

Dossier

SHELF LIFE

Misurare, predire ed estendere
la “durabilità” di un prodotto alimentare



58

PRODOTTI CONFEZIONATI. MISURARE, MODELLARE E PREDIRE LA SHELF LIFE

Paolo Bonilauri

63

SHELF LIFE SECONDARIA. UN TEMA POCO STUDIATO

Sonia Calligaris e Maria Cristina Nicoli

68

STRUMENTI PER VALUTAZIONI ACCELERATE DI FOTOSTABILITÀ E SHELF LIFE

URAI

69

STABILIZZAZIONE DEGLI ALIMENTI. LE NUOVE TECNOLOGIE

*– Amalia Conte,
Valentina Lacivita, Matteo Alessandro Del Nobile*

La determinazione temporale della *shelf life* di un prodotto alimentare è responsabilità del produttore.

La sua definizione deve però tener presente che, oltre ad assicurare criteri di qualità, l'alimento dovrà garantire anche il mantenimento della sua sicurezza nelle normali condizioni di consumo previste. Le evidenze scientifiche che il produttore dovrà mettere in campo dovranno inoltre soddisfare l'autorità competente in sede di ispezione ufficiale.

Nel corso della ricerca legata alla determinazione della *shelf life* sono stati così sviluppati modelli matematici che hanno trovato un certo utilizzo grazie alla possibilità di prevederne la durata al modificarsi delle condizioni ambientali.

Un aspetto poco conosciuto e ancora troppo trascurato dai ricercatori, nonostante la sua rilevanza sotto il profilo economico, è invece il tema della *shelf life* secondaria. Vale a dire il periodo di tempo dopo l'apertura della confezione durante il quale l'ingrediente, il semilavorato o il prodotto finito mantiene un livello di qualità accettabile per il suo utilizzo e/o consumo.

Una gestione oculata di questo aspetto potrebbe invece arrecare importanti vantaggi. Dal punto di vista sia del consumatore, nella riduzione, a livello domestico, degli sprechi alimentari, sia delle aziende, nella gestione di materie prime, semilavorati e prodotti finiti.

Prodotti confezionati

Misurare, modellare e predire la *shelf life*

La sua determinazione temporale è responsabilità del produttore

di Paolo Bonilauri

Biologo Dirigente, Istituto zooprofilattico sperimentale della Lombardia e dell'Emilia Romagna

La "durabilità" di un alimento stabilita dal produttore deve tener conto delle evidenze scientifiche a supporto delle decisioni prese. Evidenze che devono soddisfare l'autorità di controllo in sede di ispezione ufficiale

La *shelf life* (SI) dei prodotti confezionati è un argomento che per molto tempo è rimasto confinato nell'ambito dei laboratori di ricerca e sviluppo delle ditte di produzione. Pertanto, per molti aspetti, i risultati di queste ricerche sono rimasti coperti dal segreto industriale.

Con l'introduzione del Pacchetto Igiene, che trova la sua origine circa vent'anni orsono, nel 1997, con il "Libro verde della Commissione sui principi generali della legislazione in materia alimentare dell'Unione europea", a cui è seguito il "Libro bianco sulla sicurezza alimentare" del 2000, e soprattutto con l'emanazione dell'impianto normativo comunitario del regolamento (CE) 178/2002 ("General Food Law"), diviene chiaro a tutto il

mondo del controllo ufficiale come la SI, stabilita dal produttore, debba tenere conto di evidenze scientifiche a supporto delle decisioni prese e che queste evidenze devono soddisfare l'autorità di controllo in sede di ispezione ufficiale. Ne troviamo un chiaro esempio nel regolamento attuativo del regolamento (CE) 2073/2005 sui criteri microbiologici applicabili ai prodotti alimentari, dove, a seconda della possibilità di un prodotto pronto per il consumo (Rte) di supportare o meno lo sviluppo di *Listeria monocytogenes*, i criteri microbiologici risultano differenti ed il produttore è chiamato dimostrare con soddisfazione dell'autorità competente che il patogeno, se riscontrato, non supererà il limite di 100 Ufc/g durante la vita commerciale prevista.

Ultima nota normativa da ricordare è la piena entrata in vigore del regolamento (UE) 1169/2011 sulle informazioni da fornire ai consumatori, anche per quanto riguarda le indicazioni nutrizionali, a partire dal 13 dicembre 2016.

Questo cambiamento, per certi versi epocale, ha aumentato l'interesse accademico e del mondo della ricerca in generale sulla SI dei prodotti confezionati, tanto che, ricercando per parole chiave "SI" in Pubmed, è facile vedere più che quintuplicate le referenze dal 2006 al 2017.

Secondo Gordon L. Robertson (1993), poiché "tutti gli alimenti cambiano durante la distri-

buzione, di solito peggiorando, comprendere e prevedere questi processi risulta indispensabile fin dalle fasi di progettazione e sviluppo del prodotto. È responsabilità del produttore dell'alimento comprendere i cambiamenti che avvengono durante la sua distribuzione. La previsione della durata del prodotto è composta da due parti: quantificare le caratteristiche intrinseche del deterioramento del prodotto e capire come queste siano influenzate dalla confezione e dalle modalità di conservazione durante la distribuzione".

Definizioni

Non esiste una semplice definizione universalmente accettata di SL. La prima, tutt'ora condivisibile, la possiamo ritrovare tra i testi dell'Istituto statunitense di *Food Technologists* (Anonymous, 1974), in cui la SL è definita come il periodo di conservazione del prodotto alimentare compreso tra la data di produzione e quella di acquisto al dettaglio di un prodotto, durante il quale il prodotto mantiene qualità soddisfacenti in termini di valore nutrizionale, sapore, consistenza e aspetto.

Alternativamente, ponendo l'accento sul consumatore, la SL può essere definita come il periodo di tempo tra il confezionamento del prodotto ed il suo utilizzo nel quale la qualità del prodotto rimane accettabile per il consumatore (in generale, per l'utilizzatore del prodotto). Ma oltre alla qualità un alimento deve garantire la sicurezza del consumatore, se usato nelle adeguate condizioni di utilizzo. Una definizione di SL più completa la possiamo infatti trovare in Labusa e Fu (1997), dove viene definita

come il periodo di tempo nel quale il cibo è sicuro e/o ha una qualità accettabile per i consumatori.

La vita commerciale di un alimento deve considerare sia la qualità percepita dal consumatore sia la sua sicurezza

La vita commerciale di un alimento, comunque definita, deve quindi considerare sia l'aspetto di qualità percepita dal consumatore sia la sua sicurezza.

Un alimento è sicuro se esiste una ragionevole certezza che il suo consumo, nelle normali condizioni d'uso, non provocherà danno.

I compiti del produttore

In etichetta il produttore dovrà comunque indicare un termine minimo di conservazione (Tmc), che riflette il periodo di tempo in cui un alimento può ragionevolmente mantenere la sua miglior qualità, ad esempio il sapore, o una data di scadenza, che rappresenta il periodo di tempo in cui un alimento può ragionevolmente ritenersi sicuro da consumare quando siano rispettate determinate condizioni di conservazione.

