

**Sezione D**  
**Industrie agrarie**

Tecnologie alimentari.....	2
1.1 La classificazione delle tecnologie alimentari.....	2
1.2 Operazioni Unitarie .....	3
1.2.1 Macinazione.....	3
1.2.2 Stabilizzazione termica .....	5
prodotto sfuso – trattamento indiretto .....	9
prodotto sfuso – trattamento diretto.....	9
prodotto confezionato.....	10
1.2.3 Filtrazione.....	11
1.2.4 Distillazione .....	12
1.2.5 Omogeneizzazione.....	14
1.2.6 Essiccamento.....	15
1.2.7 Concentrazione .....	17
Evaporazione.....	17
Crioconcentrazione.....	19
Osmosi inversa.....	19
1.2.8 Congelamento .....	20
1.2.9 Irradiazione .....	20
0.1 Bibliografia.....	22

### 1.1 LA CLASSIFICAZIONE DELLE TECNOLOGIE ALIMENTARI

La Tecnologia Alimentare è una disciplina scientifica che studia le procedure relative alla trasformazione delle materie prime in prodotti alimentari e che si occupa quindi dei processi di conservazione e di trasformazione dei prodotti alimentari.

Gli obiettivi che si pongono le tecnologie alimentari sono fondamentalmente due (Peri, 1991):

- Aumentare la conservabilità delle materie prime commestibili per consentirne il trasferimento dai luoghi di produzione a quelli di consumo e per estenderne la disponibilità nel tempo (TECNOLOGIE DI CONSERVAZIONE)
- Produrre alimenti complessi attraverso la combinazione e/o trasformazione di materie prime diverse o ingredienti alimentari e, da questi, prodotti finiti partendo anche da materie prime che come tali non sono commestibili o contengono addirittura fattori tossici ed antinutrizionali (TECNOLOGIE DI TRASFORMAZIONE)

Le tecnologie di conservazione hanno lo scopo di prolungare la vita commerciale di un alimento limitando le modifiche a livello strutturale, compositivo, sensoriale e nutrizionale. Queste tecnologie possono essere a breve termine (refrigerazione, combinazioni di tecnologie "soffici") o a lungo termine (congelamento, essiccamento, sterilizzazione) e vi appartengono:

- *tecnologie di conservazione dei prodotti "freschi"* (carne, uova, pesce, frutta, verdure, etc.) così come si ottengono dalle attività primarie (agricoltura, allevamento, pesca)
- *tecnologie di produzione di "conservate"* che consentono una conservazione prolungata nel tempo con interventi che possono modificare, anche radicalmente, le caratteristiche originarie dei prodotti.

Le tecnologie di trasformazione hanno, invece, lo scopo di modificare le caratteristiche delle materie prime e dei semilavorati a livello strutturale, compositivo, sensoriale, nutrizionale al fine di ottenere prodotti con adeguate proprietà sensoriali, nutrizionali, di utilizzo, di conservabilità etc. Si possono distinguere:

- *tecnologie di frazionamento*: un prodotto complesso, in genere una materia prima, formato da più costituenti viene frazionato nei suoi componenti (zucchero, olio, farina etc.). In genere si utilizzano per ottenere ingredienti alimentari,
- *tecnologie di combinazione*: gli ingredienti vengono combinati per ottenere prodotti più complessi (pasta, gelati, bevande non fermentate etc.),
- *tecnologie di trasformazione*: le materie prime o gli ingredienti sono trasformati con interventi chimici e/o enzimatici (vino, birra, formaggi, prodotti da forno etc.).  
Nell'ambito delle tecnologie di trasformazione si possono inoltre avere:
  - *tecnologie di prima trasformazione*: operano su materie prime provenienti dalla produzione primaria (vino, formaggi, burro, salumi, succhi, caffè, tè),
  - *tecnologie di seconda trasformazione*: operano su materie prime provenienti da una prima trasformazione (pane, prodotti dolciari, pasta, bevande analcoliche, liquori, birra).

