

3. ALTRE OPERAZIONI UNITARIE DI DISIDRATAZIONE

Qui di seguito sono riportate in modo sintetico altre modalità di disidratazione, accomunate dal tentativo di rendere l'eliminazione dell'acqua più selettiva rispetto all'essiccamento in corrente d'aria. Si vuole ridurre il danno tecnologico sul prodotto senza compromettere la velocità di disidratazione.

3.1 ESSICCAMENTO PER EBOLLIZIONE

L'essiccamento è detto per ebollizione quando l'evaporazione avviene alla pressione di vapore dell'acqua. Si applica ai soli prodotti liquidi.

Nella modalità più comune l'acqua è rimossa ponendo il prodotto a contatto con una superficie calda che, per conduzione, trasferisce il necessario calore sensibile e calore latente d'evaporazione; da qui il nome, dato spesso a questa operazione e ai relativi impianti, di *essiccamento/essiccatori per contatto*.

La cinetica dell'essiccamento per ebollizione, in analogia con quanto avviene nell'essiccamento in corrente d'aria, segue sostanzialmente due fasi. Una fase ad andamento costante in cui la disidratazione avviene alla superficie del prodotto che raggiunge, per conduzione, la temperatura di ebollizione dell'acqua alla pressione d'esercizio; la velocità di disidratazione è costante e massima. Una fase ad andamento rallentato in cui, per l'effetto limitante della diffusione dell'acqua verso la superficie, si forma un fronte di evaporazione che dalla superficie regredisce verso l'interno; la velocità di disidratazione diminuisce e il prodotto tende a portarsi per conduzione alla temperatura della superficie riscaldante.

Operando a pressione atmosferica, se si vuole condurre in tempi brevi l'operazione e portare il prodotto a basse umidità, la temperatura della superficie riscaldante dovrebbe essere significativamente superiore a 100 °C; il rischio di danno termico del prodotto è di conseguenza alto. Per ridurre il rischio l'essiccamento può essere condotto sotto vuoto e, quindi, a basse temperature di ebollizione. Per lo stesso motivo possono essere applicate tecniche di riscaldamento per irraggiamento o, meglio,

per generazione interna di calore mediante l'uso di microonde o radiofrequenze.

3.1.1 Essiccatori a cilindri

Negli essiccatori a cilindri il prodotto liquido, anche di tipo pastoso, viene stratificato sulla superficie di uno o due cilindri rotanti, riscaldati internamente da vapore. L'acqua evapora per ebollizione, lasciando uno strato di prodotto essiccato che viene allontanato in continuo sotto forma di scaglie mediante coltelli raschiatori.

La durata dell'essiccamento è inferiore al tempo necessario per la rotazione completa del cilindro. La rapidità dell'operazione si deve prevalentemente all'elevata velocità di trasferimento del calore ed all'ampia superficie di scambio fra il sottile film di prodotto e la superficie riscaldante.

Le Figure 37-39 mostrano gli schemi funzionali di alcuni tipi di essiccatori a cilindri. La Figura 37 mostra un essiccatore a cilindro singolo per prodotti liquidi con doppio rullo di alimentazione. La Figura 38 mostra un essiccatore a cilindro singolo con rulli satelliti. Questi ultimi vengono utilizzati quando si trattano prodotti pastosi; essi servono ad aumentare i tempi di

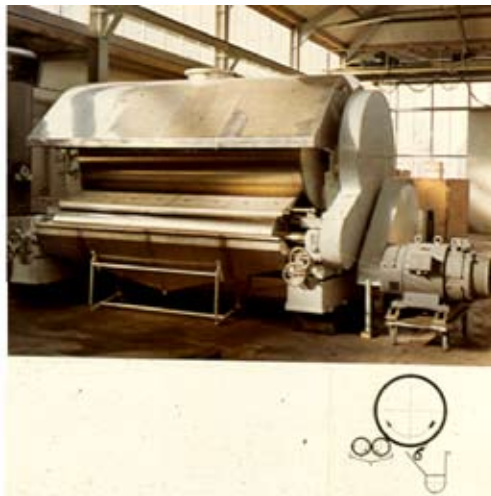


Figura 37. Essiccatore a singolo cilindro (Simon Dryers Ltd — Inghilterra).

