

Capitolo 11

Operazioni dell'imballaggio flessibile

11.1 Introduzione

Non esiste una definizione univoca e universale di imballaggio flessibile (*flexible packaging*). Secondo alcuni autori, un imballaggio flessibile è quello la cui forma o il cui profilo sono, dopo il riempimento e la chiusura, significativamente influenzati dal prodotto contenuto, che è in grado di deformarli. Questa definizione sembra adattarsi soprattutto al riempimento con liquidi, anche se, di fatto, un imballaggio flessibile può contenere anche prodotti solidi, mostrando una più ampia possibilità di contenimento rispetto a un imballaggio rigido. Secondo una definizione più rigorosa, un imballaggio flessibile è un contenitore, di qualsiasi forma e dimensione, la cui atmosfera interna – per effetto della natura del materiale costituente e in un ampio intervallo di valori – presenta una pressione totale uguale a quella esterna (atmosferica), anche se perfettamente ermetico; in altre parole, in condizioni normali, l'imballaggio flessibile è in equilibrio con la pressione atmosferica, potendosi adattare (comprimendosi o dilatandosi per variazione del suo volume interno) alle variazioni della pressione totale esterna. Questa definizione, ancorché poco condivisa, si rivela molto utile per la comprensione e la descrizione di alcuni fenomeni che riguardano le atmosfere interne agli imballaggi e la modellazione della shelf life.

Sebbene il settore del flexible packaging non sia univocamente definito, non vi è dubbio che tutti riferiscono a questo comparto l'uso di imballaggi di carta, di pellicole plastiche monomateriale e di strutture composite ottenute per coostrusione o per laminazione di materiali diversi, compresi i sottili fogli metallici, di carta o cartoncino. Altrettanto certa è la tendenza – che si osserva da tempo in tutti i settori applicativi – a sostituire i materiali rigidi con quelli flessibili. Questa situazione è ben illustrata dalla figura 11.1, che pone a confronto la massa impiegata per produrre gli imballaggi rigidi con quella impiegata per gli imballaggi flessibili e dalla quale risulta come negli ultimi anni la crescita del flessibile sia decisamente più rapida del rigido. Va sottolineato che i dati della figura non rappresentano il numero di imballaggi circolanti delle due categorie, ma l'intera massa; in valore assoluto la massa degli imballaggi flessibili risulta inferiore a quella dei rigidi, ma corrisponde certamente a un numero di imballaggi molto maggiore per la leggerezza dei flessibili rispetto ai contenitori di vetro o di metalli. In effetti con le materie plastiche si producono anche imballaggi che possono definirsi rigidi e, secondo alcuni, esiste una terza categoria di imballaggi, definiti semirigidi; in ogni caso il confronto proposto nella figura descrive una tendenza indiscutibile del settore.

La leggerezza non è l'unico vantaggio riconosciuto alla categoria dei flessibili (tabella 11.1). Spesso, ragioni economiche legate al costo dei materiali, delle macchine di riempimento o,

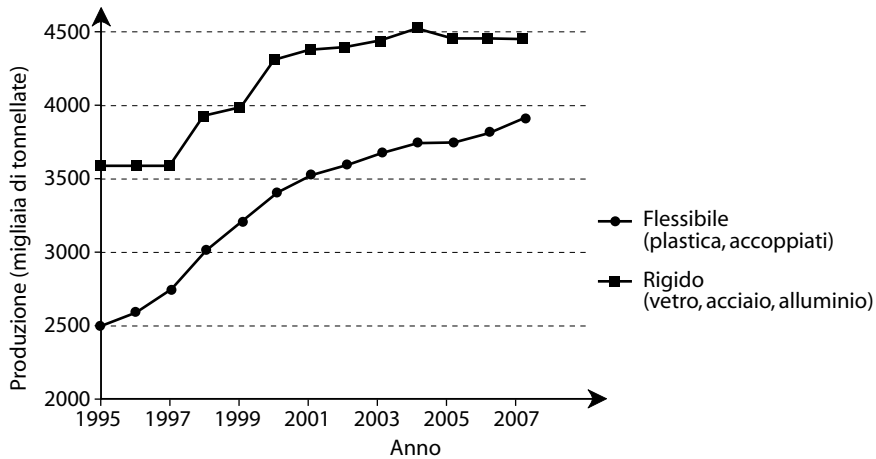


Figura 11.1 Confronto tra imballaggio rigido e imballaggio flessibile. (Su dati dell'Istituto Italiano Imballaggio, 2008)

Tabella 11.1 Potenziali vantaggi del confezionamento in imballaggi flessibili

- Minor peso della confezione
- Infrangibilità della confezione
- Nessun rischio (tagli o ferite) associato all'uso
- Minor costo dei trasporti
- Minor costo energetico di produzione
- Minor costo del materiale
- Minor ingombro del vuoto in magazzino
- Più efficace promozione del prodotto
- Più facile servizio della confezione
- Possibilità di produrre il contenitore all'atto del riempimento

ancora più spesso, ai costi logistici suggeriscono l'adozione di imballaggi leggeri e a perdere in sostituzione di quelli rigidi. Non sono poi da sottovalutare la più ampia libertà di forma – che è tipica del flessibile e consente un agevole rinnovamento delle confezioni e una maggiore attrattività dei prodotti – e l'importante possibilità di realizzare la confezione all'atto del riempimento. Tale possibilità, quasi esclusiva dell'imballaggio flessibile, consente di realizzare, riempire e chiudere l'imballaggio in un'unica operazione complessa, rendendo l'intero processo più efficiente, più rapido, meglio controllato e più economico. Questa opzione, indicata internazionalmente con la sigla FFS (*form fill seal*: formatura, riempimento, chiusura), è descritta in dettaglio nei paragrafi successivi.

11.2 Incarti e avvolgimenti

La forma probabilmente più antica e primitiva di confezionamento corrisponde all'uso di un materiale flessibile per avvolgere i prodotti da preservare. A tale scopo sono stati per lungo

tempo destinati materiali naturali di facile reperimento e non specificamente prodotti per questa funzione (foglie, tessuti, pelli ecc.). Oggi numerosi materiali diversi (cellulosici, plastici, estensibili e termoretraibili, cartoncini, fogli di alluminio ecc.) sono impiegati per realizzare, con tecniche manuali o completamente automatiche, avvolgimenti per il confezionamento primario o secondario o strutture multiple (multipack).

Per moltissimi prodotti alimentari solidi (quali frutti, caramelle, dadi, pani e fette biscottate) la prima forma di confezionamento e di presentazione è ancora oggi un semplice avvolgimento. Per ogni prodotto, in funzione soprattutto della forma e della consistenza, può essere necessario uno specifico materiale, un determinato tipo di avvolgimento e una specifica macchina di confezionamento. In questo paragrafo si descriveranno brevemente solo alcune tra le principali tipologie di avvolgimento o incarto.

11.2.1 Confezionamento a pacchetto (*parcel wrapping*)

È realizzato per prodotti delle più varie dimensioni, sia manualmente sia su macchine automatiche, ed è spesso reso stabile con punti di colla o termosaldature. Su prodotti di forma squadrata e ben definita le peculiari caratteristiche di “tenuta della piega” e di “memoria della torsione”, proprie dei materiali cellulosici (carte e cellophane), si rivelano fondamentali per una realizzazione soddisfacente del confezionamento; solo da pochi anni si riescono a utilizzare allo stesso scopo materiali plastici poliolefinici, sviluppati proprio per tenere al meglio la piega e imitare le peculiarità della carta. Anche sottili fogli di alluminio, eventualmente accoppiati a carta e film plastici, possono essere d’ausilio per garantire queste proprietà di piega così importanti nell’avvolgimento di prodotti solidi, come alcuni formaggi, dadi da brodo e moltissimi altri. Le linee di piegatura e di sovrapposizione dell’incarto possono essere molto diverse, a seconda dei casi, e condurre a impieghi più o meno razionali del materiale di avvolgimento (figura 11.2).

