ch6
- Casati, D., & Baldi, L., (2009). Il settore della IV gamma e il suo sviluppo in Lombardia: gli aspetti economici. *BULLETTINO DELL'AGRICOLTURA. ATTI DELLA SOCIETÀ AGRARIA DI LOMBARDIA*, 148(3-4), 17-36.
- Castillo, S., Navarro, D., Zapata, P. J., Guillén, F., Valero, D., Serrano, M., & Martínez-Romero, D. (2010). Antifungal efficacy of Aloe vera in vitro and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality. *Postharvest Biology and technology*, 57(3), 183-188. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2010.04.006
- Colelli, G., & Elia, A. (2009). I prodotti ortofrutticoli di IV gamma: aspetti fisiologici e tecnologici. *Italus Hortus*, 16(1), 55-78.
- Conca, K. R., & Yang, T. C. S. (1993). Edible food barrier coatings. Activities report of the R and D Associates (USA). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 496-511.
- Cortez-Vega, W. R., Pizato, S., de Souza, J. T. A., & Prentice, C. (2014). Using edible coatings from Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) protein isolate and organo-clay nanocomposite for improve the conservation properties of fresh-cut 'Formosa' papaya. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 197-202.
- Demarty, M., Morvan, C., & Thellier, M. (1984). Calcium and the cell wall. *Plant, Cell & Environment*, 7(6), 441-448. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1984.tb01434.x
- Earle, R. D. (1968). U.S. Patent No. 3,395,024. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

- Erdemli, M. E., Akgul, H., Ege, B., Aksungur, Z., Bag, H. G., & Selamoglu, Z. (2017). The effects of grapeseed extract and low-level laser therapy administration on the liver in experimentally fractured mandible. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 24(2). DOI: 10.5455/jtomc.2016.12.131
- Farina, V., Gianguzzi, G., & Mazzaglia, A. (2016). Fruit quality evaluation of affirmed and local loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) cultivars using instrumental and sensory analyses. *Fruits*, 71(2), 105-113.
- Farina, V., Tripodo, L., Gianguzzi, G., Sortino, G., Giuffre, D., Cicero, U. L., ... & Collura, A. (2017). Innovative techniques to reduce chilling injuries in mango (*Mangifera Indica* L.) trees under mediterranean climate. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 823-828. DOI: 10.3303/CET1758138
- Ferguson, I. B. (1984). Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant, Cell & Environment*, 7(6), 477-489. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1984.tb01438.x
- García, J. M., Herrera, S., & Morilla, A. (1996). Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(1), 30-33. DOI: 10.1021/jf950334I
- Giacalone, G. (2015). Sistemi per prolungare la vita di scaffale di prodotti frutticoli di IV gamma. *Italus Hortus*, 22(3), 49-64.
- González-Aguilar, G. A., Ruiz-Cruz, S., Cruz-Valenzuela, R., Rodríguez-Félix, A., & Wang, C. Y. (2004). Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents. *LWT-Food Science and Technology*, 37(3), 369-376. DOI: 10.1016/j.lwt.2003.10.007
- Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A., Smith, P. J., & Thom, D. (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *FEBS letters*, 32(1), 195-198. DOI: 10.1016/0014-5793(73)80770-7
- Guillén, F., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Valero, D., Serrano, M., Castillo, S., & Martínez-Romero, D. (2013). Aloe arborescens and Aloe vera gels as coatings in delaying postharvest ripening in peach and plum fruit. *Postharvest biology and technology*, 83, 54-57. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.03.011
- Hamzah, H. M., Osman, A., Tan, C. P., & Ghazali, F. M. (2013). Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Postharvest Biology and Technology*, 75, 142-146. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2012.08.012
- Yaman, Ö., & Bayoındurlı, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *LWT-Food science and Technology*, 35(2), 146-150.
- Keshri, R. C., & Sanyal, M. K. (2009). Effect of sodium alginate coating with preservatives on the quality of meat patties during refrigerated (4±1°C) storage. *Journal of muscle foods*, 20(3), 275-292. DOI: 10.1111/j.1745-4573.2009.00147.x
- Kirkby, E. A., & Pilbeam, D. J. (1984). Calcium as a plant nutrient. *Plant, Cell & Environment*, 7(6), 397-405. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1984.tb01429.x
- Klein, B. P. (1987). Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables. *Journal of Food Quality*, 10(3), 179-193.
- Krochta, J.M. (2002). Protein as raw materials for films and coatings: Definitions, current status, and opportunities. In *Protein-Based Films and Coatings*, ed. A. Gennadios, pp. 1–41. Boca Raton, FL: CRC Press

- Lambert, R. J. W., Skandamis, P. N., Coote, P. J., & Nychas, G. J. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of applied microbiology*, 91(3), 453-462. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2001.01428.x
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y., & Choi, W. Y. (2003). Extending shelflife of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 36, 323e329. DOI: 10.1016/S0023-6438(03)00014-8
- Lerdthanangkul, S., & Krochta, J. M. (1996). Edible coating effects on postharvest quality of green bell peppers. *Journal of Food Science*, 61(1), 176-179.
- Li, S., Zhang, L., Liu, M., Wang, X., Zhao, G., & Zong, W. (2017). Effect of poly- ϵ -lysine incorporated into alginate-based edible coatings on microbial and physicochemical properties of fresh-cut kiwifruit. *Postharvest biology and technology*, 134, 114-121.
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food Science and Technology*, 38(6), 617-624. DOI: 10.1016/j.lwt.2004.08.007
- Mahajan, B. V. C., & Dhatt, A. S. (2004). Studies on postharvest calcium chloride application on storage behaviour and quality of Asian pear during cold storage. *J Food Agric Environ*, 2(3-4), 157-159.
- Mahmud, T. M. M., Al Eryani-Raqeeb, A., Omar, S. S., Zaki, A. M., & Abdul-Rahman, A. E. (2008). Effects of different concentrations and applications of calcium on storage life and physicochemical characteristics of papaya (*Carica Papaya L.*). *American Journal of Agricultural and Biological Science*.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Mignani, I., Diamantidis, G., & Tzavella-Klonari, K. (2005). The effect of preharvest calcium sprays on quality attributes, physicochemical aspects of cell wall components and susceptibility to brown rot of peach fruits (*Prunus persica L. cv. Andross*). *Scientia Horticulturae*, 107(1), 43-50.
- Marpudi, S.L., Abbirami, L.S.S., Pushkala, R. & Srividya, N. (2011). Enhancement of storage life and quality maintenance of papaya fruits using aloe vera based antimicrobial coating. *Indian Journal of Biotechnology*. 10: 83–89.
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93-100.
- Milani, J.M. & Sahraee, S. (2015). Functional edible coatings and films for fresh cut food products.
- Moline, H. E., Buta, J. G., & Newman, I. M. (1999). Prevention of browning of banana slices using natural products and their derivatives 1. *Journal of Food Quality*, 22(5), 499-511.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., & Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 42(1), 67-89.
- Nandal, U., & Bhardwaj, R. L. (2012). Aloe vera: a valuable wonder plant for food, medicine and cosmetic use—a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 13(1), 59-67.
- Narsaiah, K., Wilson, R. A., Gokul, K., Mandge, H. M., Jha, S. N., Bhadwal, S., ... & Vij, S. (2015). Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya L.*). *Postharvest Biology and Technology*, 100, 212-218.

- Ni, Y., Turner, D., Yates, K. M., & Tizard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of Aloe vera L. leaf pulp. *International immunopharmacology*, 4(14), 1745-1755.
- Nguyen, T.T., Parat, M.O., Hodson, M.P., Pan, J., Shaw, P.N. & Hewavitharana, A.K. (2015). Chemical characterization and in vitro cytotoxicity on squamous cell carcinoma cells of *Carica papaya* leaf extracts. *Toxins*, 8(1), 7.
- Noshad, M., Mohebbi, M., & Ansarifard, E. (2015). Quantification of enzymatic browning kinetics of quince preserved by edible coating using the fractal texture Fourier image. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(3), 375-381.
- O'Hare P. (1993) *Growing Papayas in South Queensland*. Brisbane: Queensland Governments. Department of Primary Industries.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., ... & Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest biology and Technology*, 50(1), 87-94.
- Osorio, F. A., Molina, P., Matiacevich, S., Enrione, J., & Skurtys, O. (2011). Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. *Procedia food science*, 1, 287-293.
- Paull, R. E. (1990). Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. *Chilling injury of horticultural crops*, 17-36.
- Paull, R. E., Nishijima, W., Reyes, M., & Cavaletto, C. (1997). Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest biology and technology*, 11(3), 165-179.
- Pimentel, R. M. D. A., & Walder, J. M. M. (2004). Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. *Scientia Agricola*, 61(2), 146-150.
- Poovalah, B. W., Glenn, G. M., & Reddy, A. S. N. (1988). Calcium and fruit softening: physiology and biochemistry. *Horticultural reviews*, 10, 107-152.
- Prajapati, H. N., Patil, R. K., & Shukla, Y. M. (2017). Studies on Biochemical Changes and Changes in Cell Wall Degrading Enzymes in Papaya Fruit Inoculated with *Colletotrichum demetium*. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 6(7), 1953-1961
- Rattanapanone, N., Lee, Y., Wu, T., & Watada, A. E. (2001). Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *HortScience*, 36(6), 1091-1095.
- Rohani, M. Y., Zaipun, M. Z., & Norhayati, M. (1997). Effect of modified atmosphere on the storage life and quality of Eksotika papaya. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 25, 103-114.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Rodríguez, F. J., Carmona, A. J., & Martín-Belloso, O. (2007). Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 118-127.
- Sahu, P. K., Giri, D. D., Singh, R., Pandey, P., Gupta, S., Shrivastava, A. K., ... & Pandey, K. D. (2013). Therapeutic and medicinal uses of Aloe vera: a review. *Pharmacology & Pharmacy*, 4(08), 599.

- Saltveit, M. E., & Morris, L. L. (1990). Overview on chilling injury of horticultural crops. Chilling injury of horticultural crops, 3-15.
- Selamoglu, Z., Dugun, C., Akgul, H., & Gulhan, M. F. (2017). In-vitro Antioxidant Activities of the Ethanolic Extracts of Some Contained-Allantoin Plants. Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR, 16(Suppl), 92.
- Shaheen, S.M. & Hasan, M.K. (2015). International Journal of Pharma Sciences and Scientific Research.
- Shuiliang, C., Zhende, Y., Laiye, L., MeiXue, L., Chen, S. L., Yang, Z. D., ... & Liu, M. X. (2002). Studies on freshness keeping technologies of loquat. South China Fruits, 31(5), 28-30.
- Sortino, G., Ingrassia, M., Allegra, A., & Inglese, P. (2013). Sensory evaluation and suitability for fresh-cut produce of white peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] 'Settembrina di Bivona'. In VIII International Peach Symposium 1084 (pp. 787-790). DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1084.107
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. Carbohydrate polymers, 137, 360-374.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. J., & Gonzalez-Martinez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. Critical reviews in food science and nutrition, 48(6), 496-511.
- Vidrih, R., Zavrtnik, M., & Hribar, J. J. (1997). Effect of low O₂, high CO₂ or added acetaldehyde and ethanol on postharvest physiology of cherries. In III International Cherry Symposium 468: 695-704.
- Wardlaw, C. W., Leonard, E. R., & Baker, R. E. D. (1934). Observations on the storage of various fruits and vegetables. Trop. Agric., Trin, 11, 9-11.
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. Annals of botany, 92(4), 487-511.
- Xiao, Z., Luo, Y., Luo, Y., & Wang, Q. (2011). Combined effects of sodium chlorite dip treatment and chitosan coatings on the quality of fresh-cut d'Anjou pears. Postharvest Biology and Technology, 62, 319-326.
- Yahia, E. M. (Ed.). (2011). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: fundamental issues. Elsevier.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., Pi-non- Segundo, E., & Zambrano-Zaragoza, J. F. (2017). The release kinetics of b-carotene nanocapsules/xanthan gum coating and quality changes in fresh-cut melon (cantaloupe). Carbohydrate Polymers, 157, 1874-1882
- Zapata, P. J., Navarro, D., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Serrano, M. (2013). Characterisation of gels from different Aloe spp. as antifungal treatment: Potential crops for industrial applications. Industrial crops and products, 42, 223-230.
- Zerpa-Catanho, D., Esquivel, P., Mora-Newcomer, E., Sáenz, M.V., Herrera, R. & Jiménez, V. M. (2017). Transcription analysis of softening-related genes during postharvest of papaya fruit (*Carica papaya* L., Pococí hybrid). Postharvest biology and technology, 125, 42-51.

Capitolo III

Effetto del trattamento con *edible coating* a base di olio essenziale di limone, gel di *Aloe vera* e hpmc, sulla qualità dei frutti di melo della varietà ‘Fuji’ in IV Gamma

Abstract

Il crescente interesse verso i prodotti ortofrutticoli sostenibili, nonché ad elevato valore nutrizionale, ha spinto i ricercatori ad indirizzare le loro ricerche verso dei trattamenti innovativi riguardanti la IV gamma, al fine di soddisfare la domanda del mercato. A tal fine, l’obiettivo del nostro lavoro è stato quello di valutare l’efficacia di tre nuovi *edible coating* naturali a base di gel di *Aloe vera* (AVG - 40%), olio essenziale di limone (LEO - 1%) e idrossipropil-metilcellulosa (HPMC - 0,1%), su frutti di mela ‘Fuji’ di IV gamma, e confrontarli con un campione di frutta non trattato (CTR). Durante la conservazione per 9 giorni alle basse temperature ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa - UR), sono state studiate le caratteristiche fisico-chimiche e sensoriali e individuati i composti prossimali presenti. I risultati hanno evidenziato l’efficacia dei trattamenti sulla riduzione della perdita di peso, del contenuto di solidi solubili e del colore delle fette di mela trattate, mentre si è assistito ad una rapida perdita di consistenza, imbrunimento e acidità titolabile, nelle fette di mela non trattate. Il trattamento AVG/HPMC ha rallentato significativamente i suddetti processi relativi alla perdita di qualità post-raccolta, mentre il trattamento AVG/LEO ha ritardato i processi di imbrunimento, mantenendo un colore eccellente durante la conservazione per 9 giorni; infine, la concentrazione dei composti prossimali non è stata alterata dalla presenza dei trattamenti e le analisi sensoriali non hanno rivelato alcun effetto negativo, eccetto per le fette di mela trattate con AVG/LEO, che evidenziava un leggero aroma di limone.

Introduzione

Il melo appartiene alla famiglia delle *Rosaceae* (genere *Malus*) che comprende circa una ventina di specie. Secondo studi paleobotanici e archeologici, era presente in numerosi areali già alla fine del Terziario (10 milioni di anni a.C.) con forme simili a quelle selvatiche oggi esistenti, quali *Malus sieboldiana* in Asia occidentale e *Malus docyniopsis* in America settentrionale. La maggior parte delle varietà di melo che ad oggi vengono coltivate appartengono alla specie *Malus domestica* Bork. (fig. 1), le quali sono utilizzate come portinnesti e come fonte di germoplasma per il miglioramento genetico, oltre che come piante ornamentali e, solo poche varietà, appartenenti ad un ristretto numero di gruppi policlonali, vengono coltivate per il consumo fresco e per l’industria (produzione di bevande alcoliche, estrazione di sidri, ecc).

La specie commestibile è *Malus domestica* (Borkh, 1760) e le sue origini si annoverano in un'area compresa tra l'Oceano Atlantico e il Mar Caspio (Angelini, 2008). Il melo, grazie alla sua adattabilità dovuta sia alla variabilità genetica che alle elevate proprietà nutritive, (ricco di acqua, sali minerali e vitamine) è una delle specie fruttifere più diffuse e coltivate a livello mondiale: i dati FAOSTAT (2016) confermano una produzione ad oggi di circa 89 milioni di tonnellate di mele. A livello mondiale una produzione maggiore spetta all'Asia, all' Argentina e al Brasile. Un ruolo di tutto rilievo occupa l'Europa con una produzione di 17 milioni di tonnellate.

Tra i Paesi della Comunità Europea il maggior produttore di mele è la Polonia con circa 3,6 milioni di tonnellate destinate quasi interamente all'industria, seguito dall'Italia con 2,5 milioni di tonnellate, la quasi totalità delle quali è indirizzata al consumo fresco. Qui la coltivazione del melo si estende dalle Alpi alle Isole maggiori; richiede un clima con temperature fredde, ma grazie alla sua caratteristica di adattabilità, è possibile coltivarlo anche in zone più calde. Una ricca produzione è tipica delle regioni Settentrionali, in particolare Valle d'Aosta, Piemonte, Veneto e soprattutto Trentino Alto Adige, che contribuisce con il 65% alla produzione globale italiana (Di Marco *et al.*, 2005). In Sicilia la coltivazione del melo è molto antica (Nicosia, 1735). I primi impianti risalgono agli anni '80 in zone collinari e montane dei monti Sicani e alle falde dell'Etna caratterizzate da inverni rigidi ed estati non eccessivamente calde e sono basati su varietà tradizionali (Farina, *et al.*, 2009). Nell'ultimo decennio grazie al rinnovamento varietale e alla modernizzazione di nuovi impianti, sono stati realizzati dei nuovi meleti sulle Madonie (PA) (750-850 m.s.l.m), in cui sono coltivate nuove varietà quali 'Fuji', 'Pink Lady' e 'Annurca', varietà tipiche del mercato meridionale. Il miglioramento genetico è indirizzato soprattutto al rinnovamento dei gruppi policlonali con l'introduzione di nuovi cloni migliorativi (Gregori *et al.*, 2015).

Tra i vari cloni, 'Fuji' è quella che ha generato l'interesse dei coltivatori in quanto le sue caratteristiche gustative quali, ad esempio, epicarpo sottile, croccantezza, succosità, consistenza della polpa, sapore, elevate dolcezza e acidità, rispondono alle richieste del consumatore (Della Casa *et al.*, 1997). 'Fuji' è una varietà diploide ottenuta da un'attività di miglioramento genetico effettuato in Giappone nel 1958 incrociando le cultivar 'Ralls Janet' e 'Red Delicious'. È stata immessa nel mercato del Paese di origine nel 1962 e, successivamente, si è espansa in altri paesi produttori di mele quali: Brasile, Stati Uniti, Nuova Zelanda, Cile, Argentina, Francia e Italia (Cassio, 1992; Mantingei, 1995).

Negli ultimi anni, contemporaneamente alla crescita dell'attenzione verso tecniche di gestione agronomica sostenibile dei frutteti, è cresciuta sempre di più l'attenzione verso tecniche innovative sostenibili in post-raccolta, al fine di limitare l'impatto sull'ambiente, lungo tutta la filiera produttiva (Parajuli, R., *et al.*, 2019). Infatti, per ridurre gli sprechi e limitare le perdite, i ricercatori studiano, tra le diverse tecniche di conservazione, l'uso di materiali edibili per creare *edible coating* che siano

al tempo stesso ecologici, sani e funzionali, con l'obiettivo di preservare la *Shelf-life* e mantenere elevate le caratteristiche qualitative durante lo stoccaggio e la distribuzione sul mercato (Carocho, M., *et al.*, 2014). Infatti, la perdita d'acqua, l'imbrunimento e la consistenza sono tra i più importanti parametri qualitativi che influenzano l'accettabilità di molti frutti da parte dei consumatori (Jobling, J.J., *et al.*, 1995). Per questi motivi l'attenzione dei ricercatori si concentra maggiormente su prodotti ortofrutticoli freschi e pronti al consumo (*ready to eat*), che sono maggiormente apprezzati dai consumatori, grazie alla loro freschezza, convenienza (come prodotto pronto al consumo) e ai benefici per la salute umana.

Per quanto riguarda i frutti di melo, uno dei disordini fisiologici più frequenti nel frutto intero è la cosiddetta "butteratura amara", comunemente associata alla bassa concentrazione di Ca e all'alta concentrazione di Mg nei suoi tessuti. Inoltre, quando viene sottoposta al taglio, è soggetta a imbrunimento enzimatico dovuto all'azione della polifenolossidasi sui composti fenolici, che causa cambiamenti indesiderati nell'aspetto, nel gusto e nella composizione dei nutrienti, portando ad una riduzione della qualità del prodotto finale (Wijewardane, R.M.N.A. & Guleria, S.P.S., 2009). Questi fenomeni limitano la conservabilità dei frutti con un conseguente aumento della produzione di rifiuti alla fine della catena di conservazione (Luo, Y. & Barbosa-Cánovas, G.V., 1997). A questo proposito, gli *edible coating* ne migliorano l'aspetto estetico e, di conseguenza, ne mantengono le caratteristiche qualitative durante tutto il periodo di conservazione (Ncama, K., *et al.*, 2018). Inoltre, incorporando ingredienti funzionali come antimicrobici e antiossidanti, può essere ridotto il rischio di contaminazione microbica (Valencia-Chamorro, S.A., *et al.*, 2011) mentre, i composti prossimali e nutraceutici possono aumentare. A questo proposito, molti minerali svolgono un ruolo vitale nei processi biologici e sono considerati importanti alleati nella prevenzione delle malattie croniche (Gorinstein, S., *et al.*, 2001). Di recente sono stati introdotti e studiati i biopolimeri come matrici di film commestibili, in combinazione con antimicrobici e antiossidanti estratti da diverse piante (Jimenez, A., *et al.*, 2012). Ad esempio, il rivestimento a base di cellulosa, è stato approfondito da molti autori (Park, H.J., *et al.*, 1993; Maftoonazad, N. & Ramaswamy, H.S., 2005; Sharif, Z.I.M., *et al.*, 2019).

L'idrossipropilmetilcellulosa (HPMC) è uno dei derivati della cellulosa più utilizzati (Fahs, A., *et al.*, 2010) che potrebbe essere additivato ad agenti antiossidanti e antimicrobici per realizzare rivestimenti commestibili applicabili su prodotti ortofrutticoli. Nella maggior parte dei casi, gli additivi naturali possono svolgere varie funzioni benefiche nella nutrizione umana e dare un valore aggiunto ai prodotti, riducendo a zero la produzione di scarti lungo la filiera agroalimentare (Carocho, M., *et al.*, 2014). Anche gli oli essenziali e il gel di *Aloe vera* sono ampiamente studiati come componenti naturali dei rivestimenti commestibili, sia su frutto intero che su IV gamma (Azevedo,

A.N., *et al.*, 2014; Ju, J. *et al.*, 2019; Aghaei, K., & Ghajarbeygi, P., 2019). L'incorporazione degli oli essenziali nei rivestimenti commestibili è stata descritta come una buona alternativa naturale per mantenere i composti bioattivi durante la conservazione (Hammer, K.A., *et al.*, 2003) e per preservare prodotti minimamente lavorati, come è avvenuto in studi riguardanti melone (Raybaudi-Massilia, R.M., *et al.*, 2008), mela (Rojas-Graü, M.A., *et al.*, 2007) o pera (Oms-Oliu, G., *et al.*, 2008) di IV gamma. Rojas-Graü, M.A., *et al.* (2007) hanno applicato olio di origano e vanillina in un rivestimento di purea di mele sulle fette di mela 'Fuji': il risultato è stato una significativa riduzione di O₂, mentre la produzione di CO₂ è stata osservata in campioni contenenti elevate concentrazioni di oli essenziali. Per quanto riguarda invece i rivestimenti commestibili a base di gel di *Aloe vera*, sono stati effettuati diversi studi sui parametri di qualità di frutti di melo in IV gamma e sottoposti a trattamenti con *edible coating*. Song, H.Y., *et al.* (2013) hanno ridotto le popolazioni di batteri, muffe e lieviti, e ritardato i processi di imbrunimento e senescenza. Chauhan, O.P., *et al.* (2011) hanno applicato rivestimenti in gel di gommalacca e *Aloe vera*, riducendo la respirazione e il tasso di sintesi dell'etilene, l'attività della polifenolossidasi e della perossidasi. Supapvanich, S., *et al.* (2016) hanno mantenuto i valori di luminosità della polpa e ritardato l'aumento dell'indice di imbrunimento e della variazione totale di colore nella mela 'Taaptimjaan'. Tuttavia, oggi non sono stati effettuati studi riguardanti l'effetto dell'applicazione di un rivestimento commestibile a base di gel di *Aloe vera* in combinazione con olio essenziale di limone e idrossipropil-metilcellulosa sulla superficie di fette di mela 'Fuji', come alternativa sostenibile ai prodotti sintetici.

Per questo motivo, lo scopo di questo lavoro è stato quello di determinare quanto i composti prossimali, le vitamine, le caratteristiche fisico-chimiche e quelle sensoriali delle fette di mela 'Fuji' di IV gamma siano stati influenzati dai trattamenti con tre differenti *edible coating* e simulando la conservazione commerciale.



Figura 1: *Malus domestica* Bork. Var. 'Fuji'.

Materiale & Metodi

1. *Materiale vegetale*

I frutti di melo 'Fuji' (fig. 2) sono stati selezionati e raccolti con calibro uniforme (250 ± 10 g) a maturazione commerciale nell'azienda biologica "Di Marco Luigi", sita vicino a Caltavuturo (PA) ($37^{\circ}49'07''N$ $13^{\circ}53'28''E$ e 633 m s.l.m.). Questa zona è caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo. Il terreno è di medio impasto tendente all'argilloso, con buona fertilità. Un altro aspetto importante è la quantità d'acqua accumulata nelle zone dei campi grazie alla presenza di numerosi rivoli d'acqua. Le piante sono disposte lungo singoli filari distanziati di 4 x 1,5 m, innestate su portinnesti M9 e sottoposte al regime colturale ordinario dell'agricoltura biologica.

I frutti sono stati trasportati nei laboratori del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali dell'Università di Palermo, dove sono stati sottoposti alla sperimentazione.



Figura 2: Selezione dei frutti di mela 'Fuji' per l'applicazione dei trattamenti.

2. *Estrazione del gel di Aloe vera*

Dalla pianta di *Aloe vera* sono state prelevate foglie mature dalle quali è stato estratto e centrifugato il parenchima gelatinoso rimuovendo l'epidermide esterna. Una volta centrifugato, il gel è stato filtrato per eliminare la porzione fibrosa. Sulla base di studi precedenti, la concentrazione massima da utilizzare nell'*edible coating*, oltre la quale l'accettazione sensoriale identifica il gusto amaro dell'*Aloe vera*, è stata stabilita al 40%. Pertanto, i trattamenti sono i seguenti:

- AVG: 40% di gel di *Aloe vera*;
- AVG/HPMC: 40% di gel di *Aloe vera* e 0,1% di HPMC (idrossipropil-metilcellulosa);
- AVG/LEO: 40% di gel di *Aloe vera* e 1% di LEO (olio essenziale di limone);
- CTR: campione non trattato, utilizzato come parametro di confronto.

Per prevenire l'imbrunimento e mantenere il valore del pH al di sotto di 3,5, alle soluzioni sono stati aggiunti l'1% di acido ascorbico e l'1% di acido citrico.

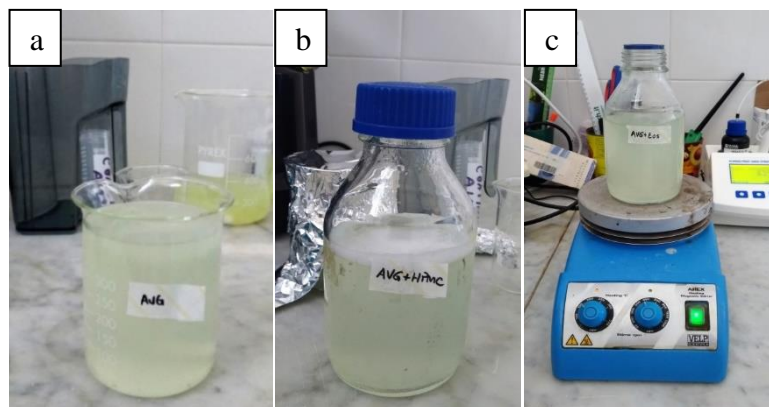


Figura 3 a, b e c: Trattamento AVG (a), trattamento AVG/HPMC (b), trattamento AVG/LEO (c).

3. *Disegno sperimentale*

Le mele ‘Fuji’ sono state sbucciate e tagliate in 8 fette con un coltello in acciaio inossidabile. Il campione totale di fette di mela (144) è stato diviso in quattro diversi lotti di 36 fette e sottoposti a tutti i trattamenti con tecnica *spraying* per 2 minuti, per mezzo di un aerografo (0,8 mm di ugello) alimentato da N₂ (fig. 4). Trentasei fette sono state rivestite con solo gel di *Aloe vera* (AVG), 36 con trattamento AVG/HPMC e 36 con trattamento AVG/LEO. Le ultime 36 fette di mela non sono state trattate, ma sono state direttamente conservate come campione di controllo (CTR). In ogni vaschetta in PET (polietilentereftalato) sono state poste tre fette di mela (12 per trattamento). Dopo i trattamenti sono state conservate a 4±1°C e 90±5% UR. Tutte le analisi sono state effettuate in tre repliche e ad un intervallo di tre giorni per nove giorni totali di conservazione (T0, T3, T6 e T9). Inoltre le analisi sono state effettuate in tutte le vaschette a partire dal giorno 0 di conservazione, pertanto, i valori a T0 dei campioni trattati, sono influenzati dall'aggiunta dell'*edible coating*.



Figura 4: Applicazione *edible coating* mediante tecnica *spraying*.

4. *Analisi fisico-chimiche*

4.1. *Calo peso*

Il valore di perdita di peso è stato espresso in percentuale relativa e calcolato come segue:

$$\text{perdita di peso (\%)} = (w_i - w_t)/w_i \times 100$$

dove w_i è il peso iniziale e w_t è il peso misurato durante la conservazione.

4.2. Colore della polpa

Il colore superficiale delle mele in IV gamma è stato analizzato con un colorimetro pre-calibrato (CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Giappone). Sono stati presi in considerazione i parametri CIEL*a*b*: luminosità (L^*), tendenza al rosso (a^*) e tendenza al giallo (b^*). Sono state effettuate tre misurazioni di una fetta di mela in diversi punti di ogni campione per acquisire una misurazione uniforme del colore.

4.3. Consistenza

La consistenza della polpa (N) è stata determinata mediante un penetrometro digitale TR5325 (Turoni, Forlì Italia).

4.4. Contenuto in solidi solubili

Dopo l'estrazione del succo di mela con centrifuga è stato misurato il contenuto di solidi solubili (SSC), espresso in °Brix, per mezzo di un rifrattometro digitale ottico ATAGO (Atago Co, Ltd, Tokyo, Giappone).

4.5. Acidità titolabile e pH

L'acidità titolabile (TA), espressa come acido malico (g/l-1) e il valore del pH, con un pHmetro a titolatore Crison Compact (Crison Instruments, SA, Barcellona, Spagna).

5. Analisi dei composti prossimali

Il contenuto in ceneri (ASH) è stato determinato con la procedura descritta in AOAC (AOAC, 1985a, 1985b, 1985c, 1985d, 1985e) mentre per la determinazione delle proteine è stato utilizzato il metodo Kjeldahl. In particolare, una parte del campione è stato sottoposto a mineralizzazione catalizzata con acido per trasformare l'azoto organico in azoto ammoniacale e successivamente è stato distillato a pH alcalino. L'ammoniaca formatasi durante questa distillazione è stata raccolta in una soluzione di acido bórico e determinata per titolazione. Il valore ottenuto è stato moltiplicato per 6,25 (Palazzolo, E., *et al.*, 2012). Il contenuto in grassi (FAT) è stato ottenuto mediante idrolisi acida con una soluzione di HCl con un rapporto di 1:4, seguita da filtrazione e posto in stufa (70 °C). Il contenuto in carboidrati (STG), sia semplici che complessi, è stato ottenuto con il metodo dell'antrone riportato da Loews (1952). I carboidrati sono stati prima idrolizzati in zuccheri semplici utilizzando acido cloridrico diluito. Nell'acido il glucosio si trasforma in idrossimetil furfurolo, che con l'antrone forma un prodotto di colore verde con un massimo di assorbimento a 630 nm. Il contenuto di K, Na, Ca, Fe, Fe, Cu, Cu, Mn e Zn è stato determinato utilizzando la spettroscopia di assorbimento atomico a seguito di mineralizzazione a umido, (Morand, P., & Gullo, J.L., 1970). I livelli di fosforo sono stati

determinati con il metodo colorimetrico (Fogg, D.N., *et al.*, 1958). Il metodo Folin-Ciocalteu è stato utilizzato per determinare il contenuto totale di polifenoli. Metodo chimico enzimatico delle fibre totali, solubili e insolubili 1995 (AOAC 994.13).

