

I prodotti ortofrutticoli di IV gamma: aspetti fisiologici e tecnologici

Giancarlo Colelli¹ e Antonio Elia²

¹Dipartimento PrIME, Università di Foggia, via Napoli 25, 71100 Foggia

²Dipartimento DiSACD, Università di Foggia, via Napoli 25, 71100 Foggia

Ricezione: 22 dicembre 2008; Accettazione: 26 gennaio 2009

Physiological and technological aspects of fresh-cut horticultural products

Abstract. Since over 10 years fresh-cut products represent a new opportunity for consumers to purchase fresh produce of good quality, healthy, and easy to consume. On the other hand, they represent for the industry a good chance to increase market sales with a type of product characterized by a high added value. The aim of this work is to present the state of the art on quality of fresh-cut products, in terms of sensorial, nutritional, and safety attributes, and on the aspects which, from farm to fork, may have an effect on it, including genotype, growing conditions, cultural practices, maturity at harvest, postharvest handling and processing. In addition, the physiological implications of cutting in terms of wound response and their effects on colour and texture are described. Fresh-cut process is outlined and commented and most critical steps discussed such as pre- and post-cutting treatments, water sanitation, and modified atmosphere packaging. Finally, major research trends in the near future are outlined and briefly discussed.

Key words: vegetables, fruit, convenience, physiology, quality, equipments, packaging.

Introduzione

Si definiscono della IV gamma quei prodotti preparati e condizionati in maniera tale da fornire tutta una serie di servizi al consumatore tra cui pulizia, mondatura, lavaggio, taglio in unità o sub-unità pronte all'uso, conservando nel contempo le caratteristiche di freschezza e di genuinità del prodotto fresco (Colelli, 2001). La denominazione di IV gamma (coniata in Francia) si inserisce in un contesto di classificazione dei prodotti alimentari secondo cui la I gamma si riferisce ai prodotti non lavorati, la II gamma si riferisce ai prodotti trasformati (che abbiano subito un processo di stabilizzazione), mentre la III e IV gamma si riferiscono rispettivamente ai surgelati ed ai prodotti semilavorati pronti per l'uso.

Da circa 10 anni i prodotti di IV gamma hanno sempre più rappresentato una nuova opportunità di acquisto per il consumatore italiano evidenziando crescite molto interessanti nelle vendite. Basandosi su dati ACNielsen, secondo Della Casa (2008) il volume di affari in Italia ha raggiunto nel 2007 circa 616 milioni di euro con incrementi negli ultimi anni superiori al 10% (+14% nel 2004, +20% nel 2005, +15% nel 2006, e +10% nel 2007); con questi valori il segmento della IV gamma rappresenta il terzo mercato europeo dopo la Gran Bretagna e la Francia.

In tale segmento si ritrovano verdure a foglia tagliata (lattuga, radicchio) o a foglia intera, dette anche *baby leaf* (rucola, spinacio, valerianella), ortaggi a radice (carota), a tubero (patata), o a bulbo (cipolla) variamente tagliati, ortaggi a frutto maturo (pomodori) o immaturo (zucchini, cetriolo), fusti o piccioli fogliari (asparago, sedano, finocchio), gemme fiorali (carciofo), infiorescenze (cavolo broccolo e cavolfiore), fiori (fiori di zucca) e frutta matura (melone, mela, ananas) variamente tagliata. In realtà la maggior parte del fatturato negli anni passati in Italia si riferisce alle insalate a foglia tagliata ed alle *baby leaf*; negli ultimi anni però il mercato delle zuppe pronte *ready-to-cook*, comprendenti ortaggi diversi, e della frutta tagliata ha visto incrementi annuali pari rispettivamente al 91 e al 37% nel 2007 (Della Casa, 2008).

Il successo commerciale di questi prodotti è dovuto a diversi fattori: il notevole "servizio" che incontra il favore di una categoria di consumatori in aumento, che non dispone di tempo per la preparazione dei pasti; il vantaggio che l'acquisto di prodotti della IV gamma non comporta scarti, in quanto il prodotto è consumabile al 100% e l'alta qualità che in genere viene associata a tale tipologia di prodotto, sia in termini di aspetto esteriore, che organolettico e nutrizionale.

Ad un più alto contenuto in "servizio" generalmente corrispondono una maggiore deperibilità rispetto al prodotto di partenza e la messa in atto di tecnologie aggiuntive finalizzate ad ottenere una shelf-life compatibile con la distribuzione commerciale.

Nel presente lavoro saranno presi in considerazione gli aspetti relativi alla qualità dei prodotti di IV

gamma, sia in relazione ai parametri chimico-fisici, microbiologici e sensoriali utilizzati per definirla sia in relazione ai fattori che in tempi successivi la determinano. Saranno quindi presi in considerazione gli aspetti tecnologici ed impiantistici relativi alla trasformazione industriale, con particolare riferimento ai trattamenti post-taglio ed all'imballaggio. Infine sarà fatto il punto della situazione relativo alle esigenze in termini di innovazione in questo comparto e la direzione della ricerca e sviluppo nel prossimo futuro.

La qualità dei prodotti di IV gamma

Soltanto prodotti ortofrutticoli della migliore qualità in termini di sviluppo, condizione fisiologica, aspetto e integrità, possono reggere allo stress indotto dalla preparazione, in modo da risultare ancora appetibili fino al termine della prevista durata commerciale.

Alla luce di ciò, la scelta e la qualità della materia prima è di assoluta importanza. Gli attributi qualitativi per un prodotto di IV gamma possono essere distinti in:

- aspetto esteriore rappresentato da freschezza, colore, assenza di difetti di varia natura, integrità dei tessuti;
- consistenza, che può essere intesa come grado di turgidità, durezza, croccantezza o fibrosità, a seconda della tipologia di materia prima;
- caratteristiche organolettiche intese sia in termini di gusto (soprattutto per ciò che riguarda dolcezza ed acidità) sia di olfatto (aroma);
- valore nutrizionale, rappresentato dall'apporto calorico o in elementi importanti dal punto di vista nutritivo (vitamine, sali minerali, fibre, antiossidanti);
- sicurezza d'uso, legata all'assenza di sostanze dannose o anti/nutrizionali (nitrati, nitriti, residui di fitofarmaci, diserbanti e altre sostanze chimiche), di microrganismi patogeni per l'uomo e di corpi estranei.

Si tratta evidentemente di attributi sensoriali nel caso dell'aspetto, della consistenza e delle caratteristiche organolettiche, quindi molto legate agli aspetti edonistici del consumo di frutta e ortaggi, mentre nel caso del valore nutrizionale e della sicurezza d'uso viene maggiormente considerata la funzione dell'ortofrutta come alimento.

L'aspetto esteriore rappresenta l'attributo qualitativo con il maggior impatto sui consumatori in quanto il prodotto è racchiuso in una confezione e quindi può essere valutato solo attraverso la vista. Partendo da queste considerazioni sono state sviluppate delle scale

di valutazione dell'aspetto esteriore di prodotti di IV gamma composte da 5 immagini accompagnate da sintetiche descrizioni dei vari elementi presi in considerazione a cui corrisponde un punteggio su una scala da 1 a 5, con 5 corrispondente al prodotto appena tagliato e 1 corrispondente al prodotto non più commestibile (Colelli, 2006). In esse viene identificato un limite minimo di commerciabilità (punteggio 3) al prodotto che, pur ancora commerciabile, presenta segni evidenti di deterioramento, soprattutto legati alla perdita della struttura, alla disidratazione, all'imbrunimento ed altre variazioni di colore, ed un limite minimo di edibilità (punteggio 2) attribuito al prodotto che pur non risultando idoneo alla vendita, non presenta particolari caratteristiche che ne impediscano il consumo (come muffa, o perdita totale della struttura). Tali scale rappresentano un valido strumento per la valutazione della qualità del prodotto in applicazioni sperimentali, ma si ritiene che il loro utilizzo possa essere esteso anche all'industria. Sono state sviluppate per bietola, cipolla, spinacio, zucchina, zucca, porro, verza, carota, prezzemolo, fagiolo reidratato, rucola, carciofo, pisello reidratato, sedano, e, oltre che in lingua italiana, rese disponibili in lingua spagnola e inglese (Colelli *et al.*, 2006; Amodio *et al.*, 2007).

Le attese del consumatore rispetto ad un prodotto ortofrutticolo fresco sono anche relative ad un più elevato valore nutrizionale; sebbene tali attese in un prodotto di IV gamma siano soddisfatte per l'elevata qualità della materia prima, frequentemente le loro caratteristiche nutrizionali sono poco comunicate sulle confezioni. Si può affermare che i prodotti di IV gamma possano anche essere intesi come una risposta al consumatore desideroso di prodotti sani, nutrienti e facili da consumare. Come già detto, frutta e ortaggi rappresentano una ottima fonte di vitamine, minerali e fibre. Essi sono inoltre molto ricchi di alcuni costituenti per i quali è stata dimostrata la loro azione positiva per la salute dell'uomo e che includono carotenoidi e componenti fenolici (Craig e Beck, 1999). Generalmente i danni apportati ai prodotti di IV gamma durante le operazioni di taglio producono un numero di alterazioni fisiologiche che, insieme con la maggiore esposizione all'ossigeno ed alla luce, possono determinare una diminuzione degli aspetti nutrizionali rispetto ai corrispondenti prodotti interi (Klein, 1987; Gil *et al.*, 2006). Ossidazione dei componenti nutrizionali possono anche avvenire durante le fasi di lavorazione attraverso l'esposizione ad ambienti acidi o sostanze sanitizzanti. D'altro canto, un aumento del valore nutrizionale nei tessuti sottoposti a taglio, come conseguenza della sintesi indotta di componenti fenolici, è stato riportato per lattuga, sedano, carota e

patata dolce (Reyes *et al.*, 2007); nello stesso studio invece è stata osservata una riduzione della componente fenolica per zuccina, ravanella, patata, e cavolo rosso, sottoposti a taglio.

Dal punto di vista della sicurezza d'uso, un prodotto di IV gamma deve garantire l'assenza di microrganismi patogeni per l'uomo ed in generale un basso livello della carica microbica, l'assenza di sostanze e corpi estranei (insetti, erbe infestanti, terreno, pietre, materiale vario), basso contenuto di sostanze antinutrizionali (nitrati, nitriti, ossalati, micotossine, residui chimici). Sotto il profilo igienico i parametri di qualità impongono l'assenza di sostanze estranee (insetti, terra, pietre, schegge di legno e metallo, erbe infestanti), perché difficilmente allontanate con il lavaggio e possono presentare qualche pericolo per il consumatore, e comunque il mantenimento di stretti parametri igienico-sanitari in tutta la filiera (dal campo alla tavola). È importante che vengano seguite norme di buona pratica agricola (GAPs) e di trasformazione (GMPs) e adottate certificazioni volontarie (ISO 9001:2000) e obbligatorie (HACCP) per garantire sicurezza igienica e nutrizionale al prodotto.

Fattori che condizionano la qualità

Molti sono i fattori che hanno un ruolo importante sulla qualità finale di un prodotto di IV gamma. Tra questi si elencano: la scelta varietale, l'ambiente di coltivazione, le tecniche colturali adottate, lo stadio di maturazione alla raccolta, le condizioni della fase che intercorre tra la raccolta e la lavorazione vera e propria, le condizioni operative di processo, le condizioni di trasporto e di vendita, fino al consumo finale.

La qualità della materia prima, sia essa organolettica e nutrizionale, intesa come idoneità alla trasformazione o come caratteristiche igienico-sanitarie, rappresenta il prerequisito fondamentale imprescindibile. Essa può essere mantenuta durante le fasi successive la raccolta, ma non migliorata. Qualsiasi condizione che imponga uno stato di stress alla pianta durante la fase di coltivazione ha ripercussioni sulla qualità e sulla conservabilità del prodotto in post-raccolta (Weston e Barth, 1997). Soltanto vegetali di qualità superiore, in termini di accrescimento e condizione fisiologica, aspetto e integrità, possono sostenere lo stress indotto dal processo di preparazione e risultare idonei al consumo per un periodo prolungato di tempo.

La conoscenza delle condizioni di produzione è importante per determinare la potenziale conservabilità di un prodotto fresco (Gorny *et al.*, 1998), soprattutto quando questo è destinato al processo di lavorazione di IV gamma.

Scelta varietale

Le differenze nella qualità dei prodotti di IV gamma sono interamente dipendenti dalla diversa tolleranza agli stress che coinvolgono aspetti specifici della specie e della cultivar di tipo morfologico, fisiologico e biochimico (Hodges e Toivonen, 2008). In generale una cultivar destinata alla trasformazione in IV gamma dovrebbe possedere le seguenti caratteristiche:

- uniformità di dimensione e maturazione, idoneità alla raccolta meccanica, ridotto scarto;
- bassa sensibilità stagionale (scarsa dipendenza dalle condizioni climatiche nei diversi periodi dell'anno o, in alternativa, disponibilità di famiglie di cultivar con le stesse caratteristiche organolettiche e fisiologiche, ma differenziate per l'adattamento alle diverse condizioni stagionali);
- peculiari caratteristiche organolettiche e sensoriali (forma, dimensione, colore, sapore, aroma);
- buon contenuto di sostanza secca (maggiore consistenza, resistenza meccanica alle manipolazioni e alle lavorazioni)
- bassa sensibilità alle basse temperature (maggiore tolleranza al freddo e maggiore conservabilità);
- elevata resistenza genetica alle malattie e alle fisiopatie (tessuti integri e resistenti con riduzione dell'impiego di fitofarmaci e dell'accumulo di residui nel prodotto);
- basso livello di attività degli enzimi che contribuiscono ai processi degradativi (imbrunimento – aumento dei fenoli attraverso la fenilalanina-ammonio-liasi (PAL), ossidazione degli stessi attraverso le PPO, ammorbidimento – attraverso poligalatturonasi ed emicellulasi, produzione di sostanze volatili);
- bassa attività respiratoria (rallentamento della distruzione della clorofilla e mantenimento del colore verde);
- maturazione più lenta nel post-raccolta.

Sebbene l'idoneità del genotipo alla trasformazione in IV gamma sia stata inizialmente poco considerata in specifici programmi di miglioramento genetico (e ancora è indicato l'impiego promiscuo di cultivar di I e IV gamma) attualmente alcune grandi aziende sementiere internazionali stanno puntando alla selezione di cultivar specifiche per questo settore. In particolare per gli ortaggi da foglia (lattuga, cicoria, spinacio) sono state introdotte sul mercato tipologie e cultivar specifiche *baby leaf* che consentono la lavorazione della foglia (o pianta) intera limitando il taglio al solo intervento di raccolta. Saftner e Lester (2008) hanno recentemente presentato la costituzione di un nuovo ibrido di melone del tipo *cantaloupe*

(*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) particolarmente indicato per la produzione di prodotti di IV gamma. L'ibrido associa alla ottima qualità iniziale, il mantenimento delle proprietà nutrizionali e della consistenza quando cubettato, evidenziando una resistenza ad alterazioni fisiologiche (comparsa di aree traslucide) e microbiche fino a 14 giorni di conservazione a 5 °C in aria.

Sul prodotto fresco intero è ben documentata la variabilità delle diverse cultivar nel contenuto di componenti bioattivi che migliorano la risposta a stress biotici o abiotici a cui sono sottoposte (ad es. Weston e Barth, 1997). Lamikanra *et al.* (2003) hanno rilevato su melone della varietà botanica *reticulatus* che la conservabilità del frutto intero è maggiore in cultivar caratterizzate da minore livello di composti volatili, ma non sempre essa è stata correlata alla qualità del frutto tagliato. Odriozola-Serrano *et al.* (2008) non hanno osservato variazioni delle proprietà antiossidanti nelle bacche intere e in fette di sei cultivar di pomodoro ('Rambo', 'Durinta', 'Bodar', 'Pitenza', 'Cencara' e 'Bola') concludendo che, indifferente dalla cultivar, il prodotto tagliato conserva i principali composti antiossidanti e il colore per 21 giorni a 4 °C. Cultivar di lattuga con elevato ritmo di respirazione e basso contenuto in zuccheri, quali 'Ritmo', hanno mostrato scarsa idoneità alla trasformazione in IV gamma a causa del troppo rapido deterioramento del prodotto (Varoquax *et al.*, 1996). Le cultivar di lattuga tipologia iceberg 'Calmar' e 'Sea Green' sono state indicate come meno suscettibili all'imbrunimento dopo 6 giorni a 5 °C, mentre 'Nerone' è risultata la più suscettibile (Couture *et al.*, 1993). López-Gálvez *et al.* (1996a) hanno osservato che l'attività della PAL, enzima chiave per la sintesi dei fenoli, è aumentata nei tessuti della nervatura centrale di lattuga dopo il taglio e conservata in assenza o presenza di etilene. L'attività di questo enzima dopo il taglio è maggiore nelle tipologie *butterhead* piuttosto che in quelle *iceberg*, mentre nelle tipologie *romana*, *green leaf* e *red leaf* sono stati rilevati valori intermedi. La cv Salinas (tipologia *iceberg*) quando tagliata finemente ha mostrato maggiore attività della PAL se conservata a 5 °C piuttosto che a 15 °C; altre cultivar di *iceberg* non hanno mostrato variazione nella attività della PAL in funzione della temperatura di conservazione, risultando inversamente correlata alla dimensione dei pezzi. Pernice *et al.* (2007) hanno osservato maggiore concentrazione polifenolica nelle foglie della cv 'Salad Bowl' rispetto a 'Montego' e 'Great Lakes 118', preparate in IV gamma e conservate per 9 giorni a 5 °C. La composizione quantitativa dei polifenoli è risultata molto influenzata

dalla cultivar. Tavarini *et al.* (2008) hanno osservato che in lattuga preparata in IV gamma (conservata 4 giorni a 4 °C, al buio), le foglie di una cultivar di lollo rossa non hanno presentato imbrunimenti; questo risultato è stato correlato all'elevato contenuto di acido ascorbico (forma ridotta della vitamina C), già osservata in questa tipologia (Degl'Innocenti *et al.*, 2005), ed alla elevata capacità antiossidante manifestata prima della conservazione.