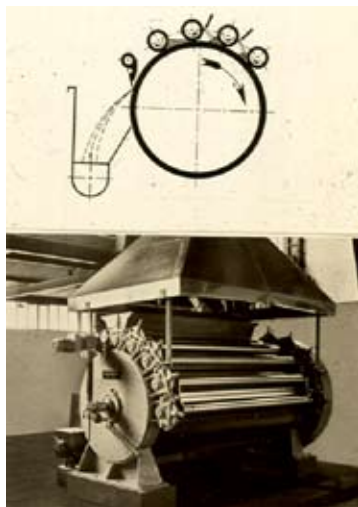


Figura 38. Essiccatore a singolo cilindro con rulli satellite (Simon Dryers Ltd — Inghilterra).



Figura 39. Essiccatore a doppio rullo (Simon Dryers Ltd — Inghilterra).

permanenza, permettendo la cottura del materiale prima dell'essiccamento. Ogni satellite opera in sostanza come una stazione di sosta, in cui è garantito al tempo stesso sia il riscaldamento che il rimescolamento del materiale. La Figura 39 mostra infine un essiccatore a doppio rullo per prodotti liquidi.

Gli essiccatori a cilindri possono funzionare anche sottovuoto; si utilizza in questo caso una camera cilindrica a tenuta, che racchiude i cilindri rotanti ed opera a pressioni di 15-20 mm Hg.

Generalmente si impiegano cilindri di ghisa cromati per l'elevata conducibilità termica: piccoli impianti, più che altro sperimentali, sono costruiti anche con acciaio *inox*. Le dimensioni dei cilindri variano moltissimo: il diametro va da 30 a 200 cm e la lunghezza da 100 a 500 cm; il rapporto ottimale lunghezza/diametro, per ragioni di deformabilità, è compreso tra 2 e 3. La superficie utile di evaporazione dipende dal posizionamento dei sistemi di alimentazione e scarico. Nel settore alimentare gli impianti più diffusi hanno una superficie di 15-20 m².

La pressione del vapore nei cilindri varia da un minimo di 2 ad un massimo di 7 atm. Le pressioni più elevate sono impiegate per la produzione di cereali precotti e ortaggi amidacei, quelle inferiori per i prodotti termoplastici.

Sui cilindri è possibile ottenere un'evaporazione massima di 100 kg/m²h; nel caso di puree alimentari l'evaporazione, nelle condizioni pratiche, si aggira intorno ai 25-30 kg/m²h. La presenza di cappe aspiranti, specie negli impianti a due cilindri, favorisce l'evaporazione, permettendo di allontanare continuamente il vapore ed impedendo che quest'ultimo salga lungo la curvatura del cilindro e condensi sul film di prodotto in fase di scarico.

3.1.2 Essiccatori a nastro

Gli impianti sono costituiti da un cilindro a tenuta ad asse orizzontale di acciaio inossidabile, all'interno del quale scorrono uno o più nastri su cui è posto il prodotto da essiccare; l'essiccamento avviene sempre in condizioni di vuoto spinto (Fig. 40).

Il nastro scorre su un supporto ad intercapedine al cui interno circola il fluido di servizio: vapore, acqua o fluidi diatermici. Il supporto è diviso in diverse sezioni successive mediante le quali si può regolare indipendentemente l'apporto di calore; l'ultima sezione, prima dello scarico, è di raffreddamento, particolarmente utile quando si essicano materiali termoplastici che, raffreddandosi, diventano friabili e si staccano più facilmente dal nastro.

Durante l'essiccamento il prodotto si disidrata sotto forma di schiuma. Tale struttura si forma al momento dell'alimentazione per l'improvviso effetto di ebollizione e sviluppo di vapore. Si deve far in modo che,



Figura 40. Essiccatore a nastro sotto vuoto (E&E Verfahrenstechnik GmbH — Germania).

nelle prime fasi dell'operazione, l'evaporazione continua vivacemente per mantenere porosa la struttura ed evitarne il collasso. Quando la sottrazione di acqua rende rigida la struttura del prodotto, l'apporto di calore deve invece essere ridotto per evitare surriscaldamenti del prodotto a contatto con il nastro.