11.2.2 Confezionamento con avvolgimento a piega (*bunch fold wrapping*)

La definizione *bunch fold wrapping*, praticamente intraducibile, indica gli avvolgimenti realizzati su prodotti non squadrati e di forma irregolare (frutti, candies ecc.); tali avvolgimenti si presentano in genere lisci alla sommità e arrotolati, piegati e sovrapposti al fondo. In questi casi, oltre alla tenuta della piega, al materiale può essere richiesta la capacità di adattarsi a curve e rotondità del prodotto da avvolgere. I fogli sottili di alluminio e alcune carte particolarmente morbide sono specificamente adatti allo scopo. Nonostante la maggiore difficoltà, anche queste operazioni possono essere attuate da macchine automatiche, in grado di confezionare 300-600 pezzi al minuto, che di norma prima tagliano una porzione di materiale da

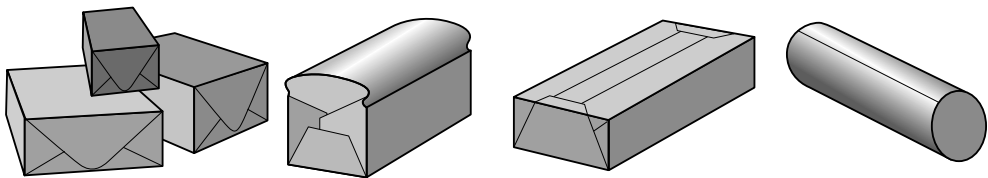


Figura 11.2 Alcuni esempi di *parcel wrapping*.

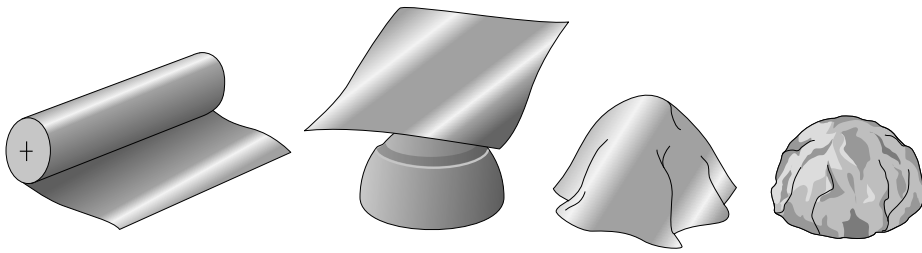


Figura 11.3 Fasi di un confezionamento con avvolgimento a piega.

una bobina e poi provvedono a realizzare l'avvolgimento e, eventualmente, a stabilizzarlo con adesivi (figura 11.3). Una caratteristica di queste macchine è avere dispositivi esclusivi, progettati sulla forma dell'oggetto da confezionare, per favorirne l'avvolgimento.

11.2.3 Confezionamento a doppio fiocco (*twist wrapping*)

È il classico confezionamento delle caramelle: dopo aver avvolto a tubo una porzione di materiale intorno al prodotto, le estremità vengono arrotolate in direzione opposta. Le macchine che realizzano il *twist wrapping* sono forse le confezionatrici più veloci in assoluto, potendo chiudere decine di caramelle al secondo. Non si utilizza alcun adesivo o termosaldatura per questa forma di avvolgimento, che si rivela comunque molto tenace, grazie alla capacità del materiale di tenere la piega (figura 11.4). Alcune macchine possono creare anche un doppio incarto, provvedendo ad avvolgere la caramella con un materiale diverso prima del *twist wrapping*. Altre sono in grado di realizzare, con poche modifiche e accessori specifici, avvolgimenti a singolo fiocco e altre forme di avvolgimento. Il materiale d'elezione per questo avvolgimento è stato a lungo il cellophane: brillante, facilmente stampabile e con le stesse caratteristiche di piega della carta. Da tempo tuttavia altri materiali sintetici, più leggeri e meno costosi, hanno rimpiazzato la cellulosa rigenerata.

11.2.4 Confezionamento con film estensibile (*stretch wrapping*)

Di notevole importanza nei reparti di confezionamento della grande distribuzione, questa tecnica consente di avvolgere prodotti (o, più spesso, vassoi e vaschette che li contengono) ed è largamente utilizzata per alimenti freschi, sia vegetali sia carnei (figura 11.5). Fondamentale è l'abbinamento tra la macchina che opera il confezionamento e il film estensibile. Per realizzare rapidamente e senza strappi il confezionamento stretch, occorre infatti impartire al materiale le giuste tensioni. Dopo essere stato tirato sul prodotto o sulla vaschetta dagli automatismi della macchina, il film viene sovrapposto sul fondo e termosaldato da una piastra calda, senza uso eccessivo del calore per le caratteristiche di adesività proprie dei film utilizzati, che

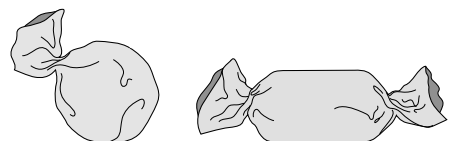


Figura 11.4 Avvolgimento a singolo e a doppio fiocco.



Figura 11.5 Confezioni flessibili realizzate con film estensibile.

sono per questo detti *cling film*. Il grado di allungamento delle pellicole impiegate in queste applicazioni varia dal 60 al 100%, ma può essere anche maggiore; in ogni caso è fondamentale la capacità del materiale di non subire dopo la distensione un rilassamento, che potrebbe ridurre la tenacità dell'avvolgimento. I materiali utilizzati sono per lo più film di PVC plastificato e film poliolefinici (EVA e LLDPE) – polimeri che presentano ottima trasparenza – ai quali sono aggiunti additivi antifog, per evitare fenomeni di appannamento, e che avendo alte permeabilità ai gas risultano ideali per i prodotti freschi sui quali sono impiegati.

Per favorire le cadenze delle macchine che li utilizzano, questi cling film sono formulati in modo diverso rispetto a quelli di uso domestico; le cadenze sono comunque molto inferiori a quelle citate in precedenza, arrivando al massimo a 50 confezioni al minuto. Recentemente è stata lanciata sul mercato una combinazione di macchina confezionatrice e film barriera estensibile, con l'obiettivo di realizzare con questa tecnica un confezionamento in atmosfera modificata per i prodotti più sensibili. Il materiale è un coestruso poliolefinico a 5 strati, con una barriera a base EVOH e bassi valori di permeabilità ai gas anche dopo lo stiro e il conseguente assottigliamento.

11.3 Riempimento di preformati flessibili (*bagging*)

Il *bagging* è spesso riferito come imbustamento o insacchettamento e rappresenta una soluzione intermedia tra l'avvolgimento più classico e il confezionamento in form fill seal. Nel capitolo 7 sono state già presentate le principali tipologie di sacchetti o buste realizzate con materiali cartacei; forme identiche, analoghe e più complesse, anche dotate di un fondo sta-

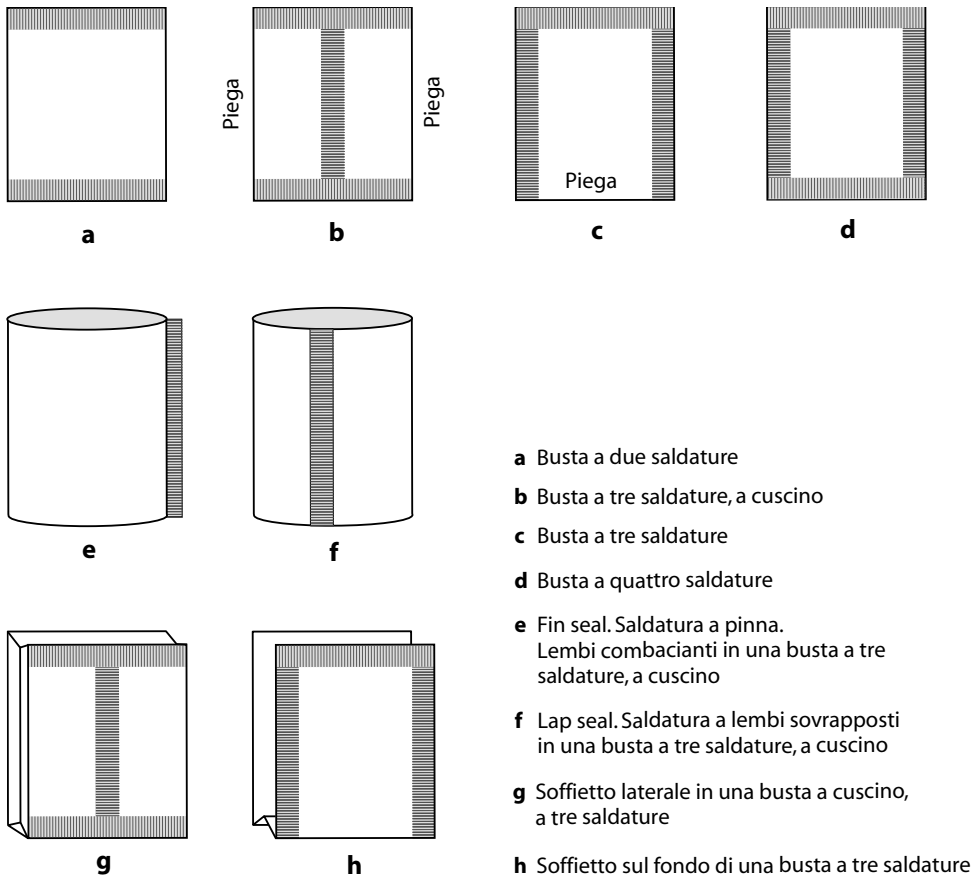


Figura 11.6 Diverse tipologie di buste flessibili.