Areale di produzione

Particolare attenzione va posta nella scelta dell'areale di produzione per le implicazioni sugli aspetti qualitativi e sanitari. Sono da evitare localizzazioni in prossimità di potenziali fonti di inquinamento chimico e biologico, quali discariche, traffico automobilistico, allevamenti animali, pascoli, zone ricche di fauna selvatica, suoli trattati con ammendanti di origine animale.

L'ambiente pedoclimatico idoneo è una condizione fondamentale per ottenere prodotti di qualità idonea per la IV gamma. In ambienti o periodi di coltivazione sfavorevoli la crescita delle piante avviene in maniera anomala ed è maggiore la suscettibilità della coltura a fisiopatie, attacchi di patogeni e parassiti. Per la coltivazione sia in pieno campo sia sotto apprestamenti protettivi di ortaggi da foglia destinati alla IV gamma sono da preferire terreni di medio impasto o sciolti, di facile lavorabilità e drenaggio, che scongiurano condizioni di asfissia o ristagno idrico e la predisposizione della coltura a malattie e fisiopatie. Per lo stesso scopo sono da preferire le sistemazioni a prose che consentono una maggiore pulizia del prodotto.

Per contro, per il melone della tipologia *cantaloupe*, preparato in cubetti per confezioni di IV gamma, è stato osservato che la coltivazione in suoli argillosi ha fornito frutti con caratteristiche aromatiche migliori di quelli ottenuti su terreni sabbiosi; inoltre, durante la conservazione l'attività della perossidasi aumenta nei frutti raccolti da suoli sabbiosi, mentre diminuisce in quelli provenienti da suoli argillosi (Bett-Garber *et al.*, 2005). In carota, il sapore amaro sembra essere accentuato nelle radici ottenute in terreni sabbiosi o ricchi di sostanza organica che non in terreni limosi (Talcot *et al.*, 2001).

Condizioni climatiche di giorno corto, bassa umidità relativa dell'aria e bassa temperatura hanno promosso la sintesi di zuccheri in carota (Simon *et al.*, 1982). In questa specie, la produzione di terpeni, alcuni dei quali responsabili del sapore amaro, aumenta con le alte temperature (Rosenfeld *et al.*, 2002). In spinacio di Nuova Zelanda (*Tetragonia tetragonoides* (Pallas) O. Kuntze) e in endivia preparati in IV

gamma il contenuto di carotenoidi è risultato maggiore nel prodotto raccolto in estate di quello raccolto in inverno (de Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya, 2005). In Svezia, Bergquist *et al.* (2006) hanno osservato su spinacio *baby leaf* che il decadimento della qualità visiva dopo la conservazione è stato più evidente nel caso di prodotto coltivato in agosto rispetto a quello di aprile. Ciò è stato correlato alla maggiore concentrazione di acido ascorbico, che fornisce una miglior difesa contro lo stress ossidativo, ed al maggior contenuto di sostanza secca. Su spinacio *baby leaf* in Sud Italia, il prodotto di migliore qualità, in termini di contenuto di sostanza secca, nitrati, ossalati, vitamina C e colore, è stato raccolto in gennaio e marzo rispetto a febbraio a causa della maggiore frequenza di temperature prossime a 0°C (Conte *et al.*, 2008). In melone cubettato, il contenuto di solidi solubili totali, l'attività respiratoria e la comparsa di aree traslucide sono stati più elevati in frutti estivi in confronto a quelli invernali, anche se la *shelf-life* in atmosfera modificata non è stata differente (Bai *et al.*, 2003). In cetriolo coltivato in serra la bassa intensità luminosa ha ridotto la *shelf-life* soprattutto a causa della riduzione del contenuto in clorofilla totale dell'epicarpo (Lin e Jolliffe, 1996). Lester (2006) ha riportato che foglie *baby leaf* di *Brassica rapa* (*mustard green*) coltivata con esposizione diretta alla luce solare, hanno presentato contenuto in acido ascorbico più basso rispetto a condizioni di crescita con ridotta intensità luminosa. Per contro il contenuto in carotenoidi e in clorofilla totale è stato più elevato.

Gestione della coltura

La tecnica di produzione svolge un ruolo strategico nell'ottenimento di un prodotto di qualità idonea per la trasformazione di IV gamma. Soprattutto nel caso degli ortaggi da foglia, sono necessarie oculte modifiche delle pratiche colturali rispetto ai sistemi di produzione tradizionali. A tale proposito, si rimanda al lavoro di Pimpini *et al.* (2005). Poche risultano le evidenze sperimentali sugli effetti specifici delle pratiche colturali sulla qualità post-raccolta del prodotto trasformato in IV gamma. Alcune *review* sull'argomento riguardano il prodotto intero (Crisosto *et al.* 1997; Weston e Barth, 1997).

Particolare importanza è stata attribuita alla nutrizione azotata per le implicazioni igienico-sanitarie legate al contenuto di nitrati negli ortaggi da foglia. Anche in questo caso si rimanda alla *review* curata da Santamaria (2006) per una rassegna circa le tecniche e le strategie di gestione della fertilizzazione finalizzate alla riduzione del contenuto di nitrati. In ogni caso l'eccesso di azoto contribuisce in maniera determi-

nante alla diminuzione del contenuto di sostanza secca, utile a conferire resistenza meccanica dei tessuti vegetali.

Anche la nutrizione minerale con calcio ha importanti implicazioni qualitative nel post-raccolta, in quanto influenza il mantenimento della consistenza dei tessuti, ritarda la degradazione delle membrane e la maturazione. L'applicazione fogliare di calcio durante la coltivazione ha consentito di prolungare il mantenimento della consistenza di bacche di pomodoro (Elia, comunicazione personale) e in fette di peperone sia verde che invaiato (Toivonen, 1999). L'applicazione di titanio in combinazione con magnesio e calcio su alberi di *Prunus domestica* ha consentito di ottenere frutti più grandi e più consistenti che hanno presentato minore perdita di peso durante la conservazione (Alcaraz-López *et al.*, 2003).

Sotto il profilo igienico-sanitario, la fase di produzione e quella di raccolta rappresentano punti critici nell'intero processo di filiera a causa della difficoltà di controllo in campo delle diverse possibili cause di contaminazione microbica. La gestione della carica microbica (patogena per l'uomo e non) in fase di lavorazione diviene più problematica se la materia prima è già contaminata; pertanto è necessario porre la dovuta attenzione adottando interventi preventivi in campo. Le potenziali vie di contaminazione in campo sono rappresentate soprattutto dal contatto con letame non maturo e/o compost di origine animale che nel caso di poco accurata gestione della fase termofila (fase di igienizzazione) nel processo produttivo potrebbe non presentare i necessari requisiti igienici. Di conseguenza, soprattutto nelle colture ortive da foglia, è sconsigliata la fertilizzazione o l'ammendamento con letame e compost. Oltre ai contaminanti biologici, la limitazione nell'applicazione di compost può essere rappresentata da un elevato contenuto in inerti (vetro e plastica) e dalla presenza di metalli pesanti (rame, zinco, piombo, nichel, mercurio e cromo).

Irrigazione

La situazione più probabile è l'eccesso di disponibilità idrica che comporta l'ottenimento di tessuti più acquosi, con più basso contenuto di solidi solubili e di sostanza secca (Crisosto *et al.*, 1997; Weston e Barth, 1997); questi risultano meno resistenti alla manipolazione con possibili effetti anche sull'aumento della attività respiratoria (Lamikanra, 2002). Il comportamento fisiologico della lattuga, come la sensibilità a danni da CO₂, è risultato influenzato dalle pratiche colturali, quali irrigazione e fertilizzazione, oltre che dal clima (Sorensen *et al.*, 1994).

È opportuna la periodica verifica della qualità dell'acqua proveniente da fonti non controllate, rilevando gli indici di inquinamento microbico (coliformi fecali) e chimico (fluoro, bromo, cloro, sodio e boro), poiché la risorsa idrica aziendale (acqua superficiale e/o di falda) è esposta al rischio di contaminazione da acque provenienti da zone inquinate (allevamenti intensivi ed estensivi, aree letamate, reflui animali e umani, aree ricche di fauna selvatica). I mezzi per il controllo delle contaminazioni microbiologiche sono il filtraggio, la sterilizzazione con ozono o UV e la pulizia delle tubature. Per la stessa ragione le acque reflue non sono indicate per l'irrigazione delle coltivazioni di ortaggi destinati alla IV gamma. In ogni caso il sistema irriguo localizzato è il più indicato per una equilibrata gestione irrigua della coltura e del rischio di contaminazione (assenza del contatto diretto con la pianta).

Impianto ed apprestamenti protettivi

Su spinacio e su altre specie raccolte allo stadio di *baby leaf* può essere utile aumentare la densità d'impianto fino a 1.000 piante/m² al fine di ottenere un prodotto più pulito. L'elevata densità favorisce la crescita eretta e più raccolta delle foglie che intercettano meno polveri e soprattutto consentono il veloce allontanamento di pioggia e rugiada mattutina, asciugandosi velocemente (Elia e Conversa, 2006). In spinacio è stato anche osservato che la crescita eretta consente di operare un taglio più alto alla raccolta riducendo la porzione di picciolo fogliare, dove la concentrazione di nitrati è 6 volte più alta di quella della lamina fogliare (Elia *et al.*, 1998). Da Silva *et al.* (2008) indicano che, per ottimizzare la dimensione delle carote della cv 'Esplanada' destinate alla produzione di *baby carrot* con il sistema Cenourete™ (taglio in pezzi di 6 cm di lunghezza e pelatura), è necessario rispettare precise indicazioni di densità di impianto (8 file per metro lineare) e raccogliere 80 giorni dopo la semina.

Hong *et al.* (2000) riportano che pomodoro in fette proveniente da piante allevate con l'inerbimento (vecchia) si è rivelato più consistente ed ha presentato con minore intensità i sintomi di danni da freddo rispetto a pomodoro ottenuto da piante allevate con pacciamatura con film polimerici neri. Su tre cultivar di lattuga, 'Montego', 'Great Lakes 118' e 'Salad Bowl', la pacciamatura con film nero è risultata influire positivamente sulla produzione e negativamente sulla quantità di polifenoli totali e sul potere antiossidante (Pernice *et al.*, 2007).

Difesa fitosanitaria

Tra le pratiche colturali per i prodotti destinati alla IV gamma assume particolare importanza il controllo

delle malattie per le implicazioni con gli aspetti relativi alla sicurezza del prodotto. L'impiego dei prodotti fitosanitari nella lotta alle principali avversità animali e vegetali deve tenere conto dei principi della produzione integrata e, ove presenti, dei relativi disciplinari. Inoltre, molte catene distributive e fornitori di IV gamma ad esse collegati impongono un livello di residui inferiore del 50% del residuo massimo ammesso dalla normativa comunitaria, restringendo di fatto ulteriormente la possibilità di applicazione di prodotti con scarsa residualità (Elia e Conversa, 2006).

Coltivazioni senza suolo

I sistemi senza suolo permettono la coltivazione di prodotti per la IV gamma di alta qualità. Essi offrono l'indubbio vantaggio di controllare la nutrizione idrica e minerale della pianta, consentono la riduzione dei nitrati applicando opportune strategie, l'arricchimento in elementi minerali (calcio, ferro, magnesio), antiossidanti (selenio) e composti funzionali (omega 3) (Conversa *et al.*, 2004). Offrono la possibilità, attraverso il riscaldamento della soluzione nutritiva, di precocizzare la coltura ed eseguire numerosi cicli colturali durante l'anno. I trattamenti con fitochimici sono ridotti (fitosanitari) o assenti (diserbanti) in quanto non sono presenti i patogeni tellurici e le infestanti; l'assenza del terreno consente di aumentare l'igienicità del prodotto. In particolare, il sistema a pannelli galleggianti o *floating system* attualmente sembra fornire i migliori risultati sotto il profilo quantitativo e qualitativo (Gonnella *et al.*, 2004). Diversi risultati sperimentali mostrano la possibilità di esaltare gusto, aroma e intensità del colore verde delle parti vegetative e anche la *shelf-life* aumentando la conducibilità elettrica (CE) della soluzione nutritiva (Pimpini *et al.*, 2005), anche se valori troppo elevati di CE comportano la riduzione dell'accrescimento (altezza della pianta, numero di foglie per pianta, raccorciamento degli internodi) e la minore resistenza alle malattie.

Su spinacio e lattuga *baby leaf* lo stress salino ha ridotto la superficie fogliare ma di contro ha determinato l'aumento della percentuale di sostanza secca: sono state ottenute foglie più piccole ma più spesse, con maggiore *shelf-life* ed accettabilità da parte del consumatore (Clarkson *et al.*, 2003). Per migliorare la resistenza alla lavorazione i sistemi senza suolo si potrebbero facilmente prestare anche alla applicazione di stress meccanici: è stato dimostrato che il passaggio su piantine *baby leaf* per 50 volte durante il giorno di un foglio di carta del peso di 80 g ha determinato la riduzione della dimensione delle foglie e delle cellule epidermiche, aumentando parallelamente

la percentuale di sostanza secca. Sebbene questo trattamento abbia ridotto leggermente la produzione, la qualità è stata sensibilmente migliorata (Clarkson *et al.*, 2003).

Raccolta

Il grado di maturità alla raccolta di un prodotto ortofrutticolo fresco destinato alla IV gamma è un fattore critico nel determinare il suo potenziale qualitativo e la sua conservabilità (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny *et al.*, 2004; Bergquist *et al.*, 2006; Beaulieu e Lea, 2007).

Nei frutti climaterici, la sintesi dei composti non-volatili e volatili che influenzano il sapore e l'aroma aumenta con la maturazione, di contro si assiste alla contemporanea riduzione della consistenza dei tessuti. Per tale motivo, per un frutto destinato alla trasformazione di IV gamma è indicata la raccolta, di poco anticipata rispetto allo stadio di maturazione indicato per i frutti destinati al consumo diretto. Diversi sono stati i lavori condotti sulla individuazione degli indici minimi di maturità su prodotti frutticoli, ad esempio mele 'Golden delicious' e pere 'Conference' (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny *et al.*, 2004), su mela 'Granny Smith' (Toivonen, 2008), su pesca e nettarina (Gorny *et al.*, 1998) e su alcune cultivar di pera (Gorny *et al.*, 2000).

Lo stadio intermedio di maturazione fisiologica è indicato come più idoneo per prolungare la conservazione del melone 'Piel de Sapo' (Oms-Oliu *et al.*, 2008). La consistenza di pomodoro in fette conservato a temperatura variabile tra 2 e 16 °C è rapidamente diminuita dopo solo due giorni se raccolto allo stadio di piena maturazione (rosso) rispetto allo stadio rosato e verde; quest'ultimo ha mantenuto quasi inalterata la consistenza fino a 8 giorni di conservazione anche se ha mostrato valori iniziali di consistenza più elevati rispetto a quello maturo (Lana *et al.*, 2005). Molti sono i lavori riguardanti lo stadio di maturazione ottimale per la trasformazione in IV gamma sulla tipologia di melone *cantaloupe* molto diffuso negli USA. Lo stadio di maturazione aumenta significativamente il livello di composti volatili nella cv 'Sol Real' che diventano ottimali quando si ha il distacco dei 3/4 del peduncolo dal frutto; tuttavia, ai fini di ottimizzare la *shelf-life* del prodotto cubettato, i frutti di questa tipologia devono essere raccolti subito dopo che il peduncolo si è distaccato per metà (Beaulieu e Lea, 2007). Al contrario, la cv 'Makdimon' raccolta due giorni prima del completo distacco del peduncolo, sviluppa circa un quarto dei composti volatili dei frutti raccolti 3 giorni dopo il completo distacco del peduncolo (Wyllie *et al.*, 1996).

In peperone, frutto non climaterico, si suggerisce di fare la raccolta ad uno stadio di maturazione avanzato (Lamikanra, 2002).

In specie da foglia lo stadio fenologico al momento della raccolta influenza il contenuto di sostanza secca ed il contenuto di sostanze antiossidanti. Il primo è direttamente correlato alla resistenza meccanica alla lavorazione e quindi alla qualità visiva del prodotto finale. I composti antiossidanti, come la forma ridotta della vitamina C (acido ascorbico), sono utili a contrastare i danni da ROS (*Reactive Oxygen Species*) in foglie di lattuga con elevato contenuto di vitamina C è stata verificata la minore biosintesi di fenoli mediata dalla PAL (Reyes *et al.*, 2007). In spinacio *baby leaf* è stato verificato che foglie raccolte in lieve anticipo (23-24 giorni dopo la semina) rispetto allo stadio di raccolta commerciale (30 giorni dopo la semina) sono state caratterizzate da maggiore contenuto di vitamina C e percentuale di sostanza secca, mostrando caratteristiche visive migliori dopo la conservazione (Bergquist *et al.*, 2006). Lattuga (tipologia *iceberg*) raccolta immatura ha mostrato una migliore qualità visiva rispetto a cespi raccolti a stadi fenologici più avanzati, questa è stata correlata negativamente al livello di fenoli nei tessuti ed all'intensità dell'imbrunimento (Couture *et al.*, 1993). In endivia e lattuga la concentrazione di carotenoidi (composti ad azione antiossidante) delle foglie mature è stata 2-4 volte più alta delle foglie giovani, mentre nello spinacio di Nuova Zelanda è stato leggermente più alto nelle foglie giovani (de Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya, 2005).