Il vuoto dell'impianto viene garantito da pompe centrifughe ad anello liquido munite di eiettori ad aria, mediante le quali è possibile ottenere gradi vuoto relativamente spinti. I valori medi di pressione sono compresi tra 7 e 10 mm Hg; in queste condizioni la temperatura teorica di ebollizione dell'acqua è inferiore a 10 °C. A causa dell'elevato innalzamento ebullioscopico, il prodotto si disidrata in realtà a temperature superiori, comunque in genere mai al di sopra dei 40 °C.

Il prodotto essiccato viene scaricato in continuo mediante una valvola a saracinesca, che permette di separare ermeticamente il recipiente di raccolta dal corpo principale dell'essiccatore, una valvola per rompere il vuoto all'interno del recipiente di raccolta ed una pompa da vuoto supplementare per ripristinare il vuoto nel recipiente di raccolta.

3.2 LIOFILIZZAZIONE

La liofilizzazione è l'operazione di disidratazione che meglio minimizza il danno tecnologico sul prodotto, preservandone la qualità sen-

soriale e nutrizionale. Il costo elevato dell'operazione ne ha però spesso limitato l'utilizzo ad alimenti con elevato valore commerciale come le bevande nervine, gli alimenti dietetici per l'infanzia e particolari prodotti della pesca.

Nella liofilizzazione la disidratazione avviene per sublimazione del ghiaccio, portando il sistema acquoso al di sotto del punto triplo (0,098 °C e 4,8 mm Hg). Il prodotto viene prima raffreddato per conduzione o per convezione a temperature comprese tra -10 e -35 °C; l'acqua passa in tal modo dallo stato liquido allo stato solido. Si fa quindi il vuoto raggiungendo pressioni residue corrispondenti alla pressione di vapore del ghiaccio alla temperatura d'esercizio (20-250 Pa). Infine si disidrata il prodotto per sublimazione, fornendo il necessario calore latente mediante conduzione o irraggiamento.

Lo studio cinetico della liofilizzazione risulta particolarmente complesso; ai fenomeni propri della sublimazione si aggiungono i fenomeni del congelamento del prodotto nel condizionare la velocità di disidratazione. Limitandosi ai primi, la sublimazione dipende da fenomeni combinati di trasporto di calore e di materia non stazionari. Per effetto di un trasporto di calore conduttivo o radiante, l'acqua allo stato solido della superficie del prodotto sublima in funzione della differenza di pressione parziale tra la superficie del prodotto e la superficie del condensatore; si ha la conseguente formazione di un "fronte di sublimazione" che regredisce verso l'interno del prodotto. All'interno del prodotto avviene pertanto un trasporto di calore per conduzione attraverso uno strato disidratato di spessore crescente, la cui diffusività termica diminuisce esponenzialmente all'aumentare dello spessore, condizionando così criticamente la velocità di disidratazione. Il trasporto di materia all'interno del prodotto è invece caratterizzato dalla diffusione di acqua allo stato di vapore lungo lo strato di prodotto disidratato.

Durante la liofilizzazione non si verificano fenomeni di raggrinzimento del prodotto; inoltre, grazie al passaggio diretto solido-vapore dell'acqua, non avvengono sostanzialmente fenomeni di migrazione delle sostanze solubili¹⁵ e, di conseguenza, la distribuzione dei diversi com-

¹⁵ Alcune ricerche hanno però dimostrato come durante il congelamento possa avvenire alla superficie dei prodotti una concentrazione di solidi solubili; questa pellicola

