

Capitolo 12

Operazioni di riempimento

12.1 Introduzione

L'operazione di riempimento è di fondamentale importanza nel ciclo di produzione e confezionamento dei prodotti alimentari, poiché da essa dipendono in buona misura la stabilità e la conservazione del prodotto confezionato. Tale fase richiede non solo massima precisione e affidabilità, senza interruzioni e perdite di produzione, ma anche garanzia di igienicità. Non si tratta di un'operazione semplice: le macchine destinate al riempimento, infatti, non possono essere considerate unità indipendenti, perché fanno parte di un sistema di componenti interconnessi che devono essere sincronizzati con esattezza. La stazione di riempimento è generalmente considerata la fase più critica della linea: le macchine che precedono la riempitrice sono programmate per lavorare a una velocità teorica superiore a quella della riempitrice stessa, in modo tale che quest'ultima non si trovi mai priva di contenitori. Allo stesso modo, le macchine successive alla stazione di riempimento devono essere più veloci di questa, per allontanare rapidamente i contenitori pieni senza creare problemi di accumulo.

Nella valutazione dell'efficienza di un impianto di riempimento la velocità e la sincronizzazione delle operazioni a monte e a valle non sono tutto: altri fattori rilevanti sono la produzione oraria – strettamente correlata al mantenimento di basse percentuali di scarti – e la flessibilità in fatto di formati e volumi, ossia la possibilità di trattare un'ampia gamma di prodotti con la medesima riempitrice, che in questo modo viene sfruttata al massimo.

L'accuratezza nel riempimento è un ulteriore parametro di cui tener conto nella scelta dell'impianto. Riempimenti al di sotto dei volumi o dei livelli predefiniti possono condurre a problemi di ordine legale, mentre i costi aggiuntivi connessi al riempimento eccessivo dei contenitori incidono senza dubbio sull'economia del processo. L'accuratezza dell'operazione può essere espressa in termini di riempimento medio e di deviazione standard. Assumendo che il riempimento sia descritto da una funzione di distribuzione normale, si impone che il 99,73% dei contenitori stia entro i limiti di 3 deviazioni standard dal valore medio del peso o del volume di riempimento. Il peso di riempimento medio è impostato a un valore al di sopra di tre deviazioni standard rispetto al peso dichiarato in etichetta (figura 12.1): in questo modo meno dello 0,13% delle confezioni avrà la probabilità di avere un riempimento inferiore al valore dichiarato in etichetta. Quanto più accurato è il sistema di riempimento, tanto minore è la deviazione standard e tanto più il riempimento effettivo si avvicina al riempimento dichiarato, evitando problemi di ordine legale.

Le macchine riempitrici hanno generalmente uno sviluppo orizzontale lineare o circolare, a seconda della tipologia di prodotto. Nel primo caso, le riempitrici trasportano i contenito-

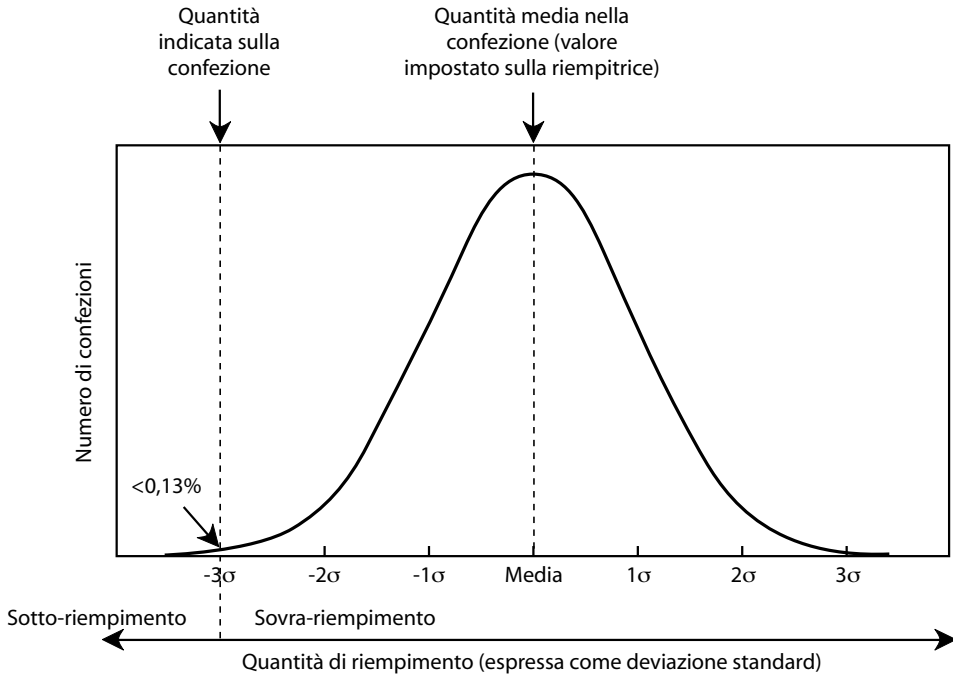


Figura 12.1 Funzione di distribuzione gaussiana del riempimento.

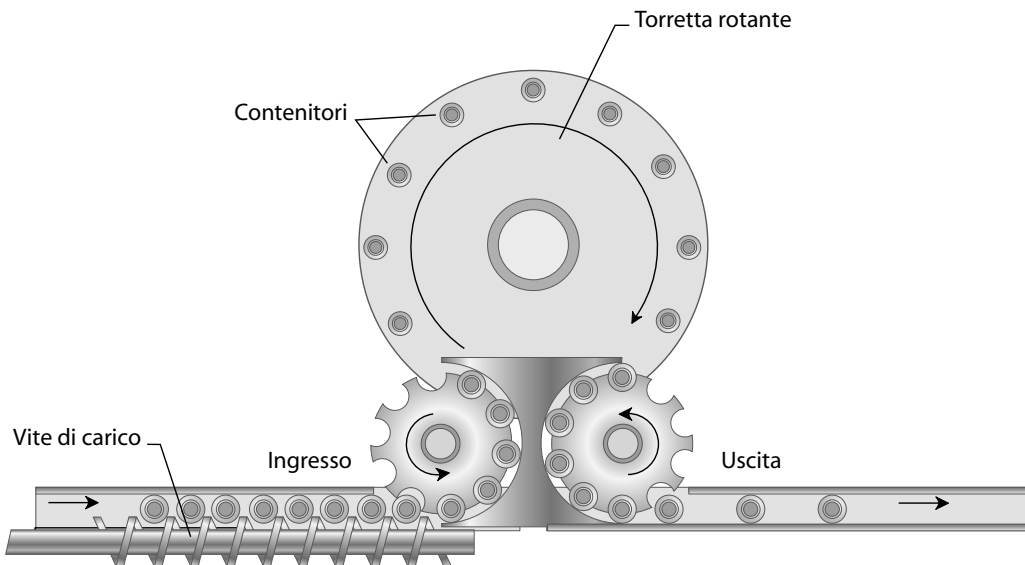


Figura 12.2 Schema di impianto di riempimento rotativo (vista dall'alto).

ri in corrispondenza delle teste di riempimento, che si possono spostare contemporaneamente al contenitore per ottenere un riempimento continuo. Più frequentemente, invece, le teste di riempimento si muovono con moto intermittente, con velocità operative che raggiungono le 150 unità per minuto. Il numero delle stazioni di riempimento o delle valvole può essere aumentato per incrementare la velocità di produzione. Le macchine più complesse sono dotate di trasportatori a doppia alimentazione, con teste di riempimento che si alternano tra le due; in questo modo la riempitrice può lavorare su una linea di alimentazione, mentre sull'altra si trasportano i contenitori.

Le macchine riempitrici con sviluppo circolare trasportano il contenitore fino a una torretta rotante in cui le valvole di riempimento lavorano sul contenitore in movimento (figura 12.2). I contenitori sono trasportati attraverso una vite di distribuzione temporizzata che alimenta la ruota a stella e permette l'inserimento del contenitore nella torretta di riempimento. Una volta pieni, i contenitori vengono scaricati – grazie a una ruota a stella di uscita – su un nastro trasportatore posto sul lato opposto. La velocità di funzionamento delle riempitrici rotative è più elevata rispetto a quella delle macchine che lavorano a moti intermittenti, ma è possibile regolare e aumentare tale parametro in funzione del diametro della torretta, del numero di valvole e delle dimensioni del contenitore.

La scelta di un sistema di riempimento deve essere effettuata anche sulla base delle caratteristiche dell'alimento e della tipologia di confezionamento. I prodotti alimentari sono infatti molto eterogenei e, per quanto concerne l'operazione di riempimento, si è soliti suddividere gli impianti a seconda che siano dedicati a prodotti solidi o liquidi, tenendo però anche in considerazione fattori tra loro molto diversi, come l'umidità, la densità, la capacità di agglomerarsi, la viscosità, il grado di carbonatazione e la presenza di più ingredienti. I prodotti secchi, per esempio, comprendono alimenti con dimensioni e caratteristiche diverse: polveri di diversa granulometria, densità e con diversa predisposizione ad agglomerarsi; alimenti (come gli snack e i cereali per la colazione) che, essendo granulari e fragili, devono essere movimentati con cautela ecc. Per questa categoria di prodotti i sistemi di riempimento sono di norma basati sul volume, sul peso oppure sul conteggio.