In carota gli zuccheri riduttori, che ne migliorano la qualità sensoriale, predominano nella fase precoce di formazione delle radici, al contrario in prossimità della raccolta queste contengono più saccarosio (Simon, 1985). Le radici immature, quando esposte all'etilene, sembrano essere più predisposte a sintetizzare, quando esposte all'etilene, una fitoalessina (6-metossimelleina, 6-MM) responsabile del peggioramento delle caratteristiche organolettiche (amaro, aspro e riduzione della percezione della dolcezza). La produzione di etilene e di 6-MM è stata anche correlata positivamente con lo stress della raccolta meccanica o di tipo ambientale (danni da grandine) o allo stress legato alla lavorazione a fette (Seljåsen *et al.*, 2001).

Biologia dei tessuti dopo il taglio

I prodotti di IV gamma o *fresh-cut* hanno una vita commerciale più breve di quella del prodotto fresco di partenza, in seguito alle operazioni di taglio e di pre-

parazione che, provocando un danno meccanico ai tessuti, inducono imbrunimento ossidativo, più rapida perdita di consistenza ed un'accresciuta suscettibilità ai microrganismi (Brecht, 1995; Ahvenainen, 1996; Beuchat, 1998).

In particolare, il taglio provoca una serie di reazioni fisiche e fisiologiche sia nei tessuti lesionati sia in quelli adiacenti. Gli effetti fisici in seguito al taglio sono immediati e causano *shock* meccanici ai tessuti, la rimozione dello strato epidermico protettivo, l'accumulo in superficie di acqua ed espongono i tessuti a contaminazioni. Una volta che l'acqua superficiale evapora, i tessuti cominciano a rispondere fisiologicamente. Il taglio può alterare gravemente le proprietà fisiche delle superfici esterne rimuovendo le barriere naturali alla diffusione dei gas (la cuticola e l'epidermide). La cuticola e l'epidermide di tutti i prodotti ortofrutticoli sono un complesso di cellule viventi secernenti cere e composti organici protettivi che minimizzano la perdita di acqua e contengono l'attacco dei patogeni.

Dal punto di vista biochimico e fisiologico, i principali eventi seguenti il danno meccanico sono stati riassunti da Saltviet (1997) attraverso il modello riportato in figura 1. In seguito a taglio e abrasione, le cellule vegetali lesionate producono un segnale che si propaga nelle cellule adiacenti stimolando una serie di reazioni fisiologiche. In seguito alla propagazione del segnale nei tessuti hanno luogo una serie di reazioni che comportano molti cambiamenti fisiologici, biochimici e morfologici. Uno di questi riguarda l'aumento della respirazione che accelera i processi di ossidazione di quei substrati, quali zuccheri e acidi organici, che vengono apprezzati dai consumatori perché indici di qualità strettamente legati con le proprietà organolettiche del prodotto.

L'aumento nella produzione di etilene comporta un più rapido succedersi dei fenomeni associati alla maturazione ed alla senescenza, tra cui ad esempio la perdita di consistenza di alcuni tessuti e l'aumento della fibrosità in altri, legata all'accumulo di lignina (Saltveit, 1997). La consistenza è un attributo qualitativo che può essere perso a causa dell'azione degli enzimi cellulari presenti nei tessuti del frutto (Varoquaux *et al.*, 1990), in particolare dalla poligalatturonasi (PG) e dalla pectin-metilesterasi (PME), e per la diminuzione del turgore dovuto alla perdita d'acqua (Saladié *et al.*, 2007). Secondo Brummel (2006) la prima fase della perdita di consistenza delle pesche, coincidente con il raggiungimento della maturazione fisiologica, avviene a carico della pectine complesse, soprattutto con la perdita delle catene laterali di galattani e arabinani. Segue la depolimerizza-

zione delle emicellulose della parete cellulare, la esterificazione della pectine ad opera della PME, con conseguente solubilizzazione, quindi la loro depolimerizzazione che coinvolge la PG. In tali frutti la perdita di consistenza avviene in maniera più accentuata in corrispondenza dell'ottenimento di catene singole di acido poligalatturonico, fino alla vera e propria deliquescenza dei tessuti, in corrispondenza dell'azione della poligalatturonasi.

Tale ordine cronologico e l'intensità degli eventi descritti può variare in relazione al tipo di frutto considerato, ed alcuni passaggi possono risultare molto ridotti o assenti in alcune specie (Brummel *et al.*, 2004). In seguito al danno determinato dalle operazioni di taglio i composti fenolici possono subire un incremento dovuto all'attivazione dell'enzima PAL (Saltveit, 1997). In aggiunta, la degradazione delle membrane cellulari può comportare la perdita della compartimentalizzazione e dei componenti lipidici associati alla membrana (Karakurt e Huber, 2008); in questo caso enzimi e substrati possono interagire con effetti negativi sulla qualità finale del prodotto (Marangoni *et al.* 1996; Degl'Innocenti *et al.*, 2005). La comparsa di un colore brunoastro, dovuto all'interazione dei componenti fenolici con gli enzimi polifenolossidasi (PPO) e perossidasi (POD), o la degradazione della clorofilla nei tessuti verdi, sono esempi di queste interazioni (Martinez e Whitaker, 1995; Heaton e Marangoni, 1996). Infine, l'attività della lipossigenasi, a carico dei lipidi della membrana, può dar luogo a sintesi di componenti volatili con possibile impatto, sia positivo sia negativo, sull'aroma del prodotto (Myung *et al.*, 2006).

Cantos *et al.* (2002), alla luce dei risultati ottenuti su patata di IV gamma, sostengono che il grado di imbrunimento non è limitato né dalla disponibilità degli enzimi ossidativi né dalla presenza di substrati fenolici, ipotizzando che il fattore più importante nel controllare il grado di imbrunimento sia rappresentato dalla stabilità delle membrane. Tale ipotesi viene supportata da Toivonen e Brummel (2008) secondo i quali il successo della formulazione anti-imbrunente più utilizzata nell'industria, composta da sali di calcio e da acido ascorbico (Rupasinghe *et al.*, 2005), oltre alla riconosciuta proprietà dell'ascorbato nel controllare l'attività della PPO, è legata alla sua possibile funzione di difesa dell'integrità delle membrane attraverso il blocco dei radicali liberi coinvolti nel deterioramento ed al noto ruolo del calcio nel mantenimento delle stesse membrane (Poovaiah, 1986). Vale a dire che tali formulazioni agiscono sia prevenendo la perdita di compartimentalizzazione nelle cellule sia modulando l'attività degli enzimi ossidativi nelle cel-

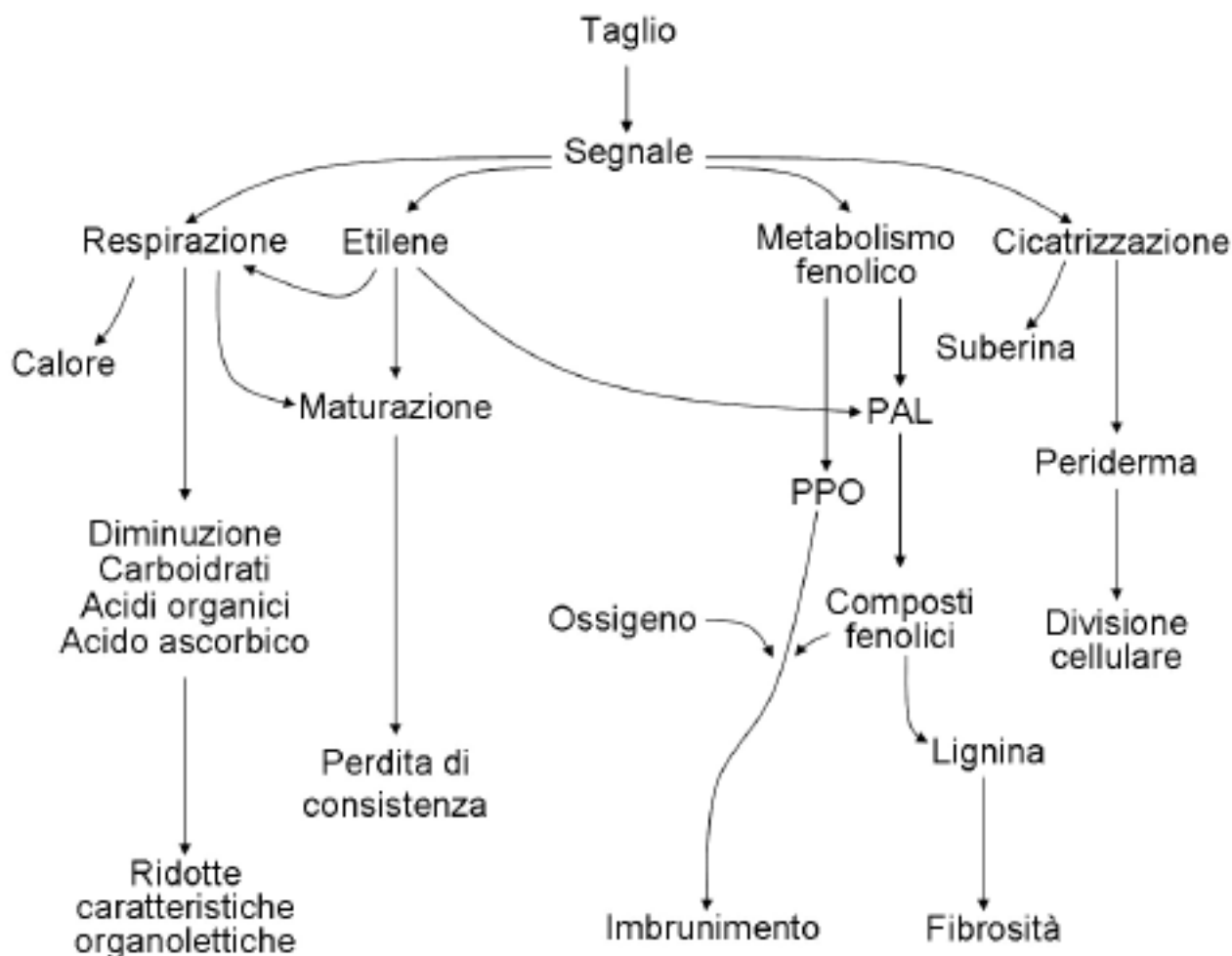


Fig. 1 - Diagramma schematico delle interazioni esistenti come risposta fisiologica al danno meccanico nei prodotti vegetali (tradotto da Saltviet, 1997).

Fig. 1 - Schematic diagram of the interactions of different physiological responses to plant tissue injury (from Saltviet, 1997).

lule già danneggiate. D'altro canto molte formulazioni basate su inibitori della PPO riportate in bibliografia come efficaci nel rallentare l'imbrunimento dei tessuti (Sapers 1993; Martinez e Whitaker, 1995), in realtà poi non vengono utilizzate commercialmente.

Anche la struttura e l'organizzazione interna dei cloroplasti possono essere coinvolte con la perdita di compartimentalizzazione della cellula, ed in tal caso la clorofilla (a e b) che determina il colore verde delle foglie, diventa molto suscettibile a modificazioni strutturali. Tali modificazioni sono influenzate da diversi fattori (temperatura, attività enzimatica, pH, presenza di ossigeno, luce) e comportano la formazione di composti derivati (Artés *et al.*, 2002). Le principali modificazioni coinvolgono la sintesi di feofitina (che comporta una drastica variazione di colore dal verde brillante al verde bruno) e di clorofillide (verde-azzurro). D'altro canto, la presenza di sostanze antiossidanti come l'acido ascorbico e il β -carotene, può essere collegata alla minore perdita di clorofilla che comporta un ritardo nei fenomeni di ingiallimento

(Mínguez-Mosquera e Gallardo-Guerrero, 1995). Naturalmente anche la presenza e la concentrazione dell'etilene gioca un ruolo importante nella fase di ingiallimento dei tessuti sottoposti a taglio (Abe e Watada, 1991).

Un particolare problema legato al taglio è riscontrabile nelle carote soggette a pelatura, in cui si assiste ad una particolare variazione di colore del prodotto finito, chiamato "sbiancamento" o *white blush*. Tale anomalia dipende dall'accumulo in superficie ed alla disidratazione di materiale cellulare danneggiato (Avena-Bustillos *et al.*, 1994; Cisneros-Zevallos *et al.*, 1995). A tale fenomeno fisico però si accompagna il processo di lignificazione derivante dalla risposta fisiologica al danno meccanico (fig. 1), che intensifica l'incidenza e la gravità di tale sintomatologia (Howard *et al.*, 1994), benché l'etilene non sembra abbia un ruolo determinante nel suo sviluppo (Howard e Griffin, 1993).

L'entità dei danni legati alle operazioni di taglio può essere influenzata dal numero di tagli e dall'affi-

latura delle lame utilizzate. Portela e Cantwell (2001) hanno mostrato che pezzi di melone tagliati con una lama non affilata hanno esibito la maggiore concentrazione in etanolo, presenza di odori anomali e perdita elettrolitica, rispetto a quelli tagliati con lama affilata. Analogamente, l'uso di strumenti di taglio affilati ha ridotto i sintomi da danno meccanico su carota tra cui l'accumulo di lignina, lo "sbiancamento", la perdita di consistenza e la crescita microbica (Bolin e Huxsoll, 1991; Barry-Ryan e O'Beirne, 1998).

In relazione all'entità ed al tipo di taglio, l'attività metabolica dei prodotti aumenta in relazione al numero dei tagli, come riportato su patata (Ahvenainen *et al.*, 1998), su carota (Surjadinata e Cisneros-Zevallos, 2004) e su ravanella (Saavedra del Aguila *et al.*, 2006). Infine, anche la direzione del taglio sembra poter avere un ruolo importante nella sintomatologia di risposta al taglio, sia in termini di produzione di etilene sia di attività respiratoria, come riportato per banana da Abe *et al.* (1998).

Tecnologie di trasformazione ed aspetti impiantistici

Data la eterogeneità della materia prima e dei prodotti finali, i processi tecnologici di trasformazione

dei prodotti ortofrutticoli di IV gamma sono abbastanza differenziati e possono essere caratterizzati da una più o meno spinta automazione impiantistica, composti da sole operazioni manuali. In figura 2 viene riportato un diagramma di massima delle operazioni relative alla trasformazione dei prodotti di IV gamma, dalla raccolta alla distribuzione finale (Colelli, 2001). Non tutte le operazioni sono strettamente necessarie per le diverse tipologie di prodotto ed alcune (racchiuse in linea tratteggiata) possono essere facoltative per alcuni prodotti. Alcune operazioni particolari non sono comprese, come ad esempio l'eventuale maturazione con etilene di alcuni frutti effettuata in fase post-conservazione.

Come già detto in precedenza, la raccolta rappresenta una fase determinante nella filiera dei prodotti ortofrutticoli in genere, soprattutto in relazione all'epoca ed alla modalità. La raccolta può essere effettuata manualmente o più spesso con l'ausilio di specifiche macchine operatrici, soprattutto per ciò che riguarda lo sfalcio delle *baby leaf*, lo scavo di organi ipogei e, in casi particolari, le insalate da taglio. Importante è che la manipolazione del prodotto sia tale da non danneggiarlo provocando lesioni o pressioni eccessive. Per contenere tali rischi è opportuno operare con delicatezza limitando cadute libere ed

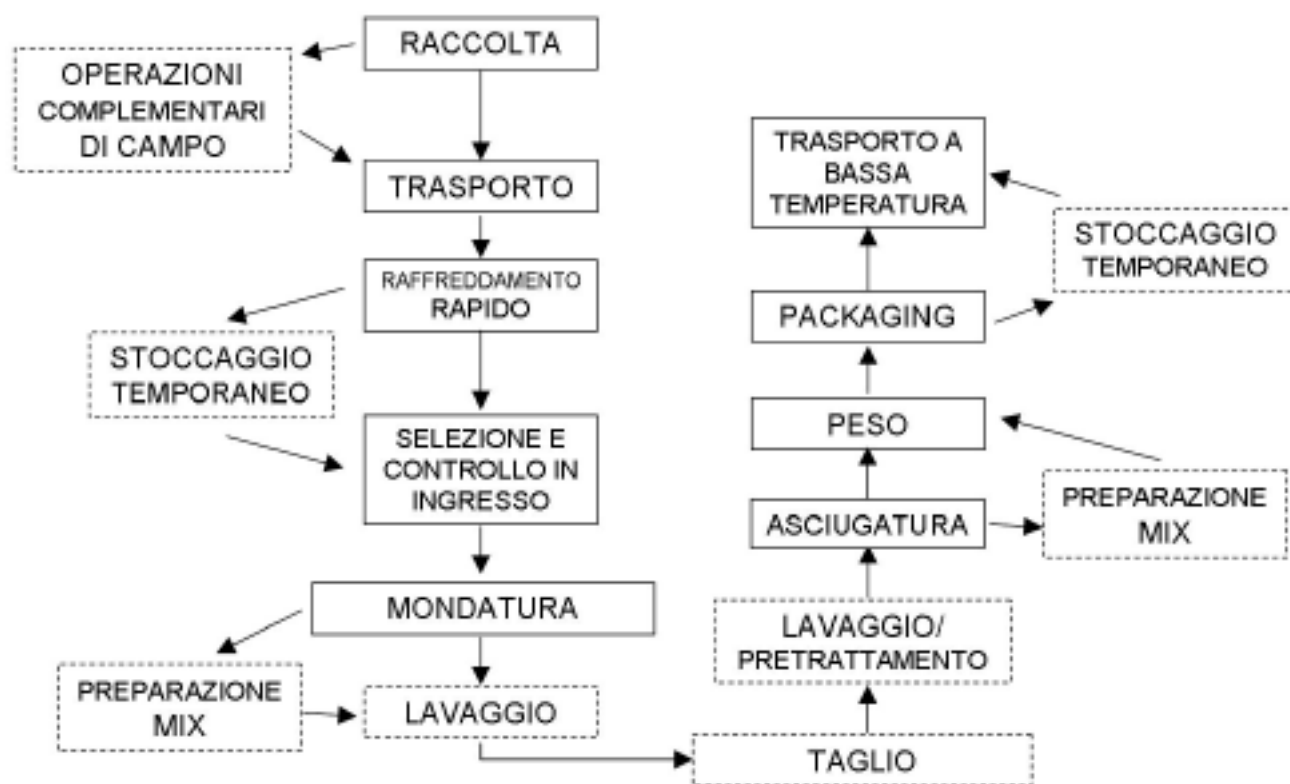


Fig. 2 - Diagramma delle operazioni per la trasformazione di un generico prodotto ortofrutticolo di IV gamma (da Colelli, 2001, modificato).