Da un punto di vista prettamente funzionale tutti i processi di conservazione e trasformazione degli alimenti prevedono quindi la presenza di:

- *materie prime*: i materiali che entrano nel processo produttivo dall'esterno per subire una trasformazione. Possono provenire dalla produzione primaria (agricoltura, allevamento, pesca), dalle industrie di prima trasformazione e da altre industrie che forniscono additivi, coadiuvanti, imballaggi,
- *prodotto alimentare*: tutti i prodotti destinati al consumo alimentare come tali o previa conservazione e/o trasformazione,
- *processo*: insieme di operazioni, materiali, attività, controlli che vengono utilizzati per trasformare delle materie prime in prodotti finiti. Il processo deve consentire di conservare e trasformare una materia prima con la massima efficienza ossia con minime perdite di materiale al fine di massimizzare le rese, minimi consumi energetici, massima velocità, minimo danno tecnologico al prodotto.

## 1.2 OPERAZIONI UNITARIE

Ogni processo è formato da unità indivisibili, le Operazioni Unitarie, che costituiscono le unità di un processo industriale e sono basate su leggi e principi generali validi indipendentemente dal materiale trattato. Le Operazioni Unitarie si possono raggruppare in sei macro-categorie:

- *riduzione delle dimensioni*: operazioni puramente meccaniche che determinano la rottura di un ingrediente sino alla frantumazione delle cellule con liberazione dei contenuti cellulari e la modificazione sostanziale della reologia del prodotto. Ne fanno parte ad esempio taglio, molitura e laminazione;
- *stabilizzazione*: operazioni in cui si ha la distruzione o l'inibizione di fattori di degradazione quali microrganismi e/o enzimi e si possono avere contemporaneamente modifiche delle caratteristiche chimiche, strutturali, nutrizionali e sensoriali dei prodotti ottenuti. Ne fanno parte ad esempio pastorizzazione, sterilizzazione, surgelazione, essiccamento, liofilizzazione;
- *miscelazione*: operazioni in cui si ottiene una distribuzione omogenea dei componenti di una miscela con eventuale formazione di interfasi quali emulsioni o schiume. Ne fanno parte ad esempio agitazione, impastamento, gasatura;
- *trasformazione*: operazioni in cui si ha una modificazione della composizione chimica del prodotto con significative variazioni nelle caratteristiche chimiche, strutturali, sensoriali e nutrizionali. Ne fanno parte ad esempio fermentazione, cottura;
- *separazione*: operazioni in cui si ha la separazione dei componenti di una miscela in base a differenze geometriche o/o fisiche. Ne fanno parte ad esempio vagliatura, filtrazione, centrifugazione, decantazione, distillazione, flottazione;
- *condizionamento*: operazioni in cui si ha il confezionamento del prodotto mediante opportuni materiali che ne devono conservare le caratteristiche compositive, sensoriali, nutrizionali e strutturali per tutta la durata di vita del prodotto stesso salvaguardandone la salubrità.

### 1.2.1 Macinazione

La macinazione è una operazione abbastanza frequente nelle industrie alimentari in quanto consente:

- la riduzione in frammenti che permettono o favoriscono l'estrazione dei costituenti desiderati (farina, mosto, olio) dalle materie prime (cariosside, uva, oliva);
- l'ottenimento della pezzatura voluta (spezie);

- l'aumento della superficie al fine di favorire alcuni trattamenti (essiccazione, cottura, estrazione con solvente);
- la riduzione delle dimensioni così da favorire la miscelazione, la dissoluzione o l'emulsione nelle formulazioni.

Nella macinazione il materiale è sottoposto a forze di compressione (utilizzata prevalentemente per la macinazione grossolana di prodotti duri), di impatto (utilizzata sia per prodotti duri che per granulometrie fini) ed attrito (utilizzata prevalentemente per prodotti soffici, non abrasivi, quando è richiesta una macinazione fine).

Le suddette forze esercitate sul prodotto conferiscono energia. Se si supera un livello critico di energia accumulata si formano delle fratture e l'energia viene utilizzata per generare nuove superfici e calore. Quindi la fase di macinatura provoca un riscaldamento al prodotto di cui bisogna tenere conto nella progettazione e nell'utilizzo del mulino nonché fare sì che il materiale macinato lasci il mulino man mano che raggiunge le dimensioni volute al fine di evitare un suo surriscaldamento.