bile, e per questo indicate come *stand up*, sono oggi prodotte con film plastici e strutture composite, a costituire il comparto delle buste o sacchetti preformati. Le principali tipologie di queste confezioni flessibili sono qui descritte brevemente per la loro crescente importanza nel settore e perché quasi tutte sono realizzate anche su macchine FFS che operano in continuo (vedi par. 11.4).

- Il modo più semplice per realizzare un sacchetto è partire da un tubolare di materiale plastico estruso da una testa circolare. Il taglio del tubolare e la realizzazione di due saldature trasversali alla sommità e al fondo, una delle due dopo il riempimento, costituisce la semplice tipologia di confezione flessibile detta busta a due saldature (*two weld bag*) (figura 11.6a). Per questa, come per tutte le altre forme descritte di seguito (a eccezione di quella a quattro saldature), è sempre possibile realizzare dei soffietti laterali (11.6g) attraverso una introflessione dei lati prima delle saldature trasversali. Le due tipologie sono dette, rispettivamente, busta piatta e busta con soffietto; quest'ultima garantisce una migliore riempibilità.

- Partendo da una porzione di materiale piano e ripiegandolo su di un lato, si realizzano le cosiddette buste a tre saldature, *three weld bag* (figura 11.6b,c). Anche in questa tipologia, che è certamente la più comune, è possibile inserire soffietti laterali o anche un singolo soffietto sul fondo (11.6h). Delle buste a tre saldature si definiscono ulteriori varianti, in funzione della posizione e della modalità della terza saldatura. Se il materiale piano è piegato lateralmente e la saldatura longitudinale attraversa le due trasversali, la confezione è detta busta a cuscino, *pillow pack - three weld bag with side seam*. La saldatura longitudinale, inoltre, può essere realizzata sovrapponendo il materiale (saldatura a lembi sovrapposti, *lap seal*) o con una saldatura a pinna, *fin seal* (figura 11.6e,f). Quest'ultima differenza non è di poco conto, per la diversa superficie di materiale richiesta per realizzare le due tipologie e, soprattutto, perché nel caso della saldatura a lembi sovrapposti è necessario avere caratteristiche saldanti su entrambe le facce del materiale. Nel caso in cui sia il fondo a essere ripiegato (figura 11.6c) e la terza saldatura sia quella alla sommità, si parla semplicemente di busta a tre saldature, *three weld bag with bottom fold*.
- L'ultima tipologia di confezione flessibile descritta è quella detta busta a quattro saldature, *four weld bag* (11.6d). In questo caso la confezione origina da due porzioni distinte di materiale piano (dello stesso materiale o di materiali diversi), che vengono sovrapposte e unite con saldature sui quattro lati.
- Un'ulteriore variante degli ultimi due tipi di buste (a tre e quattro saldature) è quella che conduce alle buste *stand up*, nelle quali un soffietto sul fondo (buste a tre saldature) o l'inserzione nel fondo di una porzione aggiuntiva di materiale (nelle buste a quattro saldature) conferisce l'autosostenibilità della confezione. Va segnalato, infine, che la praticità di queste buste, molto apprezzata dai consumatori, si completa a volte con un sistema di chiusura a zip, inserito sotto la saldatura della sommità, con sistemi di apertura facilitata, con l'inserzione di accessori per il consumo, con la realizzazione di versatori.

L'uso più classico delle buste e dei sacchetti preformati è legato a un riempimento estemporaneo e manuale; il riempimento può tuttavia essere automatizzato da molte macchine, impiegate frequentemente nell'ambito della grande distribuzione e del confezionamento conto terzi. Come già anticipato, un grande numero di materiali e strutture diverse viene impiegato per queste applicazioni; in quasi tutte, però, si manifesta l'esigenza di una specifica consistenza della busta (che si deve autosostenere o che è di grandi dimensioni), che viene raggiunta grazie all'impiego di materiali dotati di una certa rigidità, come le poliammidi, il poliestere e, ovviamente, la carta o il foglio sottile di alluminio. Sulle macchine di riempimento le buste di minori dimensioni sono impilate, o unite tra di loro da un sottile nastro adesivo rimuovibile, e vengono aperte, per essere riempite, grazie a leveraggi meccanici o soffi di aria compressa (figura 11.7). Alcuni modelli lavorano in verticale e altri in orizzontale, a se-

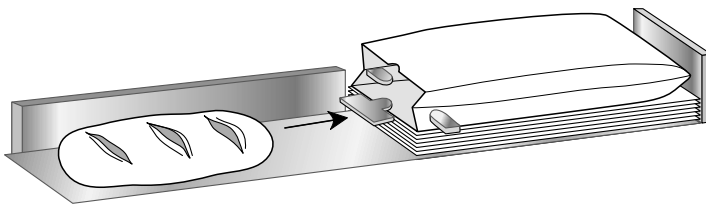


Figura 11.7 Sistema automatico di insacchettamento.

conda delle caratteristiche del prodotto. Il riempimento è seguito dalla chiusura della confezione, che può avvenire –sulla stessa macchina o in stazioni distinte dalla linea di riempimenti – in molti modi diversi: avvolgimento, punto metallico, termosaldatura eccetera.

11.4 Produzione, riempimento e chiusura degli imballaggi flessibili (form fill seal)

Come si è detto, le diverse confezioni flessibili a tre e a quattro saldature descritte in precedenza possono essere formate dalla stessa macchina che provvede a riempirle e a chiuderle. L'integrazione delle diverse operazioni rappresenta sicuramente un notevole vantaggio, sotto molti profili, ed è un'opportunità sostanzialmente esclusiva del settore del flexible packaging. Questo moderno concetto di packaging, introdotto negli anni Cinquanta, ha avuto modo di evolvere enormemente e oggi un grande numero di macchine e attrezzature operano secondo i suoi principi, in molteplici varianti, su imballaggi flessibili convenzionali o meno. Secondo la più classica e razionale delle classificazioni di questi sistemi, tali macchine sono suddivise in orizzontali e verticali.

11.4.1 Form fill seal orizzontale

In generale le macchine orizzontali sono destinate a prodotti solidi e con forma regolare; tuttavia nella versione che consente di racchiudere entro confezioni flessibili vassoi o vaschette, questi ultimi possono ovviamente contenere qualsiasi tipo di prodotto. Il form fill seal orizzontale (HFFS, horizontal form fill seal) è in effetti assai differenziato, decisamente più del verticale, e arriva a includere la termoformatura in linea (TFFS, thermoform fill seal). In questa variante due bobine alimentano la macchina automatica, una è avviata a una stazione di termoformatura, nella quale si formano le cavità di vaschette o vassoi (*bottom tray*), mentre la seconda fornisce il film per la termosigillatura del termoformato dopo il riempimento (*lid*) (vedi figura 8.22, p. 214).