Fig. 2 - Flow diagram of the operations for fresh-cut processing of a generic horticultural product (from Colelli, 2001, modified).

eccessivi livelli di riempimento dei contenitori in legno o plastica. Le operazioni di raccolta e trasporto dovrebbero essere eseguite seguendo criteri di igienicità per operatori, strumenti di raccolta, contenitori e mezzi di trasporto.

Dopo la raccolta è importante raffreddare rapidamente la materia prima per mantenerne inalterate le caratteristiche: in base alla specie si può ricorrere ad un raffreddamento tramite aria forzata, molto usato e particolarmente efficace e versatile, o ad un raffreddamento con acqua. Il raffreddamento mediante vuoto è invece utilizzato per i prodotti con grande rapporto superficie/volume, quali i prodotti fogliosi (Colelli, 2001). Il trasporto prevede la movimentazione dal campo al centro aziendale o ai centri di condizionamento o di trasformazione, a seconda dei casi.

Gli impianti di lavorazione dovrebbero essere in prossimità delle aree di produzione, per ridurre l'intervallo tra raccolta e lavorazione. In Italia i maggiori impianti di lavorazione si trovano nel Nord Italia, mentre le produzioni si realizzano in larghissima parte nel Sud. I due poli di produzione sono Bergamo (Nord) e Battipaglia nella Piana del Sele (Sud), ma è certamente quest'ultimo ad immettere, nel periodo compreso tra novembre e giugno, la quasi totalità delle produzioni di IV gamma italiane, coltivando infatti oltre 1.000 ha di scarola, lattuga da taglio, radicchio, spinacio e rucola (Borrelli, 2006; Siviero, 2006).

La struttura dei veicoli preposti al trasporto, la loro velocità e lo stato dei profili delle vie di percorrenza sono determinanti al fine di preservare la qualità delle produzioni e limitare i danni meccanici. All'arrivo nello stabilimento, il prodotto, qualora non destinato ad una fase di stoccaggio temporaneo, peraltro consigliato solo qualora sia strettamente indispensabile, viene avviato alla fase di controllo e selezione ed alla successiva fase di mondatura. La riduzione del periodo tra raccolta e lavorazione è estremamente importante considerando che i ritmi respiratori sono elevati, particolarmente nelle specie orticole da foglia. La conservazione dei cespi interi di lattuga *romana* ed *iceberg* (fino a 15 giorni a 5 °C in aria) prima della lavorazione ha diminuito la *shelf-life* del prodotto tagliato di *romana* ma meno di *iceberg*; nel prodotto lavorato appena raccolto è stato osservato un periodo più lungo di induzione della PAL rispetto a quello conservato per 7 e 14 giorni (López-Gálvez *et al.*, 1996b).

Generalmente il personale seleziona manualmente il prodotto, posto su banconi o introdotto nella linea di lavorazione mediante nastri trasportatori. In alcuni casi sono disponibili sistemi di selezione automatica secondo diversi criteri legati alle dimensioni, alle caratteristiche morfologiche, al colore, o, nei sistemi

più recenti, ad alcune caratteristiche composizionali (Beni *et al.*, 2001). Un prodotto prima pulito e non contaminato da microrganismi patogeni e sostanze chimiche può facilmente essere ricontaminato in questa fase, se non maneggiato correttamente. Le cause principali sono da ricercarsi nello stato non igienico delle strutture e dei macchinari, delle pratiche adottate e del personale addetto alla lavorazione del prodotto. Un altro approccio è quello per cui il prodotto viene privato delle sue parti non edibili direttamente sul campo, immediatamente dopo la raccolta. Un particolare esempio è dato dall'operazione di detorsolatura della lattuga in campo (Anonimo, 1996), in maniera tale da ottenere un prodotto lavorabile al 100%, con eventuali soluzioni innovative per ridurre l'imbrunimento sulle superfici di taglio (Saltveit e Qin, 2008). Tale pratica però potrebbe aumentare il potenziale di rischio di contaminazione da parte di microrganismi patogeni per l'uomo (McEvoy *et al.*, 2008).

Il lavaggio è un punto critico del processo di lavorazione, che serve a eliminare terra, corpi estranei e residui di prodotto indesiderati, a ridurre la carica microbica e a rimuovere l'eventuale presenza di contaminanti chimici. Un sistema di lavaggio ottimale generalmente si compone di tre vasche separate, all'interno delle quali getti d'aria movimentano il flusso d'acqua, rendendo più efficace la rimozione meccanica dello sporco dalle superfici del prodotto. Il cloro è l'agente sanitizzante abitualmente usato in gran parte dell'Europa Occidentale e nel Nord America, durante la fase di lavaggio, essendo abbastanza efficace ed economico. La sua forma attiva è rappresentata dall'acido ipocloroso, la cui concentrazione varia a seconda del pH che influenza l'equilibrio tra la forma dissociata e non dissociata, ma anche dalla materia organica presente che ne abbassa la concentrazione; un moto troppo turbolento dell'acqua, utile per favorire il contatto del prodotto con l'acqua, ne causa una rapida evaporazione che risulta in fumi tossici per gli operatori. Generalmente si usano 50-200 ppm (Parish *et al.* 2003; Soliva-Fortuny e Martín-Belloso, 2003) per un tempo di contatto pari a 1-3 minuti. Concentrazioni troppo basse hanno un minimo effetto sui microrganismi, mentre concentrazioni troppo elevate possono provocare contaminazione chimica del prodotto; il cloro può reagire con alcuni costituenti del prodotto e formare prodotti tossici (Richardson, 1994). Al fine di abbassare il cloro residuo è raccomandato un risciacquo (Ahvenainen, 1996) in sola acqua a bassa temperatura (1-2 °C).

Le tecnologie impiegate nelle operazioni di taglio sono fondamentali, dal momento che, alla luce di quanto detto in precedenza, questo processo causa

danni ai tessuti vegetali ed innesca tutta una serie di reazioni tra loro interconnesse che accelerano il deterioramento del prodotto. È bene che taglio e pelatura siano accompagnati da un lavaggio, che elimina i fluidi cellulari accumulatisi sulle superfici. I sistemi maggiormente impiegati consistono di lame rotanti, perpendicolari al flusso della materia, o dischi paralleli al flusso stesso. Sistemi a getto d'acqua (*water jet cutters*) sono oggetto di molte ricerche e prototipi, essendo sistemi molto più precisi e flessibili (McGlynn *et al.*, 2003).

Una fase molto delicata della lavorazione, soprattutto, ma non solo, per prodotti che crescono a livello del suolo, è la rimozione dei corpi estranei, vale a dire di tutto ciò che non è strettamente prodotto ma può trovarsi associato ad esso sia in campo sia nelle fasi successive di lavorazione. In Europa si registrano dai 5 ai 7 reclami successivi al ritrovamento di corpi estranei per milione di confezioni vendute (Caponetti, 2007). Tali corpi provengono al 90-95% dalla fase pre-raccolta, mentre la contaminazione durante le fasi della trasformazione appare più limitata. In linea di massima i prodotti più a rischio da questo punto di vista sono risultati quelli composti da *baby leaf* e da insalate a cespo aperto. Le statistiche riportano inoltre che circa il 20% dei prodotti alimentari sui quali è stata rilevata la presenza di corpi estranei deriva da ortaggi, mentre solo il 2,6% deriva da prodotti a base di frutti (Edwards *et al.*, 2007). L'identificazione di tali corpi è affidata in primo luogo agli operatori durante le prime fasi di selezione e cernita e può essere coadiuvata da diversi sistemi meccanici e ottici. La ricerca in questo campo da parte delle aziende produttrici è molto intensa, essendoci ancora molti limiti di rilevazione da superare data la variabilità dei corpi presenti, in termini di tipo di matrice, colore, densità e dimensioni. Tra i sistemi più innovativi, si annoverano filtri, piani vibranti e linee disegnate al fine di eliminare con buona probabilità eventuali corpi estranei, e tra i sistemi ottici, infrarossi, raggi-X, laser e sistemi a multi-frequenza (Stafford *et al.*, 1989; Campbell, 1992; White e Sellers, 1994; Zion *et al.* 1995; Zwiggelaar *et al.*, 1996; Artés-Hernandez e Artés, 2005). Alla fine di ogni linea inoltre, troviamo i più classici *metal-detector*. Molto spesso l'integrazione di alcuni di tali sistemi comporta una maggiore efficienza di detenzione in quanto copre uno spettro più ampio di criteri di rilevazione (Caponetti, 2007).

In seguito all'ultima operazione di lavaggio, e prima del confezionamento, avviene l'operazione di asciugatura, che consiste nella rimozione dell'acqua in eccesso sulla superficie del prodotto. Tale operazione risulta della massima importanza perché la pre-

senza di acqua liquida a contatto con i tessuti aumenta notevolmente il rischio di proliferazione microbica di tipo degenerativo. La difficoltà di questa operazione è legata alla conformazione del prodotto ed anche le tecniche utilizzate possono essere differenziate e/o combinate (Turatti, 2007). Una prima fase può consistere nell'uso di piattaforme forate vibranti che scuotono il prodotto facendolo avanzare, provocando l'allontanamento dell'acqua attraverso i fori. Tale operazione può avvenire contemporaneamente, o essere seguita, dalla ventilazione forzata con aria fredda (-1-0 °C) o, in alcune soluzioni, con azoto. In alternativa, l'asciugatura del prodotto può realizzarsi attraverso centrifugazione, che può avvenire attraverso centrifughe continue, per linee di lavorazione di grandi capacità, o discontinue, anche di piccole dimensioni, che quindi comportano un sistema di accumulo prima e dopo l'operazione. Il sistema per centrifugazione, sebbene molto utilizzato, soprattutto per le insalate tagliate, può presentare l'inconveniente di arrecare danni meccanici al prodotto, con conseguente aumento potenziale dei fenomeni di imbrunimento. Secondo Pirovani *et al.* (2003) l'efficacia nella rimozione di acqua dipende dalle condizioni operative della centrifuga, soprattutto in relazione alla velocità di rotazione rispetto al tempo di processo. Tali autori riportano inoltre nessun effetto delle condizioni operative sulla crescita microbica in spinaci di IV gamma, identificano le condizioni ottimali al fine della riduzione dell'imbrunimento tra 700 e 750 rpm (corrispondenti ad un'accelerazione di 68,5-75,5 G) ed un tempo operativo da 5 a 5,5 minuti. In tali condizioni l'eccesso di acqua nel prodotto dovrebbe limitarsi a valori compresi tra lo 0,2 e lo 0,5% in peso. Secondo Allende *et al.* (2004) l'operazione di centrifugazione, insieme con quella di taglio e di risciacquo, concorre ad aumentare la carica microbica del prodotto durante la lavorazione.

Trattamenti pre- e post-taglio per mantenere la qualità dei prodotti di IV gamma

Per il mantenimento della qualità dei prodotti tagliati sono ad oggi disponibili diverse strategie basate su mezzi fisici e chimici, che mirano in particolare al rallentamento dell'imbrunimento (Garcia e Barrett, 2002) e della perdita di consistenza (Gorny *et al.* 2002). Le basse temperature, i trattamenti termici e l'utilizzo di atmosfere modificate sono tra i più utilizzati sistemi fisici, mentre i sistemi chimici prevedono l'inibizione degli enzimi responsabili dell'imbrunimento (PPO) o la rimozione o sostituzione dei substrati. Esistono diversi composti ad azione anti-imbru-

nente; i composti chelanti agiscono direttamente come inibitori enzimatici, gli acidulanti rendono il pH dell'ambiente di reazione non ottimale per l'enzima, invece gli agenti riducenti e complessanti legano i prodotti intermedi di reazione prima che da questi siano formati i composti scuri (Garcia e Barrett, 2002). L'acido ascorbico, oltre che un debole acidulante, effettua la sua azione di riduzione sugli orto-chinoni, intermedi incolore della reazione, rigenerando gli orto-difenoli da cui la reazione ha inizio (Golan-Goldhirsh *et al.*, 1992). Anche la cisteina è un agente riducente che agisce allo stesso modo (Gunes e Lee, 1997). Tra gli altri composti di cui si riporta un effetto anti-ossidante si cita il 4-exilresorcinolo (Sapers e Miller, 1998), il cloruro di sodio (Rouet-Mayer e Philippon, 1986) e i composti a base di calcio (Drake e Spayd, 1983). Diversi studi in bibliografia riportano l'efficacia di mix di anti-ossidanti per diversi prodotti di IV gamma: Gorny *et al.* (2002) riportano un significativo aumento della *shelf-life* di fette di pera 'Bartlett' dopo l'immersione in una soluzione al 2% di ascorbato, 1% di lattato di calcio e 0,5% di cisteina a pH 7; il 4-exilresorcinolo in combinazione con eritorbato di sodio è risultato efficace sul mantenimento del colore di fette di pera 'Anjou' (Sapers e Miller, 1998); Pizzocaro *et al.* (1993) osservano il 90-100% di inibizione dell'azione delle PPO su cubi di mela trattati con 1% di acido ascorbico e 0,2% di acido citrico, mentre Soliva-Fortuny *et al.* (2002) riportano come efficace su mela un trattamento con 1% di acido ascorbico e 0,5% di cloruro di calcio accoppiato ad atmosfera modificata.

L'immersione in soluzioni con composti a base di calcio è invece uno dei pre-trattamenti più usati per il mantenimento della consistenza iniziale di pezzi di diverse specie come zuccina (Izumi e Watada, 1995), carota alla *julienne* (Izumi e Watada, 1994), mela (Lurie e Klein, 1992), pera e fragola a pezzi (Rosen e Kader, 1989). Il ruolo giocato dallo ione Ca^{2+} sulla consistenza è dovuto all'effetto di stabilizzazione delle membrane e alla formazione di pectati di calcio che aumentano la rigidità della lamella mediana e della parete cellulare (Jackman e Stanley, 1995). L'immersione (*dipping*) in soluzioni con 1% di cloruro di calcio o 2% di lattato di calcio, in combinazione con atmosfere controllate al 2-4% di O_2 e al 5-10% di CO_2 , può estendere la *shelf-life* di fette di actinidia da 9 a 12 giorni (Agar *et al.*, 1999). L'immersione nel 2,5% di lattato di calcio di pezzi di melone 'Campsol' è risultata efficace non solo sul mantenimento della consistenza dei pezzi, ma anche nel controllare la comparsa di un effetto traslucido che è uno dei problemi principali per questo tipo di

prodotto (Rinaldi *et al.*, 2004).

Tra i mezzi fisici, l'uso di rivestimenti (*coating*) edibili rappresenta un'altra valida strategia per il mantenimento della qualità dei prodotti tagliati. Tali *coating* sono costituiti da idrocolloidi, come polisaccaridi e proteine, e/o da sostanze lipidiche e cere che ricoprono il prodotto formando una barriera invisibile, inodore ed insapore che agisce da barriera protettiva (Baldwin *et al.*, 1995). Questa barriera limita enormemente gli scambi gassosi (anche col vapor d'acqua) e la perdita quindi di composti volatili, impartendo al prodotto una maggiore resistenza meccanica e preservando allo stesso tempo il colore e la consistenza dei pezzi (Baldwin *et al.*, 1995). La scelta del tipo di *coating* da utilizzare su un prodotto tagliato è un punto molto critico, per la natura idrofilica delle superfici di taglio alle quali alcuni rivestimenti possono non aderire (Baldwin *et al.*, 1995). I composti di natura lipidica hanno buone proprietà di barriera all'acqua, ma possono impartire al prodotto sgradevoli caratteristiche gommose (Wong *et al.*, 1994), mentre i polimeri idrofili hanno minori proprietà barriera (Baldwin *et al.*, 1996); la combinazione dei due tipi di composti sembra essere la scelta migliore. All'emulsione possono essere inglobati agenti antiossidanti, fungicidi e conservanti (Cuppert, 1994; Baldwin *et al.*, 1995; Pranoto *et al.*, 2005) per aumentarne l'efficacia, mentre minerali e vitamine vengono aggiunti per aumentare il valore nutrizionale del prodotto finito (Dong *et al.*, 2004; Han *et al.*, 2004). Inoltre, l'effetto di *coating* addizionati di antiossidanti come l'acido ascorbico è maggiore di quello del relativo *dipping* acquoso, così come osservato su mele e su patate, forse a seguito della maggiore aderenza dei principi attivi con le superfici di taglio (Baldwin *et al.*, 1996). Da uno studio su melone di IV gamma è emerso che l'uso di rivestimenti a base di alginati o di pectine è risultato più efficace nel mantenimento della qualità dei pezzi, in confronto con *coating* a base di idrocolloidi che non offrivano una barriera sufficiente ai gas, o di agenti gelificanti che pur preservando da perdite di vitamina C, inducevano un'elevata sintesi di composti fenolici (Oms-Oliu *et al.*, 2008).