La determinazione temporale della SL è quindi responsabilità del produttore, ma la sua definizione deve tener presente che, oltre a soddisfare criteri di qualità, l'alimento dovrà garantire an-



In base alle loro caratteristiche intrinseche, gli alimenti sono definiti deperibili, semi-deperibili o stabili.

che il mantenimento delle condizioni di sicurezza nelle normali condizioni di consumo previste. Le evidenze scientifiche che il produttore dovrà mettere in campo dovranno inoltre soddisfare l'autorità competente in materia di ispezione degli alimenti.

Tra i fattori che determinano la SL vi sono caratteristiche:

- proprie del prodotto (prodotto fresco, asciugato/disidratato, acido, stagionato);
- dell'ambiente in cui il prodotto verrà conservato durante la distribuzione;
- che dipendono dalla confezione del prodotto.

La combinazione di queste caratteristiche determina la stabilità del prodotto durante la sua vita commerciale.

In base alle loro caratteristiche intrinseche, gli alimenti sono definiti deperibili, semi-deperibili o stabili.

I prodotti deperibili dal punto di vista microbiologico e/o enzimatico avranno vite commerciali mediamente brevi e saranno conservati a temperature di refrigerazione o congelati mentre i prodotti stabili avranno vite commerciali anche molto lunghe e saranno conservati a temperatura ambiente.

Durante la conservazione, tra il prodotto, la confezione e l'ambiente avvengono trasferimenti di massa. Questi riguardano principalmente ossigeno, vapore acqueo, composti volatili aromatici e cessioni da parte dell'involucro a contatto con l'alimento.

La velocità con cui avvengono questi trasferimenti è fortemente influenzata dalla temperatura a cui sono conservati gli alimenti, che spesso risulta il fattore determinante per l'estensione della SL.

Nel corso della SL tutti gli alimenti, di fatto, subiscono fluttuazioni nelle temperature di conservazione. È importante ricordare che, dal punto di vista teorico, vale sia la proprietà additiva (il deterioramento totale è la somma delle singole alterazioni alle differenti temperature di conservazione) che la proprietà commutativa (l'ordine in cui avvengono gli abusi termici è indifferente nel determinare il deterioramento totale dell'alimento).

Modelli matematici per determinare la shelf life

Nel corso della ricerca legata alla determinazione della SL sono stati sviluppati modelli matematici che hanno trovato un certo utilizzo grazie alla possibilità di prevederne la durata al modificarsi delle condizioni ambientali. In particolare, è detta "A" la caratteristica che determina la qualità dell'alimento durante la SL.

Il cambiamento nel tempo di questa caratteristica è dato dall'equazione cinetica:

$$-dA/dt = k A^n$$

Dove k è il tasso costante dipendente dalla temperatura, tipo di prodotto e confezione e n (ordine di reazione) determina come il tasso di alterazione dipende dalla quantità residua di A presente.

Se il fattore ambientale (ad esempio, la temperatura) è costante durante la SL, n determina l'ordine di reazione della cinetica di alterazione dell'alimento.

Le principali cinetiche di reazione che frequentemente descrivono il deterioramento degli alimenti confezionati sono di ordine:

- 0, lineare, dove il tasso di degradazione è costante a temperatura costante;
- 1, esponenziale, dove il tasso di degradazione decresce esponenzialmente a temperatura costante durante la SL.

Indicando con θ (theta) la durata della SL, con A_0 qualità a t_0 e con A_e qualità a t_{end} fine della SL, l'equazione cinetica assume queste due soluzioni, a seconda dell'ordine di reazione del decadimento:

$$\theta = (A_0 - A_e)/k \text{ per le reazioni di ordine 0}$$

e

$$\theta = \ln(A_0/A_e) / k \text{ reazione di ordine 1}$$

La dipendenza dalla temperatura di conservazione dell'alimento durante la SL è descritta tramite l'equazione di Arrhenius:

$k = k_0 \exp(-E_a/RT)$ per le reazioni di ordine 0

e

$\ln k = \ln k_0 - E_a/(RT)$ per le reazioni di ordine 1

dove k_0 è una costante detta pre-esponenziale, E_a = energia di attivazione in cal/mol, R è la costante universale dei gas in cal/mol K e uguale a 1.986 e T è la temperatura assoluta in gradi Kelvin ($273 + ^\circ\text{C}$).

Mettendo in grafico k (il tasso costante) in logaritmo naturale (\ln) contro il reciproco di T ($1/T$) si ottiene una retta nota come "grafico di Arrhenius", la cui pendenza risulta uguale a $-E_a/RT$ e da cui è possibile ricavare graficamente il valore di E_a .

Pertanto, studiando un processo di deterioramento e misurando il tasso di decadimento a tre o più temperature (superiori alla temperatura di conservazione), si può ricavare, dal grafico di Arrhenius, il tasso di decadimento alla temperatura

di conservazione ideale e, quindi, la sua SL. Questa è la base per i test di *shelf life* accelerata (*accelerated shelf life testing*: Aslt).

Sapendo la durata della SL alla temperatura t ($^\circ\text{C}$) e la durata della SL alla temperatura $t + 10$ ($^\circ\text{C}$) è possibile, infine, ricavare il valore di Q_{10} , che rappresenta una misura della dipendenza della durata della *shelf life*, dalla temperatura di conservazione.

Gli studi di SL rientrano in 3 categorie principali:

- quelli per determinare la SL di prodotti già esistenti (non precedentemente studiati);
- quelli per valutare come cambiamenti nei fattori esterni (ad esempio, confezionamento e temperature) influenzano una SL già determinata;
- quelli per valutare la SL di prodotti nuovi, non ancora in commercio.

Un approccio deduttivo al problema verifica l'esistenza di studi svolti su prodotti analoghi o consuetudini radicate dall'esperienza vissu-



Nel corso della ricerca legata alla determinazione della *shelf life*, sono stati sviluppati modelli matematici che consentono di prevedere la sua durata al modificarsi delle condizioni ambientali.

ta e consolidata in anni di utilizzo del prodotto e da questi deduce una ragionevole durata della SL.

Un approccio induttivo alla determinazione della *shelf life* prevede di studiare in condizioni controllate la durabilità di un alimento

Questo ragionamento trova una possibile verifica negli studi del “*Tempo di Turnover*”, dove la reale durata del prodotto nella distribuzione (tempo medio di vendita) viene utilizzato non per ricavarne la SL, ma per avere un’idea della reale necessità commerciale del mercato. Tale approccio implica, necessariamente, che il prodotto resti comunque accettabile e sicuro per un tempo superiore a quello medio di vendita. Un approccio induttivo alla determinazione della SL, invece, prevede di studiare in condizioni controllate la durabilità di un alimento.