6. *Analisi delle vitamine*

La riboflavina (vitamina B2) è stata estratta in autoclave con una soluzione di H₂SO₄ diluito e successivamente, dopo il trattamento enzimatico, è stato determinato attraverso HPLC (per gli spettri fluorescenti) (AOAC, 1985b). Per la determinazione dell'acido ascorbico (vitamina C), l'estratto metanolico essiccato (100 mg) è stato estratto con 10 mL di acido metafosforico all'1% per 45 minuti a temperatura ambiente e filtrato attraverso la carta da filtro Whatman No. 4. Il filtrato (1 mL) è stato mescolato con 9 mL di 2,6-diclorofenolindofenolo e l'assorbanza è stata misurata entro 30 minuti a 515 nm. L'acido ascorbico è stato calcolato sulla base della curva di taratura dell'autentico acido L-ascorbico (0,02-0,12 mg mL⁻¹) (Rapisarda, P. *et al.*, 1996).

7. *Analisi sensoriale*

L'analisi sensoriale è stata effettuata da un gruppo di 15 giudici. I membri del panel test sono stati formati utilizzando diversi campioni di mela per riconoscere gli attributi di aroma, sapore e consistenza durante la sessione di formazione, utilizzando riferimenti a prodotti e ingredienti. Sono stati presi in considerazione venti descrittori qualitativi e quantitativi: aspetto (A), colore della polpa (CP), consistenza (C), odore di mela (OM), odore erbaceo (OE), odore di miele (OML), odore di mandorla (OMD), off-odour (OO), dolcezza (D), acidità (A), amaro (AM), astringente (AS), croccantezza (CR), farinosità (F), succosità (S), flavour di mela (FM), flavour erbaceo (FE), flavour di miele (FML), flavour di mandorle (FMD), off-flavour (OF), valutazione complessiva (VC). I giudici hanno valutato l'intensità di ogni attributo su una scala discontinua da 1 (assenza del descrittore) a 9 (intensità massima del descrittore).

8. *Analisi statistica*

I dati sono stati presentati come media \pm deviazione standard (DS) e analizzati con il test Tukey a $p \leq 0,05$. Tutte le analisi statistiche sono state condotte utilizzando il software XLSTAT versione 9.0 (Addinsoft, Parigi, Francia).

Risultati e Discussione

1. Analisi fisico-chimiche

Durante la conservazione, c'è stata una differenza significativa di perdita di peso tra le fette di mela non trattate (CTR) e quelle trattate (tab. 1). Dopo 9 giorni di conservazione, il peso delle mele non trattate e di quelle trattate con AVG è diminuito del 4,98% e del 2,92% rispettivamente, mentre la perdita di peso delle fette di mela trattate con AVG/HPMC e AVG/LEO è stata rispettivamente dell'1,50% e dell'1,56%. Questi risultati indicano che i trattamenti AVG/HPMC e AVG/LEO hanno ridotto al minimo la perdita di peso mantenendo il contenuto di acqua nelle fette di mela. Infatti, questa perdita di peso è probabilmente causata dall'evaporazione dell'acqua dalla superficie della frutta ed è una delle principali cause di perdita di qualità, come l'avvizzimento della polpa e la riduzione della succosità (Schupp, J.R., *et al.*, 2002; Palazzolo, E., *et al.*, 2012). Tuttavia, non ci sono molti studi disponibili in letteratura riguardanti la miscela di HPMC con gel di *Aloe vera* e olio essenziale di limone per formare pellicole commestibili, da confrontare con i nostri dati. Bai, J. *et al.* (2003) hanno anche evidenziato che alcuni rivestimenti a base di cere sono stati efficaci nel prevenire la perdita di peso nelle mele. In particolare, il rivestimento commestibile a base di gel di *Aloe vera* agisce come una barriera molto efficiente per l'ossigeno, l'anidride carbonica e i lipidi, ma con una scarsa resistenza al trasporto del vapore acqueo (Martinez-Romero, D., *et al.*, 2006). Alla luce di ciò, Klangmuang & Sothornvit (2016) hanno combinato il gel di *Aloe vera* con altri polisaccaridi per ridurre la permeabilità al vapore acqueo, mentre Velickova *et al.* (2013) hanno applicato un *edible coating* a base di cera d'api e additivato di chitosano, su frutti di fragola. Pellicole e rivestimenti commestibili a base di HPMC, invece, sono stati ampiamente studiati per migliorare la conservabilità e la qualità degli agrumi: Navarro-Tarazaga *et al.*, (2008), e Perez-Gago *et al.*, (2002) hanno contribuito a mantenere la qualità dei frutti riducendo la perdita di peso e migliorandone l'integrità della superficie. L'HPMC è stato anche studiato in combinazione con diversi componenti, come gli acidi grassi (Gorinstein, S., *et al.*, 2001) o le nano-particelle di cellulosa (Bilbao-Sainz, C., *et al.*, 2011), ma mai con gel di *Aloe vera*. Infatti, sulle mele in IV gamma, è stato studiato solo l'effetto del rivestimento commestibile a base di HPMC, proteine del siero di latte e cera d'api (Baldwin, E.A., *et al.*, 2011).

Invece, per quanto riguarda l'uso dell'olio essenziale di limone additivato agli *edible coating*, Perdones A., *et al.*, (2012) hanno applicato un rivestimento commestibile a base di chitosano e olio essenziale di limone su fragole della cv. 'Camarosa' e hanno trovato differenze significative, rispetto alla frutta non trattata, in quanto la frequenza respiratoria dei campioni veniva rallentata quando veniva aggiunto l'olio essenziale di limone alla miscela di *edible coating*.

Tabella 1: Evoluzione della perdita di peso (g) di mele fresche tagliate a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a $4^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa dopo tutti i trattamenti. I dati corrispondono alla media \pm deviazione standard di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a $p \leq 0,05$ utilizzando il test di Tukey. La lettera maiuscola diversa indica differenze significative tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Perdita di peso (g)				
Trattamenti	Giorni di conservazione			
	0	3	6	9
CTR	44.14 \pm 0.73 Ba	42.62 \pm 0.74 Cab	42.10 \pm 0.80 Cab	41.94 \pm 0.85 Cb
AVG	48.89 \pm 0.54 Aa	48.64 \pm 0.46 Aa	47.85 \pm 1.16 Aa	47.47 \pm 0.97 Aa
AVG/HPMC	45.38 \pm 0.82 Ba	45.13 \pm 1.10 Ba	44.92 \pm 1.05 Ba	44.70 \pm 0.95 Ba
AVG/EOs	44.78 \pm 0.65 Ba	44.35 \pm 0.80 BCa	44.10 \pm 0.84 BCa	44.08 \pm 0.94 BCa

Per quanto riguarda i parametri del colore (tab. 2), i valori iniziali L^* , a^* e b^* delle fette di mela erano rispettivamente $78,28\pm 1,41$, $-4,01\pm 0,86$ e $34,44\pm 0,55$. Il valore L^* e il valore a^* diminuiscono e aumentano rispettivamente durante la conservazione, in accordo con i risultati ottenuti da Iglesias, Echeverría, e Lopez (2012) e Marquina *et al.* (2004).

Dal sesto giorno di conservazione, i valori di a^* diminuiscono sia per i campioni trattati che per quelli non trattati (CTR), ma solo il trattamento AVG/HPMC ha mantenuto un valore costante fino al nono giorno di conservazione. Questa tendenza a valori positivi, cioè tendenti al rosso, è stata associata ad un aumento dell'azione dell'enzima polifenolossidasi che determina l'imbrunimento della polpa e una perdita di qualità del frutto (Hayat, L., *et al.*, 2005). Per quanto riguarda il parametro b^* non sono state riscontrate differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i frutti trattati e quelli non trattati.

Solo due formulazioni di rivestimento (AVG/HPMC e AVG/LEO) hanno portato ad una significativa riduzione della perdita di colore, in termini di luminosità (L^*) e di imbrunimento (a^*), rispetto alle fette di mela non trattate (CTR) e al trattamento AVG, che subiscono un rapido deterioramento del colore. Il gel di *Aloe vera* sembra rallentare il processo di maturazione e ridurre il tasso di respirazione delle fette di mela (Martínez-Romero, D., *et al.*, 2006).

D'altra parte, la lucentezza e la trasparenza degli *edible coating* sono proprietà rilevanti in quanto hanno un impatto diretto sull'aspetto del prodotto trattato. In generale, differenze significative sono state associate alla natura e alla quantità dell'olio essenziale. Sánchez-González, L., *et al.* (2011) hanno osservato che l'aggiunta di olio essenziale alla matrice HPMC riduce la luminosità (L^*), nonostante la concentrazione. Infatti, la riduzione della lucentezza nei film contenenti lipidi è stata osservata anche da altri autori (Sánchez-González, L., *et al.*, 2011; Trezza, T.A., *et al.*, 2000). Inoltre, lo stato amorfo dell'HPMC (riportato da Kou *et al.* - 2011 - attraverso l'analisi della diffrazione dei raggi X) ha permesso di limitare la cristallizzazione del rivestimento sulla superficie della fetta di mela, mantenendo quasi inalterate le proprietà di lucentezza e trasparenza dell'*edible coating*. Rojas-Graü *et al.* (2007) hanno ricoperto le fette di mela con un *edible coating* a base di alginato e oli

essenziali di origano, citronella e vanillina, mostrando variazioni di colore significativamente minori rispetto al controllo. A conferma di ciò, nel nostro caso, l'*edible coating* arricchito con olio essenziale di limone ha mostrato valori di alterazione del colore della polpa inferiori rispetto al controllo.

Tabella 2: Evoluzione dei valori di luminosità (L^*), imbrunimento (a^*) e doratura (b^*). I dati corrispondono ai valori medi \pm deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere differenti sono significativamente diversi a $p \geq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Trattamenti	Giorni di conservazione	L^*	a^*	b^*
CTR	0	78.28 \pm 1.41 Aa	-4.01 \pm 0.86 Aa	34.44 \pm 0.55 Aa
	3	75.37 \pm 1.15 Bab	-1.42 \pm 0.46 Bb	34.34 \pm 1.23 Aa
	6	73.32 \pm 0.77 Bb	-0.89 \pm 0.97 Bbc	33.83 \pm 1.35 Aa
	9	73.24 \pm 0.85 Bb	0.05 \pm 0.68 Cc	33.47 \pm 0.52 Aa
AVG	0	78.42 \pm 0.81 Aa	-3.75 \pm 0.62 Aa	30.75 \pm 2.54 Ba
	3	76.38 \pm 1.46 ABb	-3.39 \pm 0.29 Aa	30.49 \pm 0.91 Ba
	6	75.70 \pm 0.33 ABb	-2.18 \pm 0.98 ABb	30.30 \pm 2.28 Ba
	9	75.28 \pm 1.66 ABb	-0.73 \pm 0.68 Bc	30.02 \pm 1.15 Ba
AVG/HPMC	0	78.57 \pm 0.35 Aa	-3.59 \pm 0.81 ABa	31.09 \pm 0.76 Ba
	3	78.27 \pm 0.46 Aa	-3.54 \pm 0.52 Aa	30.26 \pm 0.43 Ba
	6	76.93 \pm 0.19 Ab	-2.42 \pm 0.34 Ab	29.57 \pm 1.53 Ba
	9	76.78 \pm 0.43 Ab	-2.15 \pm 0.12 Ab	27.23 \pm 1.74 Cb
AVG/LEO	0	77.84 \pm 0.31 Aa	-3.27 \pm 0.47 Ba	29.24 \pm 0.66 Ba
	3	77.58 \pm 0.22 ABa	-2.89 \pm 0.41 ABab	28.66 \pm 0.69 Ba
	6	76.37 \pm 0.76 ABb	-1.99 \pm 0.37 ABb	28.56 \pm 2.06 Ba
	9	76.26 \pm 0.63 ABb	-0.77 \pm 0.33 Bc	28.41 \pm 2.43 BCa

Il trattamento AVG/LEO limita, soprattutto durante i primi sei giorni di stoccaggio, la perdita di consistenza (N) rispetto al CTR, mentre i trattamenti AVG e AVG/HPMC non sembrano avere un effetto migliorativo su questo parametro (fig. 5). Questi dati sono in accordo con Hye-Yeon Song (2013), secondo il quale l'*edible coating* ha permesso di mantenere una consistenza costante della polpa della mela rispetto ai frutti non trattati. Le differenze tra i risultati osservati in questo lavoro si basano sull'elevato valore iniziale di consistenza delle fette di mela, in quanto questa varietà ha caratteristiche intrinseche di compattezza (Rojas-Graü, M. A., *et al.*, 2007).

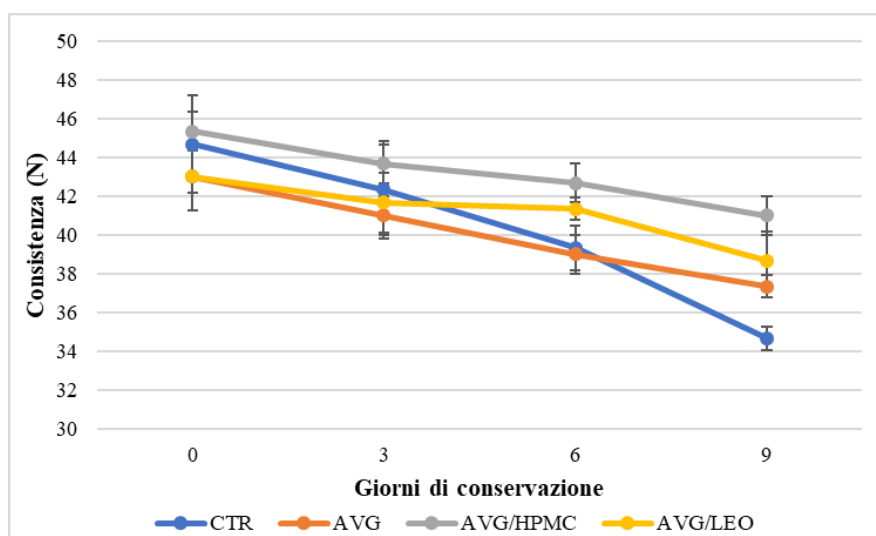


Figura 5: Evoluzione dei valori di consistenza (N) di mela 'Fuji' in IV gamma trattata con tre *edible coating* e confrontata con un campione non trattato (CTR). Valori registrati a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a 4 ± 1 °C e $90\pm 5\%$ UR. I valori indicano la media, e le barre indicano le deviazioni standard (DS) delle repliche (n = 3).

Per quanto riguarda i risultati ottenuti per il contenuto di solidi solubili (CSS), l'acidità titolabile e il pH (tab. 3), sia i tre trattamenti che il CTR seguono la stessa evoluzione. In particolare, il trattamento AVG/LEO è stato in grado di limitare la perdita del contenuto di solidi solubili già a partire dai primi tre giorni di conservazione, mantenendo questo comportamento fino all'ultimo giorno di analisi (T9). Gli altri due trattamenti non differiscono dal controllo. Studi riguardanti l'aumento del contenuto di solidi solubili durante la conservazione di frutti di mela (Jha, S.N. *et al.*, 2012), confermano che questo comportamento potrebbe essere attribuito al fatto che i polisaccaridi insolubili vengono idrolizzati in acido mono- e di-saccaride e l'acido malico viene consumato dal frutto per il metabolismo durante la conservazione (Hussain, P.R., *et al.*, 2012). Inoltre, il rivestimento sembra diminuire la permeabilità a O₂ e CO₂, con il risultato di una diminuzione del tasso di respirazione delle mele (Bai, J. *et al.*, 2003). Il CSS permette di valutare la concentrazione di zuccheri che, correlati all'acidità titolabile (AT), fornisce un utile feedback sulla soddisfazione da parte del consumatore. Insieme a questi, i nostri risultati indicano che gli *edible coating* con HPMC e LEO, applicati sulle fette di mela sono stati efficaci rispetto al trattamento AVG e al CTR durante i 9 giorni di conservazione.

L'acidità titolabile (AT) e il pH sono importanti per valutare la qualità dei prodotti ortofrutticoli e sono fortemente correlati perché il valore del pH dipende dalla presenza di composti acidi. Come si può vedere dalla tabella 3, il trattamento con *edible coating* ha rallentato l'incremento del pH e, di conseguenza, ha stabilizzato i valori di acidità titolabile (AT). Inoltre, il fatto che i frutti trattati avevano un pH intorno a 3,7 è un aspetto interessante in quanto, a questo valore di pH, sia la polifenolossidasi che le attività microbiche sono rallentate (Rocha, A.M.C.N. & Morais, A.M.M.B., 2003). Il contenuto di acidi nel frutto tende a diminuire nel tempo probabilmente a causa dei processi di maturazione del frutto (Islam, M., *et al.*, 2013). Le fette di mela trattate con AVG/LEO avevano valori di AT più elevati rispetto ai frutti sottoposti agli altri trattamenti. Questo comportamento potrebbe essere associato alla decelerazione dei processi di respirazione o alla presenza di acido citrico, che aiuta a preservare la qualità dei frutti. Rispetto ad altri studi, i risultati su pH e AT ottenuti con l'applicazione di HPMC e LEO sono stati positivi, soprattutto rispetto ai frutti non trattati o trattati con solo AVG. Come riportano Soares e Fonseca (2008), fattori intrinseci ed estrinseci come il trattamento, la varietà e le condizioni di conservazione sono essenziali per determinare il grado di variazione dell'acidità. Quest'ultimo ha avuto la tendenza opposta all'evoluzione del pH messa in evidenza da altri autori (Oms-Oliu, *et al.*, 2008; Olivas, G.I., *et al.*, 2007; Zambrano-Zaragoza, M.L., *et al.*, 2014).

Tabella 3: Evoluzione del contenuto in solidi solubili (CSS), dell'acidità titolabile (AT) e del pH di mela 'Fuji' in IV gamma trattata con tre differenti *edible coating* e confrontata con un campione di controllo, conservata per 9 giorni a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ UR. I dati corrispondono ai valori medi \pm deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere differenti sono significativamente diversi a $p\geq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative ($p\leq 0,05$) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative ($p\leq 0,05$) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Trattamenti	Giorni di conservazione	CSS ($^\circ\text{Brix}$)	AT (g a. malico/L)	pH
CTR	0	14.33 \pm 0.58 Aa	0.10 \pm 0.02 ns	3.97 \pm 0.06 ns
	3	12.33 \pm 0.40 Aa	0.10 \pm 0.02 ns	3.93 \pm 0.06 ns
	6	11.63 \pm 0.40 Aa	0.10 \pm 0.02 ns	3.97 \pm 0.06 ns
	9	10.33 \pm 0.30 Aa	0.16 \pm 0.01 ns	3.97 \pm 0.06 ns
AVG	0	14.33 \pm 0.58 Aa	0.10 \pm 0.02 ns	3.97 \pm 0.06 ns
	3	12.23 \pm 0.76 Aab	0.10 \pm 0.02 ns	3.97 \pm 0.06 ns
	6	10.67 \pm 0.58 Ab	0.10 \pm 0.02 ns	3.93 \pm 0.06 ns
	9	10.17 \pm 0.65 Ab	0.16 \pm 0.01 ns	3.83 \pm 0.06 ns
AVG/HPMC	0	14.33 \pm 0.58 Aa	0.10 \pm 0.01 ns	3.97 \pm 0.06 ns
	3	11.77 \pm 0.25 Aa	0.10 \pm 0.02 ns	3.93 \pm 0.06 ns
	6	10.40 \pm 0.53 Ab	0.10 \pm 0.02 ns	3.87 \pm 0.06 ns
	9	9.27 \pm 0.64 Ab	0.16 \pm 0.02 ns	3.83 \pm 0.06 ns
AVG/LEO	0	14.33 \pm 0.58 Aa	0.10 \pm 0.02 ns	3.97 \pm 0.06 ns
	3	12.67 \pm 0.29 Aab	0.10 \pm 0.02 ns	3.80 \pm 0.00 ns
	6	12.13 \pm 0.29 Ab	0.10 \pm 0.01 ns	3.80 \pm 0.00 ns
	9	11.83 \pm 0.29 Ab	0.16 \pm 0.02 ns	3.73 \pm 0.06 ns

2. Analisi dei composti prossimali

Per quanto riguarda i composti prossimali (tab. 4 e 5), tutti i campioni hanno evidenziato valori simili a quelli riscontrati nel database dei nutrienti USDA durante il periodo di conservazione. I risultati mostrano che i campioni contenevano un'elevata variabilità di composti prossimali in tutti i trattamenti e nel CTR durante i 9 giorni di conservazione. Altri studi (Gorinstein, S., *et al.*, 2001; Henríquez, C., *et al.*, 2010) hanno associato questo comportamento alle diverse cultivar studiate, alle condizioni di coltivazione e alla metodologia utilizzata per determinare questi composti. L'aumento dei valori durante il periodo di stoccaggio, è probabilmente dovuto alla riduzione del contenuto d'acqua e strettamente legato alla perdita di peso. Ca, K e P insieme ad un basso apporto di Na, sono associati alla protezione contro la demineralizzazione ossea, l'ipertensione arteriosa, la resistenza all'insulina e il rischio cardiovascolare complessivo (Segura, R., *et al.*, 2006). Nel nostro studio i valori più elevati sono stati riscontrati nel trattamento AVG/HPMC, seguito da CTR, AVG/LEO e AVG; per quanto riguarda gli elementi essenziali (Mn, Zn, Cu, Fe), coinvolti in molti processi biochimici, non ci sono differenze significative tra i trattamenti e il campione CTR.

Tabella 4: Evoluzione del contenuto in Ca, K, Na, P, P, Mn, Zn, Cu e Fe in mele fresche tagliate a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ RH dopo tutti i trattamenti. I dati corrispondono alla media \pm deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a $p\leq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative ($p\leq 0,05$) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative ($p\leq 0,05$) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Trattamenti	Giorni di conservazione	Ca g/100g s.s.	%	K g/100g s.s.	%	Na g/100g s.s.	%	P g/100g s.s.	%
CTR	0	7.028 ± 0.001	Aba	136.667 ± 29.023	Ab	1.014 ± 0.576	Aa	11.009 ± 1.943	Cb
	3	7.310 ± 0.001	Ba	138.012 ± 23.680	Ab	1.345 ± 0.579	Aa	12.667 ± 2.887	Cb
	6	7.027 ± 0.001	Ba	149.667 ± 18.339	Ca	1.347 ± 0.579	Aa	15.078 ± 1.000	Ba
	9	7.030 ± 0.001	Ba	149.667 ± 18.339	Ca	1.330 ± 0.577	Ba	15.099 ± 1.000	Ba
AVG	0	6.000 ± 0.764	Bb	133.667 ± 4.509	ABb	1.002 ± 0.500	Aa	12.089 ± 1.052	Bb
	3	6.833 ± 0.634	Bab	134.011 ± 7.550	Bb	1.045 ± 0.500	Aa	13.667 ± 1.528	Bb
	6	7.020 ± 0.001	Ba	154.333 ± 10.599	Ba	1.330 ± 0.560	Aa	15.333 ± 0.577	Ba
	9	7.019 ± 0.001	Ba	157.333 ± 8.021	Ba	1.348 ± 0.579	Ba	15.337 ± 0.577	Ba
AVG+HPMC	0	8.000 ± 0.488	Ac	123.333 ± 15.567	Cb	1.032 ± 0.577	Aa	12.023 ± 1.289	Bb
	3	8.333 ± 0.577	Ac	125.002 ± 13.550	Cb	1.023 ± 0.574	Aa	12.333 ± 0.577	Cb
	6	9.667 ± 0.577	Ab	186.010 ± 11.533	Aa	1.330 ± 0.454	Aa	18.095 ± 2.000	Aa
	9	13.001 ± 1.732	Aa	192.000 ± 7.000	Aa	2.000 ± 0.967	Ab	19.333 ± 1.155	Aa
AVG+LEO	0	6.009 ± 0.576	Bb	129.667 ± 4.509	Bc	1.000 ± 0.544	Aa	13.667 ± 1.052	Ac
	3	6.333 ± 0.577	Cb	134.010 ± 3.020	Bb	1.346 ± 0.579	Aa	15.015 ± 1.528	Ab
	6	6.667 ± 0.577	Cab	138.333 ± 1.528	Db	1.333 ± 0.577	Aa	15.333 ± 0.577	Bb
	9	7.002 ± 0.563	Ba	157.333 ± 8.021	Ba	1.667 ± 0.576	Ab	16.667 ± 1.155	ABa
Trattamenti	Giorni di conservazione	Mn g/100g s.s.	%	Zn g/100g s.s.	%	Cu g/100g s.s.	%	Fe g/100g s.s.	%
CTR	0	0.031 ± 0.001	Bb	0.030 ± 0.006	Aa	0.291 ± 0.001	Aa	0.150 ± 0.026	Ac
	3	0.029 ± 0.001	Bb	0.033 ± 0.006	Ba	0.031 ± 0.001	Aa	0.177 ± 0.026	Ab
	6	0.042 ± 0.024	Aa	0.033 ± 0.006	Ba	0.036 ± 0.002	Aa	0.177 ± 0.025	Bb
	9	0.047 ± 0.030	Aa	0.033 ± 0.006	Ba	0.037 ± 0.002	ABa	0.180 ± 0.025	Ba
AVG	0	0.037 ± 0.006	Aa	0.033 ± 0.040	Aa	0.031 ± 0.001	Ab	0.137 ± 0.026	Bc
	3	0.040 ± 0.010	Aa	0.037 ± 0.040	Ab	0.033 ± 0.001	Ab	0.140 ± 0.015	Cc
	6	0.042 ± 0.010	Aa	0.041 ± 0.006	Aa	0.042 ± 0.002	Aa	0.193 ± 0.012	Ab
	9	0.047 ± 0.010	Aa	0.044 ± 0.006	Aa	0.043 ± 0.006	Bb	0.200 ± 0.000	Aa
AVG+HPMC	0	0.030 ± 0.006	Bb	0.293 ± 0.006	Aa	0.030 ± 0.001	Ab	0.150 ± 0.026	Bb
	3	0.033 ± 0.006	Bb	0.031 ± 0.006	Ba	0.033 ± 0.002	Ab	0.153 ± 0.035	Bb
	6	0.033 ± 0.006	Bb	0.034 ± 0.006	Ba	0.035 ± 0.002	Bb	0.200 ± 0.035	Aa
	9	0.041 ± 0.021	Aa	0.035 ± 0.006	Ba	0.040 ± 0.006	Aa	0.200 ± 0.042	Aa
AVG+LEO	0	0.033 ± 0.006	Bb	0.030 ± 0.004	Ab	0.030 ± 0.001	Aa	0.140 ± 0.026	ABb
	3	0.037 ± 0.006	ABab	0.037 ± 0.005	Aab	0.031 ± 0.001	Aa	0.143 ± 0.006	Cb
	6	0.041 ± 0.021	Aa	0.039 ± 0.006	Aa	0.033 ± 0.003	Ba	0.190 ± 0.009	Aa
	9	0.043 ± 0.021	Aa	0.040 ± 0.006	Aa	0.033 ± 0.006	Ba	0.200 ± 0.010	Aa

Tabella 5: Acqua, Proteine, Grassi, Carboidrati, Zuccheri, Fibre e polifenoli totali in mele fresche tagliate a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a 4[±]1°C e 90[±]5%RH dopo tutti i trattamenti. I dati corrispondono alla media ± deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a p≤0,05 usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative (p≤0,05) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative (p≤0,05) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Trattamenti	Giorni di conservazione	Acqua g/100g s.s.	%	Proteine g/100g s.s.	%	Grassi g/100g s.s.	%	Carboidrati g/100g s.s.	%
CTR	0	83.650 ± 0.260	Ab	0.220 ± 0.012	Aa	0.200 ± 0.012	Aa	13.110 ± 0.577	Aa
	3	83.867 ± 0.189	Aa	0.207 ± 0.012	Aa	0.193 ± 0.012	Ab	12.563 ± 0.480	Cb
	6	82.640 ± 0.332	Ac	0.193 ± 0.012	Bb	0.210 ± 0.017	Aa	12.337 ± 0.673	Cb
	9	81.850 ± 0.510	Dd	0.190 ± 0.010	Bb	0.187 ± 0.012	Bb	10.337 ± 0.180	Dc
AVG	0	84.000 ± 0.353	Aa	0.200 ± 0.006	Ba	0.200 ± 0.017	Ab	12.370 ± 0.198	Cb
	3	83.323 ± 0.586	Cb	0.203 ± 0.006	Aa	0.190 ± 0.017	Ab	12.703 ± 0.289	Ba
	6	83.303 ± 0.119	Bb	0.207 ± 0.006	Aa	0.190 ± 0.017	Bb	12.723 ± 0.237	Ba
	9	82.527 ± 0.150	Cc	0.203 ± 0.006	Aa	0.217 ± 0.006	Aa	12.693 ± 0.159	Ca
AVG/HPMC	0	83.550 ± 0.336	Bb	0.180 ± 0.012	Cb	0.200 ± 0.012	Aa	12.970 ± 0.067	Ab

	3	83.473 ± 0.440	Bc	0.1	0.190 ± 0.017	Bb	5.3	0.193 ± 0.012	Aab	3.3	12.910 ± 0.060	Ab	0.5
	6	83.737 ± 0.232	Aa	0.2	0.217 ± 0.006	Aa	16.9	0.187 ± 0.015	Bab	6.7	13.027 ± 0.074	Aab	0.4
	9	83.470 ± 0.467	Ac	0.1	0.203 ± 0.006	Aab	11.5	0.180 ± 0.026	ABb	10.0	13.273 ± 0.174	Ba	2.3
AVG/LEO	0	83.580 ± 0.388	Abab		0.210 ± 0.006	ABa		0.180 ± 0.010	Ba		12.700 ± 0.165	Bb	
	3	83.410 ± 0.357	Bb	0.2	0.213 ± 0.006	Aa	1.6	0.190 ± 0.010	Aa	5.3	12.777 ± 0.075	ABb	0.6
	6	83.650 ± 0.419	Aa	0.1	0.187 ± 0.006	Bb	11.1	0.177 ± 0.006	Cab	1.9	13.393 ± 0.162	Aa	5.2
	9	83.057 ± 0.476	Bc	0.6	0.200 ± 0.000	Aab	4.8	0.173 ± 0.006	Cb	3.7	13.577 ± 0.254	Aa	6.5
Trattamenti	Giorni di stoccaggio	Zuccheri g/100g s.s.	%	Fibre g/100g s.s.	%	Polifenoli totali g/100g s.s.	%						
CTR	0	9.970 ± 0.406	Aa		2.120 ± 0.082	Aa		0.210 ± 0.015	ABa				
	3	9.657 ± 0.276	Aba	3.1	2.073 ± 0.064	ABab	2.2	0.203 ± 0.006	Ba	3.2			
	6	9.243 ± 0.537	Cab	7.3	1.863 ± 0.101	Bb	12.1	0.167 ± 0.024	Db	20.6			
	9	8.370 ± 0.202	Bb	16.0	1.737 ± 0.116	Cb	18.1	0.174 ± 0.008	Db	17.1			
AVG	0	9.550 ± 0.064	Bb		2.000 ± 0.057	Ab		0.200 ± 0.015	Bb				
	3	9.490 ± 0.053	Cb	0.6	2.033 ± 0.058	Bab	1.6	0.197 ± 0.006	Cc	1.7			
	6	9.903 ± 0.076	Aa	3.6	2.173 ± 0.047	Aa	8.0	0.277 ± 0.025	Bb	27.7			
	9	9.950 ± 0.078	Aa	4.0	1.953 ± 0.057	Bb	2.3	0.340 ± 0.010	Aa	41.2			
AVG/HPMC	0	9.670 ± 0.153	ABab		2.000 ± 0.065	Ab		0.200 ± 0.006	Bb				
	3	9.553 ± 0.111	Bb	1.2	2.023 ± 0.068	Bb	1.2	0.200 ± 0.006	Bb	0.0			
	6	9.763 ± 0.196	Bab	1.0	2.053 ± 0.061	Bb	2.6	0.203 ± 0.006	Cb	1.6			
	9	9.937 ± 0.099	Aa	2.7	2.240 ± 0.010	ABa	10.7	0.313 ± 0.006	Ba	36.2			
AVG/LEO	0	9.850 ± 0.084	Ab		2.000 ± 0.198	Ac		0.220 ± 0.017	Ab				
	3	10.717 ± 1.858	Aa	8.1	2.183 ± 0.236	Aab	8.4	0.210 ± 0.017	Ab	4.5			
	6	9.950 ± 0.104	Aab	1.0	2.163 ± 0.160	Ab	7.6	0.290 ± 0.017	Aa	24.1			
	9	10.027 ± 0.064	Aab	1.8	2.313 ± 0.059	Aa	13.5	0.297 ± 0.006	Ca	25.8			

3. Analisi delle vitamine

La riboflavina (vitamina B2) è importante per la prevenzione delle malattie cardiovascolari, il cancro, nefropatia diabetica incipiente e retinopatia. Per quanto riguarda la vitamina B2 (tab. 6) vi è una minore perdita di concentrazione in tutti i trattamenti. Solo il campione CTR ha subito una marcata riduzione dei valori di vitamina B2 a partire dal 3° giorno di conservazione. Inoltre, Thornalley, P. J. (2005) ha mostrato una tendenza all'instabilità di questa componente durante l'intero periodo di conservazione. Studi epidemiologici dimostrano che le diete ad alto contenuto di frutta e verdura ricche di vitamina C sono associate ad un minor rischio di malattie cardiovascolari, ictus e cancro e ad una maggiore longevità (Padayatty, S.J. *et al.*, 2003).