Anche tra i prodotti liquidi è possibile, in realtà, fare differenziazioni per individuare il miglior sistema di riempimento. I liquidi, infatti, comprendono prodotti a bassa, media e alta viscosità e il sistema di riempimento non potrà prescindere da fattori quali temperatura, tensione superficiale, tendenza a trascinare aria e a formare schiuma. Le bevande carbonatate o gasate come i soft drink richiedono invece sistemi di riempimento che consentano di modulare la pressione di CO₂ aggiunta evitando l'eccesso di schiuma. Solitamente per bevande piatte (non gasate) si utilizzano riempitrici a livello costante, mentre per quelle gasate sono preferibili macchine funzionanti a contropressione (isobariche).

Altri prodotti sono costituiti da una miscela di più ingredienti: le conserve vegetali, per esempio, contengono verdure in un liquido di governo; le zuppe istantanee contengono pasta, verdure essiccate e condimenti liofilizzati. Tali costituenti, avendo densità e geometrie differenti, tendono a separarsi; di conseguenza, la preparazione del prodotto finale richiede stazioni di riempimento separate per ogni ingrediente.

Come accennato, anche la tipologia di contenitore può influenzare la scelta dell'impianto di riempimento. Contenitori rigidi in vetro o in metallo possono essere riempiti mediante applicazione di alte pressioni o di vuoto, perché in grado di resistere a sforzi sull'imboccatura e sulle pareti laterali durante il riempimento e il trasporto. Al contrario, i contenitori semirigidi (per esempio, le bottiglie di plastica stampate per soffiaggio) non possono sostenere gli stessi sforzi di quelli rigidi; per tale motivo, i livelli di pressione e di vuoto durante le fasi di riempimento devono essere opportunamente controllati. Nel caso di bottiglie in PET la fase

di riempimento può essere caratterizzata da un monoblocco di soffiaggio e riempimento, che inizia la lavorazione a partire dalle preforme delle bottiglie, oppure da una riempitrice preceduta da una stazione di alimentazione delle bottiglie. Gli imballaggi flessibili (buste, sacchetti ecc.) nel corso del riempimento non mantengono le loro dimensioni e devono, pertanto, essere trattieneuti da sistemi di fissaggio; per tali imballaggi, inoltre, che non possono essere riempiti fino a un livello specificato, sembra più indicato l'impiego di riempitrici volumetriche a pistone che spingono il prodotto nel contenitore.

12.2 Riempimento con liquidi e prodotti alimentari umidi

Nella scelta dell'impianto di riempimento per liquidi e prodotti a umidità elevata, è fondamentale la conoscenza della viscosità. Bevande come acque, vini, aceti e soft drink hanno valori di viscosità molto bassi, compresi tra 1 e 10 centipoise (cp); gli oli vegetali e alcune salse presentano valori di viscosità medi (10-2000 cp); preparazioni alimentari come ketchup e maionese sono molto viscosi, avendo valori superiori a 2000 cp. A seconda degli ingredienti, anche prodotti semiliquidi possono avere valori di viscosità superiori a 10000 cp ed essere, quindi, definiti semisolidi o pastosi. È importante ricordare che la viscosità si modifica con la temperatura e che questa può variare nel corso delle operazioni che precedono il riempimento, come nel caso degli oli vegetali e delle salse a base di pomodoro.

Un altro fattore di rilievo è il livello di carbonatazione delle bevande, che può variare da valori di 1,5 volumi per alcuni soft drink a base di limone a 5 volumi per altri soft drink. È utile sapere che un volume di CO₂ disciolta corrisponde a circa 2 g L⁻¹ e produce la pressione di 1 atmosfera a temperatura ambiente. Infine, particolari accorgimenti devono essere adottati in tutti i casi in cui sia richiesto un riempimento asettico (per opportuni approfondimenti, vedi il capitolo 13).

Vi sono diverse modalità di classificazione dei metodi di riempimento per i prodotti liquidi e per quelli a umidità elevata. La più diffusa prevede la suddivisione in due grandi categorie: sistemi nei quali una guarnizione a tenuta (definita anche anello di tenuta) è applicata al dispositivo di riempimento e quelli in cui il contenitore è lasciato aperto all'atmosfera durante il riempimento. Per tali prodotti è poi possibile distinguere due modalità di riempimento: a volume costante, che consente di immettere nei contenitori una quantità di liquido determinato, indipendentemente dal volume del contenitore, e a livello costante, che provvede a introdurre nel contenitore il prodotto fino a un livello di riempimento fisso, anche se i contenitori presentano leggere variazioni di volume. L'operazione di riempimento può avvenire dall'alto o dal basso. Nel primo caso si realizza inserendo l'ugello nel collo del contenitore fino al livello di riempimento desiderato e facendo cadere il prodotto direttamente sul fondo oppure indirizzando il liquido verso i lati, in modo che scorra sulle pareti con il minimo di turbolenza e ingresso di aria. Nel metodo di riempimento dal basso la cannula viene inserita fino al fondo del contenitore, facendola poi salire gradualmente man mano che avviene il riempimento. In questo modo si riduce la formazione di schiuma, si minimizza l'ingresso di aria nel prodotto, si eliminano le bolle d'aria nei prodotti semisolidi e si evita la perdita o la riduzione delle sostanze volatili.

12.2.1 Riempimento a livello predeterminato

I contenitori possono avere volumi leggermente diversi a causa di variazioni dello spessore delle pareti; di conseguenza, se i contenitori venissero riempiti a volume costante, i livelli

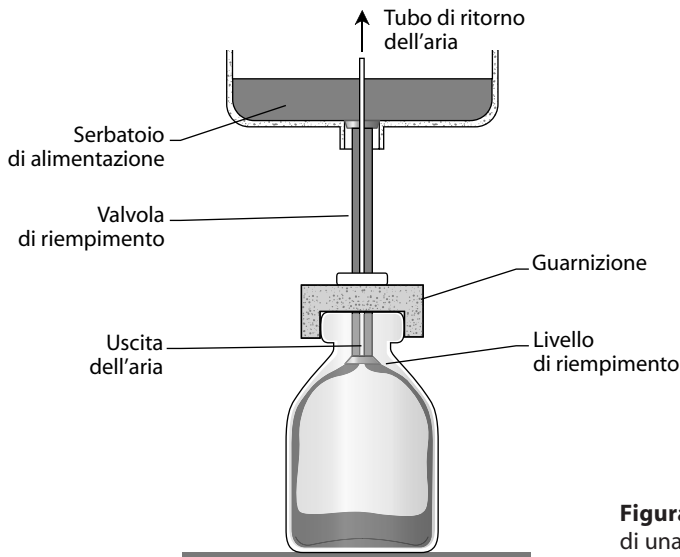


Figura 12.3 Schema di funzionamento di una riempitrice per gravità.

dell'altezza di riempimento varierebbero di contenitore in contenitore. Il riempimento a livello predeterminato consente di ovviare a questo inconveniente e può essere realizzato secondo diversi principi:

- per gravità (a pressione atmosferica, sottovuoto, in pressione);
- sottovuoto;
- in pressione;
- per misurazione di livello.

Il dosaggio e riempimento per gravità semplice (figura 12.3) prevede che il prodotto scorra da un serbatoio di alimentazione attraverso una valvola che viene azionata dalla bottiglia quando viene a trovarsi sotto la stazione di riempimento. L'aria contenuta nel contenitore fuoriesce attraverso un tubo di sfiato, la cui estremità inferiore è impostata sul livello di riempimento desiderato mentre quella superiore finisce all'aria aperta, al di sopra del livello del liquido nel tank di alimentazione. Quando il livello del liquido nel contenitore raggiunge l'estremità inferiore del tubo, l'aria non può più uscire e il travaso si arresta. A questo punto il contenitore si avvia verso la fase di chiusura. È un sistema semplice e di facile manutenzione, molto utilizzato per le bevande non carbonatate e per gli oli. L'areazione è ridotta al minimo e il dosaggio che si ottiene è accurato.

Il riempimento per gravità può essere anche realizzato sottovuoto o in pressione. Impo- nendo una sovrappressione in testa al prodotto oppure creando il vuoto all'interno del contenitore, è anche possibile accelerare o controllare il flusso di gravità. L'equazione di Hagen-Poiseuille espressa per i fluidi newtoniani con flussi di tipo laminare (eq. 12.1) e per quelli con flussi turbolenti (eq. 12.2) spiega tale comportamento.

$$\dot{V} = \frac{\pi \Delta p D^4}{128 \mu L} \quad (12.1)$$

$$\dot{V} = \sqrt{\frac{\pi^2 \Delta p D^5}{32 \rho f L}} \quad (12.2)$$

dove:

\dot{V} ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) = velocità di riempimento volumetrico;

p = differenza di pressione (Pa);

D = diametro del tubo (m);

μ = viscosità (Pa s);

L = lunghezza del tubo (m);

ρ = densità (kg m^{-3});

f = fattore di frizione di Fanning che dipende dalla velocità di flusso.

Dalle equazioni si evince che la velocità di flusso nel tubo di riempimento è proporzionale alla differenza di pressione attraverso la lunghezza del tubo, nel caso di flussi laminari a bassa velocità, e alla radice quadrata della differenza di pressione, nel caso di flussi turbolenti. Impostando alte differenze di pressione o aumentando il diametro del tubo è possibile incrementare la velocità di riempimento.