La scelta dell'impianto di macinazione dipende da vari fattori legati al tipo di materiale da trattare ed in particolare a:

- Durezza
- Rigidità/flessibilità
- Abrasività
- Impastabilità
- Temperatura di rammollimento o fusione
- Struttura
- Peso specifico
- Stabilità chimica
- Omogeneità
- Contenuto in acqua

Gli impianti utilizzati per la macinatura differiscono per:

- Tipo di forza prevalente applicata
- Tempo medio di stazionamento del prodotto nel mulino
- Capacità di dissipazione del calore
- Funzionamento a secco o umido
- Funzionamento continuo/discontinuo

Sulla base della modalità di macinatura i mulini si possono suddividere in:

- *Frantoi o frantumatori*: servono per una macinazione preliminare grossolana
  - o a mascella
  - o rotativi
  - o a cilindro dentato
  - o a due cilindri dentati
- *Trituratori o Granitori*: servono per pezzature più fini
  - o a cilindri
  - o molazza
  - o a pioli
- *Polverizzatori o Finitori*: servono per ottenere polveri molto fini partendo da materiali già pre-macinati
  - o a palmenti
  - o finitore a cilindri
  - o centrifugo
  - o a palle

In genere la macinatura è seguita dalla separazione delle diverse pezzature del materiale macinato (setacciatura o vagliatura) che si ottiene facendo passare il prodotto attraverso piastre forate con fori di diametro progressivamente minori. I setacci sono identificati attraverso il numero di mesh ossia il numero di maglie per pollice lineare.

In funzione del tipo di movimento e struttura del vaglio si distinguono i setacci orizzontali, i setacci a tamburo ed i setacci a vibrazione.

### 1.2.2 Stabilizzazione termica

La stabilizzazione termica raggruppa i processi che hanno come obiettivo quello di aumentare la conservabilità di un alimento mediante l'inattivazione termica, più o meno completa, dei microrganismi e degli enzimi presenti mantenendo il più possibile inalterate le caratteristiche compositive, sensoriali e nutrizionali dell'alimento stesso. Fanno parte di questo raggruppamento i trattamenti di pastorizzazione e di sterilizzazione entrambi basati sul trasporto di calore. Nel caso della pastorizzazione l'obiettivo è quello di distruggere le forme vegetative dei microrganismi ed in particolare di quelli patogeni e gli enzimi più termolabili che potrebbero alterare gli alimenti. Poiché la distruzione non è completa il tempo di conservabilità aumenta rispetto a quello del prodotto non trattato ma resta limitato e funzione dell'intensità del trattamento, della natura del prodotto, della carica iniziale e delle modalità di conservazione. Con la sterilizzazione invece si cerca di distruggere tutti i fattori di instabilità del prodotto e quindi ottenere una conservazione molto lunga benchè dipendente dalle caratteristiche del prodotto, dal tipo di trattamento e dalle modalità di conservazione.

Tradizionalmente si considerano come "pastorizzazione" tutti i trattamenti effettuati ad una temperatura inferiore ai 100 °C e "sterilizzazione" quelli a temperatura superiore a 100 °C ma, in realtà, la sola temperatura non è sufficiente a definire il tipo di trattamento. Infatti trattando un latte a 75 °C per 15 s la conservabilità del prodotto aumenta di alcuni giorni mentre trattando un succo di limone alla stessa combinazione di tempo/temperatura si aumenta la conservabilità a molti mesi in conseguenza del pH molto basso che ostacola lo sviluppo dei microrganismi alteranti.

I principi su cui si basa l'inattivazione termica sono gli stessi, indipendenti dalla temperatura di processo e legati alla resistenza termica dei microrganismi.

La distruzione termica dei microrganismi a temperatura costante segue una cinetica di primo ordine definita da Bigelow:

$$\frac{dN}{d\theta} = -kN$$

dove N è il numero dei microrganismi per unità di peso o volume,  $\theta$  = tempo e K= costante di velocità della distruzione. Il segno negativo indica che si tratta di una diminuzione e quindi N diminuisce all'aumentare di  $\theta$ . Inoltre l'equazione evidenzia che la velocità di riduzione della popolazione microbica è inversamente proporzionale al numero di microrganismi N.

Integrando l'equazione nei limiti di tempo iniziale (0) e finale ( $\theta$ ) dove il numero di microrganismi è rispettivamente pari ad  $N_0$  ed N si ha che:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -k \int_0^{\theta} d\theta$$

Passando ai logaritmi prima naturali e poi decimali si ha:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -K\theta$$

$$\ln \frac{N_0}{N} = K\theta$$

$$\log \frac{N_0}{N} = \frac{K}{2.3} \theta$$

Considerando  $K/2.3$  come una sola costante  $D$  equivalente al tempo di riduzione decimale si ha una nuova equazione che costituisce la **I° equazione di Bigelow**:

$$\log \frac{N_0}{N} = \frac{\theta}{D}$$

Questa equazione rappresenta una retta in un grafico  $\log N = f(\theta)$  in quanto si può scrivere come:

$$\log N = \log N_0 - \frac{1}{D} \theta$$

In cui  $\log N_0$  è l'ordinata all'origine e  $(-1/D)$  il coefficiente angolare.