Dai risultati ottenuti in merito ai trattamenti con vitamina C, CTR e AVG/HPMC hanno evidenziato un trend differente rispetto agli altri. Infatti, come si può vedere nella tabella 6, i trattamenti AVG e AVG/LEO hanno avuto lo stesso andamento fino al giorno 3; anche il trattamento AVG/HPMC ha avuto un valore costante fino al giorno 3, mentre dal 6° al 9° giorno di conservazione il valore è diminuito. Secondo Leahu, A. *et al.* (2013), questo comportamento potrebbe essere associato alla presenza di Cu, zuccheri e ad un pH di circa 4.

Tabella 6: Riboflavina (Vitamina B2) e Acido ascorbico (vitamina C) in mele fresche tagliate a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a 4±1°C e 90±5%RH dopo tutti i trattamenti. I dati corrispondono alla media ± deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a p≤0,05 usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative (p≤0,05) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative (p≤0,05) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Trattamenti	Giorni di conservazione	Vitamina B2 riboflavina mg/100g s.s.	%	Vitamina C acido ascorbico mg/100g s.s.	%
-------------	-------------------------	--------------------------------------	---	---	---

CTR	0	0.040 ± 0.004	Aa		5.100 ± 0.410	Aa	
	3	0.039 ± 0.002	Aa	3.3	4.723 ± 0.468	Bb	7.4
	6	0.033 ± 0.003	Ab	16.7	4.533 ± 0.416	Cc	11.1
	9	0.035 ± 0.005	Ab	11.7	4.810 ± 0.541	Ab	5.7
AVG	0	0.030 ± 0.010	Ba		4.360 ± 0.400	Bc	
	3	0.029 ± 0.010	Ba	3.3	4.520 ± 0.420	Cb	3.5
	6	0.029 ± 0.010	Ba	3.3	4.907 ± 0.272	Ba	11.1
	9	0.031 ± 0.010	Ba	3.2	4.400 ± 0.200	Bbc	0.9
AVG/HPMC	0	0.031 ± 0.030	Bb		5.000 ± 0.200	Aab	
	3	0.030 ± 0.001	Bb	2.2	5.157 ± 0.191	Aa	3.0
	6	0.029 ± 0.001	Bb	6.5	4.990 ± 0.385	Ab	0.2
	9	0.034 ± 0.001	Aa	8.8	4.467 ± 0.462	Bc	10.7
AVG/LEO	0	0.036 ± 0.010	ABa		4.200 ± 0.200	Bc	
	3	0.031 ± 0.010	Bb	14.8	4.527 ± 0.297	BCb	7.2
	6	0.030 ± 0.010	Bb	15.7	4.927 ± 0.127	Ba	14.7
	9	0.029 ± 0.010	Bc	18.5	4.737 ± 0.456	Aab	11.3

4. Analisi sensoriale

Per quanto riguarda l'analisi sensoriale, la figura 6 mostra cosa accade visivamente alle fette di mela conservate per 9 giorni e le differenze tra i frutti trattati con gli *edible coating* e quelli non trattati (CTR); mentre le figure 7a, 7b, 7c e 7d mostrano i risultati dei panel-test dal primo (T0) all'ultimo (T9) giorno di conservazione a 4±1°C e 90±5%RH. In particolare sono stati evidenziati fenomeni di imbrunimento e disidratazione già a partire dal terzo giorno di conservazione (T3). Questi fenomeni, che si sviluppano tipicamente durante la conservazione, sono associati ai processi di maturazione (Clayton, M., *et al.*, 2003; Shick, J.L., *et al.*, 2002). Pertanto, i rivestimenti AVG/HPMC e AVG/LEO hanno ritardato la perdita di qualità sensoriale delle fette di mela durante i 9 giorni di conservazione. Questo comportamento è stato attribuito al loro potere di inibizione della diffusione dell'acqua e degli agenti anti-imbrunimento. A tal proposito, infatti, Lanciotti, R. *et al.* (2004) hanno stabilito che l'aggiunta dello 0,02% di olio essenziale di mandarino, sidro, limone e lime ad un mix di frutta minimamente processato (mela, pera, uva, pesca e kiwi) ha inibito la proliferazione batterica e ha prolungato la durata di conservazione della macedonia di frutta senza che le proprietà sensoriali fossero compromesse. AVG/HPMC è stato il trattamento più efficace in termini di colore (5 pt.), consistenza (5 pt.) e croccantezza (6 pt), mentre il trattamento AVG/LEO ha mostrato risultati superiori in termini di dolcezza (circa 5 pt.), colore (circa 6 pt.), odore e sapore (circa 4 pt.). L'opposto accade in CTR e AVG, che hanno mostrato "off-odour" dal terzo giorno di conservazione (circa 2 pt.). Inoltre, i giudici non hanno percepito lo sviluppo di "off-flavour" nelle fette di mela come risultato dell'aggiunta degli *edible coating*.



Figura 6: Aspetto visuale delle fette di mela 'Fuji' trattate con *edible coating* e non trattate (CTR) da T0 a T9.

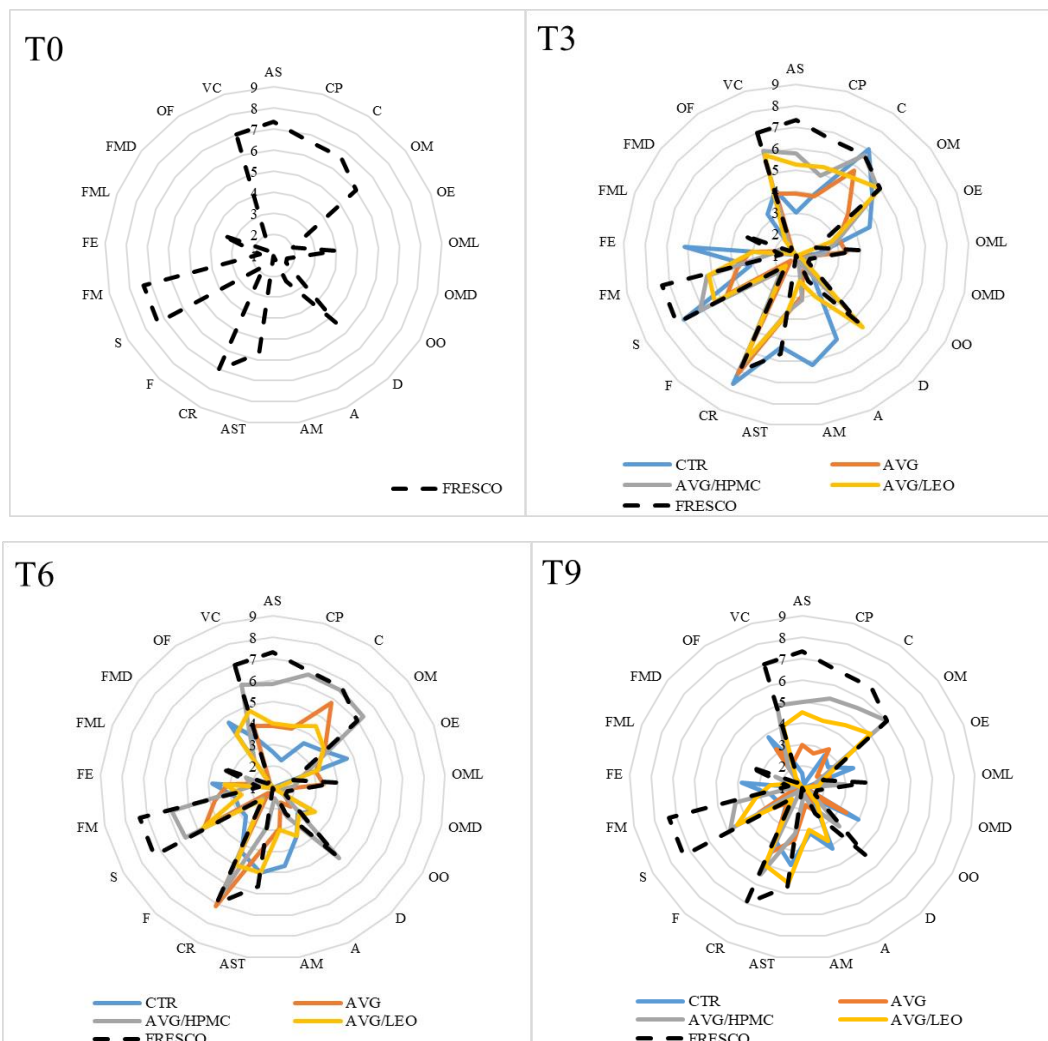


Figure 7a, b, c e d: Analisi sensoriale delle mele in IV gamma trattate e non trattate a 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di UR. Legenda: aspetto (AS), colore della polpa (CP), consistenza (C), odore di mela (OM), odore erbaceo (OE), odore di miele (OML), odore di mandorle (OML), off-odor (OO), dolcezza (D), acidità (A), amaro (AM), astringente (AST), croccantezza (CR), farinosità (F), succosità (S), sapore di mela (FM), sapore erbaceo (FE), sapore di miele (FML), sapore di mandorle (FMD), off-flavor (OF), valutazione complessiva (VC).

Conclusioni

I risultati ottenuti hanno mostrato le migliori performances delle fette di mela trattate rispetto a quelle non trattate (CTR). In particolare, il gel di *Aloe vera* associato all'HPMC ha dato alle fette di mela una lucentezza naturale, molto simile a quella della frutta appena processata mentre il trattamento AVG/LEO ha mostrato le migliori caratteristiche in termini di contenuto di solidi solubili, acidità titolabile e pH, in relazione ad una riduzione dei processi di senescenza. L'analisi dei composti prossimali, come i minerali, gli elementi essenziali, i nutrienti e il contenuto di vitamine, ha mostrato che i trattamenti non hanno alterato le caratteristiche intrinseche dei campioni trattati, mantenendo costanti i valori durante il periodo di conservazione, al contrario del campione di controllo, in cui tali valori si riducevano con l'avanzare dello stato di degradazione cellulare. I risultati ottenuti sono stati confermati dall'analisi sensoriale, che ha rivelato una maggiore apprezzabilità per la mela 'Fuji' di IV gamma trattata con AVG/HPMC e AVG/LEO, rispetto a CTR e AVG.

Bibliografia

- Aghaei, K., & Ghajarbeygi, P. (2019). The effect of edible chitosan coatings with Cinnamon essential oil on the shelf life of strawberry (Doctoral dissertation, qazvin university of medical sciences, qazvin, iran).
- Angelini, R. (2008). Il melo. Bayer Cropscience Srl.
- AOAC Official methods of analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists1985aMethods 22.026, 22:362.
- AOAC Official methods of analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists1985bMethods 3.140, 3: 50.
- AOAC Official methods of analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists1985cMethods 14.018, 3: 69.
- AOAC Official methods of analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists1985dMethods 22.080, 22:369.
- AOAC Official methods of analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists1985eMethods 22.080, 22:360.
- Azevedo, A. N., Buarque, P. R., Cruz, E. M. O., Blank, A. F., Alves, P. B., Nunes, M. L., & de Aquino Santana, L. C. L. (2014). Response surface methodology for optimisation of edible chitosan coating formulations incorporating essential oil against several foodborne pathogenic bacteria. *Food Control*, 43, 1-9.
- Bai, J., Hagenmaier, R. D., & Baldwin, E. A. (2003). Coating selection for 'Delicious' and other apples. *Postharvest biology and technology*, 28(3), 381-390.
- Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., & Bai, J. (Eds.). (2011). *Edible coatings and films to improve food quality*. CRC Press.
- Bilbao-Sainz, C., Bras, J., Williams, T., Sénechal, T., & Orts, W. (2011). HPMC reinforced with different cellulose nano-particles. *Carbohydrate polymers*, 86(4), 1549-1557.
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(4), 377-399.
- Chauhan, O. P., Raju, P. S., Singh, A., & Bawa, A. S. (2011). Shellac and aloe-gel-based surface coatings for maintaining keeping quality of apple slices. *Food Chemistry*, 126(3), 961-966.
- Clayton, M., Biasi, W. V., Agar, I. T., Southwick, S. M., & Mitcham, E. J. (2003). Postharvest quality of 'Bing' cherries following preharvest treatment with hydrogen cyanamide, calcium ammonium nitrate, or gibberellic acid. *HortScience*, 38(3), 407-411.
- Di Marco L., F. V. (2005). Scelte varietali di melo. *Suppl. Terra e Vita* n°24, 41-52.

- Fahs, A., Brogly, M., Bistac, S., & Schmitt, M. (2010). Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) formulated films: Relevance to adhesion and friction surface properties. *Carbohydrate Polymers*, 80(1), 105-114.
- Farina, V., di Marco, L., & Sansavini, S. (2009). Liste varietali 2009 del melo tra club varietali e ticchiolatura resistenti.
- Fogg, D. N., & Wilkinson, A. N. (1958). The colorimetric determination of phosphorus. *Analyst*, 83(988), 406-414.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Zemser, M., ... & Màrtín-Belloso, O. (2001). Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(2), 952-957. DOI: 10.1021/jf000947k
- Hammer, K. 1., Carson, C. F., & Riley, T. V. (2003). Antifungal activity of the components of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil. *Journal of applied microbiology*, 95(4), 853-860.
- Hayat, I., Masud, T., & Rathore, H. A. (2005). Effect of coating and wrapping materials on the shelf life of apple (*Malus domestica* cv. Borkh). *International Journal of food safety*, 5, 24-34.
- Henríquez, C., Almonacid, S., Chiffelle, I., Valenzuela, T., Araya, M., Cabezas, L., ... & Speisky, H. (2010). Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 70(4), 523-536. DOI: 10.4067/s0718-58392010000400001
- Hussain, P. R., Meena, R. S., Dar, M. A., & Wani, A. M. (2012). Effect of post-harvest calcium chloride dip treatment and gamma irradiation on storage quality and shelf-life extension of Red delicious apple. *Journal of food science and technology*, 49(4), 415-426. DOI: 10.1007/s13197-011-0289-0
- Iglesias, I., Echeverría, G., & Lopez, M. L. (2012). Fruit color development, anthocyanin content, standard quality, volatile compound emissions and consumer acceptability of several 'Fuji' apple strains. *Scientia Horticulturae*, 137, 138-147. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.01.029
- Islam, M., Khan, M. Z. H., Sarkar, M. A. R., Absar, N., & Sarkar, S. K. (2013). Changes in acidity, TSS, and sugar content at different storage periods of the postharvest mango (*Mangifera indica* L.) influenced by Bavistin DF. *International journal of food science*, 2013. DOI: 10.1155/2013/939385
- Jha, S. N., Rai, D. R., & Shrama, R. (2012). Physico-chemical quality parameters and overall quality index of apple during storage. *Journal of food Science and technology*, 49(5), 594-600. DOI: 10.1007/s13197-011-0415-z
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Effect of re-crystallization on tensile, optical and water vapour barrier properties of corn starch films containing fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 302-310. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.06.009
- Jobling, J. J., & McGlasson, W. B. (1995). A comparison of ethylene production, maturity and controlled atmosphere storage life of Gala, Fuji and Lady Williams apples (*Malus domestica*,

- Borkh.). *Postharvest Biology and Technology*, 6(3-4), 209-218. DOI: 10.1016/0925-5214(94)00002-a
- Ju, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2019). Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(15), 2467-2480. DOI: 10.1080/10408398.2018.1456402
- Klangmuang, P., & Sothornvit, R. (2016). Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils. *Food Hydrocolloids*, 61, 609-616. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.018
- Kou, W., Cai, C., Xu, S., Wang, H., Liu, J., Yang, D., & Zhang, T. (2011). In vitro and in vivo evaluation of novel immediate release carbamazepine tablets: Complexation with hydroxypropyl- β -cyclodextrin in the presence of HPMC. *International journal of pharmaceutics*, 409(1-2), 75-80. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2011.02.042
- Krochta, J.M. (2002). Protein as raw materials for films and coatings: Definitions, current status, and opportunities. In *Protein-Based Films and Coatings*; Gennadios A. editor; FL: CRC Press, Boca Raton, 425, pp. 1–41. DOI: 10.1201/9781420031980.ch1
- Lanciotti, R., Gianotti, A., Patrignani, F., Belletti, N., Guerzoni, M. E., & Gardini, F. (2004). Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends in food science & technology*, 15(3-4), 201-208.
- Leahu, A., Damian, C., Oroian, M., & Ropciuc, S. (2013). Physico-chemical parameters of fruit juices-evolution during storage. *Lucrari Stiintifice-Seria Zootehnie*, 59, 213-217.
- Luo, Y., & Barbosa-Cánovas, G. V. (1997). Enzymatic browning and its inhibition in new apple cultivars slices using 4-hexylresorcinol in combination with ascorbic acid/Pardeamiento enzimático y su inhibición en rodajas de manzanas de nuevas variedades utilizando 4-hexilresorcinol en combinación con ácido ascórbico. *Food Science and Technology International*, 3(3), 195-201. DOI: 10.1177/108201329700300307
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food science and technology*, 38(6), 617-624. DOI: 10.1016/j.lwt.2004.08.007
- Marquina, P., Venturini, M. E., Oria, R., & Negueruela, A. I. (2004). Monitoring colour evolution during maturity in Fuji apples. *Food science and technology international*, 10(5), 315-321. DOI: 10.1177/1082013204047903
- Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93-100. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2005.09.006
- Morand, P., & Gullo, J. L. (1970). Mineralisation des tissus vegetaux en vue du dosage de P, Ca, Mg, Na, K. *Ann. Agron*, 21(2), 229-236.

- Navarro-Tarazaga, M. L., Del Rio, M. A., Krochta, J. M., & Perez-Gago, M. B. (2008). Fatty Acid Effect on Hydroxypropyl Methylcellulose– Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated ‘Ortanique’Mandarins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(22), 10689-10696. DOI: 10.1021/jf801967q
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food packaging and shelf life*, 16, 157-167. DOI: 10.1016/j.fpsl.2018.03.011
- Nicosia F., (1735) - Il podere fruttifero e dilettevole. Appresso Angelo Felicella, Palermo.
- Olivas, G. I., Mattinson, D. S., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’apples. *Postharvest biology and Technology*, 45(1), 89-96. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2006.11.018
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest biology and Technology*, 50(1), 87-94. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2008.03.005
- Padayatty, S. J., Katz, A., Wang, Y., Eck, P., Kwon, O., Lee, J. H., ... & Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. *Journal of the American college of Nutrition*, 22(1), 18-35.
- Palazzolo, E., Letizia Gargano, M., & Venturella, G. (2012). The nutritional composition of selected wild edible mushrooms from Sicily (southern Italy). *International journal of food sciences and nutrition*, 63(1), 79-83. DOI: 10.3109/09637486.2011.598850
- Parajuli, R., Thoma, G., & Matlock, M. D. (2019). Environmental sustainability of fruit and vegetable production supply chains in the face of climate change: A review. *Science of the Total Environment*, 650, 2863-2879. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.019
- Park, H. J., Weller, C. L., Vergano, P. J., & Testin, R. F. (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *Journal of Food Science*, 58(6), 1361-1364. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb06183.x
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest biology and technology*, 70, 32-41. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2012.04.002
- Perez-Gago, M. B., Rojas, C., & DelRio, M. A. (2002). Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of mandarins cv. fortune. *Journal of food science*, 67(8), 2903-2910. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08836.x
- Rapisarda, P., & Intelisano, S. (1996). Sample preparation for vitamin C analysis of pigmented orange juices. *Italian journal of food science*, 8(3), 251-256.
- Raybaudi-Massilia, R. M., Rojas-Graü, M. A., Mosqueda-Melgar, J., & Martín-Belloso, O. (2008). Comparative study on essential oils incorporated into an alginate-based edible coating to assure

- the safety and quality of fresh-cut Fuji apples. *Journal of Food Protection*, 71(6), 1150-1161. DOI: 10.4315/0362-028x-71.6.1150
- Rocha, A. M. C. N., & Morais, A. M. M. B. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food control*, 14(1), 13-20. DOI: 10.1016/s0956-7135(02)00046-4
- Rojas-Graü, M. A., Raybaudi-Massilia, R. M., Soliva-Fortuny, R. C., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., & Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest biology and Technology*, 45(2), 254-264. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.01.017
- Sánchez-González, L., Chiralt, A., González-Martínez, C., & Cháfer, M. (2011). Effect of essential oils on properties of film forming emulsions and films based on hydroxypropylmethylcellulose and chitosan. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 246-253. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.05.026
- Schick, J. L., & Toivonen, P. M. (2002). Reflective tarps at harvest reduce stem browning and improve fruit quality of cherries during subsequent storage. *Postharvest Biology and Technology*, 25(1), 117-121.
- Segura, R., Javierre, C., Lizarraga, M. A., & Ros, E. (2006). Other relevant components of nuts: phytosterols, folate and minerals. *British Journal of Nutrition*, 96(S2), S36-S44. DOI: 10.1017/bjn20061862
- Sharif, Z. I. M., Subuki, I., Zaki, N. A. M., Mustapha, F. A., Yusof, N. M., & Jai, J. (2019). Turmeric (*Curcuma longa* L.) oil as antioxidant agent in starch-based edible coating film for fresh-cut fruits. *Chron. Complement. Altern. Integr. Med*, 1. DOI: 10.1088/1757-899x/507/1/012009
- Cortez-Vega, W. R., Becerra-Prado, A. M., Soares, J. M., & Fonseca, G. G. (2008). Effect of L-ascorbic acid and sodium metabisulfite in the inhibition of the enzymatic browning of minimally processed apple. *International Journal of Agricultural Research*, 3(3), 196-201. DOI: 10.3923/ijar.2008.196.201
- Song, H. Y., Jo, W. S., Song, N. B., Min, S. C., & Song, K. B. (2013). Quality change of apple slices coated with Aloe vera gel during storage. *Journal of food science*, 78(6), C817-C822. DOI: 10.1111/1750-3841.12141
- Supapvanich, S., Mitsrang, P., Srinorkham, P., Boonyaritthongchai, P., & Wongs-Aree, C. (2016). Effects of fresh Aloe vera gel coating on browning alleviation of fresh cut wax apple (*Syzygium samarangense*) fruit cv. Taaptimjaan. *Journal of food science and technology*, 53(6), 2844-2850. DOI: 10.1007/s13197-016-2262-4
- Thornalley, P. J. (2005). The potential role of thiamine (vitamin B1) in diabetic complications. *Current diabetes reviews*, 1(3), 287-298.
- Trezza, T. A., & Krochta, J. M. (2000). The gloss of edible coatings as affected by surfactants, lipids, relative humidity, and time. *Journal of Food Science*, 65(4), 658-662. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2000.tb16068.x

- Valencia-Chamorro, S. A., Palou, L., Del Rio, M. A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Performance of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible coatings with antifungal food additives during cold storage of 'Clemenules' mandarins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2342-2348. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.02.014
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., & Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 80-92. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.02.004
- RMNA, W., & Guleria, S. P. S. (2009). Effect of post-harvest coating treatments on apple storage quality. *Journal of Food Sci Technol*, 46(6), 549-553. DOI: 10.1007/s13197-011-0322-3
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., & Quintanar-Guerrero, D. (2014). The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut "Red Delicious" apples. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 188-196. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.09.008

Capitolo IV

Studio dell'effetto di nano-particelle di foglie di broccoli 'Bimi' in un *edible coating* applicato su kiwi in IV gamma

Abstract

L'elevato grado di deperibilità di frutti come il kiwi implica numerosi studi dei fattori intrinseci che regolano i processi di degradazione cellulare e maturazione. Al contempo, l'incremento dei rifiuti immessi nell'ambiente ha dettato la necessità di sviluppare protocolli di ricerca per il loro riutilizzo. L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di sviluppare un *edible coating* a base di estratto di foglie di broccolo 'Bimi', considerate prodotto di scarto, associato all'azione gelificante della gomma arabica. L'analisi delle caratteristiche fisico-chimiche e sensoriali ha messo in evidenza una riduzione dei processi ossidativi caratteristici del kiwi, affermando un miglioramento dell'aspetto qualitativo dei frutti trattati.

Introduzione

Ad oggi, gli studi di nutrizione e salute umana consigliano una dieta ricca di frutta e verdura per uno stile di vita sano. Un terzo dei sottoprodotti di frutta e verdura, quali bucce, semi, foglie e radici ne determinano il potenziale nutrizionale, ma è uso comune scartarli durante la lavorazione e la preparazione al consumo, creando così uno "spreco" e, al contempo, riducendo le proprietà nutritive della frutta o della verdura in questione. La catena di distribuzione di frutta e verdura si estende dal produttore al consumatore attraverso le fasi di coltivazione, lavorazione, trasporto, stoccaggio e distribuzione. Lungo questa catena, le industrie di conservazione e preparazione al consumo sono considerate fondamentali dal punto di vista economico. Infatti, la produzione di rifiuti organici rappresenta, ad oggi, oltre un terzo dell'impatto ambientale del consumo (FAO, 2015). Migliorare l'efficienza o ridurre la filiera alimentare, risulta dunque fondamentale per garantire l'approvvigionamento di cibo a scala mondiale (Foley *et al.*, 2011).

Molte delle recenti ricerche si sono concentrate sui composti funzionali dei sottoprodotti della filiera agroalimentare, come il contenuto di carotenoidi, polifenoli, vitamine e minerali. Queste hanno evidenziato la grande disponibilità di fonti naturali non sfruttate di micronutrienti e il loro potenziale salutistico. Ad esempio, uno dei principali nutrienti inclusi nelle diete moderne è la fibra alimentare, grazie alla sua capacità di ridurre il colesterolo, il diabete e le malattie cardiovascolari, nonché di alleviare la stitichezza (Telrandhe *et al.*, 2012). L'uso dei sottoprodotti vegetali è una metodologia che sembra sostenere l'economia a basse emissioni di carbonio utilizzando risorse rinnovabili, offrendo benefici ambientali ed economici e migliorando l'efficienza nell'industria alimentare (O'Shea *et al.*, 2012, Sanz-Puig *et al.*, 2016, Tarazona-Diaz e Aguayo, 2013). Molti studi hanno indicato che gli ortaggi sono una ricca fonte di composti nutrizionali. Uno dei più ricchi di sostanze

bioattive è il broccolo (*Brassica oleracea* L. – fig. 1) che si distingue per la presenza di glucosinolati, fenoli, vitamina C, B1, E, carotenoidi e selenio (Verhoeven, D. T., *et al.*, 1997; Soengas Fernández, M. D. P., 2011; Martínez-Hernández *et al.*, 2013).

Il broccolo ‘Bimi’ è un nuovo ibrido naturale tra il broccolo cinese (*Brassica oleracea*, var. Alboglabra), detto anche ‘kailan’, e il broccolo convenzionale (*B. oleracea*, var. Italica). Questo broccolo è caratterizzato da un piccolo fiore con un gambo lungo (15-18 cm) e slanciato che ha un sapore dolce e delicato rispetto alle varietà di broccoli convenzionali, essendo completamente commestibile (crudo o cotto). Le foglie e gli steli rappresentano il 75% della biomassa vegetale fuori terra che porta ad un'elevata quantità di rifiuti con il corrispondente impatto negativo sull'ambiente. La Región de Murcia (sud-est della Spagna) è il principale produttore europeo di broccoli ‘Bimi’ con 150 ettari coltivati (Sakata Seeds Ibérica S.L.U.). Pertanto, la rivalutazione dei sottoprodotti del broccolo può essere una fonte determinante di composti nutritivi/bioattivi per l'industria alimentare e farmaceutica, riducendo, allo stesso tempo, i prodotti di scarto. Inoltre, questi ortaggi tendono ad accumulare metalli pesanti (Borowski, J. *et al.*, 2008). Le sostanze bioattive studiate, isolate dalle diverse parti del broccolo, hanno messo in evidenza la possibilità di neutralizzare gli agenti che causano danni al DNA e la trasformazione delle cellule. Inoltre, i prodotti dell'idrolisi del glucosinolato inibiscono o attivano alcune monossigenasi, che catalizzano molti processi di ossidoriduzione (Oh, Y. S. S., *et al.*, 2013; Vallejo, F., *et al.*, 2003; Borowski, J., *et al.*, 2008). Tali sottoprodotti vegetali sono stati proposti come biomasse di composti bioattivi attraverso diversi meccanismi di sollecitazione, come le radiazioni UV, l'estrazione mediante nano-tecnologie, ecc. e sono stati riutilizzati come nano-particelle per ritardare i processi di ossidazione di succhi di frutta e frutta intera (Artés-Hernández, F., *et al.*, 2017; Ramachandraiah, K., Gnoc, N. T. B., & Chin, K. B., 2017; Zhang, K., *et al.*, 2020; Kumar, N., Pratibha, & Neeraj., 2020).

L'ossidazione è una delle principali cause della perdita di qualità della frutta. Il deterioramento ossidativo di qualsiasi tipo di frutta si manifesta sotto forma di imbrunimento, sviluppo di cattivi odori e sapori, breve durata di conservazione, perdita di peso e di nutrienti.

Diversi composti sono stati utilizzati come materiali di rivestimento sulla frutta, tra cui alginato, cellulosa, lipidi, chitosano, mucillagini, amido, cera e zeina (Cha, D.S. *et al.*, 2004; Valverde, J.M. *et al.*, 2005).

Uno dei frutti colpiti dal rapido decadimento è il kiwi ‘Hayward’ (*Actinidia deliciosa* A. Chev.), frutto climaterico e molto studiato per la sua sensibilità all'etilene e al tasso di respirazione (Xu, S.; Chen, X.; Sun, D. 2001). Il kiwi è una bacca climaterica apprezzata dai consumatori per il suo elevato valore nutrizionale (Beever, D. J., 1990) e, gli *edible coating* applicati su questo frutto sono stati per lo più, pullulan, Semperfresh™, caseinato di calcio, chitosano e soluzioni a base di lipidi e proteine

(Xu, S.; Chen, X.; Sun, D. 2001; Diab, T. *et al.*, 2001; Xu, S., *et al.*, 2003). Queste matrici ritardano la perdita di consistenza e l'imbrunimento della polpa, inibendo la perdita d'acqua e lo scambio di gas, e possono prolungare la vita post-raccolta rispetto alla frutta non trattata, grazie alla loro attività antiossidante e antimicrobica (Baldwin, E.A., *et al.*, 1995; Saba, M.K., *et al.*, 2016). La gomma arabica, sale neutro o leggermente acido di un polisaccaride complesso contenente ioni calcio, magnesio e potassio (Prakash, A., *et al.*, 1990), è ottenuto da steli o rami di *Acacia senegal*, ed è comunemente utilizzata nel settore industriale come additivo alimentare (Motlag, S., *et al.*, 2006). Tra tutti gli idrocolloidi essa è la meno viscosa e la più solubile (Nisperos-Carriedo, M. O., 1994; Motlag, S., *et al.*, 2006). Oltre il 50% della produzione mondiale di gomma arabica viene utilizzata in pasticceria per ritardare la cristallizzazione degli zuccheri e per addensare gelatine, smalti e gomme da masticare (Fogarty, D., 1988). È stata inoltre approvata come composto sicuro dal Comitato di esperti FAO/OMS sugli additivi alimentari (Anderson, D. M. W., *et al.*, 1989).