Il sistema di *riempimento per gravità sottovuoto* (figura 12.4) è simile a quello per gravità semplice, ma l'estremità superiore del tubo di sfiato anziché terminare all'aria aperta comunica con un serbatoio mantenuto in leggera depressione (0,05-1,15 bar al di sotto della pressione atmosferica). Questa depressione viene estesa anche all'interno del contenitore, non appena il collo viene sigillato con un'apposita guarnizione a tenuta. Nel contenitore il prodotto in eccesso viene poi risucchiato, impedendo così che superi il livello di riempimento. Tale riempitrice è adatta a liquidi viscosi e piatti ed è largamente utilizzata per l'imbotigliamento di vini e liquori, poiché evita perdite di aromi e di alcol. I contenitori in vetro

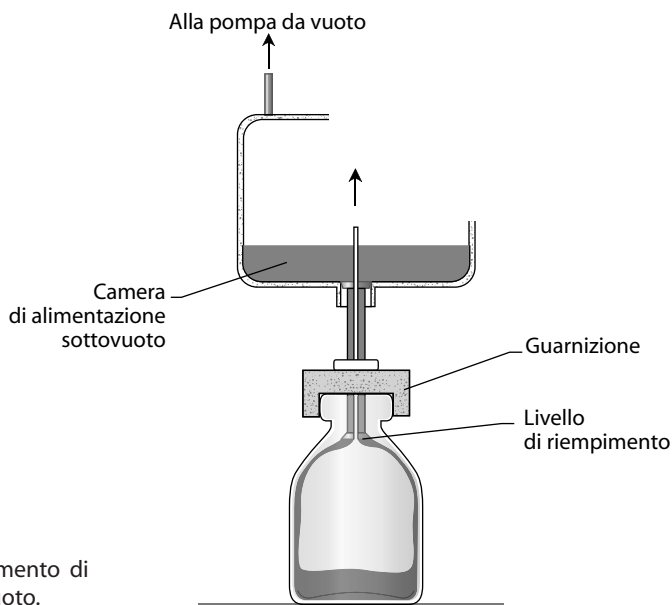


Figura 12.4 Schema di funzionamento di una riempitrice per gravità sottovuoto.

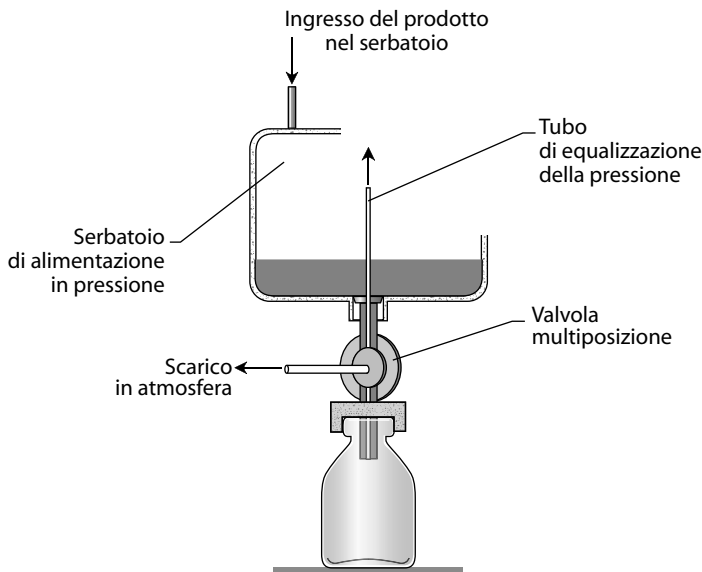


Figura 12.5 Schema di funzionamento di una riempitrice per gravità in pressione.

non presentano particolari problemi con questo sistema di riempimento; al contrario, nei contenitori in materiale plastico, il collasso o la deformazione causata dal vuoto può rendere difficile o addirittura impossibile il riempimento a livello predeterminato. Sistemi a vuoto pulsato sono talvolta impiegati per fare in modo che le sottili pareti dei contenitori si flettano verso l'interno e verso l'esterno, favorendo il movimento verso lo sfiato dell'eventuale schiuma.

Il *riempimento per gravità in pressione* viene utilizzato principalmente per le bevande gassate (figura 12.5); infatti, all'atto del riempimento questi liquidi sono mantenuti a una temperatura bassa (in genere vicina a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) e sotto pressione per garantire una perdita minima di gas addizionato ed eliminare la schiuma. Anche in questo caso la forza che determina lo scorrimento del liquido è la gravità, ma il liquido passa da un serbatoio raffreddato e pressurizzato con CO_2 alla testa di riempimento. La pressione nel tank di alimentazione è mantenuta intorno a valori compresi tra 1 e 8 bar. Quando il contenitore è ancorato ermeticamente al sistema di riempimento, mediante un'opportuna guarnizione, un sistema di valvole multiposizione si apre per permettere alla CO_2 di esercitare un'uguale pressione nel contenitore e nel tank di alimentazione; in questo modo il liquido scorre liberamente come nel riempimento per gravità. Quando il liquido raggiunge il livello desiderato, una valvola di controllo arresta il processo di riempimento. Al termine dell'operazione, la valvola di equalizzazione della pressione viene chiusa, mentre si apre un rubinetto che consente alla pressione del contenitore di scendere fino al livello della pressione atmosferica. Recentemente sono stati sviluppati sensori per contatto o a conduttività per controllare in modo accurato il livello di riempimento.

Anche questo tipo di riempimento può arrecare danni ai contenitori in plastica, poiché lo stress provocato dalla valvola di riempimento non assicura il mantenimento del volume di riempimento richiesto per raggiungere il livello predeterminato; per ovviare a questo incon-

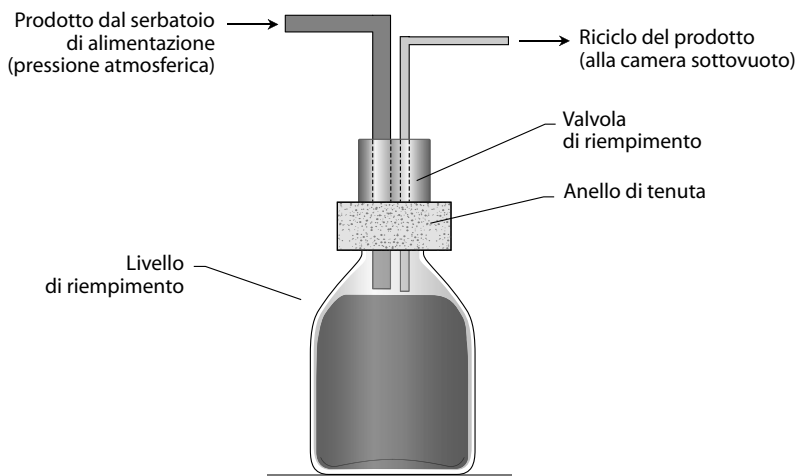


Figura 12.6 Schema di funzionamento di una riempitrice sottovuoto.

veniente, le riempitrici moderne per le bottiglie in PET utilizzano un anello di tenuta sul contenitore. Allo stesso modo è necessario tenere sotto stretto controllo la pressione di CO_2 nella bottiglia durante il riempimento perché valori troppo alti potrebbero causare una temporanea espansione del contenitore, con conseguente riduzione dell'accuratezza di riempimento. Infine, per ridurre la concentrazione di ossigeno residuo all'interno dei contenitori, le moderne riempitrici prevedono singole o doppie pre-evacuazioni dell'aria; in tal modo viene mantenuta la qualità delle bevande carbonatate sensibili all'ossigeno.

Il *riempimento sottovuoto* prevede l'applicazione preliminare di alto vuoto (generalmente 0,85 o 0,95 bar al di sotto della pressione atmosferica) all'interno dei contenitori (figura 12.6). Il tank di alimentazione viene invece mantenuto a pressione atmosferica. Il vuoto viene realizzato dopo aver inserito sul collo del contenitore l'ugello formato dal tubo di riempimento e dal circuito del vuoto che termina in una camera sottovuoto. L'ugello viene sigillato con un anello. Il vuoto creato nel contenitore richiama il liquido dal tank di alimentazione fino a quando il liquido che sale blocca la valvola di riempimento posta al di sopra dell'anello a tenuta. Il prodotto in eccesso viene risucchiato nella camera sottovuoto, impedendo così il superamento del livello di riempimento, e poi inviato tramite pompe al tank di alimentazione. Il riempimento sottovuoto è più veloce di quello per gravità e previene la rottura dei contenitori in fase di riempimento.

Tuttavia, questi sistemi si possono applicare esclusivamente a contenitori rigidi con riempimento a livello costante. Questo tipo di riempimento può essere utilizzato per introdurre liquidi in contenitori di vetro che già contengono ingredienti solidi (per esempio conserve di frutta). Tale metodo consente, inoltre, di allontanare l'aria intrappolata nelle porzioni di frutta o di altri ingredienti solidi.

Nel *riempimento in pressione* una pompa inietta il prodotto in pressione fino al raggiungimento dell'apertura inferiore del tubo di sfiato; il prodotto passa attraverso la valvola di riempimento che è sigillata sull'apertura del contenitore. Come nel riempimento sottovuoto, il liquido in eccesso viene fatto ricircolare e inviato nuovamente al tank di alimentazione. Questo sistema di alimentazione è utile per prodotti come le bevande alcoliche e i succhi che

vengono confezionati a caldo. In questi casi, infatti, il riempimento sottovuoto non si può applicare, poiché è necessario mantenere costante la composizione o lo stato liquido senza fenomeni di ebollizione. È un sistema frequentemente impiegato per le bevande leggermente carbonatate e per i prodotti viscosi che richiedono la minima agitazione.

Le *riempitrici per misurazione di livello* rilevano il livello del liquido per mezzo di flussi d'aria a pressioni ultra basse. Poiché non è necessario applicare al contenitore la guarnizione di tenuta, questo sistema di riempimento è il più adatto per i contenitori rigidi e per quelli in plastica. A livello dell'ugello di riempimento è inserito un tubo che genera un flusso d'aria parallelo all'ugello stesso. Quando arriva al livello desiderato, il liquido blocca il flusso d'aria e la contropressione attiva un sistema di controllo che blocca il flusso di liquido nel contenitore. Per evitare errori di riempimento, sarebbe opportuno lavorare con liquidi privi di schiuma, che potrebbe attivare il sistema di arresto. Diversi tipi di sensori possono essere utilizzati per la rilevazione del livello; i più diffusi sono quelli elettronici o transonici, mentre quelle ottici sono impiegati per il riempimento di bottiglie trasparenti.