Il calore, sia usato secco (tra i 35 ed i 40 °C) sia in forma di breve immersione in acqua calda (fino a 50-53 °C), costituisce un altro mezzo fisico usato in fase postraccolta per estendere la vita commerciale dei prodotti ortofrutticoli, tra cui mela (Lurie *et al.*, 1991), pesca (Malakou e Nanos, 2005), melone (Lingle *et al.*, 1987) e agrumi (D'Aquino *et al.*, 1994), e che ha potenziali applicazioni anche per il prodotto di IV gamma. Luna-Guzman *et al.* (1999) riportano un effetto sinergico in termini di minore

perdita di consistenza di fette di melone cantalupo tra l'uso di cloruro di calcio al 2,5% per 1 minuto e l'immersione in acqua calda sia a 40 che a 60 °C. Abreu *et al.* (2003) descrivono come effettivi blandi trattamenti termici (35-45 °C per 40-150 minuti) su pere 'Rocha' tagliate in quarti, per evitare imbrunimento delle superfici di taglio e mantenere la consistenza. Il trattamento termico su segmenti di sedano (50 °C per 90 secondi) ha ridotto significativamente l'aumento in PAL associato al danno meccanico di taglio e la suscettibilità all'imbrunimento (Loaiza-Velarde *et al.*, 2003). Su patate di IV gamma alcuni autori riportano l'efficacia anti-imbrunente di un blando blanching in soluzione di acido ascorbico e acido citrico (50 °C per 5 minuti) seguito da una seconda immersione in un altro mix di antiossidanti a temperatura ambiente (Sapers e Miller, 1995). Infine, Amodio e Colelli (2008), applicando su pesche a fette trattamenti termici (20, 40 e 60 °C per 2 minuti), combinati con immersione in acido ascorbico e lattato di calcio, osservano che l'effetto delle alte temperature sulla riduzione della produzione di etilene e sull'attività respiratoria (maggiore all'aumentare della temperatura) non si configura in un effetto sugli aspetti qualitativi delle fette in termini di aspetto esteriore e di consistenza, tuttavia consegue un aumento dell'attività antiossidante del prodotto.

L'utilizzo dell'1-metilciclopropene (1-MCP) per i prodotti tagliati, così come per il prodotto intero, ha dimostrato di essere una strada percorribile in diverse applicazioni. Tale composto è un inibitore dell'azione dell'etilene (Sisler e Serek, 1997) ed è quindi molto efficace nel ritardare la senescenza dei frutti interi (Blankenship e Dole, 2003). L'etilene è prodotto nei tessuti a seguito di un danno meccanico, come può esserlo il taglio, ed ha effetti indesiderabili sulla qualità dei prodotti tagliati (Saltveit, 1997). Trattamenti con 1-MCP su fette di banana non hanno mostrato effetti sulla riduzione dell'imbrunimento, ma hanno determinato una minore perdita di consistenza, estendendo la loro conservabilità a 10 °C di 1-2 giorni, mentre trattamenti effettuati sui frutti prima del taglio non hanno sortito alcun effetto sulla *shelf-life* delle fette (Vilas-Boas e Kader, 2001). Gli stessi autori riportano risultati simili anche su mango tagliato a cubetti, mentre su cachi l'effetto dell'1-MCP è risultato maggiore qualora applicato sul frutto intero prima del taglio; in tali condizioni, la *shelf-life* del prodotto è aumentata di 3-4 giorni a 5 °C, con una più contenuta riduzione della consistenza. Nel caso di pomodoro di IV gamma (Cornacchia *et al.*, 2007) l'esposizione all'1-MCP effettuata dopo il taglio ha determinato una minore produzione di eti-

lene nelle fette, mentre quando l'esposizione è stata effettuata sui frutti interi prima del taglio, le fette hanno dimostrato una minore perdita di consistenza. L'esposizione per 6 ore a 1 ppm di 1-MCP di fette di frutti di actinidia ha consentito di ottenere un'estensione della *shelf-life* anche in presenza di etilene esogeno (Colelli e Amodio, 2003), mentre su fette di papaia si ottiene una vita commerciale doppia del prodotto trattato rispetto al prodotto non trattato (Ergun *et al.*, 2006). Recentemente è stato messo a punto un sistema di confezionamento con rilascio di diversi principi attivi (incluso l'1-MCP) che ha consentito di preservare il colore, la succosità e l'aroma di fette di pera (Changwen *et al.*, 2008).

Sanitizzazione delle acque di lavaggio

Come accennato in precedenza, il cloro è l'agente sanitizzante dell'acqua più utilizzato nell'industria della IV gamma, in forma di ipoclorito di sodio (NaOCl) in soluzione acquosa in concentrazione variabile tra 50 e 200 ppm di cloro (Parish *et al.*, 2003; Soliva-Fortuny e Martín-Belloso, 2003). Negli ultimi anni le crescenti preoccupazioni relative da un lato alla possibile formazione di composti nocivi, tra cui trialometani, acidi aloacetici e clorammine (Wei *et al.*, 1999; Simmons *et al.*, 2002; Villanueva *et al.*, 2004), e dall'altro alla effettiva efficacia sanitizzante (Nguyen-the e Carlin, 1994; Beuchat, 1999; Li *et al.*, 2001) hanno accresciuto i dubbi relativi all'uso dell'ipoclorito di sodio e spingono verso l'implementazione di agenti sanitizzanti alternativi. Il diossido di cloro (ClO₂), ad esempio, forma minori composti organo alogeni rispetto all'ipoclorito, pur avendo una potenza ossidante 2,5 volte maggiore (Benarde *et al.*, 1967). Tuttavia è ammesso un limite massimo di 3 ppm a contatto con il prodotto intero e di 1 ppm con il prodotto tagliato (Parish *et al.*, 2003). Anche il clorito di sodio acidificato (in commercio come Sanova) è stato ammesso per il trattamento sanitizzante su prodotti ortofrutticoli freschi sia per immersione sia come trattamento spray alla concentrazione di 500-1200 ppm (CRF, 2000). La sua efficacia sanitizzante in alternativa all'ipoclorito è stata riportata su diverse specie, fra cui carota (Ruiz-Cruz *et al.*, 2006) e coriandolo (Kim *et al.*, 2007; Allende *et al.*, 2009).

Il possibile uso del perossido d'idrogeno come agente sanitizzante è stato studiato da diversi autori ed oggetto di una specifica *review* di Juven e Pierson (1996). Più recentemente, tra gli altri, l'efficacia del perossido d'idrogeno, in combinazione con acido lattico o con blandi trattamenti termici, è stata riportata

da Li *et al.* (2001) su lattuga, su fette di kiwi in confronto con l'ipoclorito da Colelli *et al.* (2004) e, come trattamento su meloni interi inoculati con *Escherichia coli* O157:H7 e *Lysteria monocytogenes*, al fine di evitare la contaminazione delle fette da essi ottenuti da Ukukua *et al.* (2005) anche in combinazione con nisina, lattato di sodio ed acido citrico.

Alcuni autori suggeriscono l'uso di acidi organici, tra cui l'acido acetico, l'acido perossiacetico e l'acido ottanoico (Hilgren e Salverda, 2000), mentre altri, tra cui l'acido lattico e l'acido citrico, hanno mostrato una attività antimicrobica meno efficace (Parish *et al.* 2003). In particolare, l'acido perossiacetico (in commercio come Tsunami) è stato oggetto di un'ampia sperimentazione negli anni passati, dalle quali è risultata una ottima azione sanitizzante in relazione a diverse tipologie di prodotto di IV gamma, fra cui carota (Gonzalez *et al.*, 2004), patata (Beltran *et al.*, 2005) e mele (Wang *et al.*, 2007a; Wang *et al.*, 2007b).

Alcuni trattamenti fisici sono stati proposti come alternativa all'uso di sanitizzanti chimici, tra cui l'uso dell'ozono e quello di radiazioni non ionizzanti, quali i raggi ultravioletti (UV-C). L'ozono è un gas a basso impatto ambientale, ha un elevato potere di penetrazione e spiccata reattività, ha una veloce decomposizione (circa 30') in un gas non tossico (O_2) ed è attivo già a bassissime concentrazioni (0,1 ppm) (Garcia *et al.*, 2003). L'azione dell'ozono si esplica con l'ossidazione della materia organica, di cellule batteriche, muffe, lieviti, funghi, sia nelle forme vegetative sia sporiali. L'utilizzo di ozono riduce la crescita di *Botrytis cinerea* sui prodotti ortofrutticoli (Forney *et al.*, 2001; Lovino *et al.*, 2006). Per ciò che riguarda il prodotto di IV gamma, le applicazioni di ozono come sanitizzante, generalmente disciolto nell'acqua di lavaggio, risultano molto promettenti. Acqua ozonizzata alla concentrazione di 0,18 ppm ha ridotto mediamente di 1,69 unità logaritmiche la carica microbica su bastoncini di sedano (Zhang *et al.*, 2005). Tale trattamento inoltre ha contribuito a ridurre significativamente l'attività respiratoria e l'attività della PPO, con una migliore qualità sensoriale dei prodotti trattati. La letteratura è comunque ricca di riferimenti relativi a diversi prodotti ortofrutticoli, sia per ciò che riguarda la riduzione della carica microbica naturale presente sui prodotti di IV gamma (Beltran *et al.*, 2005) sia per quanto riguarda la sopravvivenza di microrganismi patogeni per l'uomo (Selma *et al.*, 2007).

Diversi studi hanno descritto l'efficacia di trattamenti UV-C, alla dose appropriata, nell'inibire lo sviluppo della microflora naturale associata a diverse tipologie di prodotto, fra cui anguria (Fonseca e

Rushing, 2006), fragole (Erkan *et al.*, 2008), arilli di melograno (López-Rubira *et al.*, 2005) e lattughe diverse, come 'Lollo Rosso' (Allende e Artés, 2003) e 'Red-oak leaf' (Allende *et al.*, 2006). Dosi troppo elevate causano invece perdita di turgore e imbrunimento. L'uso di UV-C alle dosi tra 0,5 e 20 kJ m⁻² inibisce la crescita microbica attraverso la formazione di dimeri di pirimidina che agendo sul DNA bloccano la replicazione della cellula batterica che, essendo incapace di riparare tali danni, muore (Bintsis *et al.*, 2000). Sembra che l'efficacia delle radiazioni ultraviolette sia indipendente dalla temperatura nell'intervallo tra 5 e 37 °C e dipenda dalla radiazione incidente determinata dalla configurazione superficiale e dalla struttura del prodotto trattato (Gardner e Shama, 2000). Inoltre, la luce UV-C agisce in maniera indiretta contro i microrganismi, stimolando i meccanismi di difesa dei tessuti trattati, e quindi ritardando lo sviluppo di alterazioni patologiche (Ben-Yehoshua e Mercier, 2005). Viene infine ipotizzato che l'uso di radiazioni UV-C, così come nel caso di altri stress abiotici, influenzi il metabolismo secondario nei prodotti ortofrutticoli aumentando quindi la sintesi di composti chimici con potenziale attività nutraceutica (Cisneros-Zevallos, 2003), come ad esempio riportato su mango da Gonzalez-Aguilar *et al.* (2007) e su fragole da Erkan *et al.* (2008).

Molto meno studiati invece sono stati altri sistemi fisici, potenzialmente utilizzabili per la sanitizzazione delle acque di lavaggio dei prodotti di IV gamma, fra cui i campi elettrici pulsati, i campi magnetici oscillanti e gli ultrasuoni.

Confezionamento in atmosfera modificata

Il confezionamento in atmosfera modificata (MAP) è un valido ausilio al fine di estendere la vita commerciale dei prodotti di IV gamma. Gli effetti positivi della modificazione dell'atmosfera, riducendo l'ossigeno e aumentando l'anidride carbonica, consistono nella riduzione dell'attività respiratoria, della produzione di etilene, delle reazioni enzimatiche e di alcune alterazioni fisiologiche, contribuendo quindi a mantenere più a lungo la qualità (Ahvenainen 1996; Gorny, 1997). Attraverso la MAP si punta ad ottenere all'interno della confezione una composizione ottimale di gas per un dato prodotto, creata dal prodotto stesso con la respirazione o attivamente creata attraverso la sostituzione dell'aria con un'opportuna miscela di gas, prima della chiusura del contenitore. Una volta chiuso l'imballaggio non è possibile nessun'altra forma di controllo e la composizione dell'atmosfera al suo interno sarà inevitabilmente destinata

a variare in relazione al metabolismo del prodotto ed alle proprietà barriera del materiale utilizzato (Sivertsvik *et al.* 2002). Per ogni tipologia di prodotto è della massima importanza utilizzare appropriate composizioni gassose in quanto la tolleranza a basse concentrazioni di O_2 e/o ad alte concentrazioni di CO_2 dipendono dal tipo di prodotto. Al di fuori dei limiti considerati ottimali, il prodotto può variare il proprio metabolismo respiratorio con la produzione di composti indesiderati e possono verificarsi alterazioni fisiologiche a carico dei tessuti (Zagory e Kader, 1988). Un grandissimo numero di lavori scientifici descrive condizioni gassose ottimali per diverse specie di IV gamma in quanto tale aspetto rappresenta un importante punto critico. Di seguito si riporta una breve, ancorché molto incompleta, serie di esempi relativi ad effetti favorevoli di particolari composizioni gassose su determinate specie ortofrutticole di IV gamma. Atmosfere con 0,5% di O_2 e 10% di CO_2 riducono l'attività respiratoria e la produzione di etilene, lo sviluppo microbico ed il calo in peso in carote tagliate con diverse configurazioni (Izumi *et al.*, 1996). Livelli di O_2 del 3% unitamente a livelli di CO_2 del 10% migliorano l'aspetto esteriore di lattuga *iceberg* tagliata (López-Gálvez *et al.*, 1996b); ossigeno tra 1 e 3,8% ed anidride carbonica tra 3 e 6% hanno contribuito a conservare cavolo verza di IV gamma per 10 giorni (Kim *et al.*, 2004), mentre una miscela al 3% di O_2 e 15% di CO_2 è risultata efficace a contenere le perdite di consistenza e di turgore di foglie di *Eruca sativa* (Cornacchia *et al.*, 2006). Basso livello di ossigeno, con o senza alte concentrazioni di anidride carbonica, ritardano l'ingiallimento dei bocci fiorali in infiorescenze di cavolo broccolo (Hansen *et al.*, 2001) e permettono una più lunga *shelf-life* delle foglie di basilico (Amodio *et al.*, 2005). Livelli della pressione parziale dell' O_2 di circa 8 kPa o minore migliorano la ritenzione del tipico colore giallo nella polpa di ananas in pezzi, mentre una pressione parziale della CO_2 maggiore di 10 kPa ha portato alla riduzione sostanziale dell'imbrunimento della polpa (Marrero e Kader, 2006). Atmosfere ad alta CO_2 (15%) rallentano lo sviluppo di marciumi e riducono le variazioni di colore e lo sviluppo di odori sgradevoli in pezzi di melone tipologia *Honeydew* (Portela e Cantwell, 1998); atmosfera modificata attiva, ottenuta insufflando 4% di O_2 e 10% di CO_2 nell'imballaggio, ha mantenuto la qualità di pezzi di melone *cantaloupe* meglio che l'atmosfera modificata di tipo passivo (Bai *et al.*, 2001), mentre MAP, sia attiva sia passiva, è risultata utile nel limitare lo sviluppo microbico su meloni 'Campsol' (Rinaldi *et al.*, 2004). Amodio *et al.* (2006), nel caso di minestrone composto da 13 diversi ortaggi, inclusi

piselli e fagioli reidratati, riportano come vantaggiosa un'atmosfera composta da 3% di ossigeno e da 20% di anidride carbonica, in quanto ha permesso di ritardare l'ingiallimento di spinacio, prezzemolo e bietola (tutti tagliati), ed in generale ha mantenuto la qualità di tutte le altre specie presenti nella zuppa. Una miscela gassosa di 3% O_2 + 20% CO_2 è risultata molto utile nel mantenere la qualità di funghi "Cardoncello" di IV gamma (Amodio *et al.*, 2003), mentre il 10% di CO_2 in aria o con il 5% di ossigeno ha ridotto l'imbrunimento delle superfici di taglio di finocchio di IV gamma (Rinaldi *et al.* 2007). L'adozione di una MAP con circa il 20% di CO_2 e il 5% di O_2 ha permesso di conservare pezzi di noce di cocco per 3 settimane con ottimi livelli qualitativi (Amodio *et al.*, 2004b).