Nelle versioni più classiche di HFFS, invece, il film che si svolge dalla bobina è avviato per mezzo di guide mobili sul *folding box*, un tubo formatore che, grazie al suo particolare disegno, favorisce la formazione di un tubolare intorno alla linea di riempimento (figura 11.8); questo tubolare, che si forma in continuo sulla macchina, viene spesso indicato come *flow pack*, un'espressione frequentemente utilizzata per indicare anche le macchine che operano

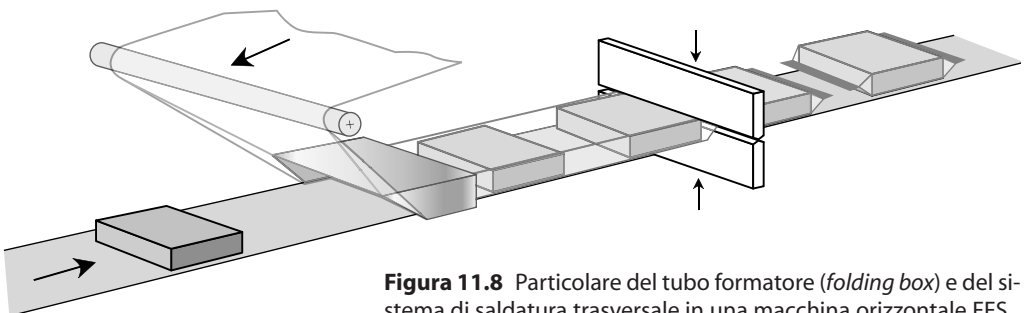


Figura 11.8 Particolare del tubo formatore (*folding box*) e del sistema di saldatura trasversale in una macchina orizzontale HFFS.

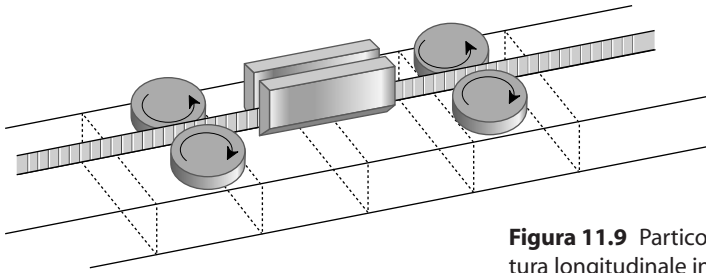


Figura 11.9 Particolare del sistema mobile di saldatura longitudinale in una macchina orizzontale FFS.

secondo il principio FFS. Il tubolare viene sigillato longitudinalmente mediante sistemi di termosaldatura che possono lavorare in modo intermittente (il flusso del materiale che si svolge dalla bobina si interrompe) o in modo continuo, attraverso sistemi saldanti mobili che seguono per un certo tratto il tubolare (figura 11.9). La saldatura longitudinale può avvenire, a seconda dei modelli, sul lato superiore o su quello inferiore della macchina; in ogni caso, è sostanzialmente contemporanea al riempimento. Il ciclo si completa con le saldature trasversali; queste avvengono in un'unica operazione, in quanto il sistema utilizzato provvede, di norma, a formare e a dividere con un taglio la seconda e la prima saldatura trasversale di due confezioni successive in un'unica battuta (figura 11.10). Anche le saldature trasversali possono essere a funzionamento intermittente o continuo e utilizzare vari sistemi di saldatura, in funzione del materiale utilizzato, della velocità richiesta e del prodotto da confezionare. Per gelati e prodotti rivestiti di cioccolato, per esempio, è molto comune l'uso di saldanti a freddo (vedi più avanti), per evitare che il calore danneggi i prodotti, e si impiegano quindi sistemi di sigillatura, sia longitudinale sia trasversale, basati quasi esclusivamente sulla pressione applicata sui lembi del materiale da congiungere. Altre macchine, che montano sistemi di saldatura a ultrasuoni, non richiedono tempi di preriscaldamento e sono immediatamente operative, risultando efficienti su molti materiali diversi.

Il confezionamento in HFFS è spesso combinato con altre operazioni; per esempio con il confezionamento in atmosfere protettive (vedi cap. 13). In questi casi una condotta di ali-

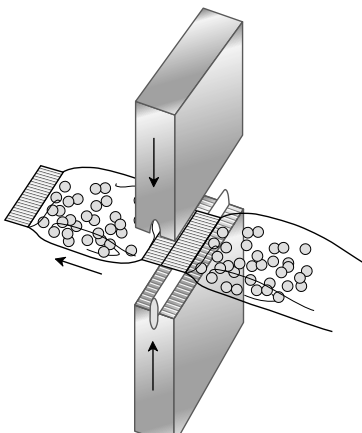


Figura 11.10 Particolare del sistema di saldatura trasversale in una FFS orizzontale.

mentazione dell'atmosfera è fatta entrare nel tubolare che si forma sulla macchina e determina in continuo la sostituzione dell'aria, attraverso un'operazione chiamata *gas flushing*. Il thermoform fill seal, ancora più frequentemente, è combinato con il confezionamento in atmosfere protettive in vuoto compensato, cioè introdotte dopo aver realizzato il vuoto nella confezione, o con un confezionamento ipobarico o sottovuoto. In tutti questi casi il funzionamento delle macchine è intermittente per dare tempo e modo di realizzare il vuoto, ed eventualmente di compensarlo con un'atmosfera modificata, nelle apposite stazioni della macchina. In diverse situazioni, inoltre, il confezionamento con termoformatura in linea è combinato con operazioni di riempimento in asettico. In apposite stazioni la vaschetta o il vassoio termoformato vengono sanitizzati con mezzi chimici e riempiti in condizioni asettiche con il prodotto che giunge dalla linea di sterilizzazione.

Un'ulteriore variante del confezionamento FFS in orizzontale è rappresentato dal sistema brevettato Cryovac Sealed Air BDF, che prevede l'uso di atmosfere protettive e di un film barriera termoretraibile. All'uscita dalla macchina HFFS le confezioni entrano in un tunnel ad aria calda, dove il film ha modo di termoretrarsi (*shrinking*), dando maggiore consistenza alla confezione e un'apparenza molto simile al confezionamento in stretch wrapping, particolarmente apprezzato dal mercato, che lo associa ai prodotti freschi.

Il riempimento della confezione che si forma sulle macchine può essere automatico o manuale; nel primo caso, possono essere utilizzati molti dei sistemi descritti nel capitolo 12.

11.4.2 Form fill seal verticale

Le macchine verticali sono in genere destinate a prodotti liquidi o solidi free flowing, cioè prodotti che possono essere facilmente movimentati mediante pompe o sistemi pneumatici, quindi prodotti granulari, in polvere o in piccoli pezzi. Il materiale piano che si svolge dalla bobina diventa un tubolare (flow pack) grazie al trascinamento su un dispositivo detto *forming shoulder*, un convogliatore triangolare, il cui disegno e le cui dimensioni sono fondamentali per la riuscita dell'operazione (figura 11.11).

Rispetto a quelle orizzontali, le FFS verticali (VFFS, vertical form fill seal) possono essere più lente perché la saldatura trasversale deve sostenere il prodotto contenuto all'interno del flow pack; pertanto, la fase deve essere protratta il tempo necessario affinché la saldatu-

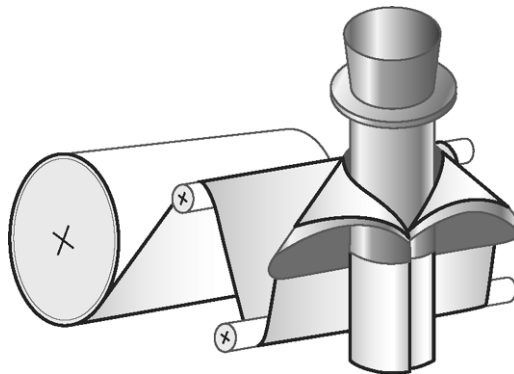


Figura 11.11 Dispositivo che consente di creare il flow pack in una macchina FFS verticale.

ra si raffreddi e diventi tenace (vedi oltre il problema dell'*hot tack*). Allo stesso tempo, un vantaggio esclusivo di questa configurazione è che la giunzione trasversale, nel confezionamento di un liquido, può essere condotta al di sotto del livello di riempimento, garantendo così la sostanziale assenza di aria dallo spazio di testa. Anche le VFFS sono spesso predisposte nella versione per atmosfere protettive e sono impiegate nel condizionamento asettico ancora più frequentemente che le HFFS.