12.2.2 Riempimento a volume predeterminato

I sistemi a volume predeterminato prevedono l'impiego di accurati dispositivi di misurazione del volume all'atto del riempimento. Tali impianti sono dotati di un cilindro munito di stantuffo e di una valvola. Il ciclo di riempimento comprende una corsa di aspirazione e una di scarico. Durante la corsa di aspirazione il pistone sale e preleva una quantità nota di prodotto dal tank di alimentazione attraverso una valvola rotativa che, ruotando, chiude l'apertura del serbatoio e spinge il prodotto nel condotto di riempimento (figura 12.7). Questo sistema è generalmente utilizzato per prodotti viscosi e pastosi, come miele, burro di arachidi e marmellate, ma trova applicazione anche per liquidi scorrevoli come i succhi di frutta.

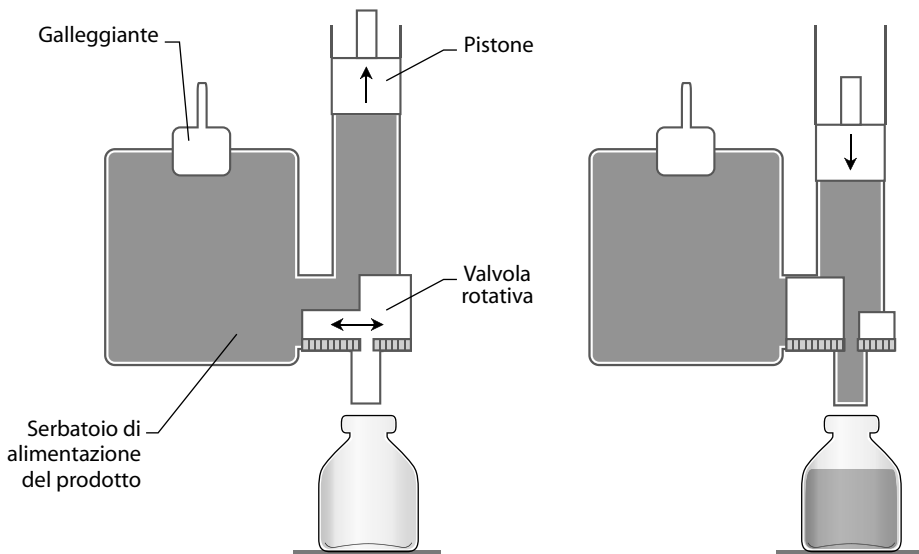


Figura 12.7 Schema di funzionamento di una riempitrice volumetrica a pistone.

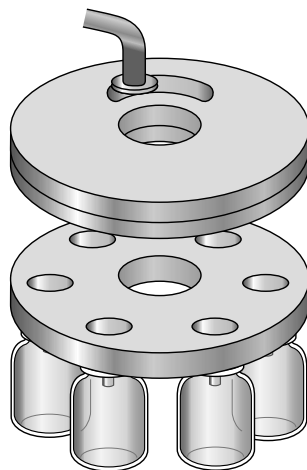


Figura 12.8 Riempitrice volumetrica a tempo.

Le *riempitrici volumetriche a diaframma* (o a membrana) lavorano con camere pre-misurate simili a quelle utilizzate nelle riempitrici a pistone, con la differenza che il ciclo di aspirazione e quello di scarico avvengono grazie a una membrana pressurizzata. L'utilizzo di tale membrana evita la necessità di tenuta tra il pistone e il cilindro. Mediante il movimento verso l'alto della membrana, il prodotto viene richiamato dal tank di alimentazione pressurizzato e caricato nella camera di dosaggio cilindrica. Quando la membrana si muove verso il basso, si apre un sistema di valvole che consente di scaricare il prodotto nel contenitore. Il volume di riempimento può essere controllato mediante cilindri volumetrici, sonde di livello transoniche o magneti che incorporano galleggianti. Si tratta di impianti flessibili, poiché regolando il movimento della membrana si possono ottenere quantità diverse di prodotto.

Le *riempitrici volumetriche a coppa* trasferiscono il prodotto liquido in una coppa di volume noto e, attraverso un tubo di riempimento, lo inviano al contenitore. Si tratta di sistemi semplici ed economici, utilizzati principalmente per liquidi a bassa viscosità.

Le *riempitrici volumetriche a tempo* controllano il volume attraverso il tempo necessario per attraversare il tubo di riempimento (figura 12.8). L'alimento liquido in pressione è fatto fluire nel contenitore attraverso una fessura circolare praticata in un disco fisso posto a contatto con un disco girevole; il disco girevole è dotato di cavità calibrate e orifizi di uscita collocati al di sopra delle confezioni da riempire. Il volume di prodotto dosato è determinato dal tempo durante il quale la fessura del disco fisso si troverà in corrispondenza con l'orifizio di uscita. Per ottenere un accurato riempimento, la pressione al di sopra del liquido nel tank di alimentazione dovrebbe essere mantenuta costante; tuttavia, grazie a controlli con microprocessori, è possibile lavorare anche con minime variazioni di pressione. Questa tecnica è adatta per prodotti pastosi e per il riempimento di buste flessibili.

12.3 Riempimento con alimenti solidi

Il riempimento con prodotti solidi viene realizzato con tecniche basate sul conteggio, sul volume o sul peso del prodotto. Il sistema ottimale viene scelto essenzialmente in funzione della natura dei prodotti secchi; questi possono essere contati individualmente o presentarsi

come polveri libere o aggregate, fiocchi fragili, granuli appiccicosi eccetera. I prodotti secchi come le polveri libere o i granuli si versano facilmente e cadono per gravità formando un cono appiattito quando si accumulano su una superficie piana. Hanno generalmente una densità consistente e comprendono riso, popcorn, zucchero, caffè, nocciole ecc. Altri prodotti in polvere, invece, non fluiscono facilmente per gravità e spesso causano ostruzioni in corrispondenza dei passaggi e delle aperture; se lasciati cadere su una superficie piana, formano coni con angoli di deposizione ripidi. Nelle fasi di riempimento, tali prodotti devono essere aiutati da dispositivi ausiliari per ridurne la tendenza ad agglomerarsi e a intrappolare aria. Un esempio di tali prodotti è la farina. Non è raro, poi, che alcune polveri caratterizzate da densità non omogenea tendano ad agglomerarsi quando assorbono umidità.

Qualunque sia la natura del prodotto alimentare, alcune proprietà – quali densità, capacità di fluire e dimensione delle particelle – dovrebbero essere ottimizzate per ottenere le migliori prestazioni dall'operazione di riempimento. Per confezionare prodotti di una certa consistenza e compattezza possono essere utilizzati sistemi di riempimento con vibrazioni ad alta frequenza e shock meccanici.

Di seguito sono descritti i principali sistemi di riempimento per prodotti solidi, basati prevalentemente, come si è detto, sulla natura del prodotto stesso.

12.3.1 Riempimento per conteggio

Le confezioni per prodotti singoli (come caramelle e noccioline) sono spesso riempite per conteggio. Esistono diversi sistemi di questo tipo, ma i più diffusi sono i contatori elettronici e quelli a disco forato, utili per misurare il numero esatto di pezzi da inserire nelle confezioni. I contatori elettronici sono caratterizzati dalla presenza di dispositivi ottici o non ottici: i primi contano le singole unità rilevando al loro passaggio l'interruzione della luce emessa da uno specifico dispositivo (figura 12.9), mentre i dispositivi non ottici contano i pezzi attraverso meccanismi di contatto meccanico o elettrico. Nei sistemi di conteggio a disco forato l'articolo da contare passa per gravità attraverso un disco munito di fori organizzati in vari settori. Il numero di fori in ogni settore corrisponde al numero di oggetti da contare e da introdurre in ogni confezione; durante la rotazione, il disco porta il settore caricato al di sopra del recipiente da riempire e vi fa cadere gli articoli. È un sistema molto utiliz-

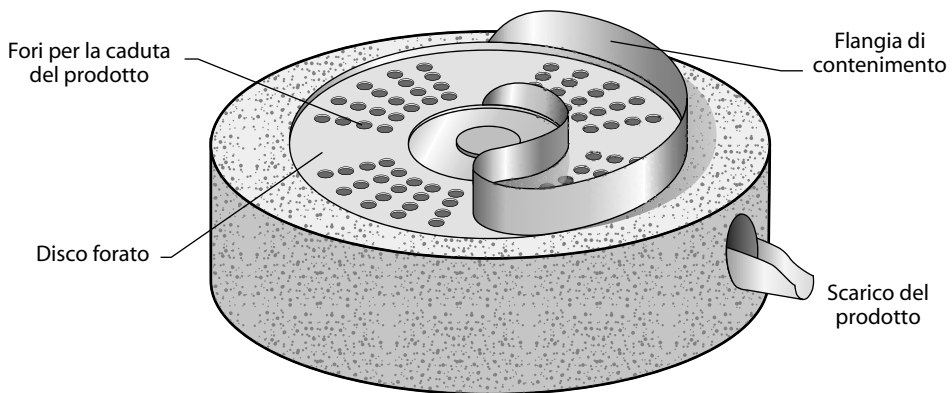


Figura 12.9 Contatore a disco forato per riempimento per conteggio.

zato per confetti, caramelle e tavolette, ma anche per frutti freschi e vegetali a pezzi, per porzioni di carne e pesce a pezzi e anche per alimenti processati. Diverse sono anche le tipologie di confezioni che si possono utilizzare: sacchi e buste flessibili, vassoi e vaschette, contenitori rigidi.