Come già detto in precedenza, l'uso di O_2 e CO_2 nelle miscele gassose all'interno del materiale da imballaggio comporta un equilibrio finale delle relative composizioni, detto fase stazionaria. Il possibile uso di altri gas all'interno delle miscele (argon e ossido di azoto) o di livelli relativi notevolmente diversi (ossigeno superatmosferico) è stato discusso da Day (1996 e 1998) in relazione all'applicazione su prodotti ortofrutticoli di IV gamma. Secondo tale autore, alti livelli di O_2 sono efficaci al fine di limitare variazioni di colore legate ad attività enzimatica, a prevenire il metabolismo fermentativo e ad influenzare la crescita dei microrganismi aerobi e anaerobi. In una *review* sugli effetti dell'ossigeno superatmosferico sulla fisiologia postraccolta dei prodotti ortofrutticoli (Kader e Ben-Yehoshua, 2000) gli autori, facendo il punto sulla bibliografia presente all'epoca, concludono che l'efficacia di tale tecnologia è molto aleatoria, dipendendo da molti fattori, tra cui la specie, lo stadio fisiologico e le condizioni d'uso, con risultati spesso contraddittori, sottolineando l'esigenza di ulteriori approfondimenti soprattutto finalizzati a metterne in luce i meccanismi d'azione. Già negli anni '70 alcuni studi su specie diverse hanno confermato l'effetto di alti livelli di ossigeno (80-100 kPa) nel ridurre la produzione di etilene in pomodoro (Morris e Kader, 1975). Più recentemente, atmosfere ad alto ossigeno hanno contribuito a migliorare la vita commerciale in fragola e mirtillo attraverso l'inibizione dello sviluppo di muffe mantenendo elevate caratteristiche sensoriali (Van der Steen *et al.*, 2002). L'uso di atmosfere con ossigeno a 80 kPa su lattuga *Butterhead* è stato suggerito da Escalona *et al.* (2006), al fine di eliminare il rischio di metabolismo fermentativo e, in combinazione con CO_2 a 20 kPa, per ridurre l'attività respiratoria. L'applicazione di atmosfera modificata con ossigeno superatmosferico (80% O_2 + 20% CO_2), in confronto

ad atmosfera modificata convenzionale (5% O₂+30% CO₂), non ha condotto a miglioramenti legati all'aspetto esteriore ed allo sviluppo microbico in frutti di pesca tagliati a fette, evitando però il rischio di metabolismo fermentativo (Amodio *et al.*, 2004a).

L'uso dell'argon nelle miscele di atmosfera modificata ha dimostrato di poter ridurre la carica microbica e migliorare il mantenimento della qualità del prodotto (Day, 1996 e 1998). La sostituzione dell'azoto dell'aria con elio o con argon comporta un miglioramento della diffusione dei gas e ciò determinerebbe la riduzione del gradiente di concentrazione dell'ossigeno tra l'esterno e l'interno dei tessuti, permettendo la conservazione di diverse specie ad un livello di O₂ esterno più basso rispetto a quello tollerato in presenza di azoto (Burg e Burg, 1965). Il trattamento continuo con l'ossido di diazoto, o protossido d'azoto (N₂O), ha determinato una significativa inibizione della maturazione in frutti climaterici (pomodoro e avocado) attraverso l'estensione della fase precedente l'aumento esponenziale della produzione di etilene da parte dei tessuti in fase climaterica (Gouble *et al.*, 1995); inoltre, Leshem e Wills (1998) hanno dimostrato che l'N₂O può inibire la sintesi e l'azione dell'etilene nelle piante superiori. L'argon, assieme all'ossido di diazoto, è anche noto per migliorare l'efficienza delle pratiche sanitizzanti in quanto rende i microrganismi più sensibili agli altri effetti degli agenti antimicrobici (Qadir e Hashinaga, 2001). Alcuni autori riportano che attraverso MAP non convenzionale, con argon, ossido di diazoto e con una bassa concentrazione di CO₂ e O₂, è stato possibile mantenere la qualità in mela in IV gamma per 12 giorni, attraverso la diminuzione del metabolismo, soprattutto in relazione all'attività della PPO (Rocculi *et al.*, 2004). Tuttavia, Jaimie e Saltveit (2002) non osservarono nessun miglioramento legato alla sostituzione dell'azoto con elio o argon. In particolare, un'atmosfera composta da 90% di argon e 2% di ossigeno non ha rallentato l'accumulo di fenoli in lattuga di IV gamma o la perdita di clorofilla in infiorescenze di cavolo broccolo e non sono state osservate differenze nel caso di atmosfere a base di elio o di azoto.

Un aspetto molto importante relativo all'applicazione di atmosfere modificate è la scelta del materiale da imballaggio, in funzione delle proprietà barriera ai gas. È noto infatti che in relazione alla composizione, alla struttura ed allo spessore, i film polimerici utilizzati si lasciano attraversare dall'ossigeno e dall'anidride carbonica in maniera diversa. Con l'obiettivo di ottenere una concentrazione relativa di tali gas il più possibile vicina a quella ottimale per il particolare prodotto ivi racchiuso, la scelta del film viene effettuata alla luce di

numerosi fattori, che comprendono naturalmente il tipo e la quantità di prodotto (in relazione alla sua attività metabolica), la superficie scambiante del film e la sua permeabilità relativa ai gas metabolici. Il rapporto fra tali valori di permeabilità (detto anche valore β) è sempre in favore della CO₂ e varia per i diversi tipi di materiale. Recentemente, si va affermando per i prodotti di IV gamma l'uso di film plastici microperforati (Rodov *et al.*, 2007), per i quali, attraverso microscopiche perforazioni effettuate con il laser, si può aumentare in maniera predeterminata la permeabilità del materiale utilizzato e, soprattutto, si va a modificare il valore β al fine di ottenere rapporti di permeabilità più vicini possibili all'unità. Questo è all'incirca il valore del quoziente respiratorio del prodotto, al fine di raggiungere più rapidamente la fase stazionaria, per cui l'attività metabolica del prodotto e la quantità di gas scambiati attraverso il film plastico si equivalgono.

In relazione alla tecnologia MAP, un ultimo accenno andrebbe rivolto ai materiali da imballaggio, soprattutto in relazione all'impatto ambientale legato all'enorme aumento d'uso di tali materiali conseguente la crescita del settore della IV gamma. Da questo punto di vista è in corso un forte dibattito legato alla sostenibilità ambientale di tale pratica e si guarda con molta speranza alla crescente disponibilità ed utilizzo di materiali completamente riciclabili in tempi brevi e, in molti casi, ottenuti a partire da sottoprodotti o da materiale vegetale (Marsh e Bugusu, 2007).

Esigenze in termini di ricerca e sviluppo

I prodotti della IV gamma sono caratterizzati da alto grado in servizio e qualità tipica del prodotto fresco, e, in quanto tale, da alto valore aggiunto. Il processo è rivolto fondamentalmente ad accrescere la *convenience* per il consumatore, anche a scapito della *shelf-life*. Tutto questo comporta una serie di interventi tecnologici indispensabili per una normale distribuzione commerciale. Naturalmente il consumatore, che è disposto a pagare un prezzo più alto per un prodotto di alto valore, ha delle aspettative molto elevate sia in termini di qualità sensoriale, sia in termini di valore nutrizionale e di sicurezza chimica e microbiologica. Su questi semplici concetti si può basare una serie di riflessioni legate all'esigenza in termini di R&S in questo settore.

Al fine di migliorare gli aspetti qualitativi di tipo organolettico e nutrizionale dei prodotti bisogna porre molta attenzione alla qualità dei prodotti di partenza. Tutti gli sforzi dovrebbero essere compiuti per fare in modo che chi trasforma prodotti di IV gamma possa partire da materia prima dalle caratteristiche superiori

in termini di sapore, consistenza e valore nutrizionale. Ciò può essere ottenuto attraverso programmi di miglioramento genetico, ottimizzazione delle tecniche colturali finalizzate alla qualità, e, soprattutto, attraverso la comprensione dei meccanismi che comportano il decadimento qualitativo, anche mediante la messa a punto e l'uso di specifici marker molecolari.

Per quanto riguarda il processo, diventa importante aumentare gli sforzi di ricerca per accrescere le conoscenze sugli effetti dell'applicazione di stress abiotici controllati (UV, trattamenti termici, atmosfere alternative) sul miglioramento della qualità nutrizionale e organolettica dei prodotti di IV gamma. Inoltre, la disponibilità di sistemi non distruttivi attendibili ed a costo contenuto per la valutazione degli indicatori relativi al valore nutrizionale ed alle caratteristiche gustative ed olfattive, rappresenterebbe un vantaggio sia per i produttori, per i quali sarebbe molto più semplice selezionare le materie prime in relazione a questi specifici indicatori, sia per i consumatori che avrebbero maggiori garanzie sulla qualità del prodotto.

Un altro aspetto importante anche e non solo per il sempre maggior grado di attenzione da parte dei consumatori, riguarda la sostenibilità ambientale di questa tipologia di prodotti. Da questo punto di vista sarebbe molto importante la disponibilità sempre maggiore di materiali da imballaggio completamente biodegradabili, possibilmente provenienti da fonti rinnovabili. Un'altra direzione della ricerca scientifica in questo campo dovrebbe essere rivolta ad una migliore comprensione dei fattori coinvolti nel ciclo di vita dei materiali sia in termini di input energetico necessario per la sua realizzazione (a partire dalle materie prime e incluso il trasporto), sia in relazione alla quantità di anidride carbonica liberata durante la sua vita.

Infine, un altro aspetto della massima importanza riguarda l'aumento del grado di sicurezza relativo al consumo di questa tipologia di alimenti, soprattutto, anche se non esclusivamente, dal punto di vista microbico. Anche se sarebbe auspicabile la messa a punto di un trattamento risolutivo in termini di carica microbica, inclusa quella potenzialmente patogena per l'uomo (il famoso *killing step* di cui molto si parla nell'industria), tale soluzione appare difficilmente compatibile con lo stato di prodotto fresco, quindi facilmente danneggiabile da qualsiasi trattamento eradicante attualmente conosciuto e praticato nell'industria alimentare. Bisognerebbe comunque aumentare il grado di conoscenza relativa ai meccanismi di trasferimento, di sopravvivenza e di crescita dei microrganismi patogeni sui prodotti di IV gamma; di conseguenza mettere a punto protocolli di campionamento efficaci, sistemi diagnostici ultrarapidi e strategie di

intervento fortemente mirate, al fine di ridurre ulteriormente le possibilità che campioni potenzialmente contaminati arrivino al consumatore.

Riassunto

Da circa 10 anni i prodotti di IV gamma rappresentano una nuova opportunità di acquisto per il consumatore desideroso di prodotti sani, nutrienti e facili da consumare. Il presente lavoro fa il punto sugli aspetti relativi alla qualità dei prodotti di IV gamma, sia in relazione ai parametri fisiologici, chimico-fisici, microbiologici e sensoriali utilizzati per definirla, sia in relazione ai fattori che in tempi successivi la condizionano. Tra questi, l'aspetto varietale, l'ambiente di coltivazione, le tecniche colturali adottate, lo stadio di maturazione alla raccolta, le condizioni della fase che intercorre tra la raccolta e la trasformazione vera e propria, e, naturalmente, le condizioni operative di processo e le condizioni di trasporto e di vendita, fino al consumo finale. Vengono esaminati gli aspetti tecnologici ed impiantistici relativi alla trasformazione industriale, con particolare riferimento ai trattamenti post-taglio ed all'imballaggio, i trattamenti pre- e post-taglio per il mantenimento della qualità dei prodotti tagliati basati su mezzi fisici e chimici, che mirano in particolare al rallentamento dell'imbrunimento e della perdita di consistenza, gli agenti sanitizzanti dell'acqua. Infine, le basse temperature, i trattamenti termici e l'imballaggio in atmosfera modificata al fine di estendere la vita commerciale dei prodotti di IV gamma.

Parole chiave: ortaggi, frutta, servizio, fisiologia, qualità, impianti, imballaggio.

Bibliografia

- ABE K., WATADA A.E., 1991. *Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables*. J. Food Sci. 56: 1589-1592.
- ABE K., TANASE M., CHACHIN K., 1998. *Studies on physiological and chemical changes of fresh-cut bananas. I. Deterioration in fresh-cut green tip bananas*. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67: 123-129.
- ABREU, M., BEIRAO-DA-COSTA S., GONCALVES M.E., BEIRAO-DA-COSTA M.L., MOLDAO-MARTINS M., 2003. *Use of mild heat pre-treatments for quality retention of fresh-cut 'Rocha' pear*. Postharvest Biol. Technol. 30 (2): 153-160.
- 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*. J. Food Sci. 64: 433-440.
- AHVENAINEN R., 1996. *New approaches in improving the shelf-life of minimally processed fruit and vegetables*. Trends Food Sci. Technol. 7: 179-187.
- AHVENAINEN R., HURME E.U., HAGG M., SKYTÄ E.H., LAURILA E.K., 1998. *Shelf-life of prepeeled, store, and processed by various methods*. J. Food Prot. 61: 591-600.

- ALCARAZ-LÓPEZ C., BOTIA M., ALCARAZ C.F., RIQUELME F., 2003. *Effects of foliar sprays containing calcium, magnesium and titanium on plum (Prunus domestica L.) fruit quality*. J. Plant Physiol. 160: 1441-1446.
- ALLENDE A., ARTÉS F., 2003. *UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce*. Food Res. Int. 36: 739-746.
- ALLENDE A., AGUAYO E., ARTÉS F., 2004. *Microbial and sensory quality of commercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life*. Int. J. Food Microbiol. 91: 109-117.
- ALLENDE A., McEVOY J., TAO Y., LUO Y., 2009. *Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on Escherichia coli O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro*. Food Control 20: 230-234.
- ALLENDE A., McEVOY J.L., LUO Y., ARTÉS F., WANG C.Y., 2006. *Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce*. Food Microbiol. 23: 241-249.
- AMODIO M.L., COLELLI G., 2008. *Effect of thermal treatment and dipping on quality and shelf-life of fresh-cut peaches*. Adv. Hortic. Sci. 22: 21-26.
- AMODIO M.L., RINALDI R., COLELLI G., 2006. *Influence of atmosphere composition on quality attributes of ready-to-cook fresh-cut vegetable soup*. Acta Hort. 712: 677-684.
- AMODIO M.L., NATOLA K., RINALDI R., COLELLI G., 2004a. *Conservazione in atmosfera modificata di pesche a fette*. Atti VI Giornate Scient. SOI (Soc. Ort. Ital.), Napoli, Italy.
- AMODIO M.L., PERI G., ROMANIELLO R., COLELLI G., 2004b. *Conservazione in atmosfera modificata di noce di cocco fresca in pezzi*. Italus Hortus 11: 127-130.
- AMODIO M.L., CABEZAS A., RINALDI R., COLELLI G., 2007. *Implementation of rating scales for visual quality evaluation of various vegetable crops*. In: A.A. Kader, M. Cantwell ed., Produce quality rating scales and color charts. Postharvest Horticultural Series No. 23, University of California, Davis, CA.
- AMODIO M.L., COLELLI G., DE CILLIS F.M., LOVINO R., MASSIGNAN L., 2003. *Controlled-atmosphere storage of fresh-cut 'cardoncello' mushrooms (Pleurotus eryngii)*. Acta Hort. 599: 731-735.
- AMODIO M.L., PERI G., COLELLI G., CENTONZE D., QUINTO M., 2005. *Effects of atmosphere composition on postharvest quality of fresh basil leaves (Ocimum basilicum L.)*. Acta Hort. 682: 731-736.
- ANONIMO., 1996. *Spotlight on trimmed and cored lettuce*. Fresh Cut 4 (10): 17.
- ARTÉS F., MÍNGUEZ M.I., HORNERO D., 2002. *Analysing changes in fruit pigments*. In: D.B. Mac Dougall ed., Colour in food. Improving quality. CRC Press and Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, pp 248-282.
- ARTÉS-HERNÁNDEZ F., ARTÉS F., 2005. *Concepción y ejecución de instalaciones industriales para el procesamiento mínimo en fresco de productos vegetales*. In: G. González-Aguilar, A.A. Gardea, F. Cuamea-Navarro ed., Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. CIAD-CYTED-CONACYT, pp. 456-472.
- AVENA-BUSTILLOS R., CISNEROS-ZEVALLOS L., KROCHTA J.M., SALTVEIT M.E., 1994. *Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots*. Postharvest Biol. Technol. 4: 319-329.
- BAI J.H., SAFTNER R.A., WATADA A.E., LEE Y.S., 2001. *Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupes (Cucumis melo L.)*. J. Food Sci. 8: 1207-1211.
- BAI J., SAFTNER R.A., WATADA A.E., 2003. *Characteristics of fresh-cut honeydew (Cucumis melo L.)*. Postharvest Biol. Technol. 28: 349-359.
- BALDWIN E.A., NISPEROS-CARRIEDO M.O., BAKER R.A., 1995. *Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products*. Crit Rev Food Sci Nutr. 35: 509-524.
- BALDWIN E.A., NISPEROS-CARRIEDO M.O., CHEN X., GENMAIER, R.D., 1996. *Improving storage life of cut apple and potato with edible coating*. Postharvest Biol. Technol. 9: 151-163.
- BARRY-RYAN C., O'BEIRNE, D., 1998. *Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method*. J. Food Sci. 63: 851-856.
- BEAULIEU J.C., LEA J.M., 2007. *Quality changes in cantaloupe during growth, maturation, and in stored minimally processed cubes prepared from fruit harvested at various maturities*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 132: 720-728.
- BELTRAN D., SELMA M.V., TUDELA J.A., GIL M.I., 2005. *Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging*. Postharvest Biol. Technol. 37: 37-46.
- BEN-YEHOSHUA S., MERCIER J., 2005. *UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables*. In: S. Ben-Yehoshua ed., Environmentally friendly technologies for agricultural produce quality. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA. pp. 265-299.
- BENARDE M.A., SNOW W.B., OLIVIERI O.P., DAVIDSON B., 1967. *Kinetics and mechanism of bacterial disinfection by chlorine dioxide*. Appl Microbiol 15: 257-65.
- BENI C., IANNICELLI V., DI DIO C., 2001. *Il condizionamento degli ortofrutticoli*. Ed. Edagricole-Calderini, Bologna, Italy. ISBN-88-206-4681-1. p. 230.
- BERGQUIST S.Å.M., GERTSSON U.E., OLSSON M.E., 2006. *Influence of growth stage and postharvest storage on ascorbic acid and carotenoid content and visual quality of baby spinach (Spinacia oleracea L.)*. J. Sci. Food Agric. 86: 346-355.
- BETT-GARBER K.L., LAMIKANRA O., LESTER G.E., INGRAM D.A., WATSON M.A., 2005. *Effect of cultivation soil type and storage conditions on the sensory qualities of fresh-cut cantaloupe (Cucumis melo)*. J. Sci. Food Agric. 85: 825-830.
- BEUCHAT L.R., 1998. *Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review*. WHO/FSF/FOS/98.2. World Health Org., Geneva.
- BEUCHAT L.R., 1999. *Survival of enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 in bovine feces applied to lettuce and the effectiveness of chlorinated water as a disinfectant*. J. Food Prot. 62: 845-849.
- BINTSIS T., LITOPOULOU-TZANETAKI E., ROBINSON R.K., 2000. *Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review*. J. Sci. Food. Agric. 80: 637-645.
- BLANKENSHIP S.M., DOLE J.M., 2003. *1-methylcyclopropene: a review*. Postharvest Biol. Technol. 28: 1-25.
- BOLIN H.R., HUXSOLL, C.C., 1991. *Control of minimally processed carrot (Daucus carota) surface discoloration caused by abrasion peeling*. J. Food Sci. 56: 416-418.
- BORRELLI C., 2006. *Se la domanda non regge il passo dell'offerta*. Colture Protette, 35 (7): 36-38.
- BRECHT J.K., 1995. *Physiology of lightly processed fruits and vegetables*. HortScience 30: 18-22.
- BRUMMELL D.A., 2006. *Cell wall disassembly in ripening fruit*. Funct. Plant Biol. 33: 103-119.
- BRUMMELL D.A., DAL CIN V., CRISOSTO C.H., LABAVITCH J.M., 2004. *Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit*. J. Exp. Bot. 55: 2029-2039.
- BURG S.P., BURG E.A., 1965. *Gas exchange in fruits*. Physiol. Plant. 18: 870-884.
- CAPONETTI F., 2007. *Foreign body detection in salad industry: critical contaminants control*. European Short-Course on Quality and Safety of Fresh-cut Produce, Bari, Italy.