11.5 Adesione e saldatura nella produzione di confezioni flessibili

La realizzazione delle giunzioni è una fase fondamentale nella produzione di un imballaggio flessibile, per numerose e diverse ragioni. I tempi richiesti per le saldature, per esempio, influenzano la rapidità di avanzamento del processo di confezionamento e, quindi, determinano la cadenza oraria della linea e la produttività del reparto; nelle moderne macchine sono quasi sempre inferiori al secondo. I tempi della fase di saldatura, sia quella longitudinale sia quelle trasversali, non possono ovviamente essere scelte a priori, ma dipendono dalle caratteristiche del materiale flessibile utilizzato e sono strettamente connessi alla tecnica adottata. La saldatura, inoltre, può influenzare la conservabilità del prodotto in relazione alla sua tenuta; una saldatura poco tenace o addirittura con delle discontinuità (microcanali) può determinare l'ingresso di aria o la fuoriuscita di atmosfere protettive e perfino l'ingresso di microrganismi. I maggiori punti critici di una saldatura su una busta realizzata in FFS riguardano gli angoli delle confezioni, i punti di incrocio tra saldature longitudinali e trasversali e la sovrapposizione degli strati, come mostra la figura 11.12. In questi punti infatti, specialmente per i materiali più rigidi e più spessi, la sovrapposizione di più strati ostacola la trasmissione di calore e il ripiegamento del materiale (negli angoli) fa sì che la saldatura sia sollecitata da forze contrastanti.

Una delle più importanti e fondamentali classificazioni suddivide le numerose tecniche diverse di sigillatura delle confezioni flessibili in sistemi di saldatura a caldo (*heat sealing*) e a freddo (*cold sealing*); i primi sono decisamente più comuni dei secondi. Le principali tecniche sono brevemente descritte di seguito.

11.5.1 Sistemi di saldatura a caldo

Questi sistemi prevedono l'effetto combinato del tempo, della pressione e del calore per portare a fusione uno strato polimerico saldante. Gli strati saldanti, in genere presenti su entrambe le superfici da sigillare, perdono ogni individualità, poiché le macromolecole polimeriche si intersecano e si concatenano (*entanglement*) e danno luogo a saldature tenaci. La situazione

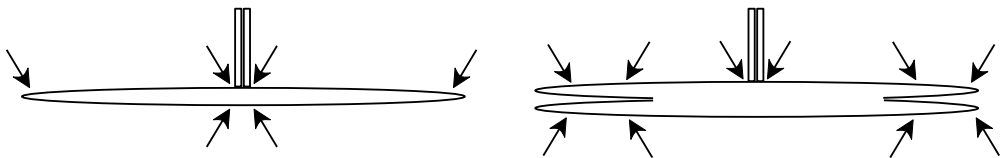


Figura 11.12 Sezione di buste a tre saldature, con e senza soffiato, con giunzione longitudinale a pinna. Le frecce indicano i punti più critici delle saldature.

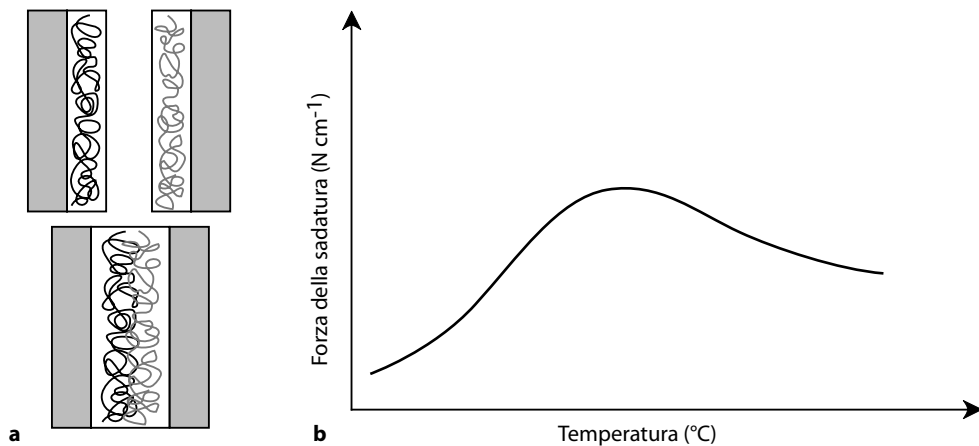


Figura 11.13 Rappresentazione del fenomeno di distruzione dell'interfaccia nella saldatura a caldo (a) e relazione tra temperatura e tenacità della saldatura (b).

ne che si determina nel cosiddetto heat sealing è rappresentata nella figura 11.13, nella quale è proposto anche l'effetto della temperatura (spesso prevalente rispetto a quelli di tempo e pressione) sulla forza della giunzione.

Come risulta dalla figura, alle più basse temperature di saldatura la forza di rottura della saldatura (espressa in N cm^{-1} , rappresentata in ordinata e misurata dopo il raffreddamento) è ridotta; raggiunge un massimo alla temperatura ottimale, che è in genere di qualche grado superiore a quella di fusione, e garantisce la distruzione dell'interfaccia e la massima interazione tra gli strati; aumentando ulteriormente la temperatura, tuttavia, la tenacità diminuisce per una maggiore mobilità degli strati saldanti, che si assottigliano nella zona di saldatura. Ovviamente le temperature determinanti sono quelle che si manifestano all'interfaccia e non quelle che normalmente vengono misurate sugli elementi saldanti delle macchine di confezionamento. Il calore necessario per realizzare la fusione può essere trasferito al materiale saldante per conduzione, irraggiamento, frizione o induzione.

11.5.1.1 Sistemi di saldatura a conduzione

Sono certamente i più utilizzati e impiegano elementi saldanti di varia forma e natura. I più comuni sono le barre saldanti: sono sempre metalliche, anche se a volte ricoperte di teflon o altri materiali, possono presentarsi lisce o zigrinate e trasferiscono per conduzione il calore generato dalla corrente elettrica che le attraversa. La coppia di barre saldanti (figura 11.14a) viene stretta sulla superficie da saldare da sistemi elettromeccanici, che possono modulare la pressione di saldatura e il tempo di contatto (*dwell time*). L'alimentazione delle barre è in genere continua, ma tale tecnica è utilizzabile solo se lo strato saldante è supportato da uno strato non saldante che trasmette il calore senza rammollire o fondere.

Esistono numerose varianti del sistema descritto. In diversi casi solo una barra è riscaldata e l'altra serve solo da contrasto; in altri le barre non sono rettilinee, ma hanno la stessa forma della parte che deve essere saldata, per esempio il contorno di una vaschetta o l'imboccatura di una coppetta; una variante molto comune sulle macchine FFS è quella propria

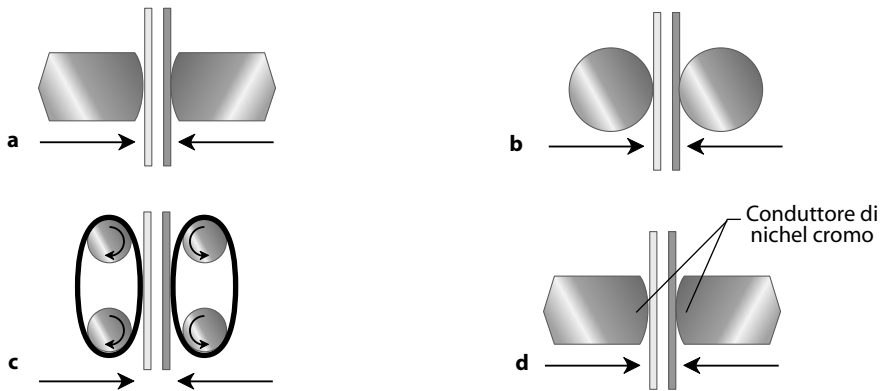


Figura 11.14 Diverse soluzioni di sistemi "a barre saldanti"; le frecce indicano la direzione del flusso del calore e del movimento delle barre.