L'operazione può essere resa più veloce ricorrendo a nastri trasportatori vibranti. Recentemente sistemi robotizzati dotati di telecamere sono stati introdotti per la movimentazione, il conteggio e il posizionamento nelle confezioni di prodotti alimentari molto delicati.

12.3.2 Riempimento per volume

Gli impianti di riempimento per prodotti solidi comprendono macchine volumetriche sotto-vuoto, con coppe e beute calibrate, a coclea. I sistemi più recenti lavorano in sinergia con misuratori di peso automatici, che sono in grado di correggere problemi legati alla variazione di densità del prodotto.

Le *riempitrici a coclea* sono formate da una tramoggia di carico e da una coclea (figura 12.10a). La coclea è sostanzialmente una lunga vite di precisione, con un volume noto contenuto nel passo dell'elica. Ciascuna unità del passo può essere considerata come una cavità che distribuisce una quantità perfettamente determinata di prodotto. La coclea è posizionata all'interno di un cilindro nel quale sosta il prodotto tenuto in movimento da un agitatore. Quando la macchina è ferma, il prodotto è trattenuto da un disco posizionato all'estremità inferiore della coclea stessa, mentre quando la coclea è in movimento, la forza centrifuga spinge il prodotto fuori dal disco. La quantità di prodotto alimentata dipende dal numero di rotazioni, mentre la precisione dipende in gran parte dal meccanismo utilizzato per arrestare e azionare la rotazione della coclea. Questo sistema è particolarmente adatto a polveri non libere, granuli e fiocchi.

La *riempitrice volumetrica con coppa* o con beuta calibrata è formata da una lastra circolare piana dotata di coppe scoperte disposte a intervalli regolari (figura 12.10b). Mentre la

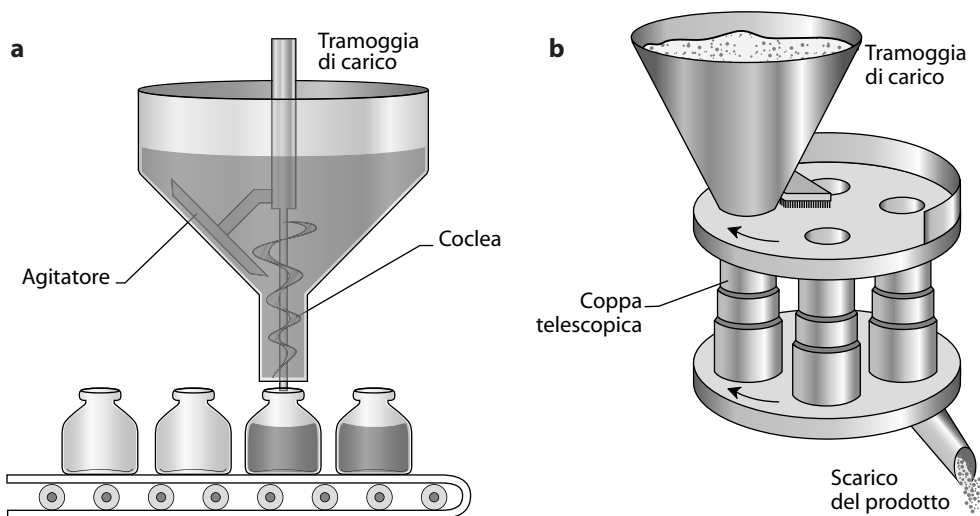


Figura 12.10 a: Riempitrice a coclea. b: Riempitrice volumetrica con coppa telescopica.

lastra ruota il prodotto viene alimentato per gravità da una tramoggia di carico a una tazza premisurata e telescopica, che ha quindi volume regolabile. Le tazze ruotano poi verso una stazione di scarico, in corrispondenza della quale una spatola elimina l'eccedenza e il prodotto viene versato nella confezione. Tale sistema è il più comunemente utilizzato per i prodotti secchi, poiché è il meno costoso e richiede minima manutenzione. È utile per il dosaggio di polveri libere e di materiali granulari. Il prodotto deve avere una buona capacità di fluire oltre a una densità consistente.

Nel sistema di riempimento che prevede *dosatori a cavità sottovuoto*, il prodotto secco (granulare o polveroso) non viene spinto nella tazza per gravità ma per azione del vuoto; ciò consente di compattarlo meglio e di dosarlo più accuratamente. Questo tipo di riempitrice viene usata prevalentemente per contenitori rigidi.

Le *riempitrici a vibrazione temporizzata* consentono di controllare la velocità di alimentazione nei contenitori. Il volume di riempimento è controllato dalla velocità di flusso del vibratore, dalla frequenza e dall'ampiezza della vibrazione e dal tempo di riempimento. Sono sistemi utili per il dosaggio di polveri, prodotti fragili e pezzi singoli di grandi dimensioni.

12.3.3 Riempimento ponderale

I principali metodi di riempimento ponderale sono due: a peso netto e a peso lordo. I sistemi di dosaggio a peso netto più classici consistono in un sistema di alimentazione che, tramite vassoi a vibrazione, porta il prodotto a una tramoggia di pesatura collegata a una bilancia sulla quale è impostato il peso da ottenere. Quando viene raggiunto il peso, la bilancia blocca il sistema di alimentazione e consente lo scarico del prodotto nella confezione. I sistemi più moderni, invece, si basano su sistemi di pesatura a fasi computerizzate, nei quali quantità approssimative del prodotto vengono depositate in tazze che vengono pesate da celle di carico integrate al loro interno. Mediante un microprocessore e sistemi computerizzati, tra tutte le tazze caricate vengono selezionate quelle che hanno ricevuto la quantità di prodotto più vicina al peso richiesto. Tali sistemi consentono di registrare continuamente il peso, calcolano le medie, le deviazioni e altri parametri statistici; tramite feed back regolano le riempitrici ed eliminano le confezioni fuori uso. Queste macchine possono avere uno sviluppo lineare oppure circolare.

Il dosaggio a peso lordo viene utilizzato soprattutto per le polveri a difficile scorrimento, caratterizzate da una densità non uniforme che può causare problemi. Con questo sistema il prodotto e il recipiente destinato a contenerlo vengono pesati contemporaneamente.

12.4 Sistemi e operazioni di chiusura per corpi cavi

Per qualsiasi tipo di corpo cavo (bottiglia, barattolo, flacone ecc.) la chiusura è un elemento fondamentale, che deve soddisfare numerose esigenze diverse, alcune delle quali apparentemente opposte, che spesso sfuggono a una considerazione superficiale di questi accessori di packaging. Proprio in quanto accessori di confezionamento, le chiusure devono innanzitutto rispondere ai requisiti di idoneità alimentare, come previsto per tutti i materiali e gli oggetti che, anche occasionalmente, possono entrare a contatto con i prodotti alimentari. La chiusura deve pertanto essere compatibile con il prodotto, senza indurne modificazioni di gusto e/o di odore. Ai materiali che andranno a costituire tali accessori è inoltre richiesta un'elevata compatibilità con i contenitori: ciò non significa che devono essere gli stessi, ma che le loro caratteristiche devono essere tali da adattarsi all'imboccatura, garantendo un elevato grado

di ermeticità ai gas, ai liquidi e ai microrganismi. Non da ultimo, il sistema di applicazione della chiusura sulle linee di riempimento deve essere rapido, flessibile e modulabile alle velocità e alle rese degli impianti.

Oltre a rendere ermetico l'imballaggio, la chiusura deve essere facilmente apribile e, il più delle volte, anche richiudibile; inoltre, durante la commercializzazione deve garantire l'invulnerabilità del contenitore (chiusure di garanzia, *pilfer proof*, *tamper proof*) o manifestare chiaramente un'effrazione (*tamper evident*) e risultare insensibile a variazioni di temperatura, pressione o umidità dell'ambiente. Tra le funzioni secondarie, spesso richieste alle diverse forme di chiusura, vi sono inoltre la resistenza all'apertura da parte dei bambini (*child proof*), la facilità di versamento del prodotto, la ritenzione delle gocce (*drop stop*), l'impossibilità di un successivo riempimento e l'estetica.

12.4.1 Tipologie di chiusure

Vi sono diversi criteri di classificazione delle chiusure; alcuni dei più importanti sono riportati nella tabella 12.1. Le chiusure filettate vengono applicate e tolte avvitantole e svitandole sull'imboccatura del contenitore, mentre quelle a frizione subiscono una leggera deformazione quando inserite nell'imboccatura del contenitore.