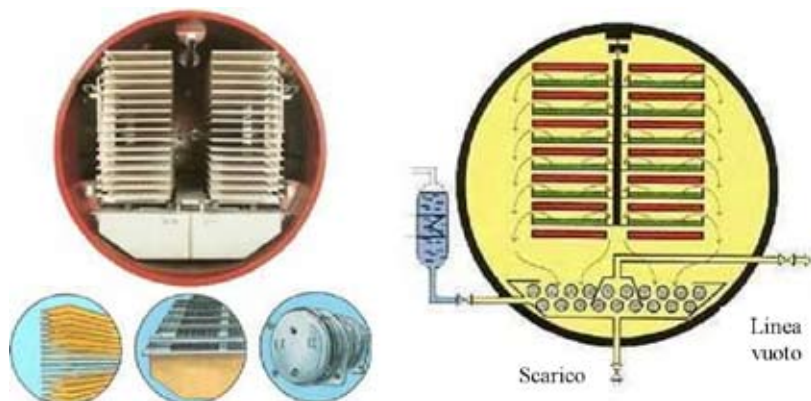


Figura 41. Liofilizzatore discontinuo (Gea Niro A/S — Danimarca).

ponenti in un liofilizzato è la stessa che si ha nel prodotto di partenza. Poiché la temperatura dell'intero trattamento è bassa, è anche possibile ridurre tutti i fenomeni di danno termico. Si realizzano così prodotti ottimi dal punto di vista qualitativo e conservabili per tempi molto lunghi; l'elevata porosità del materiale liofilizzato lo rende infine facilmente reidratabile.

Gli impianti di liofilizzazione possono essere sia discontinui che continui. I liofilizzatori discontinui (Fig. 41) consistono in genere di una camera cilindrica a sviluppo orizzontale, in cui sono disposti una serie di ripiani sovrapposti su cui sono alloggiati i vassoi contenenti i prodotti da liofilizzare. In questi impianti il vapore d'acqua condensa sotto forma di ghiaccio su uno scambiatore di calore a fascio tubiero; al termine dell'operazione il condensatore è investito di acqua calda, il ghiaccio fonde e l'acqua è scaricata.

Nei liofilizzatori continui il prodotto è fermo su un ripiano ed i diversi ripiani sono in movimento durante l'operazione (i.e. liofilizzatore a ripiani) oppure il prodotto è esso stesso in movimento attraverso l'impianto grazie a nastri, piatti o per fluidizzazione (i.e. liofilizzatore dina-

superficiale ad alta concentrazione di solidi può anche condizionare la velocità di disidratazione causando una diminuzione della diffusività del vapore d'acqua lungo strato disidratato.

mico). Questi impianti richiedono che la fusione del ghiaccio al condensatore avvenga senza bloccare il funzionamento del sistema grazie all'uso di due o più condensatori in comparti separati.

3.3 DISIDRATAZIONE OSMOTICA

Per osmosi si intende il fenomeno per cui una soluzione concentrata separata da una soluzione meno concentrata di uguale composizione tende ad estrarre acqua tramite una membrana semipermeabile, determinando un effetto di concentrazione nella soluzione più diluita. La forza motrice che determina il movimento dell'acqua è rappresentata dalla differenza di pressione osmotica fra le due soluzioni, mentre la selettività dell'operazione è garantita dalle caratteristiche della membrana semipermeabile, che deve essere facilmente attraversata dall'acqua e difficilmente attraversata dai soluti a causa del loro maggiore volume molecolare.

Si può quindi realizzare un'operazione di disidratazione immergendo un prodotto intero o in pezzi in una soluzione concentrata (ipertonica) compatibile con gli alimenti (sciroppi zuccherini e soluzioni saline). Le pareti e le membrane cellulari fungono da membrana semipermeabile, generando una diffusione di acqua dall'alimento alla soluzione accompagnata da una diffusione dell'agente osmotico dalla soluzione all'interno del prodotto. La velocità di disidratazione dipende in modo proporzionale dalla pressione osmotica della soluzione, dalla temperatura del sistema ed in modo inverso dalle dimensioni del prodotto; il grado di disidratazione raggiungibile è ovviamente limitato. Si parla in questi casi di disidratazione osmotica od osmodisidratazione.