In un recente studio è stato sviluppato un *edible coating* a base di gomma arabica e chitosano, e sono emersi risultati promettenti in termini di controllo dell'antracnosi post-raccolta della banana causata da *Colletotrichum musae* durante la conservazione refrigerata (Maqbool, M., *et al.*, 2010). Tuttavia, nessuno studio ha messo in evidenza la capacità antiossidante delle nano-particelle estratte dalle foglie di broccolo 'Bimi', additivato con la gomma arabica per incrementare la frazione addensante della soluzione. Pertanto, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di studiare l'effetto di un *edible coating* a base di nano-particelle di foglie di broccolo 'Bimi', a due differenti concentrazioni, e gomma arabica, su frutti di kiwi in IV gamma, conservati per 12 giorni alle temperature di conservazione tipiche delle grandi distribuzioni organizzate (GDO).



Figura 1: *Brassica oleracea* var. italica 'Bimi'.

Materiale & Metodi

1. Estrazione della nanoparticella

Un kg di foglie di broccolo 'Bimi' è stato prelevato presso l'azienda Sacoje di Lorca (Murcia, Spagna) e portato nei laboratori di *Postcosecha y procesado minimo* dell'Università Politecnica di Cartagena (UPCT - Spagna), dove sono state immerse in 2 L di acqua distillata col 2% di ipoclorito di sodio a 10°C per 1 minuto, per due volte. Da questo momento in poi, tutte le fasi di lavoro sono state eseguite in condizioni di luce a Led gialla per evitare la degradazione dei composti bioattivi delle foglie.

L'estrazione della nanoparticella da foglie di broccoli 'Bimi' è stata effettuata seguendo la metodologia di estrazione riportata da Keawchaon e Yoksan (2011), apportando alcune modifiche. In dettaglio: le foglie sono state congelate con N₂ e triturate con Ultra-Turrax (fig 2 a). Il composto è stato immerso in 4L di acetato di etile (diviso in quattro bottiglie da 1L ciascuna). Dopo di che, le bottiglie sono state messe in bagno a 70°C per 30 minuti (fig. 2 b). La soluzione è stata filtrata con garza e successivamente con filtro in carta Whatman n°4. Sono state prelevate 2 fiale di campione e fatte evaporare con l'acetato di etile in un rotavapore (bagno a 35°C). Il prodotto è stato congelato a -80°C in 3 bottiglie. Successivamente è stato fatto rievaporare e risospendere e filtrato. La nanoparticella (NP) è stata microincapsulata e sottoposta ad ultrasuoni. Successivamente è stato additivato (2 mL) l'olio di girasole con una siringa (goccia per goccia – fig. 2 c). La soluzione è stata conservata a 50°C: 40mL di acqua MilliQ con 2,5% di gelatina. Dopo di che è stata centrifugata con Ultra-Turrax 18000 rpm (n°4/1min). La soluzione è stata additivata con 2,5% di gomma arabica e posta in un agitatore magnetico. Il pH è stato regolato a 4 con 0,5M HCl gradualmente e sempre durante agitazione in bagno a 25°C.

Successivamente si è passati ad un bagno di acqua e ghiaccio fino a quando la temperatura non è scesa a 10°C. Il prodotto è stato conservato a -20°C per 24 ore (fig. 2 d), dopodiché è stato pesato e conservato in piastre di Petri (fig. 2 e) con foglio di alluminio perforato. Infine, il prodotto è stato sottoposto a liofilizzazione per 24h.

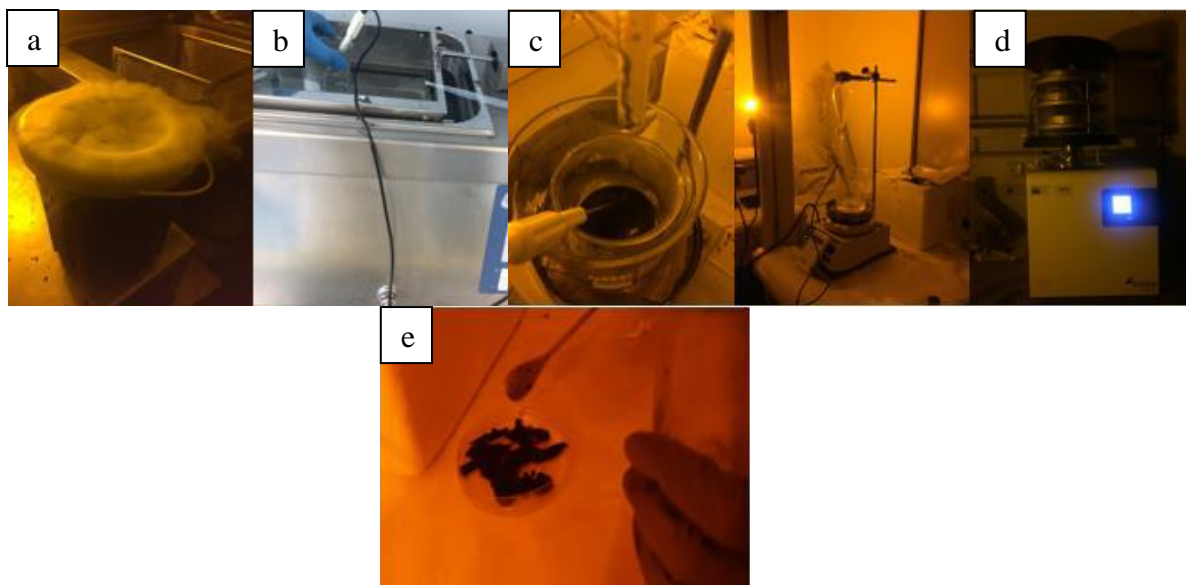


Figura 2 a, b, c, d ed e: Estrazione della nanoparticella da foglie di broccoli 'Bimi'.

2. *Preparazione edibile coating*

- NP1 = 0,1g di nanoparticella di foglia di broccoli 'Bimi' (NP) + 10% di gomma arabica in 1L di acqua distillata.
- NP2 = 0,3g di nanoparticella di foglia di broccoli 'Bimi' (NP) + 10% di gomma arabica in 1L di acqua distillata.

Le soluzioni (fig. 3) sono state omogeneizzate con Ultra-Turrax per 1 minuto e poi autoclavate a 40°C per 30 minuti.

È stato aggiunto un campione non trattato (CTRL) per evidenziare l'effetto dell'applicazione dei trattamenti.

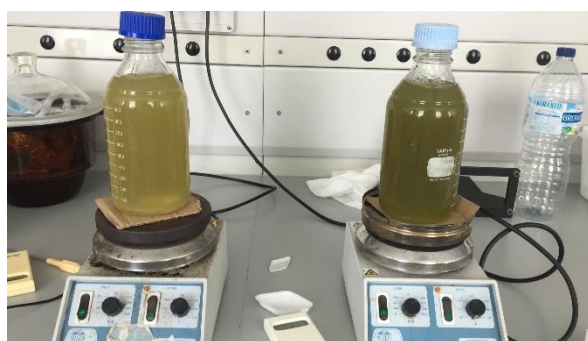


Figura 3: Trattamenti NP1 ed NP2.

3. *Preparazione della frutta*

I kiwi sono stati disinfettati con acqua clorata (200 mg/L) per 5 minuti e risciacquati, pelati a mano e poi tagliati in 6 fette di 7 mm di spessore con un coltello in acciaio inossidabile (Benítez, S., *et al.*, 2013). Le fette sono state immerse in acqua distillata (1L) a 1°C per 1 minuto.

4. *Disegno sperimentale*

Sono state preparate 36 vaschette totali: ciascuna contenente 6 fette di kiwi. L'esperimento si è protratto per 9 giorni totali e sono state realizzate tre repliche (A, B, C) per le analisi, che si sono svolte a giorno 0 (T0), 3 (T3), 6 (T6) e 9 (T9).

Le fette non trattate (CTRL) sono state direttamente poste nelle vaschette, mentre per i trattamenti le fette sono state immerse per 1 minuto nelle due soluzioni di *edible coating* a diverse concentrazioni di NP. Dopodiché le fette sono state lasciate a drenare per 1 minuto e poste in vaschette di polipropilene (450 mL), le quali sono state sigillate termicamente nella parte superiore con un film di polipropilene biorientato di 50 mm di spessore (Plasticos del Segura S.L., Murcia, Spagna) per generare un'atmosfera passiva. La permeabilità del BOPP è di $2.004 \text{ mL O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ e $3.824 \text{ mL CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ a 5°C e 90% UR (Benítez, S., *et al.*, 2013; Artés-Hernández, F., *et al.*, 2017). Le vaschette sono state conservate a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ e 70 ± 5 UR%, in condizioni di buio.

5. *Analisi fisico-chimiche*

5.1. *Calo peso*

Il valore di perdita di peso (PP) è stata espressa in grammi, misurata due volte e determinata mediante bilancia digitale di precisione ($\pm 0,1$ g).

5.2. *Colore della polpa*

Il colore superficiale delle fette di kiwi è stato analizzato con un colorimetro pre-calibrato (CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Giappone). Sono stati presi in considerazione i parametri CIEL*a*b*: luminosità (L^*), tendenza al rosso (a^*) e tendenza al giallo (b^*). Sono state effettuate tre misurazioni su ogni fetta di kiwi in diversi punti per acquisire una misurazione uniforme del colore. I valori $L^*a^*b^*$ sono stati trasformati in RGB ed è stata creata una tabella dei colori.

5.3. *Consistenza*

La consistenza della polpa è stata determinata utilizzando un analizzatore di consistenza TA.TXPlus (Stable Microsystems, Ltd., Regno Unito) collegato a un personal computer. Una sonda piatta in acciaio inossidabile di 4 mm di diametro (P/4) viene utilizzata per valutare la compattezza del pericarpo esterno. Condizioni di prova utilizzate per la misurazione: velocità di pre-test 5 mm/s; velocità di prova 1 mm/s; velocità di post-test 5 mm/s; distanza di penetrazione 4 mm nel frutto e forza di scatto 5 g. Le curve forza-distanza sono ottenute dalle prove di foratura e la durezza è presa come l'area sotto la curva espressa in $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$.

5.4. *Contenuto in solidi solubili*

Sono state triturate quattro fette per ciascuna vaschetta, il succo estratto è stato mantenuto a temperatura ambiente fino a raggiungere i 20°C e successivamente è stato misurato il contenuto di solidi solubili (CSS), espresso in °Brix, per mezzo di un rifrattometro digitale ottico ATAGO (Atago Co, Ltd, Tokyo, Giappone).

5.5. Acidità titolabile e pH

Cinque grammi di frutta sono stati immersi in 25 mL di acqua distillata, frullati ed è stata determinata l'acidità titolabile (AT), espressa come acido citrico (g/l-1) e il valore del pH, con un pHmetro a titolatore Crison Compact (Crison Instruments, SA, Barcellona, Spagna).

6. Analisi sensoriale

È stato realizzato un panel semi-addestrato di 7 giudici. Il panel-test comprendeva 17 descrittori, valutati in scala come segue: 5: accentuata presenza del descrittore; 4: moderata presenza del descrittore; 3: media presenza del descrittore; 2: lieve presenza del descrittore e 1: assenza del descrittore. I descrittori erano: difetti della polpa (DP), colore (C), umidità superficiale (US), dolcezza (D), acidità (A), astringenza (As), compattezza (Cp), succosità (S), intensità dell'aroma (IA), sapore di caffeina (FC), odore di erba (OE), odore di zolfo (albume d'uovo cotto) (OZ), odore di vomito (OV), odore di frutta candita (OFc), preferenza finale complessiva (VC).

7. Analisi statistica

Tutti i dati sono stati testati per le differenze tra i trattamenti e i tempi di campionamento utilizzando l'analisi a due fattori della varianza (ANOVA; modello lineare generale) seguita dal test del range multiplo di Tukey per $p \leq 0,05$. Tutte le analisi statistiche sono state condotte utilizzando il software Statgraphics Plus (vs. 5.1, Statpoint Technologies Inc., Warrenton, USA).

Risultati e Discussione

1. Analisi fisico-chimiche

La tabella 1 mostra l'effetto dell'*edible coating* a base di gomma arabica e NP sulla perdita di peso dei frutti di kiwi in IV gamma conservati a 4°C per un periodo di tempo di 9 giorni. La perdita di peso dei frutti di controllo è aumentata con il tempo di stoccaggio in modo significativo ($p \leq 0,05$) e raggiungendo valori di circa il 2% al giorno 9. I risultati ottenuti hanno indicato che la gomma arabica riduce la perdita di peso e funge da barriera contro la perdita d'acqua. Il meccanismo di base di perdita di peso nella frutta fresca, e nei prodotti ortofrutticoli in generale, è dato dalla respirazione, che provoca una riduzione di peso (Pan & Bhowmilk, 1992), e dal rivestimento che funge da barriera semipermeabile contro O₂ e CO₂, riducendo in tal modo la respirazione, la perdita d'acqua e i tassi di reazione all'ossidazione (Baldwin *et al.*, 1999; Park, 1993). I nostri risultati sono stati simili a quelli

ottenuti da Srinivasa *et al.* (2006) su prodotti ortofrutticoli. Tuttavia, Park *et al.*, (1993) hanno riferito che la ragione primaria dell'aumento della perdita di peso potrebbe essere lo sviluppo di calore e di produzione dei prodotti finali della fermentazione anaerobica.

Tabella 1: Perdita di peso (g) delle vaschette di kiwi *fresh-cut* conservate a 5°C per 9 giorni. I dati corrispondono alla media \pm deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a $p \leq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Perdita di peso (g)	Giorni di conservazione	CTRL	NP1	NP2
	0	97.88 \pm 10.54 Aa	104.50 \pm 9.75 Ab	109.24 \pm 7.02 Ac
3	97.84 \pm 10.57 Aa	104.47 \pm 9.75 Ab	109.22 \pm 7.01 Ac	
6	97.60 \pm 10.47 Ab	104.20 \pm 9.74 Ab	109.21 \pm 7.01 Ac	
9	96.44 \pm 9.66 Bc	104.06 \pm 9.76 Ab	109.12 \pm 6.99 Ac	

Le fette di kiwi rivestite con *edible coating* avevano valori di consistenza più elevati durante il periodo di conservazione rispetto al controllo e la loro consistenza è diminuita gradualmente (tab. 2). I risultati ottenuti hanno indicato che la formulazione dell'*edible coating* a base di nanoparticella di foglia di broccoli e gomma arabica ha mantenuto il grado di consistenza dei frutti in modo significativo e ha agito come una barriera contro la perdita di nutrienti e acqua. La riduzione della consistenza del frutto sembra essere dovuta al deterioramento della struttura cellulare, della composizione della parete cellulare e dei materiali intracellulari (Seymour *et al.*, 1993) ed è un processo biochimico che coinvolge l'idrolisi della pectina e dell'amido da parte degli enzimi. Infatti, con l'avanzare del processo di maturazione dei frutti, si verificano processi di pectinesterasi e attività poligalatturonasica che portano a tali risultati (Yaman & Bayoindirli, 2002). In accordo con questi risultati, Park *et al.*, (1994) hanno confermato che la respirazione e il consumo di O₂ di pomodori trattati con *edible coating* a base di mais-zeina avevano valori di perdita di consistenza inferiori rispetto a quelli non rivestiti.

Tabella 2: Consistenza dei kiwi *fresh-cut* conservati a 5°C per 9 giorni. I dati corrispondono alla media \pm deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a $p \leq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Consistenza (N)	Giorni di conservazione	CTRL	NP1	NP2
	0	1.52 \pm 0.39 Aa	1.49 \pm 0.01 Ca	1.46 \pm 0.66 Ba
3	1.02 \pm 0.21 Ab	1.20 \pm 0.24 Ba	1.32 \pm 0.14 Cb	
6	1.00 \pm 0.20 Ab	1.17 \pm 0.27 Ba	1.32 \pm 0.15 Cab	
9	1.00 \pm 0.29 Bab	1.14 \pm 0.48 Ab	1.24 \pm 0.52 Cc	

Il colore della polpa è un importante criterio di qualità e di accettabilità da parte del consumatore della frutta di IV gamma. Il lieve imbrunimento (statisticamente non significativo) del colore (fig. 4) dei kiwi trattati con la formulazione NP2 (maggiore concentrazione di nanoparticella di foglia di

broccolo) potrebbe essere attribuito al rallentamento della respirazione e alla riduzione della produzione di etilene, con conseguente creazione di un'atmosfera modificata intorno ai frutti. Questo, a sua volta, ha ritardato il processo di maturazione, con conseguente rallentamento del cambiamento di colore (Martinez-Romero *et al.*, 2006). Infatti, in questo studio, l'impiego di una percentuale del 5% di nanoparticella di foglia di broccoli con gomma arabica ha mostrato i migliori risultati nel ritardare il cambiamento di colore durante i 9 giorni di conservazione.

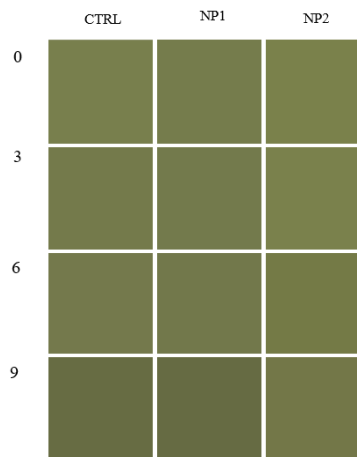


Figura 4: Differenza del colore ($L^*a^*b^*$) del frutto fresco tagliato stoccato a 5°C per 9 giorni (n= 3).

I risultati di questo studio concordano con quelli di El-Anany *et al.* (2009). Differenze nella tonalità e nell'intensità del colore sono probabilmente dovuti ai livelli di vari pigmenti, ad esempio licopene e carotenoidi, sintetizzati durante la maturazione. Nei frutti di controllo il valore di CSS era più basso ma non statisticamente significativo ($p \leq 0.05$) rispetto ai frutti trattati, e il tasso di riduzione di CSS era direttamente proporzionale alle concentrazioni dei rivestimenti. I risultati hanno rivelato che i rivestimenti hanno fornito un'eccellente barriera semipermeabile intorno alla frutta. Si ritiene inoltre che un tasso ridotto di respirazione abbassa la sintesi e l'uso di metaboliti, con conseguente abbassamento dei valori di CSS (Yaman, Ö., & Bayındırlı, L., 2002). Risultati simili sono stati ottenuti in uno studio precedente, in cui i pomodori sono stati ricoperti con diverse concentrazioni di gomma arabica e conservati per 20 giorni a 20°C (Ali, A. *et al.*, 2010). Inoltre, anche Kittur *et al.* (2001) hanno registrato un basso aumento di CSS in frutti di mango e banana, ricoperti da coating a base di chitosano, amido e cellulosa.

I valori di AT nei frutti di kiwi trattati e non, sono diminuiti gradualmente nel corso del periodo di conservazione, con le variazioni più significative ($p \leq 0.05$) dopo 9 giorni (tab. 3). Tuttavia, la diminuzione massima dell'AT è stata registrata nei frutti di controllo. I bassi livelli di AT in CTRL rispetto ai frutti rivestiti suggeriscono che l'*edible coating* a base di gomma arabica e nanoparticella di foglia broccoli ha ritardato il processo di maturazione. Gli acidi organici, come l'acido malico o citrico, sono considerati i substrati primari per il processo di respirazione; pertanto, si assiste ad una riduzione dell'acidità nei frutti trattati (El-Anany, A. M., Hassan, G. F. A., & Ali, F. R., 2009). In

molti studi precedenti a questo lavoro, la riduzione di AT è stata riportata in vari tipi di frutta e verdura trattata con *edible coating* (Jiang, Y *et al.*, 2004; Ali, A. *et al.*, 2011; Yaman, Ö., & Bayoundirli, L., 2002).

Per quanto concerne il pH, non ci sono state differenze significative tra i frutti di controllo e i frutti trattati con le due differenti concentrazioni di nanoparticella.

Tabella 3: Contenuto in solidi solubili (CSS), acidità titolabile (AT) e pH di kiwi *fresh-cut* conservato a 5°C per 9 giorni. I dati corrispondono alla media \pm deviazione standard (DS) di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a $p \leq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola differente denota differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative ($p \leq 0,05$) tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

	Giorni di conservazione	CTRL	NP1	NP2
CSS (°Brix)	0	10.27 \pm 1.22 Aa	9.80 \pm 0.72 Aa	10.13 \pm 0.17 Aa
	3	11.83 \pm 0.71 Ab	12.23 \pm 0.51 Ab	11.70 \pm 0.51 Ab
	6	12.00 \pm 0.26 Ab	12.13 \pm 0.23 Aab	12.10 \pm 0.14 Ab
	9	12.30 \pm 1.80 Ab	12.53 \pm 0.42 Ab	12.73 \pm 0.38 Ac
AT (g a. citrico/L)	0	14.77 \pm 0.65 Ba	14.33 \pm 1.10 Ba	17.41 \pm 1.12 Aa
	3	12.09 \pm 0.15 Ab	11.69 \pm 1.56 Aab	14.65 \pm 1.46 Aab
	6	10.91 \pm 1.11 Ab	11.45 \pm 1.90 Aab	14.62 \pm 0.87 Aab
	9	10.30 \pm 1.23 Ab	9.75 \pm 1.26 Ab	10.72 \pm 3.82 Ab
pH	0	3.43 \pm 0.12 ns	3.60 \pm 0.00 ns	3.50 \pm 0.10 ns
	3	3.37 \pm 0.15 ns	3.47 \pm 0.21 ns	3.40 \pm 0.10 ns
	6	3.40 \pm 0.10 ns	3.50 \pm 0.00 ns	3.45 \pm 0.07 ns
	9	3.40 \pm 0.10 ns	3.43 \pm 0.06 ns	3.50 \pm 0.10 ns

2. Analisi sensoriale

La valutazione sensoriale della frutta trattata con *edible coating* e non trattata (CTRL) alla fine del periodo di conservazione ha rivelato differenze in termini di colore, sapore, consistenza, aspetto e accettabilità complessiva. L'accettabilità del colore è gradualmente diminuita con il tempo di conservazione, soprattutto per i frutti di controllo. Tuttavia i risultati ottenuti (fig. 5a, b, c e d) hanno indicato che il rivestimento dei frutti di kiwi con *edible coating* ha mantenuto la luminosità del loro naturale colore verde (circa 5 pt.). Tutti gli altri attributi sensoriali in termini di gusto, consistenza, aspetto e accettabilità globale hanno seguito l'andamento simile a quello ottenuto per il colore. Infatti, rispetto ai frutti trattati, la frutta di controllo aveva valori più bassi per gli attributi di qualità. I risultati ottenuti hanno suggerito che la gomma arabica può essere utilizzata con successo come rivestimento commestibile per prolungare la durata di conservazione e la qualità dei frutti.

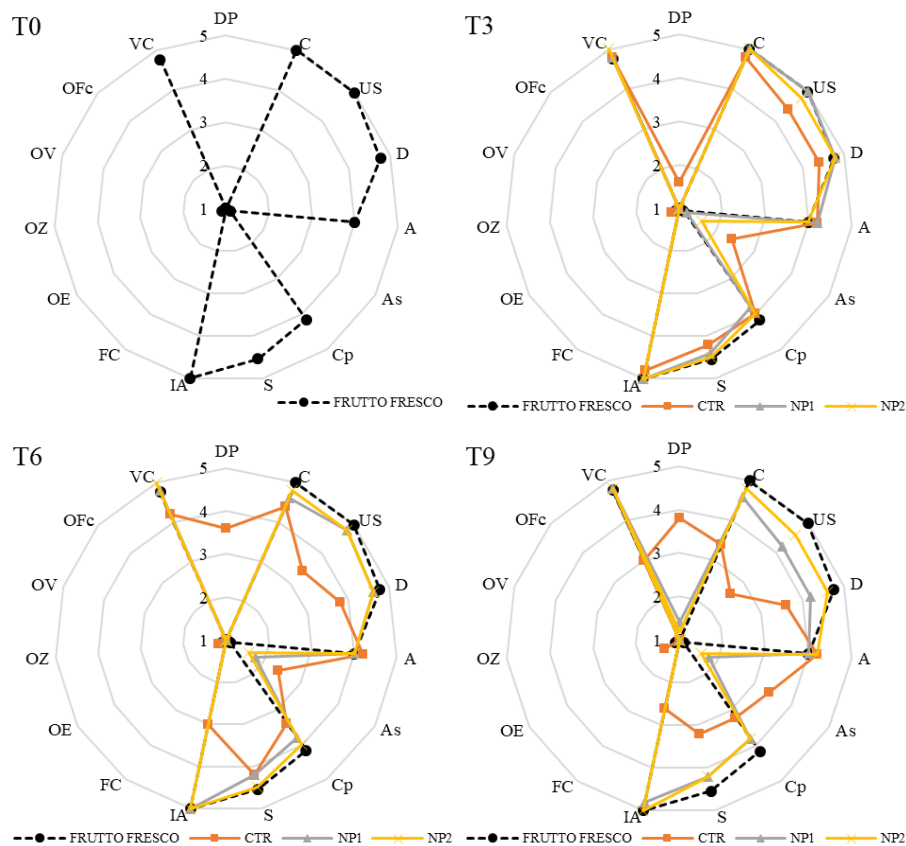


Figure 5a, b, c e d: Profilo sensoriale dei frutti di kiwi trattati con NP1 e NP2 e non trattati (CTRL) dopo 0, 3, 6 e 9 giorni di conservazione a 5°C. Legenda: difetti della polpa (DP), colore (C), umidità superficiale (US), dolcezza (D), acidità (A), astringenza (As), compattezza (Cp), succosità (S), intensità dell'aroma (IA), sapore di caffeina (FC), odore di erba (OE), odore di zolfo (albume d'uovo cotto) (OZ), odore di vomito (OV), odore di frutta candita (OFc), preferenza finale complessiva (VC).

Conclusioni

I prodotti ortofrutticoli subiscono gravi stress nella fase post-raccolta, a causa di una perdita delle fonti di energia, sostanze nutrienti e acqua, e anche questo porta ad un'accelerazione dei processi di senescenza. Nel caso dei kiwi, i sintomi principali di senescenza sono: ingiallimento e avvizzimento della polpa e dell'epicarpo, a causa della perdita d'acqua. *L'edible coating* a base di gomma arabica, infatti, potrebbe avere agito da barriera impedendo la perdita di peso e ritardando i fenomeni di perdita di sostanze e soluti, inibendo la riduzione della consistenza e l'alterazione degli attributi sensoriali. Possiamo dedurre, sulla base di questo studio, che i frutti di kiwi ricoperti da *edible coating* a base di nanoparticella di foglia di broccolo 'Bimi' e gomma arabica hanno mostrato un significativo ritardo dei normali processi di maturazione fino a 9 giorni di conservazione. In aggiunta, la valutazione sensoriale per gusto, colore, consistenza, aspetto e soprattutto accettabilità ha mostrato che il rivestimento ha mantenuto la qualità complessiva del frutto durante la conservazione.

Bibliografia

- Allegra, A., Inglese, P., Sortino, G., Settanni, L., Todaro, A., & Liguori, G. (2016). The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the quality of 'Hayward' kiwifruit slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 45-51. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.05.011
- Allione, E., & Olivero, G. (1988). Le possibilità di trasformazione industriale dell'actinidia. *Frutticoltura*, 50(11), 35-40.
- Anderson, D. M. W., & Eastwood, M. A. (1989). The safety of gum arabic as a food additive and its energy value as an ingredient: a brief review. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 2(3), 137-144.
- Antunes, M. D. C., Neves, N., Curado, F., Rodrigues, S., Franco, J., & Panagopoulos, T. (2006, February). The effect of calcium applications on kiwifruit quality preservation during storage. In VI International Symposium on Kiwifruit 753 (pp. 727-732). DOI: 10.17660/actahortic.2007.753.95
- Artés-Hernández, F., Formica-Oliveira, A. C., Artés, F., & Martínez-Hernández, G. B. (2017). Improved quality of a vitamin B12-fortified 'ready to blend' fresh-cut mix salad with chitosan. *Food Science and Technology International*, 23(6), 513-528.
- Baldwin, E. A., Burns, J. K., Kazokas, W., Brecht, J. K., Hagenmaier, R. D., Bender, R. J., & Pesis, E. (1999). Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 17(3), 215-226.
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Baker, R. A. (1995). Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(6), 509-524. DOI: 10.1080/10408399509527713
- Barbosa, A. A. T., de Araújo, H. G. S., Matos, P. N., Carnellosi, M. A. G., & de Castro, A. A. (2013). Effects of nisin-incorporated films on the microbiological and physicochemical quality of minimally processed mangoes. *International journal of food microbiology*, 164(2-3), 135-140. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.04.004
- Basim, H., & Uzun, I. (2003). Fruit characteristics of kiwifruit in Antalya conditions. In *Proceedings of National Kiwifruit and Berries Symposium* (pp. 23-25).
- Beever, D. J. (1990). Fruit development and fruit physiology. *Kiwifruit. Science and management*, 97-126.
- Beirao-da-Costa, S., Steiner, A., Correia, L., Empis, J., & Moldao-Martins, M. (2006). Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 616-625.
- Borowski, J., Szajdek, A., Borowska, E. J., Ciska, E., & Zieliński, H. (2008). Contenuto di componenti bioattivi selezionati e proprietà antiossidanti dei broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Ricerca e tecnologia alimentare europea*, 226(3), 459-465.

- Brigati, S., & Donati, I. (2003). Actinidia: Search Results for Their Applications in the Field of Conservation and Commercial Distribution (pp. 277–290). Societa Orticola Italiana Verona, Italy
- Cha, D. S., & Chinnan, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(4), 223-237. DOI: 10.1080/10408690490464276
- Collins, A. R. (2013). Kiwifruit as a modulator of DNA damage and DNA repair. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 68, pp. 283-299). Academic Press.
- Cotter, R. L., MacRae, E. A., Ferguson, A. R., McMath, K. L., & Brennan, C. J. (1991). A comparison of the ripening, storage and sensory qualities of seven cultivars of kiwifruit. *Journal of horticultural science*, 66(3), 291-300.
- Cozzolino, R., De Giulio, B., Petriccione, M., Martignetti, A., Malorni, L., Zampella, L., ... & Pellicano, M. P. (2020). Comparative analysis of volatile metabolites, quality and sensory attributes of Actinidia chinensis fruit. *Food Chemistry*, 316, 126340. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126340
- Diab, T., Biliaderis, C. G., Gerasopoulos, D., & Sfakiotakis, E. (2001). Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 988-1000. DOI: 10.1002/jsfa.883
- Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113(2), 557-562.
- El-Anany, A. M., Hassan, G. F. A., & Ali, F. R. (2009). Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. *Journal of Food Technology*, 7(1), 5-11.
- FAO, 2015 - World population prospects: The 2015 revision, methodology of the United Nations population estimates and projections. P. d. Department of economic and social affairs (Ed.), (Vol. ESA/P/WP.242), United Nations, New York, USA.
- Ferguson, A. R. (1991). Kiwifruit (actinidia). *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops* 290, 603-656.
- Fogarty, D. (1988). No longer a raw deal. *Food, Flavor, Ingrid. Proc. Pack*, 10(7), 25.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342.
- Guldás, M. (2003). Peeling and the physical and chemical properties of kiwi fruit. *Journal of food processing and preservation*, 27(4), 271-284.
- Jiang, Y., Joyce, D. C., Jiang, W., & Lu, W. (2004). Effects of chilling temperatures on ethylene binding by banana fruit. *Plant Growth Regulation*, 43(2), 109-115.
- Keawchaon, L., & Yoksan, R. (2011). Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 84(1), 163-171.