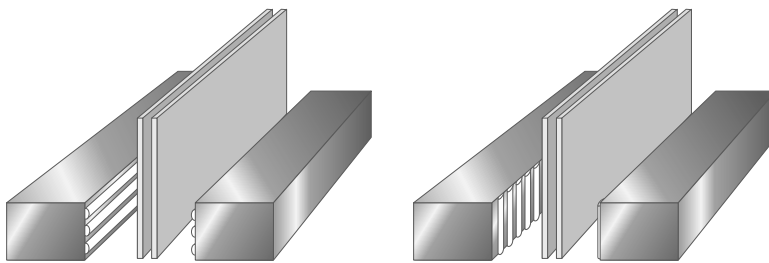


Figura 11.15 Barre saldanti con zigrinature orizzontali (a sinistra) e verticali (a destra).

dei sistemi mobili, come ruote saldanti o bande saldanti (figura 11.14b,c). Le barre zigrinate (figura 11.15) possono avere profili molto diversi e la scelta non è casuale, né ininfluente sull'efficacia della saldatura. La zigrinatura verticale è quella che fornisce la maggiore tenacità alla saldatura, ma è soggetta più frequentemente alla formazione di microcanali che pregiudicano la tenuta della stessa; tale difetto è assai meno probabile con le zigrinature orizzontali, che danno però saldature meno robuste.

Una sostanziale variante del sistema descritto è quella di saldatura a impulsi. In questo caso l'alimentazione è discontinua e a una fase di riscaldamento, che può essere anche molto breve e durare pochi decimi di secondo, ne segue una di raffreddamento delle barre ancora sotto pressione; talvolta il raffreddamento è accelerato mediante circolazione di un fluido refrigerante. Queste soluzioni, che indubbiamente allungano il tempo del ciclo di saldatura, sono indispensabili quando il materiale da saldare non è supportato da materiali conduttori e non fusibili (come carta o alluminio), e potrebbe fondere totalmente appiccicandosi alle barre saldanti, oppure quando tende a termoretrarsi per effetto del calore. Una soluzione molto diffusa per i sistemi di saldatura a impulsi consiste nel prevedere all'interno della barra un conduttore di nichel cromo alimentato elettricamente in modo intermittente, che ha la caratteristica di riscaldarsi e raffreddarsi velocemente (figura 11.14d). Nella tecnica cosiddetta a

filo caldo, un filo metallico sottile, percorso da corrente elettrica, si riscalda velocemente ed esegue contestualmente la saldatura e il taglio della confezione; ne deriva una saldatura molto sottile, quasi invisibile, non molto impiegata nel packaging alimentare in quanto non fornisce sufficienti garanzie di ermeticità.

11.5.1.2 Sistemi di saldatura a irraggiamento

Questi sistemi non prevedono conduttori e il calore, generato con diverse modalità, viene irraggiato verso le superfici da saldare. Sono in uso sistemi che impiegano radiazioni infrarosse, aria calda o addirittura fiamma. In ogni caso, raggiunta la temperatura di fusione i due lembi da congiungere sono compressi tra due elementi che provvedono a fornire la necessaria pressione per il tempo richiesto. I sistemi che impiegano aria calda o fiamma sono particolarmente adatti per i materiali di elevato spessore, nei quali la dispersione del calore trasferito per conduzione sarebbe eccessiva; altri sistemi radianti (a infrarossi) sono utilizzati per i materiali che nei comuni sistemi di saldatura si deformano eccessivamente, quali i film di PET orientato e il tessuto di fibre di HDPE (Tyvek).

11.5.1.3 Sistemi di saldatura a frizione

In questo caso il calore viene generato dall'intensa frizione causata dal movimento forzato di una superficie compressa su un'altra; la resistenza può essere sufficiente a far raggiungere la temperatura di fusione. I sistemi a frizione, ancorché poco utilizzati, potrebbero funzionare con molti materiali diversi e si rivelano particolarmente efficaci per quelli ad alto contenuto di cariche inorganiche. Tra i sistemi di saldatura a frizione sono da includere anche i dispositivi che sfruttano l'energia indotta dagli ultrasuoni. Correnti elettriche ad alta frequenza sono convertite in movimenti meccanici ad alta frequenza, che generano frizione e quindi calore nei punti ove è richiesto. Un'antenna genera vibrazioni a frequenze dell'ordine di alcune decine di kHz, sufficienti a fondere molte materie plastiche e non solo: il sistema di saldatura a ultrasuoni è infatti utilizzato anche per saldare il foglio sottile di alluminio. Sistemi che sfruttano gli ultrasuoni sono stati recentemente implementati in veloci macchine FFS orizzontali per la saldatura longitudinale di molti comuni materiali flessibili per il confezionamento alimentare, conseguendo un consistente risparmio energetico e una significativa riduzione del calore generato sui prodotti alimentari più sensibili alla temperatura.

11.5.1.4 Sistemi di saldatura a induzione

In questa categoria vengono riuniti, per praticità, i sistemi cosiddetti dielettrici, magnetici e, propriamente, a induzione. In generale il fenomeno dell'induzione elettromagnetica si manifesta quando un circuito, percorso da una corrente variabile, induce senza contatto – ma solo per via magnetica – una tensione in un circuito vicino; il campo magnetico generato dal secondo circuito risulta concatenato con quello generato dal primo circuito.

Nei *sistemi di saldatura dielettrici* un campo elettrico oscillante, ad alta frequenza, è usato per portare a fusione polimeri di natura polare, quindi sensibili alle oscillazioni di campo. Le applicazioni più comuni di questo sistema di saldatura riguardano il PVC, mentre le apolari poliolefine non sono assolutamente sensibili a questi sistemi e non si riscaldano minimamente. È lo stesso meccanismo che porta a riscaldamento i liquidi irraggiati con microonde: le molecole polari tendono ad assecondare le oscillazioni del campo elettrico e, nei rapidi movimenti che compiono, generano calore.

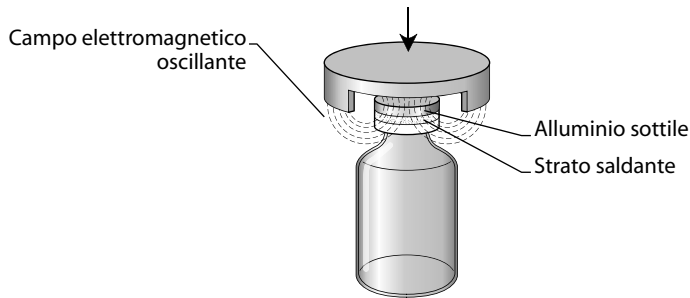


Figura 11.16 Saldatura a induzione di un sigillo di garanzia sull'imboccatura di un flacone.

Nei *sistemi di saldatura magnetici* è un campo magnetico oscillante ad alta frequenza che causa una vibrazione dei materiali magnetici. Le applicazioni di packaging sono rarissime e riguardano lacche e guarnizioni, alle quali vengono aggiunti composti contenenti ferro.

I *sistemi di saldatura a induzione*, propriamente detti, sono quelli con le più numerose e significative applicazioni di food packaging. Le più note riguardano l'adesione di guarnizioni e liner inseriti in accessori di chiusura (figura 11.16). Un intenso campo elettromagnetico alternante viene generato sopra la chiusura, che ha un rivestimento interno con una lacca o uno strato saldante applicato su un materiale conduttore, in genere un sottile strato di alluminio. Le correnti elettriche che si generano nello strato d'alluminio per effetto del campo elettromagnetico oscillante, riscaldano il metallo fino a portare a fusione lo strato polimerico saldante sottostante. Il metodo è largamente usato per far aderire guarnizioni e sigilli di garanzia sull'imboccatura di bottiglie e flaconi, sia di vetro sia di plastica.

11.5.1.5 Uso di colle termofusibili, *hot melt*

Per completare il quadro dei sistemi di sigillatura che fanno uso di calore, va segnalato anche l'impiego di colle termofusibili. Polimeri e copolimeri di natura poliolefinica (i più comuni sono copolimeri a base EVA), specifici per l'applicazione, sono depositati per punti o linee sulle zone da congiungere, dando luogo a saldature tenaci. Anche in questi casi, ovviamente, le variabili tempo, temperatura e pressione sono rilevanti per la riuscita. Gli hot melt sono una valida alternativa agli adesivi a freddo, evitando il problema del solvente residuo e riducendo i tempi di adesione, che sono legati a quelli di raffreddamento del polimero adesivo.