Questo tipo di studi si dividono in due tipologie differenti, che si validano vicendevolmente:

- di SL estesa (*End point study*), ossia studi della qualità e della sicurezza del prodotto durante l’intera vita commerciale. In questi studi si segue il deterioramento del prodotto, programmando più punti sperimentali che coprano l’intera durata della SL, conservando il prodotto a temperature prossime alla condizione ottimale di conservazione, prevedendo comunque condizioni reali di conservazione che tengano conto degli inevitabili abusi termici che il prodotto subirà durante la distribuzione;
- di SL accelerata (Aslt), in cui il prodotto è esposto a condizioni favorevoli all’accelerazione delle reazioni di decadimento (ad esempio, forte abuso termico nella temperatura di conservazione) in modo da poter prevedere la durata della SL alla temperatura di

conservazione ottimale, come descritto precedentemente.

Entrambe le tipologie di studi necessitano di essere validate nelle reali condizioni di distribuzione del prodotto, prevedendo al termine di tutte le prove sperimentali studi di verifica del mantenimento delle condizioni richieste in termini di qualità e sicurezza in prodotti ritirati dalla catena di distribuzione perché invenduti al termine della SL.

In conclusione, se le alterazioni principali che avvengono in un alimento sono di natura microbiologica (prodotti deperibili o semi-stabili), prima di ipotizzare qualsiasi studio di SL sarà necessario considerare la possibilità del prodotto di supportare lo sviluppo di microrganismi patogeni e, nel caso non sia esclusa la possibilità di uno sviluppo di questi durante la SL, tale aspetto dovrà risultare prioritario nella determinazione sperimentale della *shelf life*, studiando, ad esempio, il comportamento di questi microrganismi patogeni mediante gli strumenti propri della microbiologia predittiva o in appositi *challenge test*. Se, viceversa, la sicurezza è garantita, sarà possibile valutare la SL anche attraverso studi di natura accelerata (Aslt), dove è possibile avere risposte predittive in tempi minori rispetto a studi estesi, che comunque, è bene ricordare, dovranno essere sempre eseguiti a validazione di quelli accelerati.

Bibliografia

- Anonymous (1974). *Shelf Life of Foods, Report by the Institute of Food Technologists’ Expert Panel on Food Safety and Nutrition and the Committee on Public Information*. Chicago, IL: Institute of Food Technologists, August 1974. J. Food Sci., 39:861.
- Bin, F., Labuza, T. P. (1997). *Shelf-life testing: procedures and prediction methods*. Quality in frozen food. Springer, Boston, MA, 377-415.
- Robertson, G. L. (1993). *Food Packaging: Principles and Practices*. Marcel Dekker, Inc., New York.

Shelf life secondaria

Un tema poco studiato

Conoscerla e gestirla è vantaggioso per consumatori e aziende

di *Sonia Calligaris e Maria Cristina Nicoli*

Dipartimento di Scienze agroalimentari, ambientali e animali, Università degli Studi di Udine

Adottare procedure di stima dell'intervallo di tempo durante il quale un prodotto mantiene, dopo l'apertura, un livello accettabile di qualità ha importanti ripercussioni. In ottica di riduzione degli sprechi e gestione della qualità e della sicurezza alimentare

Il termine *shelf life*, che letteralmente significa "vita da scaffale", è molto utilizzato e spesso abusato; tuttavia, non compare mai come tale nella normativa di riferimento.

Secondo il regolamento (UE) 1169/2011, sull'etichetta dei prodotti alimentari deve essere riportato il termine minimo di conservazione (Tmc), definito come «la data fino alla quale un prodotto conserva le sue proprietà specifiche in adeguate condizioni di conservazione».

Il Tmc viene sostituito dalla data di scadenza per alimenti molto deperibili dal punto di vista microbiologico che potrebbero pertanto costituire, dopo un breve periodo, un rischio immediato per la salute umana. La definizione di questa data è al-

quanto vaga e lascia quindi alle aziende alimentari la responsabilità di definire cosa significhi "proprietà specifiche" dell'alimento. Queste ultime possono essere considerate come il livello qualitativo che lo rendono non più idoneo per la commercializzazione e/o il consumo. Questo livello prende il nome di limite di accettabilità e dipende essenzialmente dai requisiti di qualità dell'alimento e non da quelli igienico-sanitari, che devono essere garantiti in tutto il periodo di conservazione.

In una definizione più generale, per *shelf life* si intende, quindi, l'intervallo di tempo dopo la produzione durante il quale l'alimento raggiunge il limite di accettabilità in definite condizioni di conservazione. Questa definizione è valida fintanto che l'alimento è mantenuto nella propria confezione originaria. Quando questa viene aperta, le condizioni ambientali a cui l'alimento è esposto cambiano, con effetti sia sulla tipologia e velocità del decadimento qualitativo sia sulla possibilità di contaminazione del prodotto.

La *Figura 1* mostra schematicamente la differenza tra *shelf life* primaria e secondaria.

Il concetto di *shelf life* secondaria può essere assimilato al cosiddetto Pao (*Period after opening*), un'indicazione che deve essere obbligatoriamente riportata sulle confezioni dei prodotti cosmetici, secondo la direttiva 2003/15/CE. Il Pao indica il periodo in mesi (M) entro il quale il cosmetico aperto può essere utilizzato in tutta sicurezza.

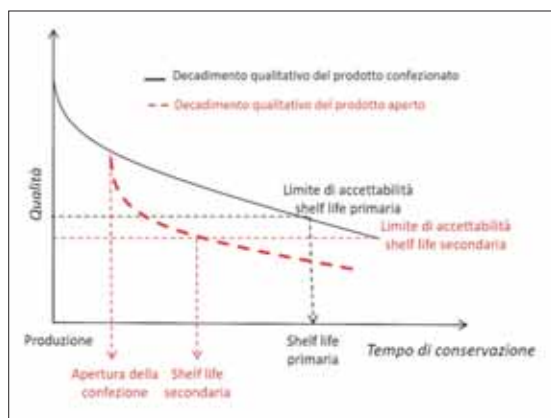


Figura 1 – Schematizzazione del concetto di *shelf life* primaria e secondaria.

Nel caso degli alimenti, il regolamento (UE) 1169/2011 richiede, all'articolo 25, che vengano riportate indicazioni appropriate relativamente alle condizioni di stoccaggio e uso dei prodotti alimentari dopo l'apertura delle confezioni, nonché il periodo di consumo dopo l'apertura, se del caso. Ne deriva che le indicazioni della normativa che riguardano la *shelf life* secondaria sono alquanto vaghe e lasciano alle aziende alimentari l'obbligo di scelta delle indicazioni da riportare in etichetta.

La *shelf life* secondaria è ancora un tema pressoché sconosciuto ai più e sono pochi gli studi disponibili su questo argomento. Tuttavia, una gestione oculata di questo aspetto potrebbe avere diverse ripercussioni sia dal punto di vista del consumatore nella gestione delle scorte alimentari a livello domestico che da quello delle aziende alimentari nella gestione delle materie prime, semilavorati e prodotti finiti.