- Kittur, F. S., Saroja, N., & Tharanathan, R. (2001). Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. *European Food Research and Technology*, 213(4-5), 306-311.
- Krochta, J. M., Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., (1994). Eds.; Technomic Publishing: Lancaster, PA, pp 322_323.
- Kumar, N., Pratibha, & Neeraj. (2020). Functional properties of pomegranate peel in edible coating/film: a review. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 7(3), 205-216.
- Maqbool, M., Ali, A., Ramachandran, S., Smith, D. R., & Alderson, P. G. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Protection*, 29(10), 1136-1141.
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182. DOI: 10.1016/s0260-8774(00)00155-2
- Monzini, A., & Gorini, F., (1986). Aspects and Problems of Preservation of Actinidia: Cultivation of Actinidia (pp. 141–170). Italian Horticultural Society, Verona, Italy
- Motlagh, S., Ravines, P., Karamallah, K. A., & Ma, Q. (2006). The analysis of Acacia gums using electrophoresis. *Food hydrocolloids*, 20(6), 848-854.
- Nardin, C., & Galliano, A. (1988). Le tecnologie per la frigoconservazione dell'actinidia. *Frutticoltura*, 50(11), 29-34.
- Nisperos-Carriedo, M. O. (1994). Edible coatings and films based on polysaccharides. *Edible coatings and films to improve food quality*, 1, 322-323.
- Oh, Y. S. S., Baek, J. W., Park, K. Y., Hwang, J. H., & Lim, S. B. (2013). Proprietà fisico-chimiche e funzionali di Kochujang con polvere di foglia di broccolo. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(5), 675-681.
- O'Shea, N., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1-10.
- Bhowmik, S. R., & Pan, J. C. (1992). Shelf life of mature green tomatoes stored in controlled atmosphere and high humidity. *Journal of Food Science*, 57(4), 948-953.
- Park, H. J., Chinnan, M. S., & Shewfelt, R. L. (1994). Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *Journal of Food Science*, 59(3), 568-570.
- Park, H. J., Weller, C. L., Vergano, P. J., & Testin, R. F. (1993). Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *Journal of Food Science*, 58(6), 1361-1364.
- Park, Y. S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Suhaj, M. M. C. M. O., Cvikrová, M., ... & Gorinstein, S. (2011). Comparison of the contents of bioactive compounds and the level of

- antioxidant activity in different kiwifruit cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 963-970.
- Pennycook, S. R., & Manning, M. A. (1992). Picking wound curing to reduce *Botrytis* storage rot of kiwifruit. *New Zealand journal of crop and horticultural science*, 20(3), 357-360.
- Prakash, A., Joseph, M., & Mangino, M. E. (1990). The effects of added proteins on the functionality of gum arabic in soft drink emulsion systems. *Food Hydrocolloids*, 4(3), 177-184.
- Pratella, G. C., Brigati, S., & Maccaferri, M. (1985). Conservazione dell'actinidia: aspetti patologici, fisiologici e tecnologici. *Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura*, 47(9-10), 17-32.
- Ramachandraiah, K., Gnoc, N. T. B., & Chin, K. B. (2017). Biosynthesis of silver nanoparticles from persimmon byproducts and incorporation in biodegradable sodium alginate thin film. *Journal of food science*, 82(10), 2329-2336.
- Rush, E. C., Patel, M., Plank, L. D., & Ferguson, L. R. (2002). Kiwifruit promotes laxation in the elderly. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(2), 164-168.
- Saba, M. K., & Sogvar, O. B. (2016). Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 165-171. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.022
- Salunkhe, D. K., Bolin, H. R., & Reddy, N. R. (1991). Storage, processing, and nutritional quality of fruits and vegetables. Volume I. Fresh fruits and vegetables (No. Ed. 2). CRC press.
- Sanz-Puig, M., Santos-Carvalho, L., Cunha, L. M., Pina-Pérez, M. C., Martínez, A., & Rodrigo, D. (2016). Effect of pulsed electric fields (PEF) combined with natural antimicrobial by-products against *S. Typhimurium*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 322-328.
- Tucker, G. A. (1993). *Introduction//Biochemistry of Fruit Ripening/Eds GB Seymour, JE Taylor, GA Tucker*.
- Soengas Fernández, M. D. P., Sotelo Pérez, T., Velasco Pazos, P., & Cartea González, M. E. (2011). Proprietà antiossidanti delle verdure di Brassica).
- Srinivasa, P. C., Harish Prashanth, K. V., Susheelamma, N. S., Ravi, R., & Tharanathan, R. N. (2006). Storage studies of tomato and bell pepper using eco-friendly films. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1216-1224.
- Tarazona-Díaz, M. P., & Aguayo, E. (2013). Assessment of by-products from fresh-cut products for reuse as bioactive compounds. *Food Science and Technology International*, 19(5), 439-446.
- Telrandhe, U. B., Kurmi, R., Uplanchiwar, V., Mansoori, M. H., Raj, V. J., & Jain, K. (2012). Nutraceuticals-A phenomenal resource in modern medicine. *International Journal of Universal Pharmacy and Life Sciences*, 2(1), 179-195.
- Testolin R., Crivello V. (1987). *Il kiwi e il suo mondo. Iripa-coldiretti*.
- Torreggiani, D., Forni, E., & Pelliccioni, L. (1994). Modificazione della temperatura di transizione vetrosa mediante disidratazione osmotica e stabilita al congelamento del colore di kiwi.

- In Ricerche e innovazioni nell'industria alimentare, 1 Congresso Italiano di Scienza e Tecnologia degli Alimenti (CISETA 1) (pp. 621-630). Chiriotti Editori, Pinerolo (I).
- Turk, R., & Celik, E. (1992). The storage of kiwifruit grown under our country conditions, in: Vural H. (Ed), Paper presented at National First Horticulture Congress, Izmir, Turkey, pp. 391-394
- Vallejo, F., Tomás-Barberán, F. A., Benavente-García, A. G., & García-Viguera, C. (2003). Contenido totale e individuale di glucosinolati nelle infiorescenze di otto cultivar di broccoli coltivate in varie condizioni climatiche e di fertilizzazione. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(4), 307-313.
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(20), 7807-7813. DOI: 10.1021/jf050962v
- Verhoeven, D. T. (1997). Una revisione dei meccanismi alla base dell'anticarcinogenicità dei vegetali brassica. *Interazioni chimico-biologiche*, 103(2), 79-129.
- Whelton, P. K., & He, J. (1999). Potassium in preventing and treating high blood pressure. In *Seminars in nephrology* (Vol. 19, No. 5, p. 494).
- Wiryawan, F. S., & Djatna, T. (2020). Value chain and sustainability analysis of fresh-cut vegetable: A case study at SSS Co. *Journal of Cleaner Production*, 121039. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121039
- Xiloyannis, C., Montanaro, G., Mininni, A. N., & Dichio, B. (2012). Sustainable production systems in fruit tree orchards. In *II International Symposium on Horticulture in Europe 1099* (pp. 319-324). DOI: 10.17660/actahortic.2015.1099.36
- Xu, S., Chen, X., & Sun, D. W. (2001). Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, 50(4), 211-216. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00022-X
- Xu, S., Da Xu, L., & Chen, X. (2003). Determining optimum edible films for kiwifruits using an analytical hierarchy process. *Computers & Operations Research*, 30(6), 877-886. DOI: 10.1016/s0305-0548(02)00040-0
- Yaman, O. and L. Bayindirli. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *Lebnsnm Wiss.Und.Technol.*, 35: 46-150.
- Zhang, K., Wang, W., Zhao, K., Ma, Y., Cheng, S., Zhou, J., & Wu, Z. (2020). Producing a novel edible film from mushrooms (*L. edodes* and *F. velutipes*) byproducts with a two-stage treatment namely grinding and bleaching. *Journal of Food Engineering*, 275, 109862.

Capitolo V

Studio del funzionamento di *edible coating* sulle caratteristiche qualitative, microbiologiche e sensoriali di kiwi ‘Hayward’ *ready-to-eat*

Abstract

Negli ultimi anni è aumentato il mercato della frutta di IV gamma. Questi prodotti sono caratterizzati da una breve *Shelf-life* dovuta alle fasi di lavorazione che accelerano i processi di maturazione. Lo scopo di questo lavoro, infatti, è stato quello di ritardare questi fenomeni su fette di kiwi ‘Hayward’ attraverso l'applicazione di tre diversi *edible coating*: AVG (gel di *Aloe vera*), HPMC (gel di *Aloe vera* + idrossipropil-metilcellulosa) e LEO (gel di *Aloe vera* + olio essenziale di limone) e confrontati con il campione non trattato (CTR). Sono stati determinati: la consistenza, la perdita di peso, il colore, il contenuto di solidi solubili, l'acidità titolabile, la carica microbica e l'analisi sensoriale al giorno 0 (come prodotto fresco) e dopo 2, 4, 7 e 10 giorni di conservazione. Le formulazioni HPMC e LEO hanno mantenuto valori migliori in quanto fungono da barriera allo scambio di gas e riducono la carica microbica. Questi risultati sono stati confermati dall'analisi sensoriale: l'HPMC non altera il gusto naturale delle fette di kiwi, al contrario di LEO, il quale rilascia il caratteristico sapore di olio essenziale di limone, mentre AVG dà un gusto erbaceo tipico dell'*Aloe vera*. Il gel di *A. vera*, infatti, mantiene le caratteristiche intrinseche delle fette di kiwi, ma applicato con agenti antiossidanti e gelificanti mostra una maggiore capacità di preservare la qualità dei frutti di kiwi di IV gamma.

Introduzione

Il mercato della frutta pronta al consumo in Europa è iniziato nei primi anni '80 ed è stato caratterizzato da una forte crescita nell'ultimo decennio. Questi prodotti si caratterizzano per la loro convenienza ma, d'altra parte, risultano altamente deperibili a causa dei danni da pelatura, taglio e conservazione. Queste alterazioni determinano un'accelerazione dei processi di maturazione. Pertanto, la ricerca di metodi che mirino a ritardare questi effetti negativi è di grande interesse per tutti gli attori coinvolti nella produzione e distribuzione di frutta di IV gamma.

Uno dei frutti climaterici altamente deperibili è il kiwi ‘Hayward’ (*Actinidia deliciosa* A. Chev. – fig. 1), apprezzato dai consumatori per il suo elevato valore nutrizionale (Beever, D.J., 1990). Le specie del genere *Actinidia* sono originarie delle regioni centrali e meridionali della Cina dove sono stati raccolti i frutti per migliaia di anni al fine di consumarli tal quali o come prodotti trasformati (succo o confetture). Solo alla fine del 1800 i semi vennero introdotti nel continente Europeo e Americano e ai primi del '900 anche in Australia e Nuova Zelanda dove, nel 1930 iniziò la prima coltivazione commerciale. Il successo neozelandese stimolò il vivo interesse di Stati Uniti, Francia, Italia, Cile, Grecia e Giappone (Ferguson, 1991). Nel 1988 è stato introdotto in Turchia e da allora la

ricerca su questo frutto non è cessata incentivando gli studi nelle aree geografiche maggiormente vocate come Mar Nero, Egeo e Mediterraneo (Samanci, 1997; Cangi e Karadeniz, 2001; Basim e Uzun, 2003). In Italia la presenza del genere *Actinidia* risale ai primi anni '30 (Catalogo Vivaistico di Catania, 1934). Le prime coltivazioni produttive si hanno alla fine degli anni '60 con una rapida diffusione in quasi tutte le regioni; diffusione alla quale seguì in contrattura nel quinquennio '74-'79 causata dalla scadente gestione delle coltivazioni e del loro impianto in climi non adatti (Fenaroli, 1978). Giunti così agli anni '80, il rinnovato interesse verso questa pianta porterà alla nascita di consorzi come il CIK (Consorzio Italiano Kiwi).

Dagli anni 2000 l'Italia si trova tra i primi Paesi produttori a livello mondiale con i suoi oltre 28.000 ettari dedicati. L'85% della coltivazione riguarda la cv 'Hayward', che viene presa come riferimento per epoca di fioritura (30 maggio) e maturazione (30 ottobre). Fra le caratteristiche che ne hanno prodotto tanto successo si annoverano: l'ottima conservabilità, la grandezza e l'uniformità dei frutti, insieme alle sue caratteristiche chimico-fisiche, organolettiche e sensoriali, che sono le caratteristiche qualitative maggiormente apprezzate dai consumatori (Testolin & Crivello, 1987). Il kiwi possiede la caratteristica di poter essere conservato per mesi in frigorifero senza subire danni, anche grazie all'elevato contenuto in acido ascorbico. Viene raccolto circa 160-180 giorni dopo la fioritura a seconda della latitudine, che solitamente ricade nei primi giorni di novembre, quando raggiunge un contenuto in solidi solubili di almeno 6°Brix (Gorini, 1992). In luoghi in cui non vi sono rischi di gelate è invece possibile far continuare la maturazione anche fino al raggiungimento di un contenuto zuccherino pari a 9°Brix (Nardin & Galliano, 1988). Dopo la raccolta, i frutti vengono tenuti a temperatura ambiente per circa 5-7 giorni per ridurre l'incidenza da *Botrytis cinerea* durante lo stoccaggio (Pennycook & Manning, 1992). Passati 7 giorni vengono posti a temperature che si riducono gradatamente di 0,5°C per 5 giorni. La frutta destinata alla vendita viene conservata a basse temperature, se sono venduti entro pochi mesi dalla raccolta (Nardin e Galliano, 1988; Brigati & Donati, 2003), altrimenti viene conservata in atmosfera modificata: 4,5-5 % CO₂ e 8-12% O₂ con UR > 94-95%. (Pratella *et al.*, 1985; Monzini & Gorini, 1986; Nardin & Galliano, 1988; Brigati *et al.*, 1996). I kiwi da destinare all'industria per eventuali trasformazioni sono solitamente quelli che non vengono apprezzati sul mercato della frutta intera, ad esempio quelli che presentano difetti di forma o macchie nell'epicarpo o deformazioni varie, ma che non hanno alterazioni dal punto di vista chimico e nutraceutico (Allione & Olivero, 1988; Torreggiani *et al.*, 1994).

I kiwi sono dei frutti straordinari dal punto di vista, oltre che organolettico, nutrizionale: contengono elevate quantità di enzimi proteolitici come l'actinidina e sono una delle fonti più ricche in assoluto di vitamina C; un singolo frutto ne contiene abbastanza per soddisfare il fabbisogno giornaliero minimo, con un livello almeno doppio di quello dell'arancia (Ferguson, 1991). Il

contenuto per 100 ml di succo va dai 66 ai 110 mg (Cotter *et al.*, 1991; Turk e Celik, 1992; Basim & Uzun, 2003; Guldass, 2003). Dal punto di vista nutrizionale questo frutto si presenta come una buona fonte di fibre alimentari ed è interessante grazie al bassissimo contenuto di colesterolo e sodio. Inoltre, gli elementi essenziali contenuti in 100 g di polpa sono: 0,84% N, 0,25% P, 1,45% K, 0,11% Ca, 0,10% Mg, 637 ppm Na, 48 mg Fe, 26 mg Zn, 35 mg Mn e 4 mg Cu (Costa *et al.*, 2006). La significativa concentrazione di potassio (K) rispetto agli altri elementi lo rende un alimento utilissimo per la buona salute in quanto sono noti i sintomi negativi dovuti a deficienze di questo elemento (alta pressione sanguigna, confusione mentale, battito cardiaco irregolare, debolezza muscolare e nervosismo) (Whelton and He, 1999). È stato anche dimostrato come il consumo di kiwi abbia un effetto preventivo contro le malattie cardiovascolari e anche alcuni tipi di cancro, in particolare quelli dell'apparato digerente (principalmente cancro allo stomaco), polmone e fegato, dovute alle sue attività citotossiche e antiossidanti (Collins *et al.*, 2013; Rush *et al.*, 2002). Oltre al contenuto di vitamina C, sali minerali e polifenoli totali il kiwi è un importante fonte di vitamina E, carotenoidi e flavonoidi (Park *et al.*, 2011; Du *et al.*, 2009).



Figura 1: *Actinidia deliciosa* 'Hayward'.

Molte tecnologie di conservazione sono state utilizzate per prolungare la qualità post-raccolta dei kiwi interi (Xu, S.; Chen, X.; Sun, D. 2001; Antunes, M.D.C, 2007). Tuttavia, vi sono pochi studi riguardanti la conservazione del kiwi 'Hayward' come prodotto di IV gamma e la maggior parte di essi riguarda l'uso di tecniche convenzionali come il *dipping* (Allegra, A., *et al.*, 2016; Maskan, M. *et al.*, 2001). La crescente popolarità di alimenti di alta qualità con buone proprietà nutrizionali sta portando a un crescente interesse per le tecniche di conservazione totalmente naturali, considerando il recente interesse del consumatore e del mercato per la sostenibilità, a partire dalle tecniche di coltivazione e dal loro impatto sull'ambiente (Xyloiannis, C. *et al.*, 2012) fino alla filiera di produzione della frutta (Wiryanwan, F.S., *et al.*, 2020). In questo contesto, gli *edible coating* a base

naturale sembrano mantenere inalterate le caratteristiche organolettiche della frutta, senza l'aggiunta di sostanze chimiche che potrebbero essere dannose per l'uomo e l'ambiente. Diversi composti sono stati utilizzati come materiali di rivestimento sulla frutta, tra cui alginato, cellulosa, lipidi, chitosano, mucillagini, amido, cera e zeina, pullulan, SemperfreshTM e soluzioni a base di lipidi e proteine (Xu, S., *et al.*, 2001; Diab, T., *et al.*, 2001; Cha, D.S. *et al.*, 2004; Valverde, J.M., *et al.*, 2005; Xu, S. *et al.*, 2003). Queste matrici hanno ritardato i processi di senescenza dei frutti grazie alla loro attività antiossidante e antimicrobica (Baldwin, E.A., *et al.*, 1995; Barbosa, A.A.T., *et al.*, 2013; Saba, M.K., *et al.*, 2016).

Una delle matrici naturali più studiate dell'*edible coating* è il gel estratto dalle foglie di *Aloe vera*, ampiamente utilizzato in concentrazione tra il 40 e il 100% in prodotti come nettarine (Ahmed, M.J., *et al.*, 2009), manghi (Dang, K.T.H., *et al.*, 2008), mele (Farina, V., *et al.*, 2020a; Ergun, M., *et al.*, 2012), papaia (Farina, V., *et al.*, 2020b), pesche (Sortino, G., *et al.*, 2020) al fine di ridurre la produzione di etilene, la perdita di peso e la carica microbica a causa della sua attività antibatterica e antimicotica (Saritha, V., *et al.*, 2010; Navarro-Tarazaga, M.L., *et al.*, 2008). Tuttavia, come dimostrato in studi precedenti (Farina, V., *et al.*, 2020a; Farina, V., *et al.*, 2020b), gli *edible coating* a base di solo gel di *Aloe vera* non mostrano alcun miglioramento rispetto ad altri *edible coating* additivati con polisaccaridi o lipidi. Un esempio è l'idrossipropil-metilcellulosa, uno dei derivati commestibili della cellulosa, ancora poco utilizzata nella formulazione di *edible coating* (Fahs, A., *et al.*, 2010).

Il nostro recente studio su mela 'Fuji' ha dimostrato che l'HPMC additivato all'*edible coating* ha ritardato la perdita di colore, peso e consistenza della polpa in frutti di mela di IV gamma (Farina, V., *et al.*, 2020a). Inoltre, lo stesso esperimento ha dimostrato la validità dell'olio essenziale di limone. Sulla base di quest'ultimo esperimento, infatti, si sono voluti testare gli stessi *edible coating* sui frutti di kiwi 'Hayward' di IV gamma per confermarne la validità e il funzionamento nel ritardare i processi di maturazione e degradazione cellulare.

Materiale & Metodi

1. Materiale vegetale

Nel novembre 2019 e nel gennaio 2020, ottanta kiwi 'Hayward' sono stati raccolti in fase di maturazione commerciale a Torrenova (ME). Sono stati selezionati per forma regolare, dimensioni uniformi, assenza di difetti e contenuto di solidi solubili pari a circa 13 °Brix. I frutti sono stati trasportati nei laboratori del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali dell'Università di Palermo, dove sono stati conservati per tre giorni prima di essere lavorati.

2. Estrazione del gel di Aloe vera

Un kg di foglie mature di *Aloe vera* è stato raccolto nel campo sperimentale dell'Università di Palermo, lavate e poi immerse in 100 µL-L-1 di ipoclorito di sodio per 5 minuti. Il parenchima gelatinoso è stato separato dalle foglie con un coltello in acciaio inossidabile, eliminando l'epidermide esterna. È stato triturato con un ultra-Turrax T25 (Janke e Kunkle, IKA Labortechnik, Breisgau, Germania) per 5 minuti a 24.500 giri al minuto per formare una sostanza omogenea e filtrato per rimuovere la parte fibrosa. Sono stati ottenuti 500 ml di estratto. Sulla base degli esperimenti precedenti (Benitez, S., *et al.*, 2015; Farina *et al.*, 2020), la percentuale di gel di *Aloe vera* è stata stabilita al 40% del suo volume in 300 mL di acqua, per l'accettabilità sensoriale, a causa di un sapore amaro che si è verificato a concentrazioni più elevate.

3. *Formulazione edibile coating*

- AVG: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera*;
- HPMC: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera* e lo 0,1% di idrossipropilmetilcellulosa;
- LEO, campione trattato con 40% di gel di *Aloe vera* e 1% di olio essenziale di limone;
- CTR, campione di confronto, cioè non trattato.

Le soluzioni sono state mantenute a 40 °C per 90 min in autoclave e centrifugate a 3.000 rpm per 20 minuti con ultra-Turrax.

4. *Disegno sperimentale*

Nell'area di lavoro, tutti gli utensili e le superfici a contatto con la frutta durante la lavorazione sono stati lavati e sanificati con 200 µL-L-1 di soluzione di ipoclorito di sodio per avere il massimo effetto sanificante.

I kiwi sono stati lavati prima sotto acqua di rubinetto e poi immersi in acqua clorata (0,5%) per 10 minuti. I frutti interi sono stati lasciati asciugare all'aria per 30 minuti e divisi in quattro lotti, corrispondenti al numero dei trattamenti. Successivamente, i kiwi sono stati sbucciati e tagliati con un coltello in acciaio inossidabile sterilizzato in fette rotonde di 1,5 cm.

L'*edible coating* è stato applicato mediante tecnica *spraying*, con un aerografo (ugello da 0,8 mm) alimentato da N₂, per 2 minuti. Successivamente, tutte le fette di kiwi sono state lasciate asciugare e posizionate all'interno delle vaschette come segue.

Sono state preparate in totale sessanta vaschette in PET (polietilentereftalato), in ciascuna delle quali sono state poste tre fette e conservate a 4±1°C e 90±5% di umidità relativa (UR) (fig. 2 a e b). Le analisi fisico-chimiche, microbiologiche e sensoriali sono state effettuate nei giorni 0 (come prodotto fresco), 2, 4, 7 e 10 in tre repliche. Per ogni trattamento (9 per ogni giorno di analisi) sono state quindi conservate in totale quarantacinque fette di kiwi. Per ogni vaschetta, due fette di kiwi

sono state testate per il colore, la consistenza e poi frullata per il contenuto di solidi solubili, l'acidità titolabile e il pH; una fetta è stata tagliata in tre parti: un terzo è stata utilizzata per le analisi microbiologiche e due terzi per le analisi sensoriali.



Figure 2a e b: Applicazione degli *edible coating* e stoccaggio delle vaschette.

5. *Analisi fisico-chimiche*

5.1. *Calo peso*

Per tutto il periodo di conservazione è stata misurata la differenza di peso di ogni vaschetta mediante una bilancia digitale di precisione decimale (Gibertini, Italia) e i valori sono stati espressi come percentuale relativa alla perdita di peso:

$$\text{Perdita di peso (\%)} = [(W_i - W_d) / W_i] \times 100$$

Dove W_i è il peso iniziale e W_d è il peso misurato durante la frigoconservazione.

5.2. *Colore della polpa*

Per determinare la variazione di colore, invece, è stato utilizzato un colorimetro Minolta (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Giappone), analizzando la circonferenza delle fette di kiwi, al fine di non influenzare i dati con la presenza di semi e della columella. Prima dell'analisi sul campione lo strumento è stato calibrato utilizzando una piastra bianca standard. Lo spazio colore è descritto come segue: luminosità (valore L^*) da 0 (nero) a 100 (bianco); verde (a^*) da -100 (verde) a +100 (rosso) e giallo (b^*) da -100 (blu) a +100 (giallo). Dal valore ottenuto di L^* , a^* e b^* , la differenza cromatica totale è stata calcolata seguendo la formula: $\Delta E^* = [(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2]^{1/2}$ e quindi è stata creata una tabella di colori convertendo lo spazio colore CIEL* $a^* b^*$ nella scala RGB mediante sito internet www.e-paint.co.

L'imbrunimento delle fette di kiwi è stato calcolato con la formula di Ruangchakpet e Sajjaanantakul:

$$\text{Indice d'imbrunimento (BI)} = [100 (x - 0.31)] / 0.17]$$

dove $x = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 0.3012b^*)$.

5.3. Consistenza

Per analizzare i parametri di consistenza delle fette di kiwi precedentemente portate a temperatura ambiente (20°C) è stato utilizzato un texturometro TA. TXPlus (Stable Microsystems, Ltd., UK) collegato ad un personal computer, dotato di una cella di carico da 50 N. seguendo le istruzioni dello strumento sono state impostate le seguenti condizioni: velocità pre-test 5 mm/s; velocità di prova 1 mm/s; velocità post-test 5 mm/s; distanza di penetrazione 4 mm e forza 5g. È stata utilizzata una sonda piatta in acciaio inossidabile di 4 mm di diametro (P/4). Le curve forza-distanza sono state ottenute dalle prove di penetrazione e la durezza è stata presa come area che sottende la curva (espressa in N-mm-1).

5.4. Contenuto in solidi solubili e acidità titolabile

Successivamente è stato estratto il succo dalle fette di kiwi mediante una centrifuga (Ariete, Italia) ed è stato determinato il contenuto di solidi solubili (CSS), determinato con rifrattometro digitale ATAGO (Atago Co, Ltd., Tokyo, Giappone) ed espresso in °Brix, e l'acidità titolabile (AT) con un pH-metro titolatore Crison Compact (Crison Instruments, SA, Barcellona, Spagna) ed espresso come g di acido citrico per L. Contemporaneamente è stato registrato il pH del succo e, infine, è stato calcolato anche il rapporto tra CSS e AT.

6. *Analisi microbiologiche*

Per avere certezza sulle eventuali proliferazioni microbiche e, quindi, per indagare circa gli aspetti igienico-sanitari e di sicurezza alimentare i campioni di frutta trattati sono stati studiati microbiologicamente. I campioni di frutta (25 g) sono stati omogeneizzati per la prima volta in 225 ml di soluzione Ringer (Sigma-Aldrich) col Miscelatore 400 Stomacher (Interscience, Saint Nom, Francia) per 2 minuti alla massima velocità (potere di miscelazione 4) e quindi diluito in serie.

Sono stati studiati diversi gruppi microbici come segue: Microrganismi mesofili totali (TMM) su Plate Count Agar (PCA), incubati a 30°C per 72 h; Microrganismi psicrotrofici totali (TPM) su PCA, incubati a 7 ° C per 7 giorni; pseudomonadi su Pseudomonas Agar Base (PAB) aggiunti con Cetrimide Fucidin Cefaloridine (CFC), incubati a 25 ° C per 48 h; membri della famiglia delle Enterobacteriaceae su Viar Red Bile Glucose Agar (VRBGA), incubati a 37 ° C per 24 ore; lieviti e muffe su agar con estratto di lievito di peptone destrosio (YPD) integrato con 0,1 g / l di cloramfenicolo per evitare la crescita batterica, incubati a 25 ° C per 48 ore e 7 giorni, rispettivamente. I conteggi microbiologici sono stati effettuati in tre repliche per ogni serie d'analisi.

7. *Analisi sensoriale*

Tutti i campioni sono stati sottoposti a un panel di giudici semi-addestrati aventi tra i 25 e i 50 anni (di cui 70% maschi e 30% femmine), al fine di valutare la qualità sensoriale dei kiwi in IV gamma a 0, 2, 4, 7 e 10 giorni.

Il panel test è stato diviso in due parti:

- parametri di accettabilità commerciale: aspetto visivo (AV), colore (C), dolcezza (D), intensità dell'aroma (IA), acidità (A) e consistenza della polpa (CF);
- parametri di alterazione: astringenza (As), succosità (S), disidratazione (D) e aromi insoliti (SR).

L'ultimo descrittore indica una valutazione complessiva (VC).

Per i parametri di accettabilità commerciale i giudici hanno dato delle valutazioni come segue: 1 = prodotto estremamente inaccettabile, 2 = prodotto inaccettabile, 3 = prodotto al limite della commerciabilità, 4 = prodotto buono e 5 = prodotto eccellente.

Per i parametri di alterazione, invece, le valutazioni erano: 1 = presenza estrema del descrittore, 2 = presenza importante del descrittore, 3 = limite di consumo del prodotto, 4 = lieve presenza del descrittore, 5 = assenza del descrittore.

In dettaglio, mentre i parametri di accettabilità commerciale indicano quanto i giudici apprezzerebbero il prodotto se lo trovassero tal quale al supermercato (limite di commerciabilità); i parametri di alterazione tendono a studiare il limite di consumo del prodotto.

Per quanto riguarda la presenza di aromi insoliti, il panel test è stato condotto seguendo uno studio di Marsh *et al.* (2004), che associa sapori ai composti aromatici. In particolare, l'odore di erba corrisponde alla presenza di cis-3-esanolo, l'odore di zolfo corrisponde al sapore di uovo cotto, l'odore di vomito corrisponde alla presenza di acido butirrico, il sapore di frutta candita corrisponde all'etil-esanoato, mentre l'acidità corrisponde a 1 g/L di acido malico e la dolcezza a 20 g/L di saccarosio.

8. *Analisi statistica*

Tutti i dati ottenuti sono stati sottoposti all'analisi della varianza a due fattori (ANOVA; modello lineare generale), confrontando le differenze tra i trattamenti e i tempi di campionamento. Tutte le analisi sono state condotte utilizzando il software Statgraphics Plus (vs. 5.1, Statpoint Technologies Inc., Warrenton, USA) e il software XLSTAT versione 9.0 (Addinsoft, Parigi, Francia), che hanno fornito gli stessi risultati.

Risultati e Discussione

1. Analisi fisico-chimiche

In tutti i campioni la luminosità (L^* - fig. 3) della polpa è diminuita durante la conservazione. Partendo da un valore iniziale delle fette di kiwi non ancora trattate pari a $57,00 \pm 3,11$, già dopo i primi due giorni si è manifestata una riduzione di tale valore. I consumatori scelgono la frutta pronta al consumo principalmente in funzione del suo aspetto e del suo colore. Mettendo a confronto i trattamenti è stato possibile evidenziarne le differenze: le fette trattate con HPMC e LEO hanno avuto una riduzione di L^* inferiore rispetto al trattamento CTR e al trattamento AVG, i quali hanno avuto un andamento molto simile per tutta la durata di conservazione. Risultati simili sono stati ottenuti nel precedente esperimento riguardante le fette di mela 'Fuji' (Farina *et al.*, 2020) e da Chauhan *et al.* (2011). I risultati ottenuti hanno dimostrato che i campioni trattati con il solo gel di *Aloe vera* sono inferiori rispetto agli altri trattamenti, pur mantenendo elevata la qualità delle fette di mela, rispetto al controllo. Risultati specifici ottenuti su kiwi in IV gamma hanno riportato un'analogia riduzione della luminosità quando le fette sono state conservate con tecnologia MAP (confezionamento in atmosfera modificata) (Agar *et al.*, 1999).

Il verde (a^*) del kiwi è dovuto alla presenza di clorofilla nei frutti verdi maturi (Nishiyama, I. *et al.*, 2005). Per il parametro a^* (fig. 4), le fette di kiwi che hanno subito il trattamento HPMC hanno mostrato un decremento minore, mantenendo il colore verde per tutto il periodo di conservazione; i trattamenti CTR e AVG hanno mostrato una riduzione di tale valore costante e simile ($p \leq 0,05$), e comunque maggiore rispetto ad HPMC e LEO. Tuttavia, quest'ultimo ha un comportamento diverso rispetto agli altri trattamenti, probabilmente per la presenza di olio essenziale di limone (Farina *et al.*, 2020), e ha mantenuto un verde simile al trattamento HPMC per i primi sette giorni di conservazione per poi mostrare le stesse alterazioni di CTR e AVG. L'effetto dell'olio essenziale di limone è stato descritto anche in esperimenti riguardanti fragole rivestite con *edible coating* a base di chitosano e acido oleico (Vargas *et al.*, 2006) o con chitosano e olio essenziale di limone (Perdones *et al.*, 2012). In particolare, i risultati hanno mostrato che il rivestimento HPMC sembrava mantenere il tipico colore verde brillante delle fette di kiwi, con una leggerissima riduzione.