I materiali di costruzione delle chiusure sono generalmente metalli, plastiche, sughero e, per applicazioni particolari, anche vetro. La banda cromata è di solito utilizzata per tappi a corona, a vite e per le chiusure *press-twist*, mentre l'alluminio trova largo impiego per le

Tabella 12.1 Sistemi di classificazione delle chiusure

Criterio	Esempi
Metodo di chiusura	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Ad avvitanamento</i>: capsule <i>press-twist</i>, capsula a vite (<i>roll-on</i>), tappo a vite (<i>screw cap</i>), a baionetta (<i>twist-off</i>) – <i>A frizione</i>: turacciolo, tappo in sughero o in materiale plastico, tappi a corona (<i>crown</i>), a scatto (<i>snap-fit</i>)
Materiale	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Alluminio</i>: chiusure <i>twist-off</i>, <i>screw cap</i>, <i>roll-on</i> – <i>Banda stagnata e/o cromata</i>: capsule <i>twist-off</i>, <i>pry-off</i>, <i>press-twist</i>, tappi corona – <i>Plastica</i>: capsule <i>snap-fit</i>, <i>screw cap</i>, <i>lug-cap</i>, turaccioli – <i>Legno</i>: tappi di sughero
Pressione interna alla confezione	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Pressione atmosferica</i>: tappi di sughero; tappi a vite in alluminio; tappi corona; capsule a incastro (<i>snap-fit</i>) di plastica e/o alluminio – <i>In sovrappressione</i>: tappi a fungo ancorato (di sughero o plastica); tappi corona in banda stagnata o cromata; tappi a vite in alluminio o materia plastica – <i>Sottovuoto</i>: capsule <i>twist-off</i>; <i>pry-off</i>; <i>press-twist</i>, <i>lug-cap</i>
Tipo di contenitore	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Bottiglie in vetro</i>: capsula a vite, tappo corona, tappo in sughero o sintetico – <i>Bottiglie in plastica</i>: <i>roll-on</i>; <i>screw cap</i> – <i>Scatole metalliche</i>: <i>screw cap</i>
Funzione specifica	<ul style="list-style-type: none"> – A prova di effrazione; a prova di bambino; con dosatori, chiusure facilitate, "push & pull"

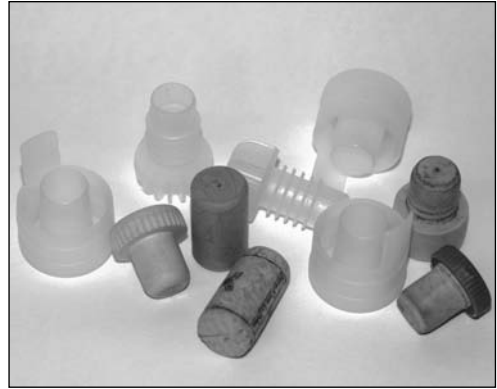


Figura 12.11 Alcuni dei più comuni sistemi di chiusura per contenitori rigidi.

chiusure *roll-on*. Tra le materie plastiche, le più utilizzate sono il polipropilene (PP), il polistirene (PS) e il polietilene ad alta (HDPE) e a bassa densità (LDPE). Il sughero, com'è noto, è invece largamente impiegato per la realizzazione di turaccioli. La scelta della tipologia di chiusura dipende anche dalle condizioni in cui viene effettuato il riempimento e dal livello di pressione all'interno del contenitore: se il prodotto si trova a pressione atmosferica, si possono usare chiusure *snap-fit* o tappi a corona (*crown*), mentre se il contenuto si trova sotto vuoto si impiegano capsule *twist-off*, *pry-off* o *press-twist*.

Infine, se il contenuto è in pressione (bevande carbonatate, vini frizzanti ecc.), si possono scegliere chiusure *roll-on*, tappi a fungo ancorato, tappi a corona ecc. Anche il materiale di cui è costituito il contenitore e le dimensioni dell'imboccatura possono condizionare la scelta della chiusura: per esempio, i tappi a corona e in sughero sono efficacemente utilizzati sulle bottiglie in vetro, ma non trovano applicazioni sui contenitori in plastica; per vasi e vasetti a bocca larga si usano tappi ad avvitamento oppure capsule *press-twist*. I principali sistemi di chiusura utilizzati nel settore del food packaging (figura 12.11) sono descritti nelle prossime pagine.

12.4.1.1 Chiusure ad avvitamento

La struttura di una chiusura ad avvitamento consiste in una parte superiore piana e in un bordo inferiore circolare, raccordati da una spalla. Sotto il bordo inferiore è spesso presente una banda anti-effrazione; all'interno la chiusura è caratterizzata da una filettatura che può essere continua (*continuous thread*) o interrotta.

Nella maggior parte dei casi la chiusura deve essere ermetica, ossia deve sigillare adeguatamente l'imboccatura. Per favorire lo stretto contatto, e garantire quindi maggiore sicurezza, all'interno della chiusura si inserisce spesso una guarnizione (*liner*), che può essere di materiali molto diversi, frequentemente anche laminati. In genere il liner ha due facce distinte: quella rivolta verso l'interno della chiusura presenta caratteristiche di elasticità e ha la funzione di consentire la giusta compressione della chiusura; la faccia esposta verso l'imboccatura del contenitore, e quindi verso il prodotto, deve invece avere buone caratteristiche di barriera e di resistenza all'abrasione.

Il più classico materiale per liner è stato il sughero, oggi sempre più spesso sostituito da resine sintetiche: gomme, poliolefine (PE e EVA), polimeri hot melt e plastisol, costituito da emulsioni di PVC con plastificanti e agenti rigonfianti. Altri materiali tipicamente utilizzati per il liner sono il foglio d'alluminio rivestito con PET e film plastici laminati. Spesso tale strato viene anche addizionato di specifici lubrificanti, che facilitano la funzione di fissaggio e di aderenza. Tali tipologie di guarnizioni vengono inserite all'interno della chiusura mediante uno stampo a punzone. Le guarnizioni possono anche essere inserite all'interno della chiusura in forma liquida: per esempio le guarnizioni in plastisol sono applicate allo stato liquido e poi vulcanizzate fino a diventare uno strato morbido e gommoso. Negli ultimi anni sono stati messi in commercio liner costituiti, su uno o entrambi i lati, da schiume in materiale plastico. Il liner, in generale, deve prestarsi a un semplice inserimento all'interno della chiusura e, una volta montato, non deve impedire la corretta chiusura del contenitore.

Molte chiusure costituite da materiali termoplastici presentano strutture sigillanti direttamente ottenute in fase di stampaggio: in tal modo si evita di dover inserire la guarnizione vera e propria (chiusure *linerless*). La sigillatura si ottiene premendo con forza su un bordo o un'aletta sporgente, ottenuta dallo stampo, oppure forzando e modellando una forma a otturatore all'interno del contenitore.

Chiusure a filettatura continua (*screw cap*)

Le chiusure a filettatura continua aderiscono al contenitore grazie alla presenza di filetti che si avvitano alla corrispondente filettatura posta sull'imboccatura del contenitore (figura 12.12). Sono generalmente prodotte in materiali metallici o plastici: tra i primi, i più utilizzati sono le bande stagnate o cromate e l'alluminio; tra i secondi, quelli termoplastici, come il polipropilene e il polietilene ad alta densità.

Il polipropilene è abbastanza rigido, resistente alle temperature elevate utilizzate nel corso dei processi di produzione e stabilizzazione di alcuni alimenti; per le sue caratteristiche meccaniche, si presta alla realizzazione di chiusure *linerless*, garantendo buona aderenza all'imboccatura del contenitore. Le chiusure in polietilene hanno temperature d'uso più basse e sono indicate quando è richiesto un allungamento o una deformazione della chiusura stessa. Alcuni modelli di chiusure filettate, infatti, vanno pressati sulla bottiglia anziché essere

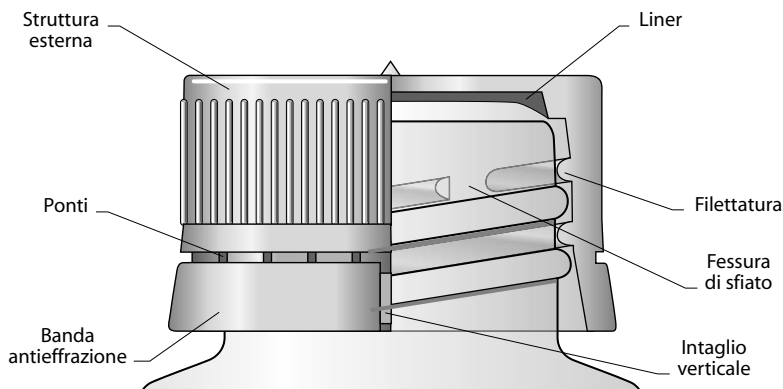


Figura 12.12 Particolari di una chiusura *screw cap*.

avvitati; in tal caso è indispensabile che le filettature della chiusura siano abbastanza elastiche da passare sopra quelle dell'imboccatura.

Anche i materiali termoindurenti, come le resine fenolo-formaldeide e urea-formaldeide, sono impiegati per la realizzazione di chiusure mediante stampaggio per compressione. Le chiusure prodotte a partire da materiali termoindurenti presentano maggiore resistenza alle alte temperature e sono più rigide e costose di quelle prodotte con materiali termoplastici.

Chiusure a baionetta (*twist-off*)

Queste chiusure, note anche come chiusure a baionetta, sono generalmente prodotte in alluminio o in acciaio rivestito e si caratterizzano per la presenza di alette che si innestano sulla filettatura a livello delle imboccature dei contenitori. Le alette (in numero di 3, 4 o 6) sono posizionate sul bordo della chiusura, ripiegate verso l'interno e, una volta montate, saranno corrispondenti ai filetti disposti in modo discontinuo. Tali filetti possono essere disposti in posizione orizzontale o in modo inclinato, a seconda del modello di chiusura. Incastrando le alette tra i filetti ed esercitando un avvitamento si ottiene la chiusura del contenitore. L'ermeticità e la tenuta spesso sono garantite da un liner, che viene inserito sotto la parte superiore dell'accessorio di chiusura. La chiusura a baionetta ha il vantaggio di richiedere una rotazione minore (inferiore a un quarto di giro) rispetto a quelle con filettatura continua, rendendo l'applicazione più veloce e continua e facilitando il consumatore nella rimozione della chiusura al momento dell'apertura del contenitore.

Le chiusure tipo *twist-off* sono ampiamente utilizzate per il confezionamento sottovuoto in contenitori di vetro, mentre non trovano molte applicazioni sui contenitori in plastica, poiché creano troppe tensioni nell'area della filettatura.