Cosa accade dopo l'apertura delle confezioni degli alimenti

Dopo l'apertura delle confezioni degli alimenti si verifica un vero e proprio "tsunami" poiché le condizioni ambientali a cui l'alimento è esposto cambiano radicalmente: possono infatti mutare la composizione dei gas nello spazio di testa, la disponibilità di ossigeno, l'umidità relativa ambientale, le potenziali condizioni di sterilità commerciale.

Parlando di *shelf life* secondaria e di eventi alterativi che possono accadere dopo l'apertura della confezione originaria del prodotto, gli alimenti possono essere suddivisi in diverse categorie in base all'evento alterativo più probabile. I parametri che devono essere considerati sono quelli fon-

damentali per la sicurezza alimentare: attività dell'acqua (a_w) e pH.

Il cambiamento sostanziale rispetto alla definizione di *shelf life* primaria è l'introduzione del concetto di sicurezza igienico-sanitaria. Infatti, qualora l'alimento abbia valori di $pH > 4.5$ e $a_w > 0.94$ (o 0.86, considerando lo *Staphylococcus aureus*) si può assistere ad una contaminazione post-apertura con possibile sviluppo di microrganismi patogeni. Per le altre categorie di prodotto con a_w compresa tra 0.60 e 0.84, lo sviluppo di microrganismi alterativi, lieviti e muffe può essere considerato l'evento alterativo prevalente. Per alimenti con a_w inferiore a 0.6, infine, cambiamenti di natura fisica e chimica possono compromettere la qualità dell'alimento dopo l'apertura della confezione.

La *Tabella 1* riassume i possibili eventi alterativi in funzione delle caratteristiche compositive del prodotto.

Osservando le etichette dei prodotti alimentari, si nota che la maggior parte delle indicazioni che riguardano le modalità di conservazione e il tempo limite di consumo dopo l'apertura si trovano su prodotti che possono andare incontro ad alterazioni di natura microbiologica. Esempi sono il latte pastorizzato e sterilizzato, i formaggi freschi, i dessert *ready-to-eat*, ma anche vegetali e carne in scatola. La *shelf life* secondaria per questi prodotti viene fissata come pari a 1-3 giorni, tempo che non consente uno sviluppo microbico eccessivo se il prodotto viene mantenuto nelle condizioni di conservazione previste. Questo può essere ritenuto un margine di sicurezza per le aziende anche se la reale *shelf life* secondaria potrebbe essere diversa.

Al contrario, raramente si trovano indicazioni sulla *shelf life* secondaria per prodotti con a_w inferiore a 0.6. Questi sono per lo più prodotti secchi o parzialmente disidratati, il cui consumo viene frequentemente dilazionato nel tempo dopo l'apertura. Esempi sono oli, pasta, farine, caffè, latte in polvere, prodotti da forno. Per tutti questi prodotti, l'apertura non implica problemi di sicurezza alimentare, ma drammatici cambiamenti delle caratteristiche qualitative, e il packaging generalmente rappresenta una barriera fisica che protegge l'alimento dagli stress ambientali, quali soprattutto vapor d'acqua, ossigeno e luce.

Tabella 1

Eventi alterativi prevalenti, attesi dopo l'apertura delle confezioni, in funzione delle caratteristiche compositive dell'alimento (modificato da M. C.Nicoli e S. Calligaris, 2012¹)

ATTIVITÀ DELL'ACQUA E PH	EVENTI ALTERATIVI
$a_w > 0.94$ and $pH > 4.5$	Sviluppo di patogeni (ad esempio, <i>Salmonella</i> , <i>Vibrio</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Clostridium Botulinum</i> , <i>Cl. Perfringens</i>) e microrganismi alterativi
$0.86 < a_w > 0.94$ e $pH > 4.5$	Microrganismi alterativi, <i>Staphylococcus aureus</i>
$a_w > 0.86$ e $pH < 4.5$	Microrganismi alterativi, lieviti e muffe
$0.6 < a_w < 0.86$	Lieviti e muffe, batteri alofili
$a_w < 0.6$	Reazioni alterative di natura chimica e fisica

La Tabella 2 mostra alcuni esempi di alimento e possibili eventi alterativi dopo l'apertura. Come si può notare, gli eventi alterativi che possono ledere la qualità del prodotto sono essenzialmente legati a cambiamenti della composizione dell'atmosfera all'interno delle confezioni.

L'ingresso di ossigeno può accelerare enormemente lo sviluppo delle reazioni di natura ossidativa, i cui reagenti principali sono proprio l'ossigeno e i composti ossidabili presenti nell'alimento, come acidi grassi insaturi e composti lipofili ad attività bioattiva (ad esempio, vitamine, polifenoli, carotenoidi e fitosteroli). L'evolvere di queste rea-

zioni, quindi, non solo porta a cambiamenti delle proprietà sensoriali dell'alimento (odore, aroma, colore), ma anche alla perdita della sua funzionalità nutrizionale. Non va sottovalutato, infine, il fatto che alcuni dei prodotti di ossidazione sono potenzialmente tossici.

Accanto alla presenza di ossigeno, il possibile assorbimento di umidità che può avvenire dopo l'apertura di prodotti secchi e parzialmente disidratati può portare a cambiamenti di natura fisica (agglomerazioni, cambiamenti di consistenza) tali da causare l'inaccettabilità del prodotto.

Tabella 2

Esempi di alimenti che possono andare incontro ad alterazioni di natura chimica e fisica dopo l'apertura della confezione (modificato da M.C. Nicoli e S. Calligaris, 2018²).

PRODOTTO	EVENTO ALTERATIVO
Caffè tostato in grani o macinato, caffè in polvere	Reazioni ossidative, perdita di componenti volatili, assorbimento di umidità
Latte in polvere	Reazioni di ossidazione, assorbimento di umidità
Prodotti da forno	Reazioni di ossidazione, assorbimento di umidità
Vino	Reazioni di ossidazione, perdita di componenti volatili
Aromi (olio di limone, olio di arancia)	Reazioni di ossidazione
Olio e grassi	Reazioni di ossidazione anche a carico di composti bioattivi (polifenoli, tocoferolo, carotenoidi)
Farine	Assorbimento di umidità
Alimenti funzionali	Reazioni di ossidazione di composti bioattivi

¹ Nicoli, M.C. (2012). *Shelf life assessment of foods*. Boca Raton: CRC press, Taylor & Francis Group.

² Nicoli, M.C., Calligaris, S. (2018). *Secondary shelf life assessment: an underestimated issue*. Food Engineering review, DOI 10.1007/s12393-018-9173-2.

L'importanza di valutare la shelf life secondaria di un prodotto alimentare

Diversamente dalla *shelf life* primaria, pochi sono gli studi presenti in letteratura su quella secondaria. Alcuni esempi si trovano riguardo ad alimenti microbiologicamente stabili, quali caffè tostato, olio extra vergine di oliva e vino³. Le ragioni di questo scarso interesse possono essere legate alla mancanza di una specifica normativa, ma anche alla difficoltà di predisporre uno studio di *shelf life* secondaria. Tuttavia, la gestione oculata di questo aspetto potrebbe avere importanti ripercussioni dal punto di vista sia del consumatore sia delle aziende alimentari.