Questo comportamento è stato confermato dai risultati ottenuti per l'indice di imbrunimento (BI - fig. 5). Infatti, il campione trattato con AVG e il campione non trattato (CTR) mostrano lo stesso comportamento durante la frigoconservazione, manifestando valori più elevati rispetto agli altri trattamenti. Al contrario, i valori più bassi sono attribuiti alle fette trattate con LEO e HPMC, i quali hanno inibito i processi di ossidazione, evidenziando un più basso indice di imbrunimento. Nonostante i trattamenti, tutti i campioni hanno manifestato un picco dell'indice di imbrunimento a partire dal settimo giorno di stoccaggio. Tale comportamento, visibile anche dalla figura 6 (che

mostra i colori ottenuti dai valori della differenza cromatica totale - ΔE - in CIEL*a*b* convertiti in scala RGB), è pienamente associabile alla presenza di polisaccaridi e agenti antiossidanti presenti negli *edible coating*, che rallentano i processi di maturazione, in accordo con i nostri studi precedenti. Infatti, le lesioni della membrana consentono all'enzima polifenolossidasi (PPO) di entrare a contatto con i substrati ossidabili, portando questi ultimi all'ossidazione e al conseguente imbrunimento (Hodges, D.M., 2003).

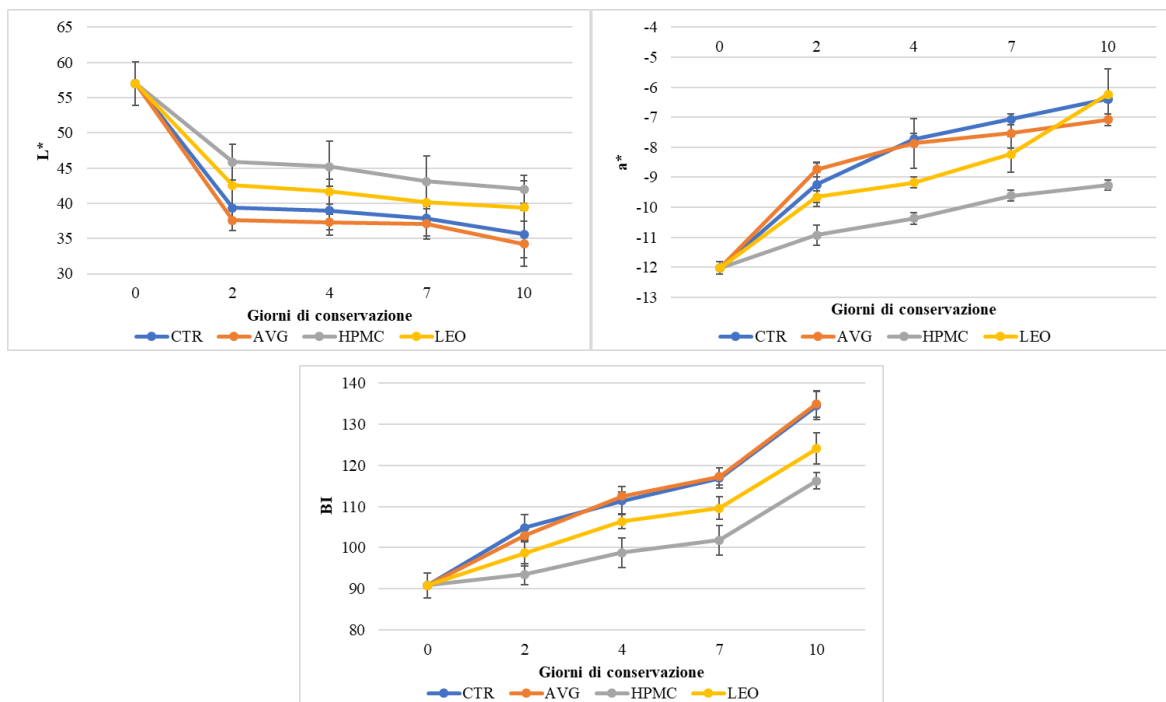


Figure 3, 4 e 5: Luminosità (L^*), verde (a^*) e indice di imbrunimento (BI) delle fette di kiwi trattate con rivestimenti AVG, HPMC e LEO e non trattate (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4, 7 e 10 giorni di conservazione a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa (UR). I valori indicano le medie e le barre indicano le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$).

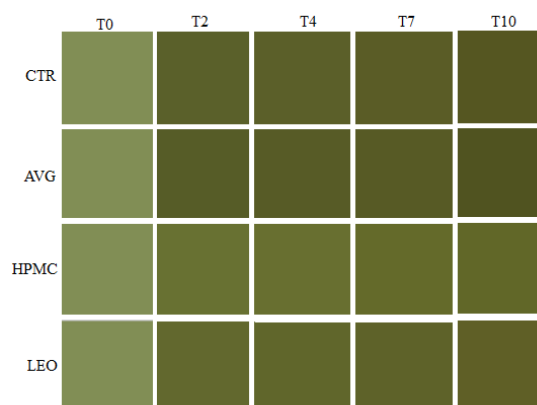


Figura 6: Tabella cromatica ottenuta dai risultati della differenza cromatica totale (ΔE) registrata nello spazio di colore CIEL*a*b* e convertita nella scala RGB attraverso il sito web www.e-paint.co. Questa figura mostra le differenze tra le fette di kiwi rivestite (AVG, HPMC e LEO) e non rivestite (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4, 7 e 10 giorni di conservazione a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa (UR).

Tutti i campioni hanno subito una perdita di peso durante la conservazione (fig. 7), con i valori maggiori attribuibili alle fette non trattate (CTR) e a quelle trattate con AVG. I trattamenti LEO e

HPMC hanno evidenziato perdite inferiori di peso. In particolare, dopo 10 giorni di conservazione i campioni CTR hanno perso l'1,30% del peso, i campioni di AVG 1,25%, HPMC 0,96% e LEO 1,16%.

Il gel di *Aloe vera*, essendo un polisaccaride, ha creato una efficace barriera contro l'umidità limitando la diffusione dell'acqua tra frutta e ambiente grazie alle sue proprietà igroscopiche (Ni, Y., *et al.*, 2004). Tale efficacia è stata ancora più marcata con l'aggiunta di HPMC che ha inibito non solo la perdita di peso, ma anche la divisione delle pectine lungo la parete cellulare (Farina *et al.*, 2020; Perez-Gago, M.B. *et al.*, 2002; Navarro-Tarazaga, M.L.I., *et al.*, 2006; Choi, W.S., *et al.*, 2016). Nel caso dei campioni trattati con l'aggiunta di LEO, i risultati ottenuti hanno suggerito il positivo comportamento che hanno gli oli essenziali idrofobici nell'evitare fenomeni di evaporazione agendo sempre da barriera con l'ambiente circostante, motivo per cui il frutto perde meno peso e consistenza (Choi *et al.*, 2016).

Per quanto riguarda la consistenza (fig. 8), i trattamenti hanno mostrato lo stesso andamento durante i 10 giorni di conservazione. I campioni trattati con AVG hanno perso il 40% della consistenza, i campioni trattati con HPMC il 34% e i campioni trattati con LEO il 36%, mentre le fette non trattate (CTR) perdono il 47% della consistenza durante tutto il periodo di conservazione. Questa riduzione (sia per le fette di kiwi trattate che per quelle non trattate) sembra essere dovuta alla degradazione della pectina e alla perdita delle lamelle mediane nei kiwi, che sono processi che si verificano durante la maturazione (Schroder, R., *et al.*, 2006).

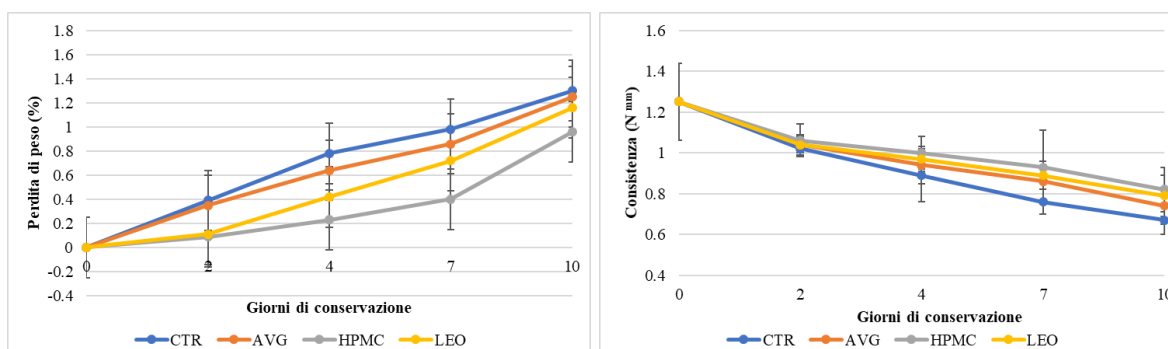


Figure 7 e 8: Perdita di peso (%) e consistenza ($N \cdot mm^{-1}$) delle fette di kiwi trattate con rivestimenti AVG, HPMC e LEO e non trattate (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4, 7 e 10 giorni di conservazione a $4 \pm 1^\circ C$ e $90 \pm 5\%$ di umidità relativa (UR). I valori indicano le medie e le barre indicano le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$).

Per quanto riguarda le analisi chimiche (tab. 1), i trattamenti HPMC e LEO hanno avuto un leggero aumento nel contenuto di solidi solubili (CSS) durante i primi due giorni di conservazione, rispetto agli altri trattamenti. Il valore più alto di °Brix è stato ottenuto nel trattamento AVG al quarto giorno di conservazione (14,30), mentre tutti gli altri trattamenti, incluso il CTR, avevano valori piuttosto simili. Tutti i trattamenti hanno mostrato una riduzione del contenuto di solidi solubili durante gli ultimi 3 giorni di conservazione raggiungendo valori prossimi a 14,00 °Brix, probabilmente a causa dell'inizio dei processi di degradazione cellulare. In effetti, l'evoluzione del contenuto di solidi solubili dimostra il naturale processo di maturazione.

L'acidità titolabile (AT), durante il periodo di conservazione, si è ridotta in maniera abbastanza simile fra i campioni dei diversi trattamenti; da notare, però, che le fette trattate con HPMC e LEO hanno avuto una riduzione più lenta rispetto ai trattamenti CTR e AVG. Come evidenziato anche dall'analisi sensoriale, il contenuto di acidi organici in continua diminuzione, dovuto ai processi di maturazione, ha causato un aumento della sensazione di aspro nel sapore.

Gli acidi organici, durante i processi di maturazione, fungono da substrato nella respirazione cellulare, ciò porta ad una loro diminuzione e ad un aumento del contenuto in solidi solubili (Wiley, R.C., 1994); il loro rapporto è un classico indice di maturazione del frutto (Perdones, A., *et al.*, 2012). Infatti, i campioni trattati con l'aggiunta di LEO e HPMC hanno mostrato un rapporto CSS/AT inferiore alla fine della conservazione rispetto agli altri, indicando il possibile effetto positivo degli agenti antiossidanti sull'attività metabolica del frutto e sulle componenti della matrice polisaccaridica. Questi risultati sono in accordo con i risultati ottenuti per il pH, che rimane quasi costante senza differenze significative ($p \leq 0.05$) in tutti i trattamenti, in accordo con i risultati evidenziati da altri autori (Ahmed *et al.*, 2009; Benítez *et al.*, 2013).

Tabella 1: Evoluzione del contenuto di solidi solubili (CSS), dell'acidità titolabile (AT), del rapporto CSS/AT e del pH durante i giorni di conservazione. I dati corrispondono alla media \pm deviazione standard di tre repliche. I valori con lettere diverse sono significativamente diversi a $p \leq 0,05$ usando il test di Tukey. La lettera maiuscola diversa indica differenze significative tra i diversi trattamenti per lo stesso tempo di campionamento. La lettera minuscola diversa indica differenze significative tra i diversi tempi di campionamento per lo stesso trattamento.

Trattamenti	Giorni di conservazione									
	0		2		4		7		10	
CSS (°Brix)										
CTR	13.03 \pm 1.76	cA	13.67 \pm 1.89	bB	13.73 \pm 0.42	bB	14.03 \pm 0.81	aB	13.63 \pm 1.61	bB
AVG	13.03 \pm 1.76	cA	13.93 \pm 0.21	bA	14.30 \pm 4.08	aA	14.20 \pm 0.56	abA	13.83 \pm 1.76	bcA
HPMC	13.03 \pm 1.76	cA	13.05 \pm 0.62	abC	13.66 \pm 0.96	abB	14.05 \pm 0.31	aB	13.89 \pm 2.27	bA
LEO	13.03 \pm 1.76	cA	13.07 \pm 0.78	cC	13.33 \pm 1.86	bC	14.07 \pm 0.38	aB	13.90 \pm 0.87	aA
TA (g acido citrico·L ⁻¹)										
CTR	0.77 \pm 0.08	aA	0.44 \pm 0.25	bB	0.27 \pm 0.09	cB	0.23 \pm 0.12	cB	0.18 \pm 0.05	cC
AVG	0.77 \pm 0.08	aA	0.43 \pm 0.10	bB	0.37 \pm 0.07	bB	0.32 \pm 0.10	bB	0.26 \pm 0.14	bC
HPMC	0.77 \pm 0.08	aA	0.71 \pm 0.10	bAB	0.64 \pm 0.21	abA	0.60 \pm 0.16	abA	0.50 \pm 0.13	abA
LEO	0.77 \pm 0.08	aA	0.70 \pm 0.05	aA	0.53 \pm 0.13	bA	0.51 \pm 0.18	bA	0.42 \pm 0.13	bB
CSS/AT										
CTR	17.00 \pm 0.73	bA	30.83 \pm 23.72	aA	50.24 \pm 16.42	abA	61.91 \pm 43.11	abA	77.17 \pm 36.84	abA
AVG	17.00 \pm 0.73	bA	32.40 \pm 8.72	abA	38.30 \pm 14.21	aAB	44.38 \pm 13.63	aA	53.90 \pm 54.71	abA
HPMC	17.00 \pm 0.73	aA	18.48 \pm 3.95	aBC	21.46 \pm 9.35	aB	23.42 \pm 5.64	aA	27.78 \pm 6.22	aA
LEO	17.00 \pm 0.73	bA	18.67 \pm 2.99	abC	25.00 \pm 9.99	abB	27.58 \pm 13.91	abA	32.83 \pm 12.86	aA
pH										
CTR	3.21 \pm 0.04	ns	3.36 \pm 0.12	ns	3.15 \pm 0.11	ns	3.00 \pm 0.37	ns	2.73 \pm 0.04	ns
AVG	3.21 \pm 0.04	ns	3.37 \pm 0.18	ns	3.27 \pm 0.19	ns	2.99 \pm 0.28	ns	2.94 \pm 0.16	ns
HPMC	3.21 \pm 0.04	ns	3.43 \pm 0.06	ns	3.35 \pm 0.22	ns	3.10 \pm 0.51	ns	3.00 \pm 0.15	ns
LEO	3.21 \pm 0.04	ns	3.61 \pm 0.28	ns	3.40 \pm 0.12	ns	3.14 \pm 0.49	ns	2.93 \pm 0.11	ns

2. Analisi microbiologiche

I dati relativi alle proliferazioni di batteri e funghi rilevati sui diversi campioni sono mostrati rispettivamente nella tabella 2 e 3. Le analisi microbiologiche dei tre rivestimenti commestibili non

hanno fornito prove della presenza di nessuno dei gruppi microbici oggetto di indagine. In nessuno dei campioni analizzati sono state rilevate colonie di pseudomonadi, responsabili dell'alterazione dei prodotti agroalimentari (Alfonzo, A., *et al.*, 2018; Barth, M., *et al.*, 2009). La quantità di *Enterobacteriaceae*, una famiglia che comprende diversi potenziali microrganismi patogeni (Jay, J.M., 2009), è risultata inferiore al limite di rilevazione durante l'intero periodo di analisi. La stessa tendenza è stata riportata da Allegra *et al.* (2016) su fette di kiwi rivestite con mucillagini di *Opuntia ficus-indica*.

Secondo il test di Tukey, sono state riscontrate differenze statisticamente significative per i livelli di TMM, TPM, lieviti e muffe tra il trattamento di controllo (CTR) e le fette trattate con *edible coating* (AVG, HPMC e LEO) (fig. 9 a, b e c). Queste differenze sono state osservate già a 4 giorni di stoccaggio per TMM e lieviti, e a 7 giorni di stoccaggio per TPM e muffe e, in particolare, i trattamenti AVG, HPMC e LEO hanno mostrato densità di cellule microbiche inferiori rispetto a CTR. Questa tendenza è dovuta principalmente alla capacità dei rivestimenti commestibili a base di *Aloe vera* di ridurre la crescita microbica in prodotti ortofrutticoli *ready to eat* (Valverde, J.M., *et al.*, 2005; Martinez-Romero, D., *et al.*, 2006). Tuttavia, i livelli più bassi di batteri e funghi sono stati rilevati per i campioni trattati con HPMC e LEO. L'HPMC è una barriera selettiva naturale contro la migrazione di gas, umidità e soluti e riduce efficacemente la crescita microbica (Aloui, H. & Khwaldia, K., 2016), mentre l'olio essenziale estratto dal limone è altamente efficace contro il deterioramento degli alimenti e/o i microrganismi patogeni (Randazzo, W., *et al.*, 2016; Settanni L., *et al.*, 2014). Tuttavia, il deterioramento microbico nella frutta processata viene solitamente rilevato dai consumatori quando i batteri aerobici e i funghi raggiungono livelli superiori a 7 e 5 Log CFU/g, rispettivamente (Jacxsens, L., *et al.*, 1999).

La concentrazione di questi microrganismi in tutte le produzioni è aumentata durante l'intero periodo di osservazione, ma i livelli di lieviti non hanno superato i 5 Log CFU/g. Questi risultati hanno dimostrato che l'applicazione dei tre *edible coating* a base di gel di *Aloe vera*, pur non essendo in grado di inibire la crescita microbica, ha limitato significativamente il loro sviluppo nei frutti rivestiti prolungandone la durata di conservazione.



Figure 9a, b e c: Conte microbiche.

Tabella 2: Carica batterica dei campioni di frutta. ^a Le unità sono log CFU/g. I risultati indicano i valori medi \pm D.S. di quattro conteggi di piastre (eseguiti in triplicato per due produzioni indipendenti). ^b I dati all'interno di una colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente diversi secondo il test di Tukey.

Trattamenti	TMM					TPM				
	T0	T2	T4	T7	T10	T0	T2	T4	T7	T10
CTR	<2a	<2a	3.39 \pm 0.20a	3.99 \pm 0.10a	4.73 \pm 0.21a	<2a	<2a	<2a	4.07 \pm 0.29a	4.88 \pm 0.27b
AVG	<2a	<2a	2.67 \pm 0.10b	3.47 \pm 0.20b	4.08 \pm 0.13b	<2a	<2a	<2a	3.35 \pm 0.11b	4.01 \pm 0.10b
HPMC	<2a	<2a	2.35 \pm 0.19b	3.15 \pm 0.09bc	3.65 \pm 0.23b	<2a	<2a	<2a	2.94 \pm 0.17b	3.78 \pm 0.08b
LEO	<2a	<2a	2.37 \pm 0.23b	2.97 \pm 0.23c	3.65 \pm 0.25b	<2a	<2a	<2a	3.00 \pm 0.21b	3.73 \pm 0.15b
P value ^b	NS	NS	0.0001	0.0001	0.001	NS	NS	NS	0.001	0.0001

Tabella 3: Carica di lieviti e muffe presenti nei campioni di frutta. ^a Le unità sono log CFU/g. I risultati indicano i valori medi \pm D.S. di quattro conteggi di piastre (eseguiti in triplicato per due produzioni indipendenti). ^b I dati all'interno di una colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente diversi secondo il test di Tukey.

Trattamenti	Lieviti					Muffe				
	T0	T2	T4	T7	T10	T0	T2	T4	T7	T10
CTR	<2a	<2a	3.21 \pm 0.17a	3.64 \pm 0.23a	3.97 \pm 0.15a	<2a	<2a	<2a	3.88 \pm 0.17a	4.46 \pm 0.17a
AVG	<2a	<2a	2.55 \pm 0.14b	2.87 \pm 0.19b	3.37 \pm 0.20b	<2a	<2a	<2a	3.13 \pm 0.10b	3.71 \pm 0.09b
HPMC	<2a	<2a	2.21 \pm 0.25b	2.44 \pm 0.27b	3.05 \pm 0.25b	<2a	<2a	<2a	2.84 \pm 0.25b	3.65 \pm 0.21b
LEO	<2a	<2a	2.29 \pm 0.29b	2.50 \pm 0.23b	3.07 \pm 0.10b	<2a	<2a	<2a	2.90 \pm 0.21b	3.67 \pm 0.20b
P value ^b	NS	NS	0.002	0.001	0.001	NS	NS	NS	0.001	0.001

3. Analisi sensoriale

Spesso, i consumatori acquistano un prodotto per la prima volta basandosi solo sull'aspetto estetico mentre ciò che li porterà a ripetere tale acquisto saranno fattori come gusto e consistenza della polpa (Ragaert, P., *et al.*, 2004). Le figure 10 a, b, c, d ed e mostrano gli *spider-plot* contenenti sia i descrittori dell'accettabilità commerciale sia i descrittori delle alterazioni. Sono state riscontrate notevoli differenze negli attributi sensoriali tra le fette di kiwi trattate e non trattate. Durante il primo giorno di analisi sensoriale (T0), i parametri che descrivevano le fette di kiwi avevano tutti valori accettabili. In particolare, non è stato rilevato alcun aroma insolito (SR) ed è stata fornita una valutazione finale complessiva (VC) pari a 4,4/5 pt., vale a dire un valore equivalente ad un grado di accettabilità buono o eccellente.

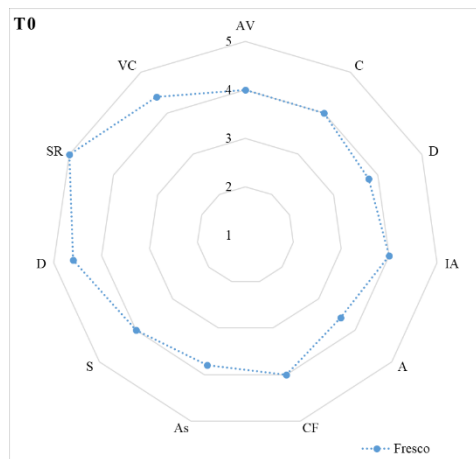


Figura 10 a: Valutazione sensoriale delle fette di kiwi fresco al giorno 0. Valutazione per i parametri di accettabilità commerciale: 1 = prodotto estremamente inaccettabile, 2 = prodotto inaccettabile, 3 = prodotto al limite della commerciabilità, 4 = prodotto buono e 5 = prodotto eccellente. Valutazione per i parametri di alterazione: 1 = presenza estrema del descrittore, 2 = presenza importante del descrittore, 3 = limite di consumo del prodotto, 4 = lieve presenza del descrittore, 5 = assenza del descrittore.

Legenda: Descrittori di accettabilità commerciale: aspetto visuale (AV), colore (C), dolcezza (D), intensità dell'aroma (IA), acidità (A) e consistenza fibrosa della polpa (CF); descrittori di alterazioni commerciali: astringenza (As), succosità (S), disidratazione (D) e aromi insoliti (SR). Valutazione complessiva (VC).

A partire dal secondo giorno di frigo-conservazione (T2), i risultati hanno evidenziato una riduzione dei valori di aspetto visuale (AV) in quanto le fette di kiwi non si presentavano più intatte e omogenee come lo erano a T0. Le fette trattate con AVG e quelle che non avevano subito alcun trattamento (CTR) hanno riportato una valutazione finale pari a 2, indice che il prodotto era praticamente inaccettabile dal punto di vista commerciale; al contrario, le fette che erano state sottoposte ai trattamenti HPMC e LEO hanno riportato valori maggiori in quanto avevano preservato l'aspetto mantenendolo più simile a quello del giorno 0 di conservazione (2,6 pt.).

Un parametro che, già dal secondo giorno, è stato rilevato dai giudici, è stato il grado di astringenza (As) per le fette trattate con l'aggiunta di LEO (2), in quanto il gusto dell'olio essenziale di limone diventava caratterizzante, proprio come è successo durante l'esperimento realizzato da Perdonés, A. *et al.* (2012) su frutti di fragola rivestita con chitosano e olio essenziale di limone. Il campione meno disidratato (parametro D) per l'intero periodo di conservazione è stato quello trattato con HPMC (4,2 pt.), valutazione conforme con i valori relativi a perdita di peso e consistenza. Infatti, la maggior parte dei cambiamenti indesiderati nella consistenza dei frutti sono solitamente causati dagli enzimi β -galattosidasi e l'eso-poligalatturonasi che solubilizzano la pectina nelle pareti cellulari (O'Connor-Shaw, R.E., *et al.*, 1994). Sono altresì stati rilevati aromi insoliti (SR) nel trattamento con LEO e nel CTR. Pertanto, i giudici, al secondo giorno di conservazione hanno attribuito i valori più elevati alle fette di kiwi dei trattamenti AVG e HPMC (4,2 pt.).

Al quarto giorno di conservazione (T4), i campioni sottoposti a trattamento HPMC hanno mantenuto i valori più alti per tutti i parametri valutati, ad eccezione di As (astringenza), che è risultata inferiore al CTR (rispettivamente 2,8 e 3 pt.). I valori più bassi, invece, sono stati evidenziati nel

trattamento LEO per i parametri S (succosità), As (astringenza), D (dolcezza) e SR (aromi insoliti). CTR e AVG non differiscono molto, ad eccezione del parametro SR, perché nelle fette trattate con AVG è stato individuato un gusto erbaceo, mentre nel CTR è stata evidenziata una consistenza più fibrosa della polpa, simile alla consistenza fibrosa dell'ananas in scatola (Marsh, K., *et al.*, 2004).

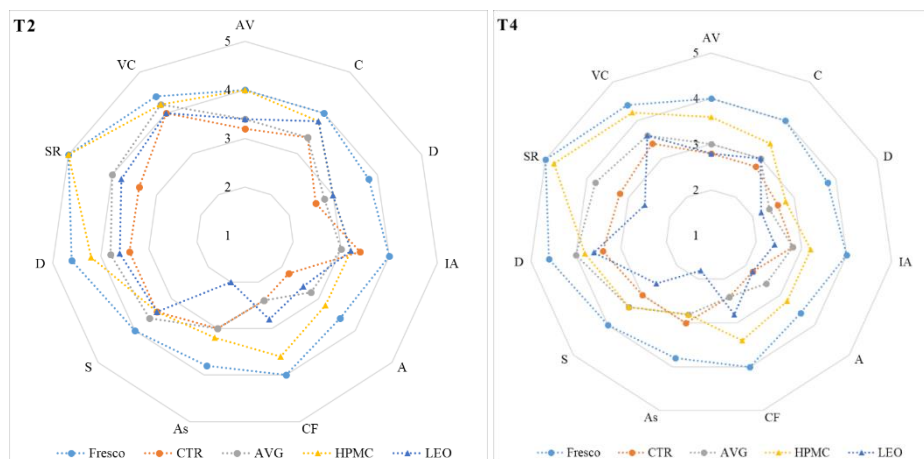


Figure 10 b e c: Valutazione sensoriale delle fette di kiwi fresco al giorno 2 e 4 di conservazione refrigerata. Valutazione per i parametri di accettabilità commerciale: 1 = prodotto estremamente inaccettabile, 2 = prodotto inaccettabile, 3 = prodotto al limite della commerciabilità, 4 = prodotto buono e 5 = prodotto eccellente. Valutazione per i parametri di alterazione: 1 = presenza estrema del descrittore, 2 = presenza importante del descrittore, 3 = limite di consumo del prodotto, 4 = lieve presenza del descrittore, 5 = assenza del descrittore.

Legenda: Descrittori di accettabilità commerciale: aspetto visuale (AV), colore (C), dolcezza (D), intensità dell'aroma (IA), acidità (A) e consistenza fibrosa della polpa (CF); descrittori di alterazioni commerciali: astringenza (As), succosità (S), disidratazione (D) e aromi insoliti (SR). Valutazione complessiva (VC).

Al settimo giorno di conservazione (T7) tutti i campioni, indifferentemente dal trattamento, presentano valori al limite della commerciabilità. In particolare, CTR ha un aspetto visivo (AV) pari a 1, AVG ha mostrato un valore di intensità dell'aroma (IA) più elevato (2,6 pt.) così come il parametro astringenza (As) pari a 3 pt., mentre HPMC aveva tutti i valori ancora al di sopra della media.

Infine, al decimo e ultimo giorno di conservazione (T10), tutti i parametri hanno assunto valori uguali in termini di disidratazione (D) e consistenza fibrosa della polpa (CF), che sono risultati maggiori in HPMC e LEO e inferiori in CTR e AVG; mentre l'acidità (A) è risultata maggiore solo nel trattamento HPMC.

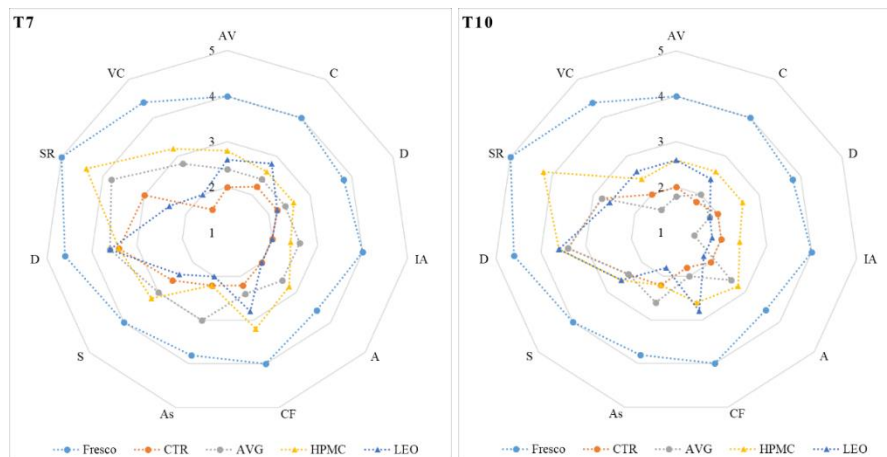


Figure 10 d ed e: Valutazione sensoriale delle fette di kiwi fresco al giorno 7 e 10 di conservazione refrigerata. Valutazione per i parametri di accettabilità commerciale: 1 = prodotto estremamente inaccettabile, 2 = prodotto inaccettabile, 3 = prodotto al limite della commerciabilità, 4 = prodotto buono e 5 = prodotto eccellente. Valutazione per i parametri di alterazione: 1 = presenza estrema del descrittore, 2 = presenza importante del descrittore, 3 = limite di consumo del prodotto, 4 = lieve presenza del descrittore, 5 = assenza del descrittore.

Legenda: Descrittori di accettabilità commerciale: aspetto visuale (AV), colore (C), dolcezza (D), intensità dell'aroma (IA), acidità (A) e consistenza fibrosa della polpa (CF); descrittori di alterazioni commerciali: astringenza (As), succosità (S), disidratazione (D) e aromi insoliti (SR). Valutazione complessiva (VC).

Pertanto è stato possibile affermare che le fette di kiwi maggiormente apprezzate dai giudici sono state quelle trattate con l'aggiunta di HPMC (2,4 pt.) e LEO (2,6 pt.); al contrario nelle fette di kiwi non trattate (CTR) e trattate con AVG sono stati riscontrati difetti più accentuati come la perdita di colore e la formazione di aromi insoliti. I risultati ottenuti sono in accordo con gli studi condotti da Martínez-Romero *et al.* (2006), secondo i quali il gel di *Aloe vera* ha dato un aspetto naturale attraente alla ciliegia, mentre Valverde *et al.* (2005) hanno confermato che le uve trattate con *Aloe vera* erano migliori di quelle non trattate in termini di croccantezza, succosità e acidità.

Conclusioni

I risultati ottenuti in questo lavoro, in accordo con altri studi relativi all'applicazione di *edible coating* di origine naturale, confermano che è possibile prolungare la commerciabilità dei kiwi in IV gamma. In particolare, i trattamenti HPMC e LEO hanno mantenuto i valori più elevati in termini di consistenza, luminosità, colore e contenuto di solidi solubili, mentre hanno evidenziato valori più bassi in termini di perdita di peso, indice di imbrunimento e rapporto CSS/AT. Grazie a questi risultati è stato possibile constatare che l'interazione di HPMC e LEO con il gel di *Aloe vera* ha ridotto ulteriormente la carica microbica, rispetto a CTR e AVG. L'analisi sensoriale ha confermato questi risultati e, anche qui, come nel precedente esperimento su frutti di mela 'Fuji' di IV gamma, l'*edible coating* a base di gel di *Aloe vera* associato ad HPMC è stato l'unico che non ha alterato il gusto naturale delle fette di kiwi, a differenza del trattamento LEO che evidenziava il gusto caratteristico dell'olio essenziale di limone e del trattamento AVG che evidenziava un gusto erbaceo che non viene percepito negli altri trattamenti. Infine, il trattamento AVG ha mostrato poche differenze rispetto al

trattamento CTR. Pertanto, come sospettato nell'esperimento sulle mele, è possibile confermare che il gel di *Aloe vera* ha, sì migliorato le caratteristiche intrinseche delle fette di kiwi ma, applicato senza additivi antiossidanti non ha mostrato un miglioramento significativo rispetto ai frutti del campione di controllo.