Chiusure *roll-on*

Si tratta di chiusure preformate realizzate in alluminio a partire da lastre decorate e rivestite. Tale tipologia rientra nella classe delle chiusure ad avvitamento sebbene, in seguito alla formatura della lastra, si origini un tappo privo di filettature, al cui interno viene collocata una guarnizione. Durante il confezionamento il tappo in alluminio preformato viene lasciato cadere sull'imboccatura del contenitore e, grazie all'azione di rulli sagomati, si conforma alla filettatura dell'imboccatura. Le chiusure *roll-on* sono generalmente dotate di un bordino aggiuntivo, che viene ricalzato sotto il bordo del collo. Tale bordino può fungere da sistema anti-effrazione: infatti, praticandovi una pre-incisione, all'atto della prima apertura si lacerava, lasciando un anello di metallo libero sotto il bordo del collo.

12.4.1.2 Chiusure a frizione

Tappi a incastro (*snap-fit*)

I tappi *snap-fit* sono generalmente prodotti in materiale flessibile di natura polimerica (LDPE) e/o in alluminio. Nelle forme più semplici la frizione tra le superfici della capsula e la bottiglia è sufficiente per fare in modo che la chiusura si infili perfettamente sull'imboccatura. Altre tipologie presentano all'interno delle creste che corrispondono perfettamente alle scanalature presenti sul collo del contenitore.

L'apertura del contenitore deforma il tappo, che viene tolto dall'imboccatura con uno scatto. Il vantaggio principale dei tappi *snap-fit* è che possono essere applicati al contenitore a elevata velocità; sono particolarmente indicati per acque non carbonatate e sciroppi, che non richiedono condizioni di vuoto o di elevate pressioni all'interno del contenitore.

Tappi a corona

I tappi a corona sono tipicamente utilizzati per la chiusura di bottiglie in vetro. Sono costituiti da un lamierino metallico (generalmente banda stagnata o cromata) di 26 mm di altezza dotato di 21 scanalature (o arricciature) che serviranno per l'aggraffaggio sull'imboccatura della bottiglia. Tutti i tappi a corona sono dotati di guarnizioni (liner) che possono essere preformate e saldate sul tappo, oppure possono essere depositate in forma liquida (plastisol o altro materiale polimerico). Nel caso di prodotti sensibili all'ossidazione (come la birra) nella formulazione del liner può essere aggiunto un assorbitore di ossigeno (vedi cap. 13), che ha lo scopo di sequestrare l'ossigeno residuo nello spazio di testa della bottiglia e quello che può permeare attraverso l'accessorio di chiusura. In commercio esistono anche chiusure a corona svitabili. L'applicazione di tali chiusure avviene tramite un mandrino meccanico cavo, che, scendendo sopra la corona e stringendola, ne piega il bordo fino a farlo aderire all'imboccatura della bottiglia. Uno svantaggio di queste chiusure è rappresentato dalla modalità di apertura, che richiede un opportuno accessorio, e dal fatto che non offre garanzie nei confronti di eventuali effrazioni. Da tempo per le birre sono comparsi tappi corona a vite, che si svitano con un giro o poco più. Tali chiusure sono applicate per pressione, adattandosi a un filetto sulla bottiglia.

Tappi (turaccioli) in sughero

Tra i materiali per tappi più utilizzati per le bottiglie, il sughero è sicuramente il più antico. Le caratteristiche di elasticità, la capacità di comprimersi e la bassa conducibilità termica lo rendono un materiale ideale per questo tipo di funzione. Una volta inserito nel collo delle bottiglie, può rallentare o impedire l'ingresso di ossigeno e di umidità.

La maggior parte del sughero proviene dalla Spagna e dal Portogallo. Il turacciolo utilizzato per la chiusura di bottiglie di vino deriva dalla corteccia di una quercia (*Quercus suber*), di oltre 30-40 anni. La corteccia prelevata dagli alberi viene fatta essiccare per 6 mesi e poi fatta bollire per circa 90 minuti, per restringere i pori interni e uccidere insetti e muffe. Dopo un riposo di circa tre settimane, il sughero viene tagliato e schiacciato nella forma finale in modo tale che ogni nodo o fessura sia trasversale rispetto alla lunghezza del tappo, al fine di prevenire perdite indesiderate attraverso di esse.

Sebbene per i vini pregiati il sughero sia considerato essenziale per la lunga maturazione in bottiglia, i problemi legati al costo e alla standardizzazione del prodotto hanno portato, nel corso degli anni, alla sua sostituzione con materiali polimerici. Un problema di non secondaria importanza riguarda, inoltre, la possibilità che il sughero ceda odori e/o sapori sgradevoli al vino. In particolare, sono state riconosciute un centinaio di sostanze volatili a basso peso molecolare, come acidi fenolici e aldeidi fenoliche, in grado di causare alterazioni sensoriali. È anche facile riscontrare la presenza di sostanze anomale che possono conferire odore di terra o muffa. L'alterazione, nota come "sapore di tappo", riscontrabile in alcune bottiglie di vino, è riconducibile nel 70-80% dei casi alla presenza di cloroanisoli. La contaminazione del vino da parte di 2,4,6-tricloroanisolo è uno dei maggiori problemi dell'industria enologica: si stima che in qualche modo risulti contaminato circa il 25% delle bottiglie in commercio a livello mondiale, un danno economico non trascurabile. Infatti, dal punto di vista sensoriale il 2,4,6-tricloroanisolo è percepibile a concentrazioni molto basse, comprese fra 3×10^{-8} e 9×10^{-7} ppm in acqua.

È accertato che la presenza di composti del cloro, derivanti dall'utilizzo di acqua clorurata o di prodotti commerciali di pulizia, e lo sviluppo di muffe sono i principali responsabili della formazione del TCA: in ambiente umido microrganismi del genere *Penicillium* e *Asper-*

gillus sono in grado di convertire il triclorofenolo (TCP) tossico in tricloroanisolo, non tossico, attraverso un processo di biometilazione. La difficoltà ad approvvigionarsi con sufficiente continuità e certezza di sughero di buona qualità, in tempi accettabili (si consideri che sono necessari 9-12 anni di accrescimento prima del raccolto della materia prima da piante di almeno 25 anni di età) e le problematiche di carattere sensoriale, hanno spinto la ricerca di soluzioni alternative. Data la necessità di ottenere un tappo con proprietà elastiche ed ermetiche, oltre che sicuro igienicamente, l'attenzione si è focalizzata, a partire dalla seconda metà degli anni Ottanta, su miscele di materiali termoplastici.

Tappi (turaccioli) in materiali plastici

I tappi sintetici, inizialmente prodotti solo negli Stati Uniti, sono composti da una miscela di elastomeri termoplastici e loro copolimeri addizionati di opportuni additivi. Le miscele vengono attentamente studiate e calibrate, in modo da ottenere una struttura cellulare omogenea. I principali costituenti di un tappo sintetico sono il polimero di base, gli agenti espandenti, i pigmenti, altri additivi e i lubrificanti superficiali. Il polimero di base fornisce al prodotto finito le caratteristiche principali, a livello meccanico e di permeabilità, ed è presente in percentuali superiori all'80%. La natura del polimero è varia: sono ampiamente utilizzati poliolefine (LLDPE, PP), copolimeri a blocchi di tipo olefinico (per esempio EVA, copolimeri otene-PE) e copolimeri a blocchi di tipo stirenico. Gli agenti espandenti sono responsabili della struttura interna del tappo e possono essere di tipo chimico o fisico. Nel primo caso si tratta di sostanze che liberano gas, come N_2 o CO_2 , in seguito alla decomposizione termica a elevate temperature oppure di sostanze, come l'azodicarbonamide, il bicarbonato di sodio e il benzensulfonidrazide, che liberano gas per reazioni eso o endotermiche. Con gli agenti di tipo fisico, l'espansione viene ottenuta immettendo gas in pressione all'interno del fuso oppure attraverso l'espansione di sferule plastiche contenenti gas. Gli additivi migliorano le prestazioni del prodotto finito in termini di colorazione, resistenza all'ossidazione e alle radiazioni UV; inoltre migliorano la cellulazione e favoriscono la stampa sul tappo. I lubrificanti, infine, riducono la forza di estrazione necessaria; si tratta generalmente di siliconi e di agenti antiblocco.

Il processo produttivo dei turaccioli in materiale plastico consente di raggiungere un elevato livello di sterilità, con totale assenza di muffe, lieviti e batteri. Il prodotto finito è ottenuto mediante varie procedure tecnologiche – per iniezione, estrusione o co-estrusione – cui fanno seguito il taglio e la sagomatura. La tecnologia produttiva può influenzare notevolmente le prestazioni del tappo. Con lo stampaggio a iniezione, per esempio, è possibile inserire all'interno dello stampo inserti che consentono di ottenere qualsiasi geometria; inoltre, il tappo così prodotto è completamente coperto sui lati e sulle basi di un sottile strato di polimero fuso che, raffreddandosi, crea una sorta di rivestimento o pelle (figura 12.13). Negli impianti di stampaggio a monocavità il limite principale è rappresentato dalla bassa resa produttiva, che può essere tuttavia aumentata utilizzando stampi multicavità, che consentono di lavorare fino a 14000 pezzi/ora.

La produzione per estrusione consente di ottenere una buona uniformità della struttura cellulare, che rimane però a vista (per l'assenza del sottile strato di protezione) sia sulle basi che sui lati. La coestrusione, invece, consente di utilizzare due materiali differenti per lo strato superficiale e per la struttura cellulare.