Considerando che il consumatore è spesso poco informato su aspetti di sicurezza alimentare, piuttosto che rischiare, spesso tende ad eliminare prodotti ancora accettabili. Diversi studi evidenziano come la promozione di interventi che potrebbero assistere il consumatore nel fare scelte consapevoli di gestione domestica degli alimenti potrebbero consentire una significativa riduzione della quantità di quelli che diventano rifiuto. Inoltre, la definizione della *shelf life* secondaria in etichetta anche di prodotti che non presentano problemi di sicurezza alimentare dopo l'apertura potrebbe contribuire ad aumentare la fidelizzazione del consumatore ad un determinato prodotto. Il rifiuto di un alimento dopo l'apertura a causa di difetti di natura sensoriale, infatti, riduce la probabilità che quel consumatore ripeta nuovamente l'acquisto. Ne consegue, che l'introduzione di informazioni di gestione del prodotto dopo l'apertura da parte del consumatore potrebbe migliorare le pratiche a livello domestico di rotazione delle scorte, nonché aumentare la fidelizzazione del cliente.

L'adozione di procedure sistematiche di stima della *shelf life* secondaria potrebbe inoltre avere significative ripercussioni in ottica di gestione della qualità e della sicurezza alimentare. A seconda della

natura dell'alterazione attesa, in un'azienda usare una materia prima o un semilavorato in maniera parcellizzata può avere diversi effetti, legati alla perdita di funzionalità tecnologica e nutrizionale (ingrediente meno lavorabile e con performance tecnologiche inferiori), qualità intrinseca (sensoriale o nutrizionale) e sicurezza igienico-sanitaria. Le conseguenze possono comprendere l'incremento degli scarti e le perdite di prodotto in fase di lavorazione. I prodotti finiti potrebbero inoltre avere qualità sensoriale e nutrizionale non costanti e variabili a seconda della qualità della materia prima e, soprattutto, la *shelf life* primaria potrebbe non essere costante e spesso sovrastimata. In altre parole, il prodotto finito potrebbe scadere prima di quanto riportato in etichetta, con conseguente aumento di reclami. Vediamo di fare qualche esempio. Un caso peculiare è quello di ingredienti in polvere utilizzati come materie prime in diverse formulazioni. Essi si presentano allo stato amorfo e sono piuttosto stabili e facilmente lavorabili. Il loro utilizzo è spesso parcellizzato nel tempo e dopo l'apertura i sacchi aperti vengono conservati per tempi più o meno lunghi. Tuttavia, dopo l'apertura del sacco – a causa di oscillazioni di temperatura e umidità relativa – si può osservare il passaggio dallo stato amorfo *glass* ad una struttura più plastica, detta *rubber*, in cui le molecole hanno maggiore capacità di muoversi e organizzarsi in strutture cristalline. La stessa sostanza può quindi avere comportamenti diversi a seconda del suo stato fisico (amorfo o cristallino): nello stato cristallino ha minore capacità di legare l'acqua e dunque di abbassare l'*aw* rispetto a quando si trova allo stato amorfo. Anche l'impaccamento delle polveri (*caking*) è ascrivibile al passaggio dallo stato amorfo *glass* a quello *rubber*, a causa di oscillazioni ambientali di umidità e/o temperatura.

Altro esempio è relativo alla gestione di ingredienti quali oli e grassi. Infatti, è ben noto che il loro stato di ossidazione peggiora nel tempo in virtù della disponibilità di ossigeno ambientale e presenza di

³ Anese, M., Manzocco, L., Nicoli, M.C. (2006). *Modeling secondary shelf life of ground roasted coffee*. J Agric Food Chemistry, 54: 5571-5576.

Fu, Y., Lim, L.T., McNicholas, D. (2009). *Changes on enological parameters of white wine packaged in box-in-box during secondary shelf life*. Journal of Food Science 74(8):C608-618.

Garrido-Delgado R., Mar Dobao-Prieto M., Arce L., Aguilar J., Cumplido J.L., Valcarcel M. (2015). *Ion mobility spectrometry versus classical physico-chemical analysis for assessing the shelf life of extra virgin olive oil according to container type and storage conditions*. Journal of Agriculture and Food Chemistry 63:2179-2188.



Figura 2 – Fasi di uno studio di *shelf life* secondaria (modificata da M. C. Nicoli e S. Calligaris, 2018⁴).

catalizzatori. Nel caso di una sostanza grassa il cui uso in azienda sia parcellizzato nel tempo, è possibile che si verifichi una sua progressiva ossidazione durante lo stoccaggio. Tale ingrediente potrebbe, dunque, avere diversi stati di ossidazione quando utilizzato per lotti di produzione successivi. Ne consegue che la *shelf life* primaria del prodotto finito potrà variare sensibilmente in virtù dello stato di ossidazione della sostanza grassa utilizzata.

Infine, si ricorda il caso di ingredienti o semilavorati con alti valori di aw (per esempio, una crema o un ripieno per ravioli), i quali dopo l'apertura della confezione possono andare incontro a ricontaminazione e perdita dei requisiti di sterilità del prodotto. Questo aspetto potrebbe condizionare la carica microbica del prodotto finito alla cui formulazione concorre l'ingrediente o, nel caso in cui il prodotto finito sia sottoposto a un trattamento di risanamento termico, si dovrà necessariamente tenere in considerazione la variabilità della carica microbica iniziale nel computo dell'effetto sterilizzante.

Poiché in azienda non sempre è possibile evitare la conservazione di prodotti aperti per tempi che spesso dipendono dalle necessità produttive, potrebbe essere particolarmente utile, in ottica di miglioramento delle prestazioni, imparare a gestire le problematiche connesse alla *shelf life* secondaria, cercando di identificare tutti i rischi associati alle materie coinvolte, introdurre interventi correttivi

del caso e redigere protocolli operativi. La valutazione dei rischi dipende dagli ingredienti e dalle loro caratteristiche (aw, pH, temperatura di stoccaggio eccetera), dalle reazioni alterative attese dopo l'apertura della confezione, nonché dal tempo necessario per finire la confezione aperta.