Bibliografia

- Agar, I. T., Massantini, R., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (1999). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal of food science*, 64(3), 433-440. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1999.tb15058.x
- Ahmed, M. J., Singh, Z., & Khan, A. S. (2009). Postharvest Aloe vera gel-coating modulates fruit ripening and quality of 'Arctic Snow' nectarine kept in ambient and cold storage. *International journal of food science & technology*, 44(5), 1024-1033. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2008.01873.x
- Alfonzo, A., Gaglio, R., Miceli, A., Francesca, N., Di Gerlando, R., Moschetti, G., & Settanni, L. (2018). Shelf life evaluation of fresh-cut red chicory subjected to different minimal processes. *Food microbiology*, 73, 298-304. DOI: 10.1016/j.fm.2018.02.008
- Allegra, A., Inglese, P., Sortino, G., Settanni, L., Todaro, A., & Liguori, G. (2016). The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the quality of 'Hayward' kiwifruit slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 45-51. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.05.011
- Allione, E., & Olivero, G. (1988). Le possibilità di trasformazione industriale dell'actinidia. *Frutticoltura*, 50(11), 35-40.
- Aloui, H., & Khwaldia, K. (2016). Natural antimicrobial edible coatings for microbial safety and food quality enhancement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6), 1080-1103. DOI: 10.1111/1541-4337.12226
- Anderson, D. M. W., & Eastwood, M. A. (1989). The safety of gum arabic as a food additive and its energy value as an ingredient: a brief review. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 2(3), 137-144.
- Antunes, M. D. C., Neves, N., Curado, F., Rodrigues, S., Franco, J., & Panagopoulos, T. (2006, February). The effect of calcium applications on kiwifruit quality preservation during storage. In *VI International Symposium on Kiwifruit 753* (pp. 727-732). DOI: 10.17660/actahortic.2007.753.95
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Baker, R. A. (1995). Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(6), 509-524. DOI: 10.1080/10408399509527713
- Barbosa, A. A. T., de Araújo, H. G. S., Matos, P. N., Carnellosi, M. A. G., & de Castro, A. A. (2013). Effects of nisin-incorporated films on the microbiological and physicochemical quality of minimally processed mangoes. *International journal of food microbiology*, 164(2-3), 135-140. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.04.004
- Barth, M., Hankinson, T. R., Zhuang, H., & Breidt, F. (2009). Microbiological spoilage of fruits and vegetables. In *Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages* (pp. 135-183). Springer, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4419-0826-1_6
- Basim, H., & Uzun, I. (2003, October). Fruit characteristics of kiwifruit in Antalya conditions. In *Proceedings of National Kiwifruit and Berries Symposium* (pp. 23-25).

- Beever, D. J. (1990). Fruit development and fruit physiology. *Kiwifruit. Science and management*, 97-126.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Pujolà, M., & Sepulcre, F. (2015). Aloe vera as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices. *LWT-Food Science and Technology*, 61(1), 184-193. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.11.036
- Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2013). Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed ‘Hayward’kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 29-36. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.02.009
- Brigati, S., & Donati, I., (2003). *Actinidia: Search Results for Their Applications in the Field of Conservation and Commercial Distribution* (pp. 277–290). Societa Orticola Italiana Verona, Italy
- Chauhan, O. P., Raju, P. S., Singh, A., & Bawa, A. S. (2011). Shellac and aloe-gel-based surface coatings for maintaining keeping quality of apple slices. *Food Chemistry*, 126(3), 961-966.
- Choi, W. S., Singh, S., & Lee, Y. S. (2016). Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of ‘Formosa’ plum (*Prunus salicina* L.). *LWT*, 70, 213-222.
- Collins, A. R. (2013). Kiwifruit as a modulator of DNA damage and DNA repair. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 68, pp. 283-299). Academic Press.
- Cotter, R. L., MacRae, E. A., Ferguson, A. R., McMath, K. L., & Brennan, C. J. (1991). A comparison of the ripening, storage and sensory qualities of seven cultivars of kiwifruit. *Journal of horticultural science*, 66(3), 291-300.
- Cozzolino, R., De Giulio, B., Petriccione, M., Martignetti, A., Malorni, L., Zampella, L., ... & Pellicano, M. P. (2020). Comparative analysis of volatile metabolites, quality and sensory attributes of *Actinidia chinensis* fruit. *Food Chemistry*, 316, 126340. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126340
- Cozzolino, R., De Giulio, B., Petriccione, M., Martignetti, A., Malorni, L., Zampella, L., ... & Pellicano, M. P. (2020). Comparative analysis of volatile metabolites, quality and sensory attributes of *Actinidia chinensis* fruit. *Food Chemistry*, 316, 126340. DOI: 10.1021/jf072208a
- Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, 113(2), 557-562.
- Ergun, M., & Satici, F. (2012). Use of Aloe vera gel as biopreservative for ‘Granny Smith’ and ‘Red Chief’ apples. *J. Anim. Plant Sci*, 22(2), 363-368.
- Fahs, A., Brogly, M., Bistac, S., & Schmitt, M. (2010). Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) formulated films: Relevance to adhesion and friction surface properties. *Carbohydrate Polymers*, 80(1), 105-114. DOI: 10.1016/j.carbpol.2009.10.071
- Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Palazzolo, E., & Sortino, G. (2020). Use of Aloe Vera Gel-Based Edible Coating with Natural Anti-Browning and Anti-Oxidant Additives to Improve Post-Harvest Quality of Fresh-Cut ‘Fuji’ Apple. *Agronomy*, 10(4), 515. DOI: 10.3390/agronomy10040515

- Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Palazzolo, E., & Sortino, G. (2020). Use of Aloe Vera Gel-Based Edible Coating with Natural Anti-Browning and Anti-Oxidant Additives to Improve Post-Harvest Quality of Fresh-Cut 'Fuji' Apple. *Agronomy*, 10(4), 515. DOI: 10.1155/2020/8303140
- Ferguson, A. R. (1991). Kiwifruit (actinidia). *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops* 290, 603-656.
- Guldás, M. (2003). Peeling and the physical and chemical properties of kiwi fruit. *Journal of food processing and preservation*, 27(4), 271-284.
- Hodges, D. M. (2003). *Postharvest oxidative stress in horticultural crops*. CRC Press.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Falcato, P., & Debevere, J. (1999). Behavior of *Listeria monocytogenes* and *Aeromonas* spp. on fresh-cut produce packaged under equilibrium-modified atmosphere. *Journal of food protection*, 62(10), 1128-1135. DOI: 10.4315/0362-028x-62.10.1128
- Jay, J. M. (2009). Natural microbial ecosystems and their progression in fresh foods. *Food-Borne Microbes: Shaping the Host Ecosystem*, 41-61. DOI: 10.1128/9781555815479.ch3
- Marsh, K., Attanayake, S., Walker, S., Gunson, A., Boldingh, H., & MacRae, E. (2004). Acidity and taste in kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 159-168. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2003.11.001
- Martínez-Romero, D., Albuquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93-100. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2005.09.006
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 177-182. DOI: 10.1016/s0260-8774(00)00155-2
- Monzini, A., & Gorini, F., (1986). *Aspects and Problems of Preservation of Actinidia: Cultivation of Actinidia* (pp. 141–170). Italian Horticultural Society, Verona, Italy
- Nardin, C., & Galliano, A. (1988). Le tecnologie per la frigoconservazione dell'actinidia. *Frutticoltura*, 50(11), 29-34.
- Navarro-Tarazaga, M. L., Del Rio, M. A., Krochta, J. M., & Perez-Gago, M. B. (2008). Fatty Acid Effect on Hydroxypropyl Methylcellulose– Beeswax Edible Film Properties and Postharvest Quality of Coated 'Ortanique' Mandarins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(22), 10689-10696. DOI: 10.1021/jf801967q
- Navarro-Tarazaga, M. L., & Perez-Gago, M. B. (2006). Effect of edible coatings on quality of mandarins cv. Clemenules. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* (Vol. 119, pp. 350-352).
- Ni, Y., Turner, D., Yates, K. Á., & Tizard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of Aloe vera L. leaf pulp. *International immunopharmacology*, 4(14), 1745-1755.

- Nishiyama, I., Fukuda, T., & Oota, T. (2005). Genotypic differences in chlorophyll, lutein, and β -carotene contents in the fruits of Actinidia species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(16), 6403-6407.
- O'Connor-Shaw, R. E., Roberts, R., Ford, A. L., & Nottingham, S. M. (1994). Shelf life of minimally processed honeydew, kiwifruit, papaya, pineapple and cantaloupe. *Journal of Food Science*, 59(6), 1202-1206. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1994.tb14676.x
- Park, Y. S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Namiesnik, J., Suhaj, M. M. C. M. O., Cvikrová, M., & Gorinstein, S. (2011). Comparison of the contents of bioactive compounds and the level of antioxidant activity in different kiwifruit cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 963-970.
- Pennycook, S. R., & Manning, M. A. (1992). Picking wound curing to reduce Botrytis storage rot of kiwifruit. *New Zealand journal of crop and horticultural science*, 20(3), 357-360.
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest biology and technology*, 70, 32-41. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2012.04.002
- Perez-Gago, M. B., Rojas, C., & DelRio, M. A. (2002). Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of mandarins cv. fortune. *Journal of food science*, 67(8), 2903-2910.
- Pratella, G. C., Brigati, S., & Maccaferri, M. (1985). Conservazione dell'actinidia: aspetti patologici, fisiologici e tecnologici. *Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura*, 47(9-10), 17-32.
- Ragaert, P.; Verbeke, W.; Devlieghere, F. & Debevere, J. (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Qual Preference*, 15, pp. 259-270. DOI: 10.1016/s0950-3293(03)00066-1
- Randazzo, W.; Jimenez-Belenguer, A.; Settanni, L.; Perdones, A.; Moschetti, M.; Palazzolo, E. Antilisterial effect of citrus essential oils and their performance in edible film formulations. *Food Control* 2016, 59, pp. 750-758. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.06.057
- Rush, E. C., Patel, M., Plank, L. D., & Ferguson, L. R. (2002). Kiwifruit promotes laxation in the elderly. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11(2), 164-168.
- Saba, M. K., & Sogvar, O. B. (2016). Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 165-171. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.022
- Saritha, V., Anilakumar, K. R., & Khanum, F. (2010). Antioxidant and antibacterial activity of Aloe vera gel extracts. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*, 1(4), 376-384. DOI: 10.19045/bspab.2019.80068
- Schroder, R., & Atkinson, R. G. (2006). Kiwifruit cell walls: towards an understanding of softening? *New Zealand Journal of Forestry Science*, 36(1), 112.
- Settanni, L., Randazzo, W., Palazzolo, E., Moschetti, M., Aleo, A., Guarrasi, V., ... & Germanà, M. A. (2014). Seasonal variations of antimicrobial activity and chemical composition of essential oils

- extracted from three Citrus limon L. Burm. cultivars. *Natural product research*, 28(6), 383-391. DOI: 10.1080/14786419.2013.871544
- Sortino, G., Saletta, F., Puccio, S., Scuderi, D., Allegra, A., Inglese, P., & Farina, V. (2020). Extending the Shelf Life of White Peach Fruit with 1-Methylcyclopropene and Aloe arborescens Edible Coating. *Agriculture*, 10(5), 151. DOI: 10.3390/agriculture10050151
- Testolin R. & Crivello V. (1987). *Il kiwi e il suo mondo*. Iripa-coldiretti.
- Torreggiani, D., Forni, E., & Pelliccioni, L. (1994). Modificazione della temperatura di transizione vetrosa mediante disidratazione osmotica e stabilita al congelamento del colore di kiwi. In *Ricerche e innovazioni nell'industria alimentare*, 1 Congresso Italiano di Scienza e Tecnologia degli Alimenti (CISETA 1) (pp. 621-630). Chiriotti Editori, Pinerolo (I).
- Turk, R. & Celik, E. (1992). The storage of kiwifruit grown under our country conditions, in: Vural H. (Ed), *Paper presented at National First Horticulture Congress*, Izmir, Turkey, pp. 391-394
- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(20), 7807-7813. DOI: 10.1021/jf050962v
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan–oleic acid edible coatings. *Postharvest biology and technology*, 41(2), 164-171.
- Whelton, P. K., & He, J. (1999). Potassium in preventing and treating high blood pressure. In *Seminars in nephrology* (Vol. 19, No. 5, p. 494).
- Wiley, R. C. (1994). Introduction to minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In *Minimally processed refrigerated fruits & vegetables* (pp. 1-14). Springer, Boston, MA.
- Wiryawan, F. S., & Djatna, T. (2020). Value chain and sustainability analysis of fresh-cut vegetable: A case study at SSS Co. *Journal of Cleaner Production*, 121039. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121039
- Xiloyannis, C., Montanaro, G., Mininni, A. N., & Dichio, B. (2012). Sustainable production systems in fruit tree orchards. In *II International Symposium on Horticulture in Europe 1099* (pp. 319-324). DOI: 10.17660/actahortic.2015.1099.36
- Xu, S., Chen, X., & Sun, D. W. (2001). Preservation of kiwifruit coated with an edible film at ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, 50(4), 211-216. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00022-X

Capitolo VI

Valutazione dell'evoluzione qualitativa di frutti di *Pyrus communis* L. var. 'Coscia' ready to eat, trattati con edible coating.

Abstract

La pera è un frutto ricco di antiossidanti e nutrienti ma molto suscettibile al deterioramento. L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di rallentare tale processo in frutti di IV gamma mediante l'applicazione di due *edible coating* a base di gel di *Aloe vera*: EC1: HPMC e agenti antiossidanti quali acido citrico e acido ascorbico, EC2: HPMC, olio essenziale di melograno, e i suddetti agenti antiossidanti. Dai risultati è emerso che il trattamento EC1 ha rallentato significativamente la perdita di peso e di consistenza, del colore e del contenuto in solidi solubili ed è stato il campione maggiormente apprezzato dai giudici che hanno partecipato all'analisi sensoriale. L'analisi microbiologica non ha evidenziato alcuna carica microbica, sia per i campioni trattati che per il controllo. Il campione trattato con EC2 ha messo in evidenza un aroma insolito durante l'analisi sensoriale e una perdita di peso pressoché simile al campione CTR a partire dal giorno 2 di conservazione. Pertanto, gli *edible coating* utilizzati hanno permesso di mantenere una elevata qualità del prodotto, con conseguente miglioramento della *Shelf-life*.

Introduzione

I frutti di pera europea (*Pyrus communis* L. – fig. 1), appartenenti alla famiglia delle *Rosaceae*, sono conosciuti in tutto il mondo per il loro sapore e la croccantezza, ma sono molto suscettibili al deterioramento. La pera è una buona fonte di antiossidanti e di nutrienti preziosi nella dieta umana (Chen *et al.*, 2007). Le forme più utilizzate di questo frutto, oltre ad essere consumate come prodotto fresco, sono anche quelle sotto forma di succo di frutta, marmellata ed essiccati (Kolniak-Ostek 2016).

Uno degli aspetti più importanti dell'industria della frutta di IV gamma e, con particolare riferimento a questo frutto, è l'imbrunimento enzimatico perché, come è noto da tempo, influisce negativamente sull'aspetto dei prodotti freschi (Obando-Ulloa, J. M. *et al.*, 2018). Come è stato affermato dai precedenti studi, questo processo è dovuto alla reazione di ossidazione dei composti fenolici attraverso la polifenolossidasi (PPO), che provoca la formazione di o-chinone che viene polimerizzato per formare la melanina, responsabile del pigmento scuro. Pertanto, questo processo può essere prevenuto attraverso alcuni processi come, l'abbassamento del pH della superficie del frutto, la rimozione dell'ossigeno o l'aggiunta di alcuni agenti inibitori (Anese *et al.*, 1997).

Il metodo più comunemente usato per inibire l'imbrunimento nell'industria della frutta di IV gamma è l'aggiunta di composti naturali anti imbrunimento: antiossidanti, agenti chelanti e agenti acidificanti (Bieganska-Marecik e Czapski, 2007). Vari composti sono attualmente utilizzati e definiti

funzionali, ad esempio l'acido citrico, l'acido ascorbico, il cloruro di calcio, il carbonato di sodio, l'etanolo o la cisteina, il 4-Esilresorcinolo, l'acido cinnamico, l'acido P-cumarico, l'acido ferulico, l'acido sinapico, l'alginato, la pectina, lo xantano e la gomma gellan (El-Shimi 1993; Yildiz 2018; Arias *et al.* 2007; Anese *et al.* 1993; Jiang *et al.* 1999; Moreira *et al.* 2015; Lamikanra e Watson, 2001). Per quanto riguarda i frutti di pero, sono risultati efficaci *edible coating* a base di acido oleico e zeina (Scramin *et al.*, 2011), oli vegetali (Ju *et al.*, 2000), gommalacca, Semperfresh™, carbossimetil-cellulosa (Hussain *et al.*, 2010). Nandane, A.S., *et al.*, (2017) hanno testato un *edible coating* a base di HPMC, sorbato di potassio e olio d'oliva su frutti di pera interi e conservati a temperatura ambiente.

Inoltre, negli ultimi anni il gel estratto dalle foglie di *Aloe vera* è stato utilizzato come agente antimicrobico in molte ricerche, mostrando un miglioramento dell'aspetto visivo dei frutti della IV gamma, riducendone la carica microbica (Passafiume *et al.*, 2020; Farina *et al.*, 2020a; Farina *et al.*, 2020b). inoltre, sebbene vi siano molti studi riguardo agli effetti benefici dell'olio di semi di melograno, circa l'inibizione della crescita delle cellule tumorali o la soppressione delle cellule tumorali in vitro (Kohno, H., *et al.*, 2004; Hora, J.J., *et al.*, 2003), in quanto esso contiene grandi quantità di acido linolenico, nessun *edible coating* contenente olio essenziale di melograno è ancora stato testato su prodotti frutticoli.

Pertanto, lo scopo di questo lavoro, attraverso una serie di studi e prove preliminari di seguito descritte, è stato quello di individuare l'effetto della combinazione di questo olio essenziale in combinazione con l'HPMC e il gel di *Aloe vera* e antiossidanti, e lo studio delle caratteristiche organolettiche di fette di pera 'Coscia' conservate come IV gamma, durante un periodo di 7 giorni.



Figura 1: *Pyrus communis* L. 'coscia'.

Materiale & Metodi

1. *Materiale vegetale*

Venti kg di pera ‘Coscia’, selezionati per uniformità di calibro, dimensione e assenza di difetti, sono stati raccolti in fase di maturazione commerciale a Torrenova (ME).

2. *Estrazione del gel di Aloe vera*

Un kg di foglie mature di *Aloe vera* è stato raccolto nel campo sperimentale dell'Università di Palermo, lavate e poi immerse in 100 µL-L-1 di ipoclorito di sodio per 5 minuti. Il parenchima gelatinoso è stato separato dalle foglie con un coltello in acciaio inossidabile, eliminando l'epidermide esterna. È stato triturato con un ultra-Turrax T25 (Janke e Kunkle, IKA Labortechnik, Breisgau, Germania) per 5 minuti a 24.500 giri al minuto per formare una sostanza omogenea e filtrato per rimuovere la parte fibrosa. Sono stati ottenuti 500 ml di estratto. Sulla base degli esperimenti precedenti (Benitez, S., *et al.*, 2015; Farina *et al.*, 2020b), la percentuale di gel di *Aloe vera* è stata stabilita al 40% del suo volume in 300 mL di acqua, per l'accettabilità sensoriale, a causa di un sapore amaro che si è verificato a concentrazioni più elevate.

3. *Formulazione edibile coating*

Per verificare la funzionalità degli *edible coating* testati nell'arco dei tre anni di Ricerca, durante le fasi preliminare della prova, sono stati applicati tutti gli *edible coating* precedentemente utilizzati in altre prove e confrontati con un nuovo *edible coating*, contenente olio essenziale di melograno (PEO), al fine di individuare quello che manteneva elevate le caratteristiche qualitative del frutto, per riutilizzarlo nella prova definitiva. In particolare i trattamenti erano:

- EC1: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera* + il 2% di HPMC + l'1% di PEO;
- EC2: campione trattato con 40% di gel di *Aloe vera* + il 2% di HPMC;
- EC3: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera* + il 4% di CaCl₂ + il 3% di PEO;
- EC4: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera* + il 2% di idrossipropil-metilcellulosa (HPMC) + l'1% di Olio essenziale di limone (LEO);
- EC5: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera*;
- EC6: campione trattato con il 40% di gel di *Aloe vera* + il 4% di CaCl₂;
- CTR: campione di confronto, non trattato.

A tutte le soluzioni sono stati additivati agenti antiossidanti (AA - a. citrico e a. ascorbico) in misura dell'1% ciascuno.

Le soluzioni (fig. 3) sono state mantenute a 40 °C per 90 min in autoclave e centrifugate a 3.000 rpm per 20 minuti con ultra-Turrax.



Figura 2: Formulazione *edible coating*.

4. *Disegno sperimentale*

Nell'area di lavoro, tutti gli utensili e le superfici a contatto con la frutta durante la lavorazione sono stati lavati e sanificati con 200 $\mu\text{L-L-1}$ di soluzione di ipoclorito di sodio per avere il massimo effetto sanificante.

Le pere sono state lavate prima sotto acqua di rubinetto e poi immerse in acqua clorata (0,5%) per 10 minuti. Successivamente, i frutti interi sono stati lasciati asciugare all'aria per 20 minuti e divisi in sei lotti, corrispondenti al numero dei trattamenti. Successivamente, le pere sono state sbucciate e tagliate, con un coltello in acciaio inossidabile sterilizzato, in 4 fette.

L'*edible coating* è stato applicato mediante tecnica *spraying*, con un aerografo (ugello da 0,8 mm) alimentato da N_2 , per 2 minuti. Successivamente, tutte le fette sono state lasciate asciugare e, in numero di quattro (ca. 100 g a vaschetta), sono state posizionate all'interno delle vaschette in PET (polietilentereftalato) (fig. 3 a e b). Queste sono state poi conservate a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa (UR). Le analisi fisico-chimiche, microbiologiche e sensoriali sono state effettuate nei giorni 0 (t_0 - come prodotto fresco), 2 (t_2), 4 (t_4) e 7 (t_7) in tre repliche.



Figure 3a e b: Applicazione dei trattamenti e stoccaggio a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ UR.

5. *Analisi fisico-chimiche*

5.1. *Calo peso*

Per tutto il periodo di conservazione è stata misurata la differenza di peso di ogni vaschetta mediante una bilancia digitale di precisione decimale (Gibertini, Italia) e i valori sono stati espressi come percentuale relativa alla perdita di peso:

$$\text{Perdita di peso (\%)} = [(W_i - W_d) / W_i] \times 100$$

Dove W_i è il peso iniziale e W_d è il peso misurato durante la frigoconservazione.

5.2. *Colore della polpa*

Un colorimetro Minolta (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Giappone) è stato utilizzato per determinare il cambiamento di colore nelle fette di pera. Prima dell'analisi sul campione lo strumento è stato calibrato utilizzando una piastra bianca standard. Sono stati studiati i parametri di luminosità (L^*), di tendenza al rosso (a^*) e l'indice di imbrunimento (BI), seguendo la formula di Ruangchakpet e Sajjaanantakul (2007):

$$(\text{BI}) = [100 (x - 0,31)] / 0,17]$$

dove $x = (a^* + 1,75L^*) / (5,645L^* + a^* - 0,3012b^*)$.

Dal valore ottenuto per L^* , a^* e b^* , è stata determinata la differenza cromatica totale seguendo la formula: $\Delta E^* = [(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2]^{1/2}$.

5.3. *Consistenza*

La consistenza della polpa ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) è stata determinata mediante un penetrometro digitale TR5325 (Turoni, Forlì Italia) con un puntale di 8 mm di diametro.

5.4. *Contenuto in solidi solubili*

Dal succo estratto dalle fette di pera è stato determinato il contenuto di solidi solubili (CSS), attraverso un rifrattometro digitale ATAGO (Atago Co, Ltd.), Tokyo, Giappone) a 20 °C ed espresso come °Brix.

6. *Analisi microbiologiche*

I diversi gruppi microbici sono stati studiati come segue: Microrganismi mesofili totali (TMM) su piastra Count Agar (PCA), incubati a 30 °C per 72 h; Microrganismi Psicrotrofici totali (TPM) su PCA, incubati a 7 °C per 7 d; pseudomonadi su Pseudomonas Agar Base (PAB) aggiunte con supplemento di Ceftrimide Fucidin Cephaloridine (CFC), incubate a 25 °C per 48 h; membri della famiglia delle Enterobacteriaceae su Violet Red Bile Glucose Agar (VRBGA), incubati a 37 °C per 24 h; lieviti e muffe su estratto di lievito Peptone Dextrose (YPD) agar integrato con 0.1 g/l di cloramfenicolo per evitare la crescita batterica, incubato a 25 °C per 48 h e 7 d, rispettivamente.

7. *Analisi sensoriale*

Tutti i campioni sono stati sottoposti a un panel semi-addestrato costituito da 24 descrittori come segue: Aspetto visuale (AV), Colore della polpa (CP), Brillantezza della polpa (BP), Imbrunimento (I), Odore di pera (OP), Odore erbaceo (OE), Off-odour (OO), Rugosità (R), Compattezza (C), Secchezza (S), Intensità dell'Aroma (IA), Croccantezza (Cr), Consistenza (Co), Appiccicosità (A), Gommosità (G), Succosità (J), Astringenza (As), Dolcezza (D), Amaro (Am), Acido (Ac), Flavour di pera (FP), Flavour erbaceo (FE), Off-flavour (OF), Valutazione complessiva (VC). Tutti i campioni sono stati valutati con un punteggio da 1 (intensità nulla del descrittore) a 9 (massima intensità del descrittore).

8. *Analisi statistica*

Tutti i dati sono stati testati per le differenze tra i trattamenti e i tempi di campionamento utilizzando l'analisi a due fattori della varianza (ANOVA) seguita dal test del range multiplo di Tukey per $p \leq 0,05$. Tutte le analisi statistiche sono state condotte utilizzando il software XLSTAT versione 9.0 (Addinsoft, Parigi, Francia).

Risultati e Discussione

1. *Analisi fisico-chimiche*

I dati delle prove preliminari hanno mostrato che non vi erano differenze statisticamente significative ($p \leq 0,05$) tra i frutti del campione non trattato (CTR) e quelli trattati con EC5 (solo gel di *Aloe vera*). I campioni EC6 (gel di *A. vera* e CaCl_2) ed EC3 (gel di *A. vera*, CaCl_2 e olio essenziale di melograno) hanno evidenziato una perdita della consistenza e del colore superficiale e in particolare un'opacizzazione della superficie delle fette di pera. Con particolare riferimento alla presenza di olio essenziale di melograno (PEO), l'analisi del colore ha evidenziato un rapido imbrunimento, mentre l'analisi sensoriale ha evidenziato un'alterazione del caratteristico sapore di pera. Anche in questo esperimento, nei campioni appartenenti al trattamento EC4 l'olio essenziale di limone (LEO) ha rilasciato il suo caratteristico sapore. Pertanto non verranno mostrati i dati pertinenti alle prove preliminari in quanto le fette di pera non hanno beneficiato dei trattamenti. Per questa ragione sono stati presi in considerazione per la prova sperimentale definitiva i campioni EC1 (gel di *A. vera*, HPMC, PEO e AA) ed EC2 (gel di *A. vera*, HPMC e AA) e, per individuare un metro di confronto, il campione non trattato (CTR).

Tutti i campioni all'inizio delle analisi avevano un peso omogeneo di $100 \pm 5,00$ g. I dati relativi alla percentuale della perdita di peso (tab. 1), indicano che il campione non trattato (CTR) ha subito una più rapida riduzione già a partire dal secondo giorno di conservazione (t_2), mentre i trattamenti EC1 ed EC2 hanno ridotto la perdita di liquidi mantenendo più a lungo compatta la struttura cellulare.

Ciò si evince anche dai risultati ottenuti dall'analisi dei dati ricavati per la consistenza (fig. 4), in cui il valore iniziale (a t0) era $4,07 \pm 0,17 \text{ Kg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Le fette di pera trattate hanno mantenuto ben salde le pectine della parete cellulare, rallentando i processi di degradazione cellulare. Dal grafico si evince, infatti, che tutti i trattamenti hanno subito un calo repentino della consistenza dal quarto giorno di conservazione (t4) ma, prima di allora, EC1 ed EC2 assumono lo stesso andamento, mantenendo pressoché stabili i valori di consistenza ($3,91 \pm 0,12$ e $4,00 \pm 0,12 \text{ Kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ rispettivamente), mentre CTR riduce i suoi valori di consistenza già dal secondo giorno di conservazione ($3,42 \pm 0,25 \text{ Kg}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Perdita di peso (%)				
TRATTAMENTI	Giorni di conservazione			
	t0	t2	t4	t7
CTR	0%	11%	17%	21%
EC1	0%	8%	13%	16%
EC2	0%	7%	10%	12%

Tabella 1: Perdita di peso (%) delle fette di pera trattate (EC1 ed EC2) e non trattate (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4 e 7 giorni di conservazione a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ e $90 \pm 5\%$ di umidità relativa (UR).

La perdita di consistenza durante la frigo-conservazione delle fette di pera potrebbe essere associata alla perdita di acqua e alla degradazione delle sostanze pectiche presenti nel frutto (Nath *et al.* 2012). In uno studio condotto su frutti di pera 'Bartlett/William', è stato osservato che gli *edible coating* a base di polisaccaridi e lipidi hanno la capacità di ridurre l'ammorbidimento della struttura cellulare, ritardando i processi di maturazione dovuti alle normali attività enzimatiche (Hussain *et al.*, 2010). Infatti, l'HPMC associato a componenti lipidiche ha una maggiore capacità di modificare l'atmosfera interna della frutta e mantenerne elevati valori di consistenza (Navarro-Tarazaga *et al.* 2011).

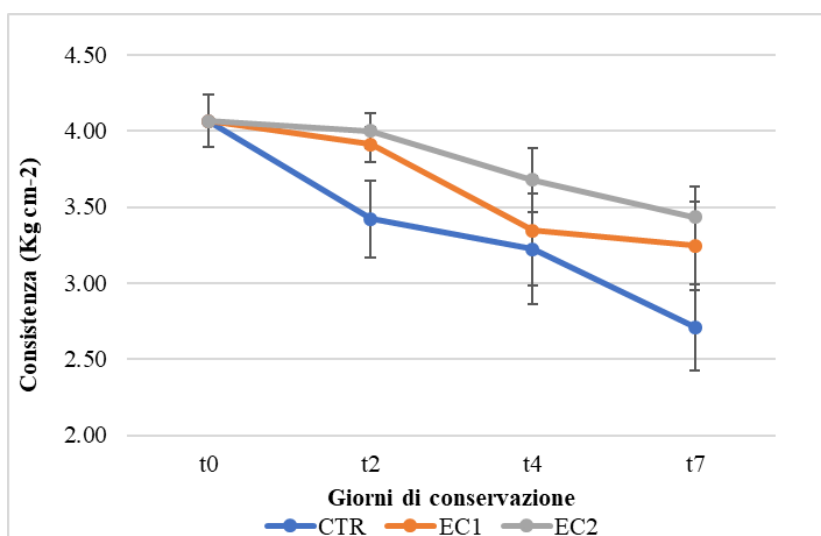


Figura 4: Evoluzione della consistenza ($\text{Kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) delle fette di pera trattate (EC1 ed EC2) e non trattate (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4 e 7 giorni di conservazione a $4 \pm 1^\circ\text{C}$ e $90 \pm 5\%$ di umidità relativa (UR). I valori indicano le medie e le barre indicano le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$).