11.5.2 Sistemi di adesione a freddo

Molti prodotti alimentari a elevato valore aggiunto, come gelati, derivati del cioccolato e dolci, possono danneggiarsi per il calore generato dai sistemi saldanti delle macchine di confezionamento. In particolare molto prodotto deve essere scartato negli inevitabili tempi di cosiddetto "fermo macchina": quando, per vari motivi, la continuità del processo di confezionamento viene interrotta e i prodotti sostano per alcuni secondi sulle linee di confezionamento. Per tale ragione, fondamentalmente, sono stati introdotti sistemi di adesione/saldatura che non utilizzano il calore ma solo la pressione o riducono al minimo l'energia termica necessaria per congiungere i lembi del materiale. Questi sistemi, conosciuti come *cold*

seal, danno luogo a forze di adesione inferiori e offrono minori garanzie di ermeticità, configurandosi in alcuni casi anche come modalità per dare alle chiusure un plus di pelabilità (vedi anche par. 11.5.3), vale a dire la possibilità di apertura con il minimo sforzo e senza rottura del materiale e, talvolta, di parziale richiudibilità.

Esistono due metodi per realizzare adesioni a freddo: uno fa impiego di solventi in grado di dissolvere il polimero saldante e l'altro utilizza particolari sostanze adesive. In entrambi, il tempo e la pressione sono variabili importanti per la riuscita dell'operazione; in particolare la pressione nel caso degli adesivi, alcuni dei quali sono infatti anche indicati come *pressure sensitive cold seal*.

11.5.2.1 Saldanti a solvente

La distruzione dell'interfaccia e la possibilità di un esteso *entanglement* tra le macromolecole sono affidate all'azione solubilizzante di un solvente anziché a quella fondente del calore. L'applicazione non è molto comune in campo alimentare e presenta non pochi inconvenienti, poiché è indispensabile che dopo la dissoluzione del polimero saldante (peraltro, non è sempre facile individuare un efficace solvente a freddo di questi polimeri) il liquido sia completamente allontanato per migrazione ed evaporazione attraverso la struttura. Un residuo di solvente, infatti, indebolirebbe l'adesione e potrebbe creare difetti organolettici nel prodotto confezionato.

11.5.2.2 Saldanti a freddo

La formulazione più classica di questi particolari sigillanti prevede una sospensione acquosa di gomma naturale (latex) contenente antiossidanti per evitare la rapida degradazione dell'adesivo. Oggi esistono molte formulazioni diverse, contenenti polimeri e copolimeri sintetici (acrilici e vinilici), che aumentano l'adesività del materiale, plastificanti e numerosi altri ingredienti funzionali nella sospensione di latex. La sospensione umida viene applicata sul materiale flessibile da utilizzare solo nelle porzioni di superficie destinate a essere unite nella realizzazione dell'imballaggio, con un'operazione definita "a registro". Ragioni di costo del saldante, ma spesso anche di compatibilità con il prodotto alimentare, giustificano questa complicazione produttiva. Una volta evaporata l'acqua, il cold seal applicato risulterà in grado di aderire tenacemente solo su stesso: forze di coesione e non di adesione sono in gioco nella realizzazione delle giunzioni determinate da queste sostanze, che non dovrebbero quindi chiamarsi adesivi.

Il materiale laccato a registro con i cold seal può essere avvolto in bobina, anche se con un certo grado di impaccamento delle spire del rotolo, e sulle macchine di confezionamento le giunzioni saranno realizzate "a macchina fredda", con una modesta pressione delle zone rivestite dal saldante. La tenacità di queste giunzioni è molto variabile in funzione delle formule utilizzate e della grammatura depositata; anche la pressione esercitata può essere influente, ma non in modo determinante. In effetti, i cold seal sono differenti dagli adesivi *pressure sensitive*, che avendo forze di adesione più alte e permanenti devono essere protetti da un materiale (*release paper*) che ne prevenga l'adesione fino al momento dell'utilizzo finale.

Da qualche tempo si cercano efficienti alternative ai cold seal, che sono molto costosi, problematici nelle applicazioni e hanno determinato qualche caso di reazione allergica. Alcuni promettenti risultati parziali sono stati recentemente ottenuti con lacche saldanti a base di ingredienti naturali.

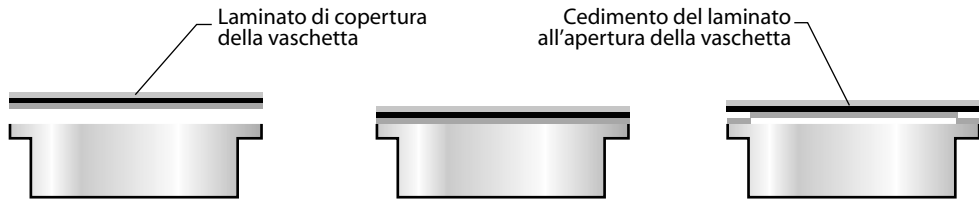


Figura 11.17 Sistema di saldatura pelabile, realizzata grazie all'indebolimento delle forze di adesione tra gli strati di un laminato.

11.5.3 Sistemi di apertura delle saldature

Come qualsiasi accessorio di chiusura, anche le saldature delle confezioni flessibili devono, al momento opportuno, potersi aprire senza difficoltà per il consumatore finale. Esistono molte soluzioni diverse per garantire tale risultato. La soluzione più semplice e classica è inserire una tacca come amplificatore di sforzo (vedi par. 3.3.2.2), che favorisce la lacerazione del materiale o della saldatura. Il posizionamento della o delle tacche sul lato o sul bordo superiore può dipendere anche dalla minore resistenza offerta dal materiale in una direzione o in quella ortogonale. In termini di resistenza, come già sottolineato, le saldature hanno punti di maggiore debolezza in corrispondenza delle pieghe e delle sovrapposizioni; di conseguenza sarà sempre richiesto uno sforzo minore per l'apertura se la saldatura viene sollecitata all'altezza della giunzione longitudinale a pinna (vedi figura 11.12). I risultati più recenti e interessanti in questo campo, tuttavia, riguardano le cosiddette *saldature pelabili* (vedi cap. 6), per le quali esistono numerosi brevetti diversi che vanno a interessare, in modo particolare, le chiusure delle vaschette, o dei corpi cavi in generale, realizzate termosaldando un film sul bordo della confezione.

Un metodo per realizzare un sigillo pelabile consiste nel disperdere finemente nel polimero saldante una resina diversa con temperatura di fusione più alta, che agirà interrompendo la continuità della saldatura e determinerà un modesto sforzo di apertura, senza rottura della busta o del coperchio della vaschetta. Un secondo metodo consiste nell'indebolire le forze di adesione tra lo strato saldante e quello sovrastante in una struttura multistrato. Al momento dell'apertura, esercitando un'azione di strappo, si determinerà una delaminazione del multistrato che porterà a rottura anche lo strato saldante in un punto prossimo alla saldatura (figura 11.17). Un terzo sistema impiegato per produrre saldature pelabili prevede l'utilizzo di due saldanti diversi sulle superfici da congiungere; anche in questo caso si determina una saldatura poco resistente, che si apre senza rottura del film.

In ogni caso, è opportuno segnalare che queste chiusure facilmente rimuovibili non sono quasi mai garanzia di lunghe shelf life e che nei casi in cui si debba optare per conservazioni molto estese e garanzie elevate di inviolabilità è sicuramente consigliabile una saldatura tenace di tipo tradizionale, sacrificando la praticità d'uso alla sicurezza del prodotto.

11.5.4 Valutazione dell'efficienza delle saldature

Nelle premesse di questo paragrafo è stata più volte sottolineata l'importanza che l'operazione di saldatura riveste per la sicurezza dei prodotti confezionati in imballaggi flessibili e non sorprenderà che per valutarne l'efficienza siano da tempo in uso molti sistemi differenti. La

garanzia di integrità ed ermeticità delle confezioni flessibili è un obiettivo particolarmente importante per i prodotti alimentari più deperibili e quando si impiegano atmosfere protettive o condizionamenti sottovuoto; in questi casi la tendenza è sviluppare sistemi che possano valutare l'efficienza delle saldature e l'assenza di microfori direttamente sulla linea di confezionamento e su tutta la produzione. Di seguito sono brevemente descritti i principali (e anche molto differenti) sistemi in uso per verificare l'integrità delle confezioni flessibili e l'efficienza delle saldature.