Da quanto detto, appare evidente che diverse ragioni potrebbero incoraggiare un'azienda ad approcciarsi ad uno studio di *shelf life* secondaria di ingredienti, semilavorati e prodotti finiti. Concettualmente, i metodi e le procedure che si utilizzano per stimare la *shelf life* primaria potrebbero essere applicati anche per studiare la *shelf life* secondaria. La Figura 2 mostra un protocollo generale che può essere applicato per studi di *shelf life* secondaria. La fase preliminare è volta all'identificazione dell'evento alterativo prevalente e del relativo indicatore analitico (microbiologico, chimico, fisico o sensoriale), che non solo porta alla perdita di qualità del prodotto oggetto dello studio, ma è in relazione al suo limite di accettabilità. Va stressato il fatto che nella maggior parte dei casi l'evento alterativo prevalente utilizzato per studi di *shelf life* primaria non trova applicazione per determinare quella secondaria. Questo in quanto, come detto precedentemente, l'apertura della confezione porta all'innescare di eventi alterativi diversi da quelli che avvengono nel prodotto chiuso. Successivamente a questa fase, si procede con il vero e proprio test di *shelf life*, che implica il monitoraggio dell'evoluzione, in condizioni ambientali definite, dell'indicatore dell'alterazione prevalente. Particolarmente critica sarà a riguardo la scelta delle condizioni ambientali da utilizzare durante il test. Queste dovranno simulare le condizioni di conservazione del prodotto aperto e le modalità di utilizzo previste. In alcuni casi, per esempio, potrebbe essere conveniente effettuare aperture e chiusure ripetute della confezione che simulino un utilizzo domestico. Infine, i dati sperimentali raccolti possono essere sottoposti a modellazione cinetica, ovvero all'individuazione di equazioni in grado di descrivere l'evoluzione dei dati sperimentali ed in ultima analisi di stimare la *shelf life* secondaria del prodotto.

⁴ Nicoli, M.C., Calligaris, S. (2018). Secondary shelf life assessment: an underestimated issue. Food Engineering review, DOI 10.1007/s12393-018-9173-2.

Stabilizzazione degli alimenti

Le nuove tecnologie

Dalle radiazioni ionizzanti ai campi elettrici pulsati

di *Amalia Conte, Valentina Lacivita, Matteo Alessandro Del Nobile*

Dipartimento di Scienze agrarie, degli Alimenti e dell'Ambiente, Università di Foggia

Funzionamento, vantaggi, limiti e principali applicazioni delle nuove tecnologie per estendere la shelf life dei prodotti alimentari

Il deperimento dei prodotti alimentari, con una cinetica funzione della composizione, delle caratteristiche chimico-fisiche o delle modalità di conservazione dell'alimento, provoca alterazioni delle caratteristiche sensoriali, nutrizionali e strutturali del prodotto, che ne compromettono l'accettabilità. L'utilizzo della temperatura è da sempre lo strumento più diffuso per il controllo della qualità: le alte temperature di pastorizzazione o di sterilizzazione e le basse temperature di refrigerazione o congelamento durante la conservazione garantiscono nella maggior parte dei casi la *shelf life* desiderate. Tuttavia, l'uso delle prime può provocare cambiamenti indesiderati a colore, aroma e consistenza, ed è spesso associato a perdita di importanti nutrienti. Altra strategia ampiamente diffusa è l'utilizzo dell'atmosfera modificata (Atm), applicata in fase di confezionamento dei prodotti freschi. I benefici dell'Atm, utilizzata con opportuni sistemi di imballaggio, sono ampiamente noti su una numerosa cate-

goria di prodotti trasformati: prodotti ittici freschi (Del Nobile *et al.*, 2009), carne fresca (Mastromatteo *et al.*, 2011 a), alcuni prodotti ortofrutticoli (Mastromatteo *et al.*, 2011b), formaggi freschi (Costa *et al.*, 2016), pasta fresca e prodotti da forno (Lucera *et al.*, 2014).

Nonostante i vantaggi e l'estrema facilità di utilizzo, anche la tecnica dell'Atm non riesce a soddisfare le esigenze di un mercato che richiede *shelf life* prolungate, prodotti sicuri e soprattutto minimamente trattati. Queste esigenze, unite alla continua ricerca di innovazione, hanno portato nell'ultimo decennio allo sviluppo di una nuova serie di tecnologie alternative alle tradizionali, basate su metodi fisici che permettono di preservare la qualità dei prodotti alimentari, senza provocare danno termico.

Tra le tecnologie alternative che hanno suscitato particolare interesse nel settore alimentare si annoverano le radiazioni ionizzanti e non ionizzanti (ultravioletta, luce pulsata), gli ultrasuoni, le alte pressioni idrostatiche e i campi elettrici pulsati.

Di seguito, si riportano alcuni dettagli sui meccanismi di funzionamento, sui vantaggi, sui limiti e sulle principali applicazioni di ciascuna di esse.

Radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti sono una tecnologia non-termica che prevede l'utilizzo di alcune ra-

diazioni elettromagnetiche (presenti all'estremità più energetica dello spettro elettromagnetico), emesse da sostanze radioattive (raggi gamma) o per mezzo di apparecchi che agiscono sulla velocità di particelle elettricamente cariche (raggi X e fascio di elettroni, *Electron-beam*).

L'energia associata a queste radiazioni elettromagnetiche è in grado di "ionizzare" atomi e molecole, convertendoli in ioni.

L'inattivazione microbica avviene per mezzo di un'azione diretta sul Dna dei microrganismi, danneggiandolo ed impedendo così la divisione cellulare.

L'azione delle radiazioni può anche essere indiretta ed avvenire sulle molecole d'acqua, con formazione di radicali (idrossilici o perossido di idrogeno) che possono provocare lisi cellulare.

Le radiazioni ionizzanti non inducono radioattività negli alimenti o nei materiali di imballaggio. Il trattamento, inoltre, non causa praticamente alcun aumento di temperatura e non compromette, quindi, le caratteristiche sensoriali e nutrizionali dei prodotti trattati.

Quelle applicate entro la dose massima consentita (10 kGy) non sono però in grado di inattivare completamente virus, enzimi e tossine microbiche eventualmente presenti negli alimenti al momento del trattamento.

La letteratura scientifica dimostra che per mezzo di questa tecnologia è stato possibile prolungare

la *shelf life* di vari alimenti (Tabella 1).

L'opinione pubblica sull'irradiazione alimentare è controversa. In molti Paesi (Stati Uniti, Cina, Brasile, Vietnam e Giappone) questo trattamento è praticato, mentre in Europa il suo utilizzo è ancora limitato.

Radiazioni non-ionizzanti: luce ultravioletta e luce pulsata

Luce ultravioletta e luce pulsata sono tecnologie che negli ultimi anni hanno suscitato un grande interesse. In questo caso, l'energia associata alle radiazioni non è in grado di ionizzare atomi e molecole. Queste tecnologie sono caratterizzate dall'applicazione di impulsi brevi di luce ad alta intensità nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 100 e 1100 nm per la luce pulsata e 200-400 nm per gli ultravioletti. Sono inoltre in grado di migliorare la sicurezza degli alimenti e prolungare la *shelf life* senza compromettere le caratteristiche nutrizionali e sensoriali dei prodotti trattati.

L'inattivazione microbica è principalmente causata dall'azione fotochimica della componente UV-C (200-280 nm) dello spettro luminoso, con danni al Dna e conseguente lisi cellulare.