In termini di luminosità (L^*) e imbrunimento enzimatico (BI) (fig. 5 e 6), i dati ottenuti hanno permesso di ipotizzare un efficace rallentamento dell'azione dell'enzima polifenolossidasi, grazie alla presenza degli *edible coating*, in accordo con Sapers & Miller (1998), Dong *et al.* (2015) e Gorny *et al.* (2002). Non ci sono differenze sostanziali fra i trattamenti EC1 ed EC2, anche se il trattamento EC2 mostra dei valori superiori. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che l'olio essenziale di melograno tende ad incrementare il pH della soluzione. Olivas *et al.* (2003) hanno anche riportato l'effetto positivo dell'incorporazione di alcuni additivi (acido ascorbico, cloruro di calcio e acido sorbico) nei rivestimenti di metilcellulosa e metilcellulosa-acido stearico sul controllo dell'imbrunimento delle pere "Anjou" di IV gamma.

Dai risultati ottenuti per ΔE (fig. 7) è possibile vedere che a partire da t4 il trattamento EC1 determina un incremento della colorazione rossa (imbrunimento) delle fette di pera, mentre EC2 ha un andamento costante. I costituenti antiossidanti della frutta, come i composti fenolici e l'acido ascorbico, sono legati all'imbrunimento enzimatico. I composti fenolici sono ossidati a chinoni altamente instabili che vengono poi polimerizzati a pigmenti marroni, rossi e neri (Nicolas *et al.*, 1994; Mart'nez e Whitaker, 1995). Inoltre, la diminuzione del contenuto di acido ascorbico al di sotto di un livello di soglia è stata correlata all'imbrunimento della parte centrale delle pere (Eccher Zerbini *et al.*, 2002).

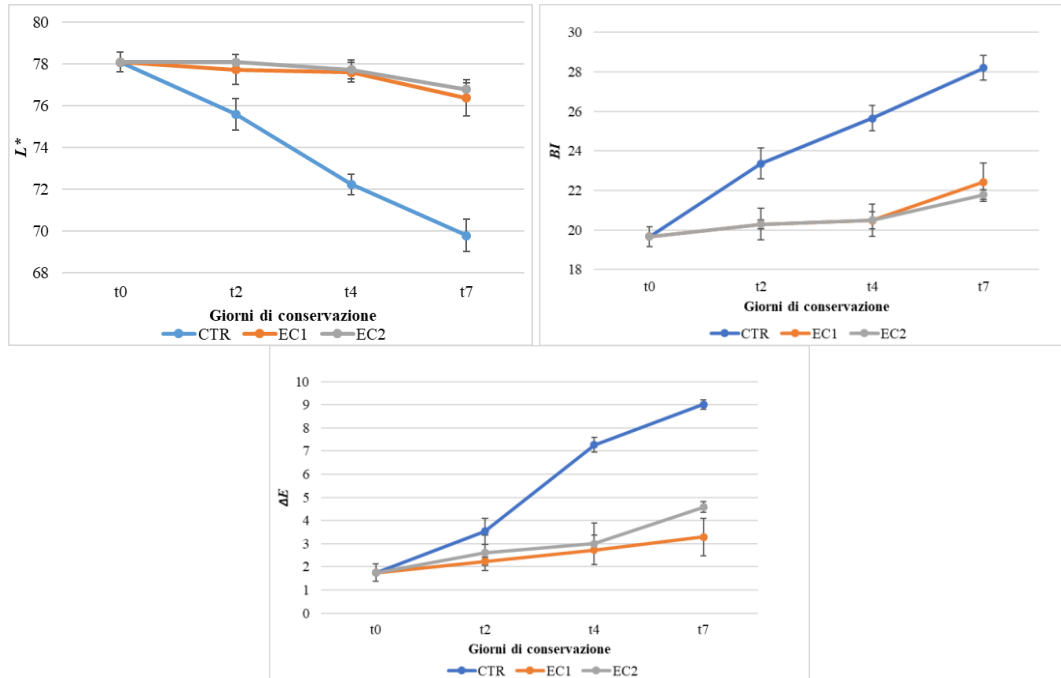


Figure 4, 5 e 6: Evoluzione della luminosità (L^*), dell'indice di imbrunimento (BI) e variazione di colore (ΔE) delle fette di pera trattate (EC1 ed EC2) e non trattate (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4 e 7 giorni di conservazione a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa (UR). I valori indicano le medie e le barre indicano le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$).

Per quanto riguarda il contenuto in solidi solubili (CSS), dalla figura 6 è possibile vedere che fino al secondo giorno di conservazione CTR ed EC2 si sono comportati alla stessa maniera,

diversamente da EC1 che ha subito un incremento già a partire da t2. Dopo tale giorno, EC2 si è mantenuto sempre al di sotto dei valori di CTR. Questo comportamento potrebbe essere associato alla presenza di agenti antiossidanti e anti imbrunimento che, insieme al gel di *Aloe vera*, hanno ridotto l'incremento dei solidi solubili dovuto ai normali processi di maturazione dei frutti (Tapia *et al.*, 2007; Rojas-Grau *et al.*, 2007, 2008). Inoltre, l'aumento del CSS durante la conservazione potrebbe essere associato alla trasformazione delle sostanze pectiche, all'idrolisi dell'amido e alla disidratazione dei frutti (Goncalves *et al.* 2000; Park 2002) che determina un incremento della loro concentrazione.

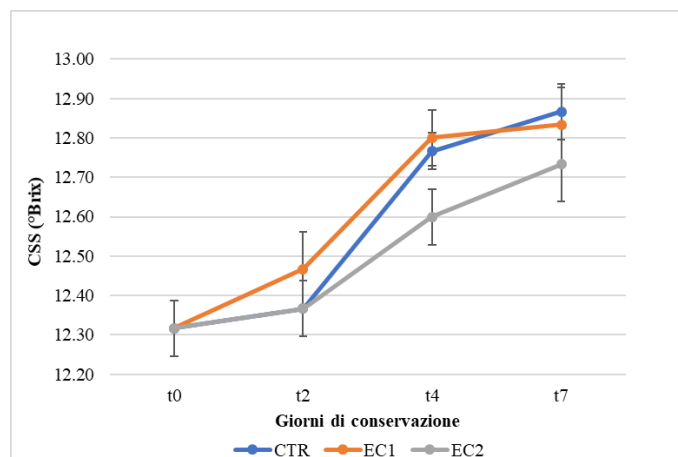


Figura 7: Evoluzione del contenuto totale di solidi solubili (CSS) espresso in °Brix, delle fette di pera trattate (EC1 ed EC2) e non trattate (CTR), al giorno 0 e dopo 2, 4 e 7 giorni di conservazione a $4\pm 1^\circ\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa (UR). I valori indicano le medie e le barre indicano le deviazioni standard delle repliche ($n = 3$).

2. Analisi microbiologiche

Per quanto concerne le analisi microbiologiche, in nessuno dei campioni analizzati sono state rilevate colonie di pseudomonadi, enterobacteriaceae, lieviti e muffe, responsabili dell'alterazione di prodotti agroalimentari (Alfonzo, A., *et al.*, 2018; Barth, M., *et al.*, 2009; Jay, J.M., 2009). Come già spiegato in precedenza, infatti, il deterioramento microbico nella frutta di IV gamma viene solitamente rilevato a livelli superiori a 7 e 5 Log CFU/g, per batteri e lieviti rispettivamente (Jacxsens, L., *et al.*, 1999).

Questo comportamento è stato associato al fatto che l'esperimento è stato effettuato in ambiente sanificato al 100% e seguendo i protocolli di massima sicurezza, gli stessi previsti lungo le fasi di lavorazione dei prodotti di IV gamma nelle industrie. Infine, non esistendo ad oggi lavori effettuati su frutti di pera 'Coscia' rivestiti da un *edible coating* a base di gel di *Aloe vera*, HPMC, olio essenziale di melograno e agenti antiossidanti, è stato possibile mettere a confronto i risultati da noi ottenuti con i dati ricavati dagli studi precedentemente realizzati, ma non sono stati riscontrati risultati simili in letteratura.

3. Analisi sensoriale

Per quanto riguarda i risultati ottenuti dal panel test i frutti freschi (fig. 8) mostrano valori accettabili da un punto di vista commerciale e di consumo. A partire da t2 (fig. 9) è possibile notare le prime differenze tra i frutti trattati e quelli non trattati, rispetto ai valori di partenza: in particolare EC2 mostra valori più elevati in termini di compattezza, flavour, succosità e dolcezza; mentre CTR mostra un elevato valore di imbrunimento e rugosità. A t4 (fig. 10) tutti i descrittori hanno subito un calo: CTR continua a subire processi di imbrunimento ed evidenzia formazioni di rugosità e off-odour, mentre i trattamenti permettono di mantenere i valori più simili a quelli dei frutti di partenza (t0), specialmente in termini di consistenza, succosità, dolcezza e sapore di pera. Nell'ultimo giorno di analisi (t7 – fig. 11) EC2 mostra ancora valori superiori rispetto agli altri trattamenti, seppur con piccole differenze, mentre CTR risulta completamente degradato, ciò si evince specialmente dai descrittori di colore (CP, BP e I).

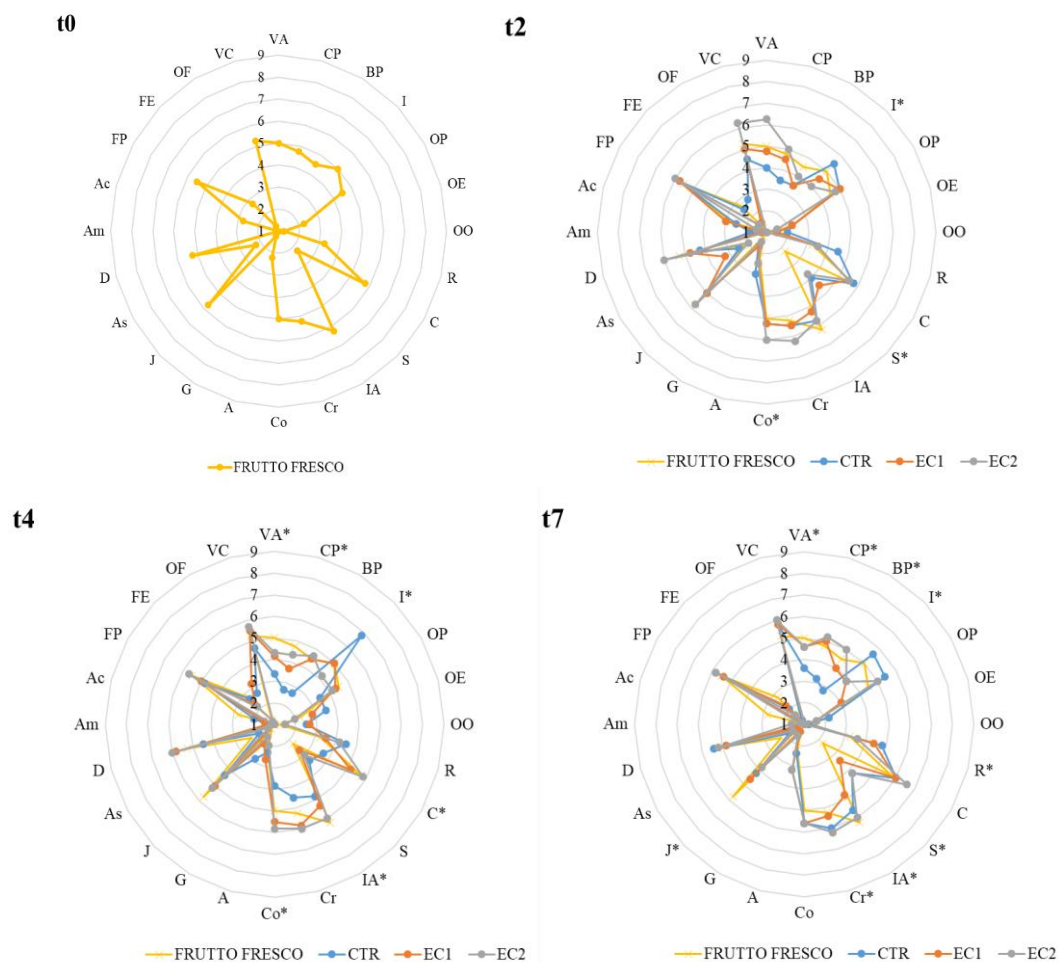


Figure 8, 9, 10 e 11: Analisi sensoriale delle fette di pera trattate (EC1 ed EC2) e non trattate (CTR), al giorno 0 (frutto fresco) e dopo 2, 4 e 7 giorni di conservazione a $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $90\pm 5\%$ di umidità relativa (UR). Legenda: Aspetto visuale (AV), Colore della polpa (CP), Brillantezza della polpa (BP), Imbrunimento (I), Odore di pera (OP), Odore erbaceo (OE), Off-odour (OO), Rugosità (R), Compattezza (C), Secchezza (S), Intensità dell'Aroma (IA), Croccantezza (Cr), Consistenza (Co), Appiccicosità (A), Gommosità (G), Succosità (J), Astringenza (As), Dolcezza (D), Amaro (Am), Acido (Ac), Flavour di pera (FP), Flavour erbaceo (FE), Off-flavour (OF), Valutazione complessiva (VC).

Conclusioni

Dai risultati ottenuti in questo esperimento e sulla base di tutti i precedenti studi e le prove preliminari effettuate in laboratorio, è stato possibile affermare che i trattamenti hanno, ancora una volta, mantenuto inalterate più a lungo le caratteristiche fisico-chimiche dei frutti, riducendo i fenomeni di stress ossidativo e la degradazione cellulare data dal normale processo di maturazione dei frutti. Inoltre gli *edible coating* non hanno alterato il gusto dei frutti, permettendone una migliore conservazione senza comportarne un decadimento gustativo. Sebbene non sia stato possibile avere un confronto con i dati presenti in letteratura, è possibile confermare quanto evidenziato nei nostri studi precedenti, circa il beneficio apportato dalle singole componenti dell'*edible coating* sulle caratteristiche fisico-chimiche dei frutti in IV gamma.

Bibliografia

- Alfonzo, A., Gaglio, R., Miceli, A., Francesca, N., Di Gerlando, R., Moschetti, G., & Settanni, L. (2018). Shelf life evaluation of fresh-cut red chicory subjected to different minimal processes. *Food microbiology*, 73, 298-304. DOI: 10.1016/j.fm.2018.02.008
- And, O. L., & Watson, M. A. (2001). Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, 66(9), 1283-1286.
- Anese, M., Manzano, M., & Nicoli, M. C. (1997). Quality of minimally processed apple slices using different modified atmosphere conditions. *Journal of food quality*, 20(5), 359-370.
- Anese, M., Nicoli, M. C., Cacace, D., Palmieri, L., & Carpi, G. (1993). Effetti di trattamenti in soluzioni zuccherine su cubetti di melone freschi destinati alla IV gamma. *Industria Conserve*, 68(4), 425-430.
- Arias, J. L., López-Viota, M., López-Viota, J., & Delgado, Á. V. (2009). Development of iron/ethylcellulose (core/shell) nanoparticles loaded with diclofenac sodium for arthritis treatment. *International journal of pharmaceutics*, 382(1-2), 270-276.
- Barth, M., Hankinson, T. R., Zhuang, H., & Breidt, F. (2009). Microbiological spoilage of fruits and vegetables. In *Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages* (pp. 135-183). Springer, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4419-0826-1_6
- Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F., & Pujolà, M. (2013). Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 29-36. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.02.009.
- Biegańska-Marecik, R., & Czapski, J. (2007). The effect of selected compounds as inhibitors of enzymatic browning and softening of minimally processed apples. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3), 37-49.
- Celebioglu, A., Yildiz, Z. I., & Uyar, T. (2018). Thymol/cyclodextrin inclusion complex nanofibrous webs: Enhanced water solubility, high thermal stability and antioxidant property of thymol. *Food research international*, 106, 280-290.
- Chen, J., Wang, Z., Wu, J., Wang, Q., & Hu, X. (2007). Chemical compositional characterization of eight pear cultivars grown in China. *Food Chemistry*, 104(1), 268-275.
- Dong, Y., Liu, L., Zhao, Z., Zhi, H., & Guan, J. (2015). Effects of 1-MCP on reactive oxygen species, polyphenol oxidase activity, and cellular ultra-structure of core tissue in 'Yali' pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) during storage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(2), 207-215.
- Eccher Zerbini, P., Rizzolo, A., Brambilla, A., Cambiaghi, P., & Grassi, M. (2002). Loss of ascorbic acid during storage of Conference pears in relation to the appearance of brown heart. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(9), 1007-1013.
- El-Shimi, N. M. (1993). Control of enzymatic browning in apple slices by using ascorbic acid under different conditions. *Plant Foods for Human Nutrition*, 43(1), 71-76.

- Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Palazzolo, E., & Sortino, G. (2020b). Use of Aloe Vera Gel-Based Edible Coating with Natural Anti-Browning and Anti-Oxidant Additives to Improve Post-Harvest Quality of Fresh-Cut 'Fuji' Apple. *Agronomy*, 10(4), 515.
- Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Scuderi, D., Saletta, F., Gugliuzza, G., ... & Sortino, G. (2020a). Postharvest application of aloe vera gel-based edible coating to improve the quality and storage stability of fresh-cut papaya. *Journal of Food Quality*, 2020.
- Goncalves ED, Antunes PL, Brackmann A (2000) Controlled atmosphere storage of Asian pears cv. Nijisseiki. *Rev Bras Frutic* 22:226–231
- Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, R. A., & Kader, A. A. (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest biology and Technology*, 24(3), 271-278.
- Hora, J. J., Maydew, E. R., Lansky, E. P., & Dwivedi, C. (2003). Chemopreventive effects of pomegranate seed oil on skin tumor development in CD1 mice. *Journal of medicinal food*, 6(3), 157-161.
- Hussain PR, Meena RS, Dar MA, Wani AM (2010) Carboxymethyl cellulose coating and low-dose gamma irradiation improves storage quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L., Cv. Bartlett/William). *J Food Sci* 75:M586–M596
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Falcato, P., & Debevere, J. (1999). Behavior of *Listeria monocytogenes* and *Aeromonas* spp. on fresh-cut produce packaged under equilibrium-modified atmosphere. *Journal of food protection*, 62(10), 1128-1135. DOI: 10.4315/0362-028x-62.10.1128
- Jay, J. M. (2009). Natural microbial ecosystems and their progression in fresh foods. *Food-Borne Microbes: Shaping the Host Ecosystem*, 41-61. DOI: 10.1128/9781555815479.ch3
- Jiang, P., Bertone, J. F., Hwang, K. S., & Colvin, V. L. (1999). Single-crystal colloidal multilayers of controlled thickness. *Chemistry of Materials*, 11(8), 2132-2140.
- Ju Z, Duan Y, Ju Z (2000) Plant oil emulsion modifies internal atmosphere, delays fruit ripening, and inhibits internal browning in Chinese pears. *Postharvest Biol Technol* 20:243–250
- Kohno, H., Suzuki, R., Yasui, Y., Hosokawa, M., Miyashita, K., & Tanaka, T. (2004). Pomegranate seed oil rich in conjugated linolenic acid suppresses chemically induced colon carcinogenesis in rats. *Cancer science*, 95(6), 481-486.
- Kolniak-Ostek, J. (2016). Identification and quantification of polyphenolic compounds in ten pear cultivars by UPLC-PDA-Q/TOF-MS. *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 65-77.
- Martinez, M. V., & Whitaker, J. R. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology*, 6(6), 195-200.
- Moreira, M. R., Cassani, L., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2015). Effects of polysaccharide-based edible coatings enriched with dietary fiber on quality attributes of fresh-cut apples. *Journal of food science and technology*, 52(12), 7795-7805.

- Nandane AS, Dave RK, Rao TVR (2017) Optimization of edible coating formulations for improving postharvest quality and shelf life of pear fruit using response surface methodology. *J Food Sci Technol* 54:1–8
- Nath A, Deka BC, Singh A, Patel RK, Paul D, Misra LK, Ojha H (2012) Extension of shelf life of pear fruits using different packaging materials. *J Food Sci Technol* 49:556–563
- Navarro-Tarazaga ML, Massa A, Pe´rez-Gago MB (2011) Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). *LWT Food Sci Technol* 44:2328–2334
- Nicolas, J. J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J., & Aubert, S. Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 34(2), 109-157.
- Obando-Ulloa, J. M., Oyarzún, A., Machuca, A., Luchsinger, L., Peña-Neira, Á., & Escalona, V. H. (2018). Effect of cutting and storage temperature on Packham's Triumph pears (*Pyrus communis* L.). *Acta Agronómica*, 67(1), 39-45
- Olivas, G. I., Rodriguez, J. J., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). Edible coatings composed of methylcellulose, stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(4), 299-320.
- Park YM (2002) Relationship between instrumental and sensory analysis of quality factors in apple and pear fruits. *Korean J Hortic Sci Technol* 20:394–398
- Passafiume, R., Gaglio, R., Sortino, G., & Farina, V. (2020). Effect of Three Different Aloe vera Gel-Based Edible Coatings on the Quality of Fresh-Cut “Hayward” Kiwifruits. *Foods*, 9(7), 939.
- Rojas-Graü, M. A., Raybaudi-Massilia, R. M., Soliva-Fortuny, R. C., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., & Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest biology and Technology*, 45(2), 254-264.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., & Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT-Food Science and Technology*, 41(1), 139-147.
- Ruangchakpet, A., & Sajjaanantakul, T. (2007). Effect of browning on total phenolic, flavonoid content and antioxidant activity in Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica* Linn.). *Agriculture and Natural Resources*, 41(5), 331-337.
- Sapers, G. M., & Miller, R. L. (1998). Browning inhibition in fresh-cut pears. *Journal of food Science*, 63(2), 342-346.
- Scramin JA, de Britto D, Forato LA, Bernardes-Filho R, Colnago LA, Assis OB (2011) Characterisation of zein–oleic acid films and applications in fruit coating. *Int J Food Sci Technol* 46:2145–2152
- Sun, N., Lee, S., & Song, K. B. (2002). Effect of high-pressure treatment on the molecular properties of mushroom polyphenoloxidase. *LWT-Food Science and Technology*, 35(4),

Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Rodríguez, F. J., Ramírez, J., Carmona, A., & Martín-Belloso, O. (2007). Alginate-and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *Journal of food science*, 72(4), E190-E196.

Note finali

La frutta in IV gamma, essendo caratterizzata da una brevissima *Shelf-life* (da 5 a 7 giorni), necessita di strategie che tengano conto dei processi metabolici che caratterizzano le diverse matrici vegetali in questione, al fine di mantenere inalterati più a lungo possibile i parametri di igiene e sicurezza alimentare, il gusto, l'odore in modo da non influenzare negativamente le scelte dei consumatori al momento dell'acquisto. Il controllo dei fenomeni di senescenza è un processo complicato che necessita dello studio approfondito di tutte le variabili coinvolte nei fenomeni di degradazione cellulare.

L'obiettivo principale degli esperimenti realizzati durante i tre anni di Dottorato di Ricerca è stato quello di studiare gli effetti degli *edible coating* sulla conservazione di diverse tipologie di frutta *fresh-cut*, più e meno deperibili, valutandone gli effetti dal punto di vista qualitativo fisico-chimico e sensoriale. Per far ciò, tutti gli esperimenti hanno simulato la vita commerciale della IV gamma di frutta venduta nei banchi refrigerati delle grandi distribuzioni organizzate. Il mantenimento delle caratteristiche qualitative dei prodotti frutticoli dipende da diverse variabili, non solo intrinseche, ma anche ambientali. Il processo enzimatico di imbrunimento, deterioramento e senescenza implica lo studio di strategie che mirino ad inibire la respirazione cellulare senza alterare la qualità intrinseca stessa dei prodotti in questione. Dal momento che questo studio ha riguardato interamente la IV gamma dei prodotti frutticoli, è stato necessario soffermarsi, in primo luogo, sull'aspetto qualitativo esteriore degli stessi in quanto ciò influenza l'acquisto e il soddisfacimento da parte del consumatore.

Dall'analisi di tutti i risultati ottenuti è emerso che i frutti sottoposti ai diversi trattamenti hanno evidenziato un comportamento qualitativo superiore rispetto ai frutti non trattati. Inoltre, le linee di ricerca seguite durante questi tre anni di Dottorato confermano che l'*Aloe vera* è una pianta con un forte potere antimicrobico e che, utilizzata in combinazione con le altre componenti degli *edible coating*, favorisce una migliore conservazione della frutta ai fini commerciali. Altre sostanze utilizzate, come l'HPMC, il CaCl_2 e gli olii essenziali di limone e di melograno, hanno dato risultati interessanti sia da un punto di vista microbiologico, che antiossidante, nutrizionale e sensoriale, rallentando il decadimento qualitativo. In particolare, l'*edible coating* che ha evidenziato i più ampi effetti positivi è stato quello costituito da gel di *Aloe vera*, HPMC e agenti antiossidanti (acido citrico e a. ascorbico). La ricerca, infine, voleva anche evidenziare come gli *edible coating* possano costituire un ausilio sostenibile nelle fasi di manipolazione e confezionamento del prodotto, riducendo l'esposizione diretta alla contaminazione microbica e, quindi, incrementando la sicurezza alimentare. Per quanto riguarda l'utilizzo delle nano-particelle estratte dai prodotti di scarto della filiera agroalimentare, come nel caso della nano-particella di foglie di broccolo 'Bimi', non è stato possibile realizzare l'estrazione senza l'ausilio di prodotti chimici, costituendo un limite in termini di

sostenibilità. Inoltre, le concentrazioni utilizzate devono essere necessariamente basse per evitare rischi alla salute provocabili dalla luteina.

Alla fine di tale percorso di sperimentazione possiamo affermare che i prodotti frutticoli di IV gamma trattati con i diversi *edible coating* analizzati, hanno mostrato caratteristiche organolettiche, fisico-chimiche, nutrizionali, microbiologiche e sensoriali migliori rispetto a quelle dei frutti non trattati. Ulteriori studi potrebbero essere indirizzati all'applicazione di questi *edible coating* su altre matrici vegetali per approfondirne i cambiamenti strutturali che le caratterizzano e la possibile validità degli stessi nel mantenimento di elevati standard di qualità e sicurezza alimentare.

Pubblicazioni prodotte durante il triennio di Dottorato

PUBBLICAZIONI REFERENZIATE ISI/SCOPUS

- FARINA, V., PASSAFIUME, R., TINEBRA, I., SCUDERI, D., SALETTA, F., GUGLIUZZA, G. & SORTINO, G. (2020). *Postharvest Application of Aloe vera Gel-Based Edible Coating to Improve the Quality and Storage Stability of Fresh-Cut Papaya*. *JOURNAL OF FOOD QUALITY*, 2020. DOI: 10.1155/2020/8303140
- FARINA, V., PASSAFIUME, R., TINEBRA, I., PALAZZOLO, E. & SORTINO, G. (2020). *Use of Aloe Vera Gel-Based Edible Coating with Natural Anti-Browning and Anti-Oxidant Additives to Improve Post-Harvest Quality of Fresh-Cut ‘Fuji’ Apple*. *AGRONOMY*, 10(4), 515. DOI: 10.3390/agronomy10040515
- PASSAFIUME, R., GAGLIO, R., SORTINO, G., & FARINA, V. (2020). *Effect of Three Different Aloe vera Gel-Based Edible Coatings on the Quality of Fresh-Cut ‘Hayward’ Kiwifruits*. *FOODS*, 9(7), 939. DOI: 10.3390/foods9070939
- PASSAFIUME, R., PERRONE, A., SORTINO, G., GIANGUZZI, G., SALETTA, F., GENTILE, C., & FARINA, V. (2019). *Chemical–physical characteristics, polyphenolic content and total antioxidant activity of three Italian-grown pomegranate cultivars*. *NFS JOURNAL*, 16, 9-14. DOI: 10.1016/j.nfs.2019.06.001
- FARINA V., SORTINO G., SALETTA F., PASSAFIUME R., GIUFFRÉ D., GIANGUZZI G., INGLESE P., LIGUORI G. (2017) *Effects Of Rapid Refrigeration And Map On Litchi (Litchi Chinensis Sonn.) Fruit Quality Traits*. *Chemical Engineering Transaction*, vol. 58, pp-415-420. DOI: 10.3303/CET1758070
- SORTINO G., ALLEGRA A., PASSAFIUME R., GIANGUZZI G., GULLO G., GALLOTTA A. (2017) *Postharvest application of sulphur dioxide fumigation to improve quality and storage ability of ‘Red Globe’ grape cultivar during long cold storage*. *Chemical Engineering Transaction*, vol. 58, pp-403-408. DOI: 10.3303/CET1758068
- PASSAFIUME R., TINEBRA I. SORTINO G., PALAZZOLO E., FARINA V. *New clones and old varieties: quality of Sicilian hillside apple cultivation*. *The open Agriculture Journal*. *Under review*.

PUBBLICAZIONI E ATTI DI CONVEGNI

- FARINA V., D’IPPOLITO F., SCUDERI D., PASSAFIUME R., GIANGUZZI G. & PALAZZOLO E. (2019). *Innovazione varietale, genotipi tradizionali e qualità dei frutti nella melicoltura siciliana*. *AGRISICILIA* (1-2), pp. 30-37.
- SORTINO G., FARINA V., SALETTA F., GAGLIO R., PASSAFIUME R., INGLESE P. (2018) *Effetti dell’applicazione di edible coating a base di aloe sulla qualità dei frutti di Kaki in IV gamma*. *Società ortoflorofrutticola Italiana – XII GIORNATE SCIENTIFICHE SOI*, Bologna, 19-22 Giugno 2018, p-89.
- SALETTA F., SORTINO G., PASSAFIUME R., SCUDERI D., FARINA V. (2018) *Frigoconservazione ed edible coating per la conservazione post-raccolta dei frutti della pesca Settembrina*. *AGRISICILIA*, 6 (6/2018), pp. 48-54.
- GIANGUZZI G., SALETTA F., PASSAFIUME R. & GIUFFRÉ D. (2017) *Caratterizzazione qualitativa di 16 antiche varietà di melo coltivate in Sicilia*. *Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie - XIV CONVEGNO AISSA*, Campobasso, 16-17 Febbraio 2017, p-22.
- PUCCIO S., PASSAFIUME R., TORRE G., FARINA V. (2017) *Resa e qualità dei frutti di due genotipi di annona cherimola mill. coltivati in regime biologico in Sicilia*. *Kiwi informa*. (10-12; 1-13) pp-92-97.

RINGRAZIAMENTI

Un doveroso ringraziamento va alle seguenti aziende per la fornitura del materiale vegetale:

- Cooperativa ECOFARM di Riesi (CL), per i frutti di kaki;
- “Orto di Nonno Nino” di Terrasini (PA), per i frutti di papaya;
- Azienda “Di Marco Luigi” di Caltavuturo (PA), per i frutti di melo;
- Azienda “Sacoje” di Lorca (Region de Murcia – Spagna), per i frutti di kiwi durante il mio periodo di Ricerca all'estero;
- Azienda “Gianguzzi Valeria” di Torrenova (ME), per i frutti di kiwi e di pero.

Ringrazio i miei colleghi di Dottorato Ilenia Tinebra, Dario Scuderi, Alessandro Carella, Stefano Puccio e Filippo Saletta per aver condiviso con me questi 3 anni, la Dott.ssa Silvia Fretto, per la sua disponibilità e per il suo affetto, la Prof.ssa Eristanna Palazzolo e il Dott. Raimondo Gaglio per il loro prezioso contributo alle analisi di laboratorio e chiunque abbia contribuito anche solo in parte alla realizzazione di questo percorso.

Ringrazio il mio tutor, Prof. Vittorio Farina, per avermi accolta nel suo team, permettendomi di crescere professionalmente e per avermi spinta alla curiosità di guardare sempre oltre le cose.

Ringrazio il mio co-tutor, Dott. Giuseppe Sortino, per la pazienza e il tempo dedicato a supervisionare ogni mio progetto.

Un ringraziamento va anche alle persone conosciute durante l'esperienza in Spagna, in particolare al Prof. F.A. Hernandez, a Noelia Castillejo, a Benito Martinez-Hernandez, a Paqui Andreo e a Perla Gomez.

In ultimo, ringrazio la mia famiglia, per avermi costantemente sostenuta durante questi tre anni e per aver appoggiato ogni mia decisione e Toni, il mio fidanzato, per il suo sostegno morale, che è stato fondamentale durante questo mio periodo di crescita anche personale, per aver sempre creduto in me e per tutto il suo amore.