La scelta del sistema di lavorazione non può però prescindere dalle prestazioni che si vogliono ottenere in termini meccanici, di permeabilità ai gas e ai liquidi e di inerzia sensoriale. In particolare, caratteristiche come l'uniformità della cellulazione e la presenza o assen-

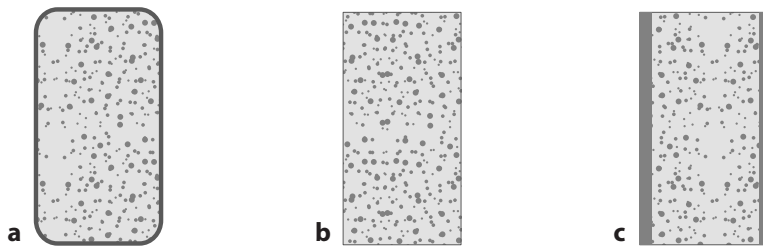


Figura 12.13 Strutture dei tappi in materiale plastico a seconda della tecnologia di produzione. **a:** Stampaggio a iniezione; **b:** estrusione; **c:** co-estrusione.

za, sui lati e sulle basi, di sottili rivestimenti possono aumentare o diminuire la velocità di passaggio dei gas, con conseguenze anche gravi sulla qualità del prodotto.

12.4.1.3 Chiusure per contenitori sottovuoto

Tali chiusure sono tipicamente rappresentate da capsule in materiale metallico (banda stagnata o cromata) utilizzate per il confezionamento sottovuoto di alimenti sottoposti a trattamenti termici (prodotti per la prima infanzia, sughi, succhi di frutta ecc.). Le più comuni sono le chiusure *twist-off*, *pry-off* e *press-twist*.

Queste capsule metalliche vengono applicate sottovuoto mediante iniezione di vapore acqueo surriscaldato nello spazio di testa del contenitore e mediante saturazione, sempre con vapore acqueo, dell'ambiente intorno alla chiusura. L'operazione viene effettuata con una macchina capsulatrice; il vuoto generato nello spazio di testa garantisce la tenuta ermetica fino all'apertura del contenitore. Ciò è fondamentale soprattutto durante il trattamento termico (pastorizzazione o sterilizzazione) del prodotto: il vuoto creato nel contenitore è, infatti, necessario per prevenire il *venting* o sfiato della chiusura durante il processo termico di pastorizzazione a temperature inferiori a 100 °C, a patto che la temperatura di pastorizzazione non superi di oltre 8-10 °C quella di riempimento. Nel caso della sterilizzazione è invece necessaria un'appropriata contropressione da applicarsi ai contenitori tappati, onde evitare che gli stessi si stappino durante il trattamento termico. L'ermeticità ottenuta con le capsule sottovuoto assicura la conservazione ottimale del prodotto durante la commercializzazione; in funzione, poi, della permeabilità della guarnizione viene più o meno limitato l'ingresso di ossigeno, la cui presenza nello spazio di testa può determinare reazioni di ossidazione soprattutto sulla superficie del prodotto.

Le chiusure metalliche per contenitori in vetro destinati al confezionamento sottovuoto differiscono tra loro a seconda dell'imboccatura del vaso di vetro, ognuna delle quali è specifica per ogni tipo di capsula. Le imboccature differiscono per il diametro della bocca e per la forma, le dimensioni e il numero di filetti da realizzare sul collarino dell'imboccatura oltre che per la configurazione della spalla del contenitore (figura 12.14).

Le capsule possiedono particolari caratteristiche che ne consentono il corretto accoppiamento con l'imboccatura. La principale differenza tra le chiusure risiede nella superficie di tenuta, corrispondente a quella di estensione del mastice (figura 12.15): nella *twist-off* la tenuta è solo sulla bocca del vaso, nella *pry-off* è solo laterale, mentre nella *press-twist* la superficie di tenuta si estende per tutta la zona del filetto fino all'imboccatura compresa.

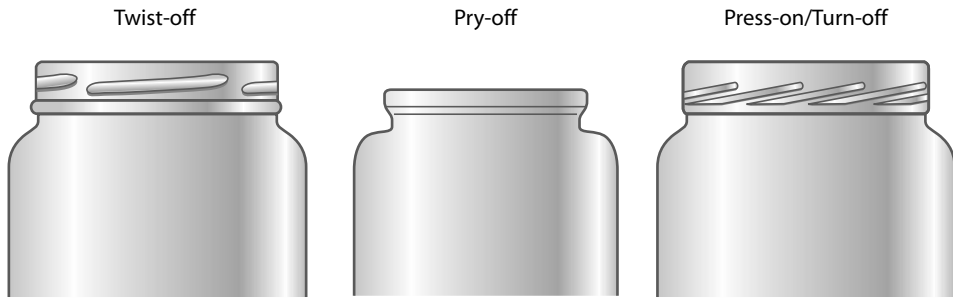


Figura 12.14 Profili dell'imboccatura di diverse capsule per contenitori sottovuoto.

In particolare, nelle capsule twist-off la tenuta è garantita dall'azione combinata del mastice sull'imboccatura e delle alette sul filetto di vetro. Il mastice di tale capsula è a contatto solo con il perimetro della bocca del vaso di vetro, lasciando scoperta la parte dell'imboccatura con il filetto, e ciò può comportare il rischio che si annidino insetti nello spazio vuoto tra l'imboccatura e le pareti laterali della capsula o di infiltrazioni di acqua durante la fase di sterilizzazione. In quest'ultimo caso, infatti, la dilatazione del metallo non verrebbe compensata dalla guarnizione sul filetto laterale. Il pregio maggiore di queste capsule è la richiudibilità, sempre possibile e completa.

Le capsule pry-off, avendo come guarnizione un anello di gomma butilenica, garantiscono buoni livelli di tenuta e, tra le capsule, la minore permeabilità all'ossigeno; per l'apertura è però necessario agire sulla capsula con una leva, in quanto non è oltremodo possibile aprire la confezione. Non sono però richiudibili e non dispongono di un dispositivo *tamper evident* intrinseco alla capsula.

Le capsule press-twist sono chiusure in cui il filetto sulla capsula viene realizzato durante la fase di tappatura in linea. Sono largamente utilizzate per baby-foods, salse, succhi ecc. Come le altre capsule, vengono applicate in atmosfera di vapore surriscaldato: appena prima dell'applicazione le capsule vengono pre-riscaldate con vapore per rammollire la guarnizione plastica a base di PVC (plastisol) e permettere quindi la formazione del filetto per impressione nel momento in cui viene applicata sull'imboccatura del vaso. Una volta raffreddata, l'im-

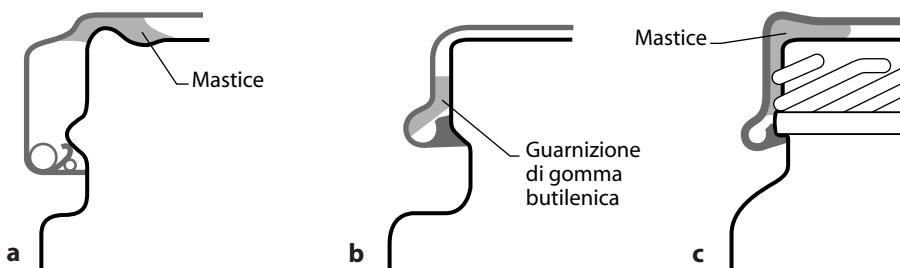


Figura 12.15 Dettaglio delle superfici di tenuta di tre tipologie di capsule per il confezionamento sottovuoto: twist-off (a), pry-off (b), press-twist (c).

pressione del filetto nella guarnizione permane, così che le capsule possono essere svitare per l'apertura e riavvitate per la chiusura. La tenuta è garantita su una superficie maggiore (filetto e bocca) e la presenza del mastice su tale superficie riduce praticamente a zero la possibilità di infestazione sotto capsula ed evita il rischio di infiltrazione di acqua durante il trattamento termico. Per contro, la natura plastica della guarnizione consente la permeazione di ossigeno atmosferico, con le relative conseguenze sull'aspetto superficiale del prodotto.

Al centro delle capsule twist-off e press-twist utilizzate per il confezionamento di conserve alimentari è prevista una sezione circolare, nota come bottone di sicurezza, che funge da dispositivo anti effrazione. Nel corso dell'operazione di riempimento, il vuoto che si viene a creare abbassa questa sezione; quando la capsula viene aperta, il bottone torna verso l'alto e, contemporaneamente è possibile sentire un suono caratteristico ("click") che garantisce al consumatore che il contenitore si trovava effettivamente sottovuoto.

Gli esercizi di autovalutazione di questo capitolo si trovano a pagina 527

Bibliografia

- Boulanger J, Reny C, Veaux M, Victor J (1994) Le macchine per la preparazione e la messa in opera dei contenitori. In: Garosi D (ed) *Manuale dell'imballaggio*. Tecniche Nuove, Milano, pp. 265-284.
- Casini L (2005) Tecnologie, processi e nuovi orizzonti del mercato delle chiusure sintetiche. Relazione presentata al Convegno *Tappo Sintetico di Qualità per Vini, Liquori e Oli d'Oliva*. CSI, Bollate, 24 Maggio 2005.
- Lee DS, Yam KL, Piergiovanni L (2008) *Food Packaging Science and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 279-312.
- Nairn JF, Norpell TM (1986) Closures, Bottle and Jar. In: Bakker M (ed) *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. John Wiley & Sons, New York, pp 172-185
- Soroka W (2003) *Packaging Technology - Fondamenti di Tecnologia dell'Imballaggio*. Istituto Italiano Imballaggio, Milano, pp. 501-529.
- Zonca M (1998) *Le capsule metalliche per i contenitori in vetro dei baby foods: stato dell'arte e studio delle loro proprietà funzionali*. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Milano.