La loro efficacia è ridotta in alimenti ricchi in proteine, grassi e fluidi opachi.

Queste tecnologie sono particolarmente adatte al-

Tabella 1
Esempi di applicazioni delle radiazioni ionizzanti

APPLICAZIONI	TRATTAMENTO	RISULTATI	RIFERIMENTI
Prolungamento della <i>shelf life</i> dei prodotti ittici	raggi X 0-2.0 kGy (pesce gatto)	Riduzione di <i>L. monocytogenes</i> (sotto il limite di rilevamento), <i>shelf life</i> fino a 35 giorni (5°C)	Mahmoud et al., 2012; 2016
	raggi X 0-0.6 kGy (filetti di tonno)	Riduzione di <i>Salmonella</i> di 6 log (0,6 kGy), <i>shelf life</i> di 25, 15 e 5 giorni (5, 10, e 25 °C)	
Controllo della qualità microbiologica e sensoriale di prodotti vegetali	raggi X 0.25-1 kGy (patata dolce)	Ridotta conta microbica (lieviti e muffe) dopo 14 giorni di conservazione (4 °C)	Oner and Wall, 2013
	Raggi X 0.1-2 kGy (spinaci e pomodoro)	Riduzione della carica microbica di tutti i microrganismi testati (<i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. enterica</i> e <i>S. flexneri</i>)	Mahmoud et al., 2010
Prolungamento della <i>shelf life</i> di prodotti lattiero-caseari	fascio di elettroni 0.55-2.5 kGy (mozzarella)	Inibizione della crescita di coliformi e <i>Pseudomonas</i> spp. (2,0 kGy). <i>Shelf life</i> oltre 80 giorni	Huo et al., 2013
	radiazioni gamma (1, 3, 5 e 10 kGy) (yogurt bianco)	Prolungamento della <i>shelf life</i> e riduzione di allergeni. Prodotto più sicuro	Ham et al., 2009

l'inattivazione microbica ed enzimatica superficiale degli alimenti, a causa della ridotta capacità di penetrazione della luce all'interno dei prodotti trattati. Negli ultimi anni sono state condotte diverse applicazioni in campo alimentare (Tabella 2), sia per prodotti solidi (carne, pesce, frutta e verdura minimamente trattata), che per liquidi (succhi di frutta e latte).

Ultrasuoni

L'uso di ultrasuoni si basa sulla gamma di frequenza per la lavorazione, l'analisi e il controllo della qualità degli alimenti. Si parla infatti di ultrasuoni a bassa ($100 \text{ kHz} > 1 \text{ W/cm}^2$) e ad alta ($20\text{-}500 \text{ kHz} < 1 \text{ W/cm}^2$) intensità.

La loro applicazione nell'industria alimentare è relativamente recente.

Gli ultrasuoni possono essere utilizzati per la conservazione degli alimenti in combinazione con altri trattamenti. Questa tecnologia sembra infatti avere una ridotta efficacia con basse temperature di trat-

tamento, ma in combinazione con moderato calore (termo-sonicazione) o pressione (manno-sonicazione) la sua efficacia di inattivazione microbica migliora.

L'effetto di inattivazione degli ultrasuoni ad alta intensità è stato attribuito alla generazione di cavitazione intracellulare; gli shock meccanici possono assottigliare le membrane cellulari e distruggere componenti strutturali e funzionali delle cellule (danni al Dna attraverso la produzione di radicali liberi) fino al punto di provocarne la lisi.

Le tecnologie ad ultrasuoni potrebbero trovare ampia applicazione nel futuro dell'industria alimentare in alternativa a sistemi convenzionali di conservazione degli alimenti.

I vari esempi dalla letteratura scientifica dimostrano che la combinazione con alte pressione e/o con calore si è dimostrata molto promettente (Tabella 3, pubblicata a pagina 72).

La termo-sonicazione risulta particolarmente adatta a liquidi e liquidi contenenti solidi che potrebbero essere trattati con un sistema a flusso continuo in condizioni aseptiche.

Tabella 2
Esempi di applicazioni delle radiazioni non-ionizzanti

APPLICAZIONI	TRATTAMENTO	RISULTATI	RIFERIMENTI
Controllo della qualità dei prodotti ittici	UV pulsata 5.6 J/cm^2 (3 per secondo) (salmone)	Riduzione della carica microbica inoculata (<i>L. monocytogenes</i> ed <i>E. coli</i>)	Ozer & Demerici 2006
	Luce pulsata e UV-C $0\text{-}17.2 \text{ J/cm}^2$ (filetti di pesce, salmone, gamberetti)	Riduzione della carica microbica inoculata (<i>L. monocytogenes</i>), minore efficacia con gli UV-C. Nessun effetto sul colore	Cheigh <i>et al.</i> , 2013
Controllo della qualità microbiologica e sensoriale della frutta	Luce pulsata $7.5\text{-}157.5 \text{ kJ/m}^2$ (fette di mela)	Riduzione della carica microbica. Eccessiva esposizione (danno cellulare) e reazioni di imbrunimento	Ignat <i>et al.</i> , 2014
	UV-C $200\text{-}4800 \text{ J/m}^2$ (bastoncini di ananas)	Conteggi microbici inferiori di 2 cicli logici rispetto ai campioni non trattati. Nessun cambiamento di colore	Manzocco <i>et al.</i> , 2015
Controllo della qualità dei prodotti a base di carne	UV-C $0.5\text{-}5 \text{ kJ/m}^2$ (petto di pollo)	Riduzione della carica microbica inoculata (<i>C. jejuni</i> , <i>L. monocytogenes</i> e <i>S. enterica</i>) senza compromettere la qualità dopo 6 giorni di conservazione.	Chun <i>et al.</i> , 2010
Prolungamento della shelf life dei prodotti lattiero-caseari	UV-C $0.1\text{-}6.0 \text{ kJ/m}^2$ (fiordilatte)	Riduzione della carica microbica iniziale. Nessun cambiamento in termini di colore e consistenza	Lacivita <i>et al.</i> , 2016
	UV-C 10.75 mJ/cm^2 (latte)	Risultati microbiologici simili a quelli ottenuti con la pastorizzazione. Notate alcune differenze sensoriali (sapore)	Cilliers <i>et al.</i> , 2014