- Consultabile su http://www.unifg.it/ev_mnf/070314_fresh-cut/relazioni/Caponetti.pdf.
- CAMPBELL A.J., 1992. *Identification of foreign body hazard and the means for their detection and control*. Campden Food & Drink Research Association, Technical bulletin no. 88, Chipping Campden, UK.
- CANTOS E., TUDELA J.A., GIL M.I., ESPIN J.C., 2002. *Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes*. J. Agric. Food Chem. 50: 3015–3023.
- CFR, 2000. *Secondary Direct Food Additives Permitted in Food for Human Consumption: Acidified sodium chlorite solutions*. Code of Federal Regulations, Title 21, Part 173.325. Disponibile su <http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/index.html>.
- CHANGWEN L., CUREATZ V., TOIVONEN P.M.A., 2008. *Improved quality retention of packaged 'Anjou' pear slices using a 1-methylcyclopropene (1-MCP) co-release technology*. Postharvest Biol. Technol. (in press) doi:10.1016/j.postharvbio.2008.09.004.
- CISNEROS-ZEVALLOS L., 2003. *The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables*. J. Food Sci. 68: 1560–1565.
- CISNEROS-ZEVALLOS L., SALTVEIT M.E., KROCHTA J.M., 1995. *Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage*. J. Food Sci. 60: 320–323, 333.
- CLARKSON G.J.J., O'BYRNE E.E., ROTHWELL S.D., TAYLOR G., 2003. *Identifying traits to improve postharvest processability in baby leaf salad*. Postharvest Biol. Technol. 30: 287–298.
- COLELLI G., 2001. *Il condizionamento dei prodotti ortofrutticoli per il consumo fresco e per la IV gamma*. In: G. Colelli (Editor) "Linee guida per il condizionamento e la trasformazione dei prodotti ortofrutticoli", Edizioni GAL "Terra dei Messapi", Mesagne, Italy. ISBN 88-7427-000-3. pp. 9–37.
- COLELLI G., 2006. *IV gamma: la qualità e la ricerca di nuovi prodotti*. L'Informatore Agrario (supplemento) 62 (16): 16–19.
- COLELLI G., AMODIO M.L., 2003. *Effetti del trattamento con 1-metilciclopropene (1-MCP) su frutti di actinidia interi e a fette*. Riv. di Frutticoltura 65: 61–68.
- COLELLI G., AMODIO M.L., NATOLA K., 2004. *Effetti di alcuni pre-trattamenti sulla conservazione di fette di actinidia in aria e in atmosfera controllata*. Ind. Alimentari, 43: 382–389.
- COLELLI G., CABEZA SERRANO A.B., RINALDI R., 2006. *Evaluación del aspecto exterior de hortalizas cortadas para IV gama*. Horticultura Internacional 14: 64–69.
- CONTE A., CONVERSA G., SCROCCO C., I. BRESCIA I., LAVERSE J., ELIA A., DEL NOBILE M.A., 2008. *Influence of growing periods on the quality of baby spinach leaves at harvest and during storage as minimally processed produce*. Postharvest Biol. Technol. 50: 190–196.
- CONVERSA G., GONNELLA M., CHARFERDDINE M., BONASIA A., SANTAMARIA P., 2004. *Produzione di ortaggi da foglia arricchiti in floating system*. Atti VII Giornate Scientifiche SOI, 2004 Napoli, 370–372.
- CORNACCHIA R., RINALDI R., QUINTO M., COLELLI G., 2006. *Effetto della conservazione in atmosfera controllata (AC) sugli attributi qualitativi di foglie di rucola*. Colture Protette 35: 32–38.
- CORNACCHIA R., RINALDI R., MAHJOUB M., COLELLI G., 2007. *The effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) application before and after cutting on the shelf life extension of fresh-cut tomatoes*. Atti V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, Cartagena (Spain). pp. 826–834.
- COUTURE R., CANTWELL M.I., KE D., SALTVEIT M.E., 1993. *Physiological attributes and storage life of minimally processed lettuce*. HortScience, 28: 723–725.
- CRAIG W., BECK L., 1999. *Phytochemicals: health protective effects*. Can. J. Diet. Pract. Res. 60: 78–84.
- CRISOSTO C.H., JOHNSON R.S., DEJONG T., DAY K.R., 1997. *Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality*. Hortscience, 32: 820–823.
- CUPPETT S.L., 1994. *Edible coating as carriers of food additives, fungicides and natural antagonists*. In: J.M.Krochta, E.A.Baldwin, M.O. Nisperos-Carried ed., Edible coatings and film to improve food quality. Technomic Publishing Co. Lancaster/Basel, pp. 121–137.
- D'AQUINO S., SCHIRRA M., AGABBIO M., 1994. *Conservabilità del satsuma 'Miyagawa' in relazione alla immersione in acqua calda ed al condizionamento termico post-raccolta*. Atti II Giornate Scient. Soc. Ort. Ital., S. Benedetto T. (AP): 445–446.
- DA SILVA J.C.B., VIEIRA J.V., MILZA M., LANA M.M., 2008. *Processing yield of the carrot cultivar Esplanada as affected by harvest time and planting density*. Scientia Hort. 115: 218–222.
- DAY B.P.F., 1996. *High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce*. Postharv. News Inform. 7: 31–34.
- DAY, B.P.F., 1998. *Novel MAP. A brand new approach*. Food Manuf. 73: 22–24.
- DE AZEVEDO-MELEIRO C. H., RODRIGUEZ-AMAYA D. B., 2005. *Carotenoids of endive and New Zealand spinach as affected by maturity, season and minimal processing*. J. Food Comp. Anal. 18: 845–855.
- DEGL'INNOCENTI, E., GUIDI, L., PARADOSSI, A., TOGNONI, F., 2005. *Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce (Lactuca sativa L. var. acephala)*. J. Agric. Food Chem. 52: 9980–9984.
- 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). Consultabile su: <http://www.macfrut.com/convegni/2008/pdf/Della%20-Casa.pdf>.
- DONG H., CHENG TAN J., ZHENG K., JIANG Y., ELSS S., PRESTON C., HERTZIG, C., 2004. *Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit*. J. Food Eng. 64: 355–358.
- DRAKE S.R., SPAYD S.E., 1983. *Influence of calcium treatment on 'Golden Delicious' apple quality*. J. Food Sci. 48: 403–405.
- EDWARDS M.C., STRINGER M.F., THE BREAKDOWNS IN FOOD SAFETY GROUP., 2007. *Observations on patterns in foreign material investigations*. Food Control 18: 773–782.
- ELIA A., CONVERSA G., 2006. *Prodotti della IV gamma: tecniche colturali e scelte varietali*. Informatore agrario. 62 (18): 54–55.
- ELIA A., SANTAMARIA P., SERIO F., 1998. *Nitrogen nutrition, yield and quality of spinach*. J. Sci. Food Agric. 76: 341–346.
- ERGUN M., HUBER D.J., JEONG J., BARTZ J.A., 2006. *Extended shelflife and quality of fresh-cut papaya derived from ripe fruit treated with the ethylene antagonist 1-methylcyclopropene*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 131: 97–103.
- ERKAN M., WANG S.Y., WANG C.Y., 2008. *Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit*. Postharvest Biol. Technol. 48: 163–171.
- ESCALONA V.H., VERLINDEN B.E., GEYSEN S., NICOLAI B.M., 2006. *Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels*. Postharvest Biol. Technol. 39: 48–55.
- FONSECA J.M., RUSHING J.W., 2006. *Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon*. Postharvest Biol. Technol. 40: 256–261.
- FORNEY C.F., FAN L., HILDEBRAND P.D., SONG J., 2001. *Do negative ions reduce decay of fresh fruit and vegetable?* Acta Hort. 553: 421–424.

- GARCIA E.L., BARRETT D.M., 2002. *Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables*. In: O. Lamikanra ed., *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. Science, Technology and Market, CRC Press, pp. 267–303.
- GARCIA A., MOUNT J.R., DAVIDSON P.M., 2003. *Ozone and chlorine treatment of minimally processed lettuce*. *J. Food Sci.* 68: 2747–2751.
- GARDNER D.W., SHAMA G., 2000. *Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces*. *J. Food Prot.* 63: 63–70.
- GIL M.I., AGUAYO E., KADER A.A., 2006. *Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage*. *J. Agric. Food Chem.* 54: 4284–4296.
- GOLAN-GOLDHIRSH A., OSUGA D.T., CHEN A.O., WHITAKER J.R., 1992. *Effect of ascorbic acid and copper on proteins*. In: V.T.O. Souza e J. Feder ed., *The Bioorganic chemistry of enzymatic catalysis: an homage to Myron L. Bender*. CRC Press, Boca Raton, pp. 61–76.
- GONNELLA M., CONVERSA G., SANTAMARIA P., SERIO F., 2004. *Production and nitrate content in lamb's lettuce grown in floating system*. *Acta Hort.* 644: 61–68.
- GONZALEZ R.J., LUO Y., RUIZ-CRUZ S., CEVOY J.L.M., 2004. *Efficacy of sanitizers to inactivate Escherichia coli O157:H7 on fresh-cut carrot shreds under simulated process water conditions*. *J. Food Prot.* 67: 2375–2380.
- GONZALEZ-AGUILAR G.A., VILLEGAS-OCCHOA M.A., MARTÍNEZ-TÉLLEZ M.A., GARDEA A.A., AYALA-ZAVALA J.F., 2007. *Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C*. *J. Food Sci.* 72: S197–S202.
- GORNY J.R., 1997. *A summary of CA and MA requirements and recommendation for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables*. In: J.R. Gorny ed., *Fresh-cut fruits and vegetables and MAP*, Vol. 5, Davis, CA, pp. 30–67.
- GORNY J.R., HESS-PIERCE B., KADER A.A., 1998. *Effects of fruit ripeness and storage temperature on the deterioration rate of fresh-cut peach and nectarine slices*. *HortScience* 33: 110–113.
- GORNY J.R., CIFUENTES R.A., HESS-PIERCE B., KADER A.A., 2000. *Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime*. *Int. J. Food Sci. Technol.* 65: 541–544.
- 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 Biol. Technol.* 24: 271–278.
- GOUBLE B., FATH D., SOUDAIN P., 1995. *Nitrous oxide inhibition of ethylene production in ripening and senescing climacteric fruits*. *Postharvest Biol. Technol.* 5: 311–321.
- GUNES G., LEE C., 1997. *Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and anti-browning agents*. *J. Food Sci.* 62: 572–575, 582.
- HAN C., ZHAO Y., LEONARD S.W., TRABER M.G., 2004. *Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (Fragaria?ananassa) and raspberries (Rubus ideaus)*. *Postharvest Biol. Technol.* 33: 67–78.
- HANSEN M.E., SØRENSEN H., CANTWELL M., 2001. *Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage*. *Postharvest Biol. Technol.* 22: 227–237.
- HEATON J.W., MARANGONI A.G., 1996. *Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues*. *Trends Food Sci. Technol.* 7: 8–15.
- HILGREN J.D., SALVERDA J.A., 2000. *Antimicrobial efficacy of a peroxyacetic/octanoic acid mixture in fresh-cut-vegetable process waters*. *J. Food Sc.* 65: 1376–1379.
- HODGES D.M., TOIVONEN P.M.A., 2008. *Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress*. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 155–162.
- HONG J.H., MILLS D.J., COFFMAN B., ANDERSON J.D., CAMP M.J., GROSS K.C., 2000. *Tomato cultivation systems affect subsequent quality of fresh-cut fruit slices*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 125: 729–735.
- HOWARD L.R., GRIFFIN L.E., 1993. *Lignin formation and surface discoloration of minimally processed carrot sticks*. *J. Food Sci.* 58: 1065–1067, 1072.
- HOWARD L.R., GRIFFIN L.E., LEE Y., 1994. *Steam treatment of minimally processed carrot sticks to control surface discoloration*. *J. Food Sci.* 59: 356–358, 370.
- IZUMI H., WATADA, A.E., 1994. *Calcium treatments affect storage quality of shredded carrots*. *J. Food. Sci.* 59: 106–109.
- IZUMI H., WATADA A.E., 1995. *Calcium treatment to maintain quality of zucchini squash sliced*. *J. Food. Sci.* 60: 789–793.
- IZUMI H., WATADA A.E., KO N.P., DOUGLAS W., 1996. *Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds*. *Postharvest Biol. Technol.* 9: 165–172.
- JACKMAN R.L., STANLEY D.W., 1995. *Perspectives in the textural evaluation of plant food*. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 187–194.
- JAMIE P., SALTVEIT M.E., 2002. *Postharvest changes in broccoli and lettuce during storage in argon, helium, and nitrogen atmospheres containing 2% oxygen*. *Postharvest Biol. Technol.* 26: 113–116.
- JUVEN B.J., PIERSON M.D., 1996. *Antibacterial effects of hydrogen peroxide and methods for its detection and quantitation*. *J. Food Prot.* 59: 1233–1241.
- KADER A.A., BEN-YEHOSHUA B.Y., 2000. *Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables*. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 1–13.
- KARAKURT Y., HUBER D.J., 2008. *Wound metabolism and wound signalling in fruits and vegetables*. *Erciyes Üniv. Fen Bilim. Enstit. Dergisi* 24: 401–413.
- KIM J.G., LUO Y., GROSS K.C., 2004. *Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy*. *Postharvest Biol. Technol.* 32: 99–107.
- KIM J.G., LUO Y., TAO Y., 2007. *Effect of the sequential treatment of 1-methylcyclopropene and acidified sodium chlorite on microbial growth and quality of fresh-cut cilantro*. *Postharvest Biol. Technol.* 46: 144–149.
- KLEIN B.P., 1987. *Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables*. *J. Food quality* 10: 179–193.
- LAMIKANRA O., 2002. *Fresh-Cut Fruit and Vegetables: Science, Technology, and market*. CRC Press, Florida, USA, 467p.
- LAMIKANRA O., JUAREZ B., WATSON M., RICHARD O., 2003. *Effect of cutting and storage on sensory traits of cantaloupe melon cultivars with extended postharvest shelf life*. *J. Sci. Food Agric.* 83: 702–708.
- LANA M.M., TIJSENS L.M.M., VAN KOOTEN O., 2005. *Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomato*. *Postharvest Biol. Technol.* 35: 87–95.
- LESHEM Y.Y., WILLS R.B.H., 1998. *Harnessing senescence delaying gases nitric oxide and nitrous oxide: A novel approach to postharvest control of fresh horticultural produce*. *Biol. Plant.* 41: 1–10.
- LESTER G.E., 2006. *Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, beta-carotene, and folic acid) in fruits and vegetables*. *HortScience* 41: 59–64.
- LI Y., BRACKETT R.E., CHEN J., BEUCHAT L.R., 2001. *Survival and growth of Escherichia coli O157:H7 inoculated onto cut lettuce before or after heating in chlorinated water, followed by storage at 5 °C or 15 °C*. *J. Food Prot.* 64: 305–309.
- LIN W.C., JOLLIFFE P.A., 1996. *Light intensity and spectral quality affect fruit growth and shelf life of greenhouse-grown long English cucumber*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121: 1168–1173.
- LINGLE, S.E., LESTER G.E., DUNLAP J.R., 1987. *Effect of postharvest heat treatment and storage on sugar metabolism in polyethylene-wrapped muskmelon fruit*. *Hortscience* 22: 917–919.
- LOAIZA-VELARDE J.G., MANGRICH M.E., CAMPOS-VARGAS R.,