La disidratazione osmotica pur essendo oggetto di studio da numerosi anni ha poche applicazioni industriali. Il suo interesse è sostanzialmente legato alla produzione di frutti ed ortaggi ad umidità intermedia (IMF) oppure pronti per essere essiccati, liofilizzati, surgelati o pastorizzati.

Rispetto alle altre tecniche, la disidratazione osmotica è interessante poiché la riduzione del contenuto d'acqua può avvenire a temperatura ambiente o a temperature poco superiori, minimizzando il danno termico, e poiché le elevate concentrazioni del mezzo osmotico riducono l'incidenza delle reazioni di imbrunimento. Un aspetto invece problematico è il fatto che il prodotto subisca un incremento del contenuto in solidi

per migrazione dei soluti provenienti dal mezzo osmotico e, nello stesso tempo, si determini il dilavamento di soluti costitutivi il prodotto (sali, acidi organici, composti aromatici), generando così cambiamenti delle caratteristiche sensoriali dei prodotti.

Gli impianti sono generalmente costituiti da un serbatoio di preparazione della soluzione ipertonica, da un sistema di pompe e valvole per la creazione e il controllo del flusso a velocità costante della soluzione nel serbatoio di disidratazione, dal serbatoio di disidratazione in cui il prodotto è immerso nella soluzione rinnovata di continuo, da un sistema di riconcentrazione della soluzione ipertonica mediante un evaporatore sotto vuoto a singolo o multiplo effetto (Fig. 42).

Le condizioni operative da adottare riguardano innanzitutto la scelta e il grado di concentrazione della soluzione osmotizzante; si possono usare sciroppi zuccherini (saccarosio, glucosio, prodotti di idrolisi dell'amido) a concentrazioni superiori a 60 °Brix o soluzioni di cloruro sodico semplici o in combinazione con soluzioni zuccherine. L'incremento della temperatura e l'uso del vuoto possono migliorare le cinetiche di disidratazione; l'effetto della temperatura è legato alla sua capacità di aumentare la diffusività materiale, mentre quello del vuoto è dato dalla sua capacità di aumentare la velocità del trasporto convettivo di materia all'interfaccia solido-liquido. Tuttavia, si determina anche un incremento della velocità di migrazione dei soluti verso la soluzione (a causa dell'aumento della temperatura) e una disareazione dei tessuti del prodotto che

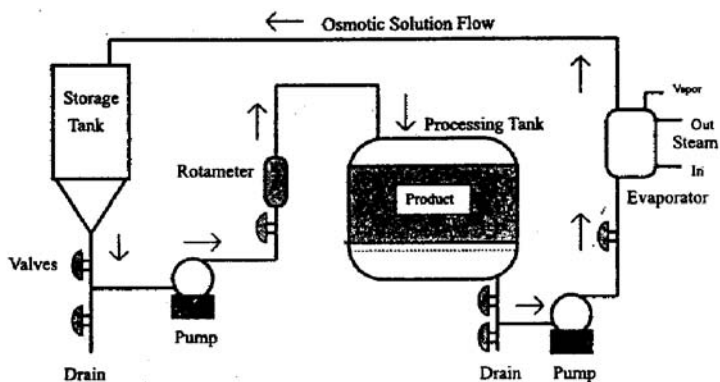


Figura 42. Schema funzionale di un impianto di osmodisidratazione.

provoca un loro arricchimento sempre da parte dei soluti della soluzione (a causa della riduzione della pressione).

Le condizioni operative ottimali dipendono pertanto dalla tipologia di prodotto e dalla sua struttura (dimensioni e permeabilità della cuticola). Ad esempio per cubetti di mela le condizioni generalmente ritenute ottimali sono l'uso di sciroppi zuccherini a 60-70 °Brix, a temperature di 20-50 °C, sotto agitazione per leggera ricircolazione dello sciroppo, per tempi tali da permettere una riduzione del 30-50% del peso iniziale del prodotto con conseguente dissoluzione di acidi organici e sali tra il 30-50% del contenuto iniziale ed arricchimento in solidi del 30-50% del contenuto iniziale.