Tabella 3
Esempi di applicazioni degli ultrasuoni

APPLICAZIONI	TRATTAMENTO	RISULTATI	RIFERIMENTI
Migliorare la qualità di frutta e succhi di frutta	Mano-termo-sonicazione (200 kPa, 35-65 °C, 20 kHz) (succo di mela)	Effetto sinergico del processo combinato (54 °C), migliore efficacia di inattivazione microbica (<i>C. sakazakii</i>)	Arroyo <i>et al.</i> , 2012
	Sonicazione 30-90 W (5 e 10 minuti) (fragole)	Ridotta comparsa di muffe. Tra 30 e 60 W qualità delle fragole migliorata.	Aday <i>et al.</i> , 2013
Controllo della qualità dei prodotti a base di carne	Ultrasuoni-vapore 30-40 kHz (130 °C) (maiale)	Maggiore riduzione microbica sulla pelle rispetto al muscolo. Dopo conservazione (24 h, 5 °C) i batteri non sono stati in grado di ricrescere	Morild <i>et al.</i> , 2011
	Ultrasuoni-vapore 25-40 kHz 90 °C (pollame)	Riduzione della carica microbica (<i>Campylobacter</i>) senza compromettere la qualità sensoriale	Musavian <i>et al.</i> , 2014
Prolungamento della shelf life di prodotti lattiero-caseari	Termo-sonicazione 24 kHz (63 e 72 °C) (latte per produrre queso)	Latte utilizzato per produrre un formaggio fresco e morbido (accettabile per 23 giorni)	Bermudez-Aguirre e Barbosa-Canovas, 2010
	Termo-sonicazione 24 kHz (63 °C per 10-30 minuti) (latte)	Riduzione della carica microbica (<i>L. innocua</i>) e prolungamento della shelf life	Bermudez-Aguirre <i>et al.</i> , 2009

Alte pressioni idrostatiche

Le alte pressioni idrostatiche sono uno dei più promettenti approcci per la preservazione degli alimenti a temperatura ambiente studiati nell'ultimo decennio (Tabella 4).

L'alimento, confezionato in un packaging flessibile, è sottoposto in una camera di trattamento ad alte pressioni (100-1000 MPa) idrostatiche per mezzo di un fluido (di solito acqua).

Questa tecnologia è in grado di inattivare microrganismi alteranti e patogeni e prolungare così la shelf life.

L'inattivazione microbica è caratterizzata da danni alla membrana cellulare, denaturazione delle proteine e riduzione del pH intracellulare.

È importante sottolineare che la suscettibilità dei microrganismi al trattamento è influenzata dal tipo di microrganismo (Gram-negativi più sensibili rispetto ai Gram-positivi) e dallo stadio di crescita (in fase esponenziale più sensibili rispetto alla fase stazionaria).

Per mezzo di questa tecnologia è possibile ridurre il danno termico in quanto la pressione è distribuita in maniera rapida ed uniforme attraverso l'alimen-

to. La pressione, inoltre, può accelerare la cinetica di inattivazione dei microrganismi senza compromettere la qualità degli alimenti trattati.

Campi elettrici pulsati

I campi elettrici pulsati sono una tecnologia adatta principalmente agli alimenti liquidi, comprese emulsioni e sospensioni (solitamente buoni conduttori elettrici), in grado di inattivare microrganismi a temperatura ambiente, preservando così le caratteristiche sensoriali, le proprietà funzionali e l'integrità dei composti termosensibili.

I campi elettrici pulsati sono inoltre in grado di migliorare l'estrazione di succhi e altri componenti da frutta e verdura.

Questa tecnologia ha come principio fondamentale l'applicazione di un campo elettrico di forza variabile tra i 10 e 80 kV/cm per brevissimi intervalli (1-100 µs), generato da due elettrodi tra cui vi è una differenza di potenziale.

L'inattivazione microbica non è ancora ben nota. Si ipotizza che l'esposizione ad un elevato cam-

Tabella 4
Esempi di applicazioni delle alte pressioni idrostatiche

APPLICAZIONI	TRATTAMENTO	RISULTATI	RIFERIMENTI
Migliorare la <i>shelf life</i> dei prodotti ittici	100-300 MPa 5-10 minuti (abalone)	Prolungamento della <i>shelf life</i> , senza compromettere le caratteristiche chimico-fisiche e la qualità sensoriale	Hughes <i>et al.</i> , 2016; Rong <i>et al.</i> , 2017
	300 MPa 2 minuti (ostriche)		
Aumento della <i>shelf life</i> e migliore qualità dei succhi di frutta	600 MPa 3 minuti (mela)	Qualità dei succhi trattati comparabile a quella del succo fresco	(Yi <i>et al.</i> , 2017)
	550 MPa 6 minuti (carota)	Le proprietà nutrizionali e organolettiche meglio conservate (<i>shelf life</i> di 20 giorni)	Zhang <i>et al.</i> , 2016
Aumento della <i>shelf life</i> e migliore qualità dei prodotti a base di carne	500 MPa 10 minuti (filetti di pollo)	Il trattamento prolunga la <i>shelf life</i> di 6 e 2 giorni a 4 e 12 °C	Argyri <i>et al.</i> , 2018
	600 MPa 3 minuti (prosciutto)	Riduzione della carica microbica di 4 cicli log; prolungamento della <i>shelf life</i>	(Botsaris & Taki, 2015)
Miglioramento della qualità dei prodotti lattiero-caseari	600 MPa 12.5 minuti 65 °C (latte)	Riduzione delle spore di <i>C. perfringens</i>	Gao <i>et al.</i> , 2011
	400 MPa 10 minuti (formaggio)	Impatto sulle caratteristiche fisico-chimiche, microbiologiche e sensoriali	Rynne <i>et al.</i> , 2008

po elettrico causi “elettroporazione”, aumentando così la permeabilità delle membrane cellulari. Se l'esposizione ad un elevato campo elettrico è effettuata per un tempo sufficiente da superare la tensione superficiale della membrana, su di essa si formeranno pori non reversibili, con conseguente perdita di composti intercellulari e lisi cellulare.

La tecnologia può essere applicata a temperature

basse senza provocare danni termici.

I prodotti trattati possono avere vari benefici in termini di migliore conservazione delle proprietà nutrizionali, sapore, colore, funzionalità delle proteine e prolungamento della *shelf life* (Tabella 5).

Per ricevere i riferimenti bibliografici, scrivere a redazione@alimentibevande.it

Tabella 5
Esempi di applicazioni dei campi elettrici pulsati

APPLICAZIONI	TRATTAMENTO	RISULTATI	RIFERIMENTI
Aumento della <i>shelf life</i> e migliore qualità dei succhi di frutta	13.82-25.26 kV/cm (succo d'arancia)	Prolungamento della <i>shelf life</i> (180 giorni a 4 °C) rispetto ai campioni non trattati (circa 10 giorni)	Agcam <i>et al.</i> , 2014
	34 kV/cm (55 °C dopo 60 secondi) (frullato di frutta)	<i>Shelf life</i> a 4 °C prolungata rispetto al frullato pastorizzato (72 °C per 15 secondi) (21 vs 14 giorni)	Walkling-Ribeiro <i>et al.</i> , 2010
Controllo della qualità dei prodotti lattiero-caseari	31 kV 55 °C (latte)	Riduzione della carica microbica di 5 log (<i>Pseudomonas</i> spp.), prolungamento della <i>shelf life</i>	Craven <i>et al.</i> , 2008
	30-40 kV (20-72 °C per 10 secondi) (latte)	Riduzione della carica microbica di 4.3 cicli log (<i>L. innocua</i>)	Guerrero-Beltran <i>et al.</i> , 2010