- SALTVEIT M.E., 2003. *Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles*. Postharvest Biol. Technol. 27: 305-311.
- LÓPEZ-GÁLVEZ G., SALTVEIT M., CANTWELL M., 1996a. *Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuces*. Postharvest Biol. Technol. 9: 223-233.
- LÓPEZ-GÁLVEZ G., SALTVEIT M., CANTWELL M., 1996b. *The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on romaine and iceberg types*. Postharvest Biol. Technol. 8: 179-190.
- LÓPEZ-RUBIRA V., CONESA A., ALLENDE A., ARTÉS F., 2005. *Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C*. Postharvest Biol. Technol. 37: 174-185.
- LOVINO R., ERCOLE G., MASSIGNAN L., COLELLI G., CORNACCHIA R., 2006. *Effetti di diversi pre-trattamenti sugli attributi qualitativi dei kiwi durante la frigoconservazione*. Ind. Alimentari, 45: 760-765,771.
- LURIE S., KLEIN J.D., 1992. *Calcium and heat treatments to improve storability of 'Anna' apples*. HortScience 27: 36-39.
- LURIE S., KLEIN J.D., BEN-ARIE R., 1991. *Pre-storage heat treatment delays development of superficial scald on 'Granny Smith' apples*. HortScience 26: 166-167.
- LUNA-GUZMAN I., CANTWELL M., BARRETT D.M., 1999. *Fresh-cut cantaloupes: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity*. Postharvest Biol. Technol. 17: 201-213.
- MALAKOU A., NANOS G., 2005. *A combination of hot water treatment and modified atmosphere packaging maintains quality of advanced maturity 'Caldesi 2000' nectarines and 'Royal Glory' peaches*. Postharvest Biol. Technol. 38: 106-114.
- MARANGONI A.G., PALMA T., STANLEY D.W., 1996. *Membrane effects in postharvest physiology*. Postharvest Biol. Technol. 7: 193-217.
- MARRERO A., KADER A.A., 2006. *Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples*. Postharvest Biol. Technol. 39: 163-168.
- MARSH K., BUGUSU B., 2007. *Food packaging - roles, materials, and environmental issues*. J. Food Sci. 72: R39-R54.
- MARTINEZ M.V., WHITAKER J.R., 1995. *The biochemistry and control of enzymatic browning*. Trends Food Sci. Technol. 6: 195-200.
- MCEVOY J.L., LUO Y., CONWAY W., ZHOU L., FENG H., 2008. *Potential of Escherichia coli O157:H7 to grow on field-cored lettuce as impacted by postharvest storage time and temperature*. Int. J. Food Microb. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2008.08.008.
- MCGLYNN W.G., BELLMER D.D., REILLY S.S., 2003. *Effect of pre-cut sanitizing dip and water jet cutting on quality and shelf-life of fresh-cut watermelon*. J. Food Qual. 26: 489-498.
- MÍNGUEZ-MOSQUERA M.I., GALLARDO-GUERRERO L., 1995. *Disappearance of chlorophylls and carotenoids during the ripening of the olive*. J. Sci. Food Agric. 69: 1-6.
- MORRIS L.L., KADER A.A., 1975. *Postharvest physiology of tomato fruits*. In: Fresh Market Tomato Research, Vegetable Crops Series, vol. 176. University of California, Davis, CA, pp. 69-84.
- MYUNG K., HAMILTON-KEMP T.R., ARCHBOLD D.D., 2006. *Biosynthesis of trans-2-hexenal in response to wounding in strawberry fruit*. J. Agric. Food Chem. 54: 1442-1448.
- NGUYEN-THE C., CARLIN F., 1994. *The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables*. Crit Rev Food Sci Nutr 34: 371-401.
- ODRIOZOLA-SERRANO I., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2008. *Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes*. LWT - Food Sci. Tech. 41: 217-226.
- OMS-OLIU G., SOLIVA-FORTUNY R., MARTÍN-BELLOSO O., 2008. *Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon*. Food Sci. Technol. 41: 1862-1870.
- PARISH M.E., BEUCHAT L.R., SUSLOW T.V., HARRIS L.J., GARRETT E.H., FARBER J.N., BUSTA F.F., 2003. *Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce*. Comprehensive Rev. Food Sci. Food Safety 2: 161-173.
- PERNICE R., SCUDERI D., NAPOLITANO A., FOGLIANO V., LEONARDI C., 2007. *Polyphenol composition and qualitative characteristics of fresh-cut lettuce in relation to cultivar, mulching, and storage*. J. Hort. Sci. Biotech., 82: 420-427.
- PIMPINI F., GIANNINI M., LAZZARIN R., 2005. *Ortaggi da foglia da taglio*. Veneto Agricoltura. 118p.
- PIROVANI M.A., GÜEMES D.R., PIAGENTINI A.M., 2003. *Fresh-cut spinach quality as influenced by spin drying parameters*. J. Food Qual. 26: 231-242.
- PIZZOCARO F., TORREGIANI D., GILARDI, G., 1993. *Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride*. J. Food Proc. Preserv. 17: 21-30.
- POOVAIAH B.W., 1986. *Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables*. Food Technol. 40: 86-89.
- PORTELA S.I., CANTWELL M.I., 1998. *Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere*. Postharvest Biol. Technol. 14: 351-357.
- PORTELA S.I., CANTWELL M.I., 2001. *Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon*. J. Food Sci. 66: 1265-1270.
- PRANOTO Y., SALOKHE V., RAKSHIT K. S., 2005. *Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil*. Food Res. Int. 38: 267-272.
- QADIR A., HASHINAGA F., 2001. *Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide*. Postharvest Biol. Technol. 22: 279-283.
- REYES L.F., VILLARREAL J.E., CISNEROS-ZEVALLOS L., 2007. *The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue*. Food Chem. 101: 1254-1262.
- RICHARDSON S.D., 1994. *Scoping the chemicals in your drinking water*. Today's Chemist at Work 3: 29-32.
- RINALDI R., AMODIO M.L., COLELLI G., 2004. *Effects of calcium treatment and modified atmosphere packaging on postharvest life of fresh-cut 'Campsol' melons*. Adv. Hort. Sci. 18: 85-88.
- RINALDI R., AMODIO M.L., COLELLI G., 2007. *Post-cutting color changes in fresh-cut fennel (Phoeniculum vulgaris Mill) as influenced by dippings and gas composition*. Atti 3rd CIGR-Section VI. 24-26 Settembre 2007, Napoli, Italia.
- ROCCULI P., ROMANI S., DALLA ROSA M., 2004. *Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere*. Food Res. Int. 37: 329-335.
- RODOV V., HOREV B., GOLDMAN G., VINOKUR Y., FISHMAN S., 2007. *Model-driven development of microperforated active modified-atmosphere packaging for fresh-cut produce*. Acta Hort. 746: 83-88.
- ROSEN J.C., KADER A.A., 1989. *Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits*. J. Food Sci. 54: 656-659.
- ROSENFELD H.J., KJERSTI AABY K., LEA P., 2002. *Influence of temperature and plant density on sensory quality and volatile terpenoids of carrot (Daucus carota L.) root*. J. Sci. Food Agric. 82: 1384-1390.
- ROUET-MAYER M.A., PHILIPPON, J., 1986. *Inhibition of catechol oxidase from apple by sodium chloride*. Phytochemistry 25: 2717-2719.
- RUÍZ-CRUZ S., LUO Y., GONZALEZ R.J., TAO Y., GONZALEZ G.A., 2006. *Acidified sodium chlorite as an alternative to chlorine to control microbial growth on shredded carrots while maintaining quality*. J. Sci. Food Agric. 86: 1887-1893.
- RUPASINGHE H.P.V., MURR D.P., DEELL J.R., ODUMERU J., 2005. *Influence of 1-methylcyclopropene and NatureSeal on the*

- quality of fresh-cut "Empire" and "Crispin" apples. *J. Food Qual.* 28: 289–307.
- SAAVEDRA DEL AGUILA J., FUMI SASAKI F., HEIFFIGA L.S., ORTEGA E.M.M., JACOMINO A.P., KLUGE R.A., 2006. *Fresh-cut radish using different cut types and storage temperatures*. *Postharvest Biol. Technol.* 40: 149–154.
- SAFTNER R.A., LESTER G.E., 2008. *Sensory and analytical characteristics of a novel hybrid muskmelon fruit intended for the fresh-cut industry*. *Postharvest Biol. Technol.* doi:10.1016/j.postharvbio.2008.09.008.
- SALADIÉ M., MATAS A.J., ISAACSON T., JENKS M.A., GOODWIN S.M., NIKLAS K.J., XIAOLIN R., LABAVITCH J.M., SHACKEL K.A., FERNIE A.R., LYTOVCHENKO A., O'NEILL M.A., WATKINS C.B., ROSE J.K.C., 2007. *A re-evaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity*. *Plant Physiol.* 144: 1012–1028.
- SALTVEIT M.E., 1997. *Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables*. In: F.A. Tomás-Barberán e R.J. Robins ed., *Phytochemistry of fruits and vegetables*. Oxford, UK, Oxford Science Publications. pp. 205–220.
- SALTVEIT M.E., QIN L., 2008. *Heating the ends of leaves cut during coring of whole heads of lettuce reduces subsequent phenolic accumulation and tissue browning*. *Postharvest Biol. Technol.* 47: 255–259.
- SANTAMARIA P., 2006. *Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake, and EC regulation*. *J. Sci. Food Agric.* 86 (1): 10–17.
- SAPERS G.M., 1993. *Browning of foods: control by sulfites, antioxidants and other means*. *Food Technol.* 47: 75–84.
- SAPERS G.M., MILLER R.L., 1995. *Heated ascorbic/citric acid solution as browning inhibitor for pre-peeled potatoes*. *J. Food Sci.* 60: 762–766.
- SAPERS G. M., MILLER R.L., 1998. *Browning inhibition in fresh-cut pears*. *J. Food Sci.* 63: 342–346.
- SELJÅSEN R., BENGTSOON G. B., HOFTUN H., VOGT G., 2001. *Sensory and chemical changes in five varieties of carrot (Daucus carota L.) in response to mechanical stress at harvest and post-harvest*. *J. Sci. Food Agric.* 81: 436–447.
- SELMA M.V., BELTRAN D., ALLENDE A., CHACÓN-VERAB E., GIL M.I., 2007. *Elimination by ozone of Shigella sonnei in shredded lettuce and water*. *Food Microbiol.* 24: 492–499.
- SIMMONS J.E., RICHARDSON S.D., SPETH T.F., MILTNER R.J., RICE G., SCHENCK K.M., HUNTER E.S., TEUSCHLER L.K., 2002. *Development of a research strategy for integrated technology-based toxicological and chemical evaluation of complex mixtures of drinking water disinfection byproducts*. *Environ Health Perspect.* 110: 1013–1024.
- SIMON P. W., 1985. *Carrot flavor: effects of genotype, growing conditions, storage, and processing*. In: E. Eskin ed., *Evaluation of quality of fruits and vegetables*. Westport, CT, AVI Publishing Co. pp. 315–328.
- SIMON P. W., PETERSON C. E., LINDSAY, R. C., 1982. *Genotype, soil, and climate effects on sensory and objective components of carrot flavor*. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107 (4): 644–648.
- SISLER E.C., SEREK M., 1997. *Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level*. *Physiol. Plant* 100: 577–582.
- SIVERTSVIK M., ROSNES J.T., BERGSLIEN H., 2002. *Modified atmosphere packaging*. In: T. Ohlsson e N. Bengtsson ed., *Minimal processing technologies in the food industry*. Cambridge, UK: Woodhead publishing Ltd , pp. 61–86.
- SIVIERO P., 2006. *Quattro italiani su dieci scelgono la IV gamma*. *Informatore agrario*, 62 (17): 44–45.
- SOLIVA-FORTUNY R.C., MARTÍN-BELLOSO O., 2003. *New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review*. *Trends Food Sci. Technol.* 14: 341–353.
- SOLIVA-FORTUNY R.C., OMS-OLIU G., MARTÍN-BELLOSO O., 2002. *Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices*. *J. Food Sci.* 67: 1958–1963.
- SOLIVA-FORTUNY R.C., ALÒS-ISAIZ N., ESPACHS-BARROSO A., MARTÍN-BELLOSO O., 2004. *Influence of maturity at processing on quality attributes of fresh-cut Conference pears*. *J. Food Sci.* 69: S290–S294.
- SORENSEN J.N., JOHNNSSEN A.S., POULSEN N., 1994. *Influence of growth conditions on the value of crisphead lettuce 1: marketable and nutritional quality as affected by nitrogen supply, cultivar and plant age*. *Plant Foods Human Nutr.* 46: 1–12.
- STAFFORD J.V., WEAVING G.S, LOWE J.C., 1989. *A portable infrared moisture meter for agricultural and food research materials. Part I instrument development*. *J. Agric. Eng. Res.* 43: 45–56.
- SURJADINATA B.B., CISNEROS-ZEVALLOS L., 2004. *Modeling wound-induced respiration of fresh-cut carrots (Daucus carota L.)*. *J. Food Sci.* 69 (1): 2735–2740.
- TALCOTT S.T., HOWARD L.R., BRENES C.H., 2001. *Factors contributing to taste and quality of commercially processed strained carrots*. *Food Res. Intern.* 34: 31–38.
- TAVARINI S., DEGL'INNOCENTI E., PARDOSSI A., GUIDI L. 2008. *Biochemical aspects in two minimally processed lettuces upon storage*. *Inter. J. Food Sci. Tech.* 42: 214–219.
- TOIVONEN P.M.A., 1999. *The effect of preharvest foliar sprays of calcium on quality and shelf life of two cultivars of sweet bell peppers (Capsicum annuum L.) grown in plasticulture*. *Can. J. Plant Sci.* 79: 411–416.
- TOIVONEN P.M.A., 2008. *Influence of harvest maturity on cut-edge browning of 'Granny Smith' fresh apple slices treated with anti-browning solution after cutting*. *Food Sci. Tech.* 41: 1607–1609.
- TOIVONEN P.M.A., BRUMMELL D.A., 2008. *Biochemical bases of appearance and texture in fresh-cut fruit and vegetables*. *Postharv. Biol. Technol.* 48: 1–14.
- TURATTI A., 2007. *Sanitation design of fresh-cut processing and plant processing*. *Acta Hort.* 746: 147–158.
- UKUKUA D.O., BARI M.L., KAWAMOTO S., ISSHIKI K., 2005. *Use of hydrogen peroxide in combination with nisin, sodium lactate and citric acid for reducing transfer of bacterial pathogens from whole melon surfaces to fresh-cut pieces*. *Int. J. Food Microbiol.* 104: 225–233.
- VAN DER STEEN C., JACXSSENS L., DEVLIEGHIERE F., DEBEVERE J., 2002. *Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries*. *Postharvest Biol. Technol.* 26: 49–58.
- VAROQUAX P., LECENDRE V., VAROQUAX F., SOUTY M., 1990. *Changes in firmness of kiwifruit after slicing*. *Sci. Aliment.* 10: 127–139.
- VAROQUAUX P., MAZOLLIER J., ALBAGNAC G., 1996. *The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh-cut butterhead lettuce*. *Postharvest Biol. Technol.* 9: 127–139.
- VILAS-BOAS E.V., KADER A.A., 2001. *Effect of 1-MCP on fresh-cut fruits*. *Perishables Handling Quarterly* 108: 25.
- VILLANUEVA C.M., CANTOR K.P., CORDIER S., JAAKKOLA J.J., KING W.D., LYNCH C.F., PORRU S., KOGEVINAS M., 2004. *Disinfection by products and bladder cancer. A pooled analysis*. *Epidemiology* 15: 357–367.
- WANG H., FENG H., LUO Y., 2007a. *Control of browning and microbial growth on fresh-cut apples by sequential treatment of sanitizers and calcium ascorbate*. *J. Food Sci.* 72: M01–M07.
- WANG H., LIANG W., FENG H., LUO Y., 2007b. *Modeling of the effect of washing solution flow conditions on Escherichia coli O157:H7 population reduction on fruit surfaces*. *J. Food Prot.* 70: 2533–2540.
- WEI C.I., HUANG T.S., KIM J.M., LIN W.F., TAMPLIN M.L., BARTZ J.A., 1999. *Growth and survival of Salmonella montevideo on tomatoes and disinfection with chlorinated water*. *J. Food Prot.* 58: 829–836.

- WESTON L.A., BARTH M.M., 1997. *Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetables*. HortScience 32: 812-816.
- WHITE K.W., SELLERS R.J., 1994. *Foreign materials sorting by innovative real time color signatures*. In: Food Processing Automation - III Proceedings of the FPAC Conference, ASAE, St. Joseph, Michigan, USA. p. 29.
- WYLLIE S.G., LEACH D.N., WANG Y., 1996. *Development of flavor attributes in the fruit of C. melo during ripening and storage*. In: G.R. Takeoka, R. Teranishi, P.J. Williams, A. Kobayashi ed., Biotechnology for improved foods and flavors. Washington, D.C.: American Chemical Society. pp. 228-239.
- WONG D.W.S., CAMIRAND W.M., PAVLATH A.E., 1994. *Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables*. In: J.M. Krochta, E.A. Baldwin, M. Nisperos-Carriedo ed., Edible coatings and film to improve food quality. Technomic, Lancaster, PA, pp. 65-88.
- ZAGORY D., KADER A.A., 1988. *Modified atmosphere packaging of fresh produce*. Food Technol. 42: 70-77.
- ZHANG L., LU Z., YU Z., GAO X., 2005. *Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water*. Food Control 16: 279-283.
- ZION B., CHEN P., MCCARTHY M.J., 1995. *Detection of bruises in magnetic resonance images of apples*. Computers Electr. in Agric. 13: 289-299.
- ZWIGGELAAR R. BULL C.R., MOONEY M.J., 1996. *X-ray simulations for imaging application in agriculture and food industries*. J. Agric. En. Res. 63: 161-170.