11.5.4.1 Test di trazione

Il sistema maggiormente diffuso e impiegato per caratterizzare una saldatura effettuata su un imballaggio flessibile consiste nel sottoporre la superficie di saldatura a un test di resistenza alla trazione (vedi par. 3.3.2.1). Tra le diverse procedure standardizzate per effettuare questo test, quelle della ASTM sono le più utilizzate. Il provino è ritagliato dalla saldatura e sollecitato in trazione come mostrato nella figura 11.18a, registrando il massimo valore di forza prima della rottura, che viene rapportato alla larghezza del provino; il massimo valore di N cm^{-1} registrato è assunto, convenzionalmente, come resistenza della saldatura e valori pari o superiori a $2,5\text{-}3 \text{ N cm}^{-1}$ sono normalmente ritenuti soddisfacenti. Ciò che si misura non è propriamente la resistenza della saldatura effettuata, quanto il cedimento del materiale saldato. Valutazioni meccaniche più accurate sono ovviamente possibili, ma la tendenza è quella di determinare empiricamente parametri che possano riferirsi concretamente alle reali condizioni d'uso e di impiego.

11.5.4.2 Test di scoppio e prove analoghe

La confezione sigillata viene gonfiata introducendovi aria fino a determinarne l'apertura o la rottura. Un ago, collegato a una bombola d'aria compressa, è introdotto nella confezione attraverso un setto di gomma siliconica incollato sulla busta, che viene mantenuta tra due superfici piane rigide, come mostra la figura 11.18b. In questo dispositivo la pressione determinata dall'aria introdotta sollecita dall'interno le saldature, portandole a distaccarsi. Una variante di questi sistemi prevede che la confezione sia messa in pressione, registrando successivamente

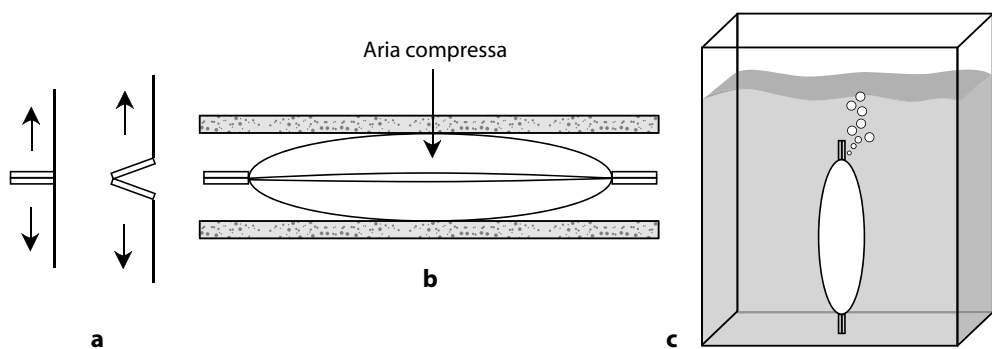


Figura 11.18 Provino di saldatura sottoposto al test di trazione (a); confezione flessibile sottoposta al test di scoppio (b); confezione flessibile sottoposta al bubble test (c).

l'evoluzione del valore nel tempo; la riduzione della pressione sarà molto rapida in caso di saldature difettose e molto lenta se invece dovuta a permeazione attraverso le pareti integre.

In alternativa, la confezione flessibile può essere mantenuta sott'acqua per osservare la fuoriuscita di bolle d'aria dai difetti di integrità (*bubble test*, figura 11.18c). Nel *bubble test* l'imballaggio flessibile può essere preventivamente gonfiato oppure, in alternativa, sottoposto a valori crescenti di depressione per accelerare il fenomeno e sollecitare prudenzialmente le saldature.

11.5.4.3 Metodi non distruttivi

Per analizzare l'efficienza delle saldature, sono stati proposti sistemi complessi e sofisticati di uso molto limitato, ma con prestazioni estremamente elevate. Si può ricorrere all'analisi di immagini rilevate mediante sistemi a ultrasuoni, a risonanza magnetica e per mezzo di microscopi ottici ed elettronici. Radiazioni IR, laser e raggi X sono stati proposti per ricercare difetti nelle confezioni flessibili. Nel caso di prodotti in atmosfera modificata, sono stati proposti sensori di CO₂ molto sensibili e rapidi, che possono rivelarne la fuoriuscita da un qualsiasi difetto di continuità dell'imballaggio. Sensori specifici all'elio e all'idrogeno sono stati proposti per il controllo in linea, previa additivazione di piccolissime quantità di questi gas alle atmosfere interne.

11.5.4.4 Test di penetrazione

Sulle confezioni flessibili possono essere effettuati, a campione, test di abuso, distruttivi, che danno indicazioni sull'efficienza delle saldature e sull'integrità degli imballaggi. In queste prove si può anche seguire la diffusione di un colorante addizionato di un tensioattivo e introdotto nella confezione. Osservazioni microscopiche, in un tempo medio lungo, possono mettere in evidenza la diffusione del colorante lungo canali presenti nelle saldature.

Un test analogo consente di valutare la penetrazione di microrganismi attraverso difetti delle saldature. Sulla confezione da testare si spruzza un aerosol contenente *Enterobacter aerogenes* (per alimenti con pH >5,0) o *Lactobacillus cellobiosis* (per pH <5,0); dopo adeguata incubazione, la presenza di difetti è rivelata dalla comparsa di inequivocabili segni di proliferazione microbica all'interno delle confezioni. Con questi metodi possono essere evidenziate discontinuità anche inferiori a 10 µm di diametro.

11.5.4.5 Tenuta a caldo, hot tack

La tenuta a caldo è definita come la capacità di una saldatura di resistere a una sollecitazione meccanica, quando il materiale saldante è ancora prossimo alla temperatura raggiunta per la saldatura. È una proprietà molto importante per le macchine FFS e in particolare, come è già stato sottolineato, per quelle verticali. Viene misurata mediante test di trazione condotti a temperature controllate in appositi dispositivi, che operano secondo le norme che oggi disciplinano questo tipo di determinazione. Le curve forza verso temperatura che si raccolgono con questi test hanno la stessa forma di quelle ottenute nei test di resistenza (vedi figura 11.15), ma le forze in gioco sono decisamente inferiori in quanto misurate sulla saldatura ancora calda. Alcuni polimeri mostrano una tenuta a caldo decisamente migliore di altri. È il caso degli ionomeri (par. 8.4); queste poliolefine modificate, infatti, contenendo nelle loro macromolecole anche legami di tipo ionico, sono in grado di dare saldature tenaci anche ad alte temperature.

Una condizione che influenza la forza di una saldatura, al pari della temperatura, è la presenza di unto o polveri. È ovviamente molto verosimile che, durante il funzionamento di una macchina di confezionamento di prodotti alimentari, la superficie destinata alla saldatura si imbratti o si impolveri per la presenza dell'alimento, rendendo più problematica o più discontinua la distruzione dell'interfaccia e l'interazione tra gli strati saldanti. Così come viene testata l'efficienza delle saldature ad alta temperatura, con procedure standardizzate si valuta la capacità di un materiale saldante di tenere anche in presenza di contaminanti.

Gli esercizi di autovalutazione di questo capitolo si trovano a pagina 524

Bibliografia

- ASTM (2007) *ASTM Packaging Standards and Related Technical Material: 7th Edition*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bardsley RF (1986) Form Fill Seal, Horizontal. In: Bakker M (ed) *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. John Wiley & Sons, New York, pp. 364-367.
- Bentley DJ Jr (2006) *About Cold Seal Adhesives. Paper, Film and Foil Converter* (http://pffc-online.com/mag/cold_seal_adhesives_0106/).
- Farris S, Piergiovanni L, Ronchi G, Rocca R (2008) *Edible matrices and relevant applications and preparation method*. International Patent WO 2008/075396 A1.
- Iascone B, Iascone P (2008) *Imballaggio in cifre. Consuntivo generale 2007 dell'Industria italiana dell'Imballaggio*. Istituto Italiano Imballaggio, Milano.
- Lee DS, Yam KL, Piergiovanni L (2008) *Food Packaging Science and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 313-353.
- Moyer GR (1986) Form Fill Seal, Vertical. In: Bakker M (ed) *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. John Wiley & Sons, New York, pp. 367-369.
- Paine FA, Paine HY (1992) *A Handbook of food packaging* (2nd ed). Blackie Academic & Professional, London, pp. 97-166.
- Selke SEM, Culter JD, Hernandez RJ (2004) *Plastics Packaging* (2nd ed). Carl Hanser Verlag, Munich, pp. 180-191.
- Young WE (1986) Sealing Heat. In: Bakker M (ed) *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. John Wiley & Sons, New York, pp. 574-578.