Nella figura 1.1 segue è riportata, ad esempio, una "retta di sopravvivenza" ipotetica per un certo microrganismo ad una determinata temperatura.

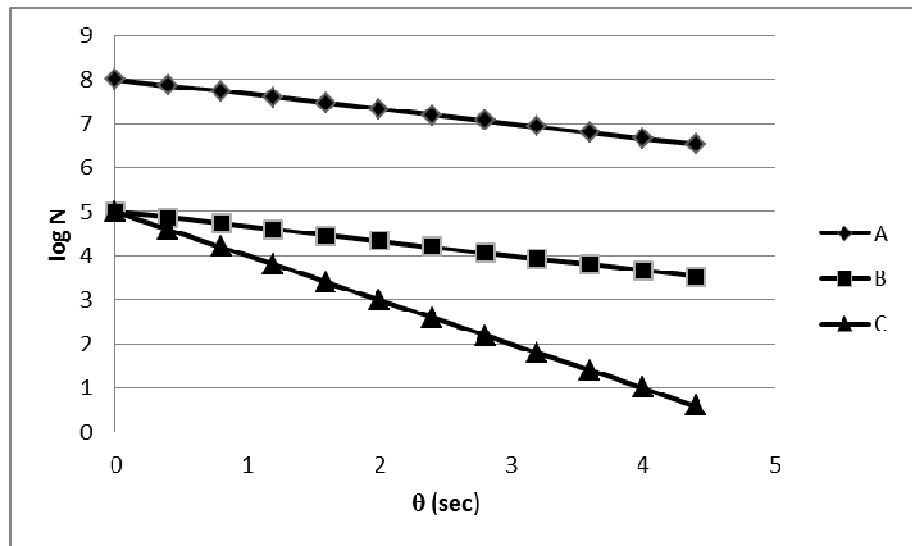


Figura 1.1 Rette di sopravvivenza teoriche per diverse temperature di trattamento

Dall'esame dell'equazione e del grafico risulta che:

- il valore di D corrisponde ad una riduzione decimale della carica del microrganismo ossia al tempo necessario per ridurre di 10 volte la carica batterica e quindi distruggere il 90% della popolazione presente (se  $N=N_0/10$  allora  $D=\theta$ ),
- utilizzando una determinata temperatura di trattamento, minore è la carica iniziale, minore sarà la carica finale a parità di tempo di trattamento (curve A e B),
- aumentando la temperatura di trattamento aumenta l'inclinazione della curva in quanto si riduce D e quindi a parità di carica iniziale si avrà una carica finale minore (curve B e C),
- nessun trattamento potrà ridurre a zero una carica microbica, qualunque sia il valore di temperatura. Si può però realizzare un trattamento che riduca a valori estremamente bassi la probabilità di individuare un microrganismo vivo.

I valori di D per i principali microrganismi di interesse alimentare sono reperibili in letteratura e fanno riferimento in genere a una temperatura di trattamento pari a 121 °C (Pompei, 2009). Nella tabella sottostante alcuni valori da bibliografia di D per microrganismi di interesse alimentare.

Microrganismo	Temperatura (°C)	D (min)
<i>Bacillus cereus</i> (s)	100	5.5
<i>Clostridium butyricum</i> (s)	85	12-23
<i>Clostridium sporogenes</i> (s)	121	0.2-1.5
<i>Clostridium botulinum</i> (s)	121	0.13-0.25
<i>Escherichia coli</i>	70	0.006-0.04
<i>Listeria monocytogenes</i>	70	0.15-0.27
<i>Styaphylococcus aureus</i>	70	0.3

(s - spore)

Il tempo di riduzione decimale  $D$  dipende da molti fattori (tipo microrganismo, fase di crescita, pH del mezzo, umidità ambientale, presenza di grassi, temperatura di trattamento).

La relazione fra  $D$  e temperatura è stata espressa da Bigelow con l'espressione:

$$D = a * \exp^{-b\theta}$$

Dove  $a$  e  $b$  sono delle costanti e  $\theta$  la temperatura del mezzo. Considerando due temperature  $\theta_1$  e  $\theta_2$  si ha

$$D_1 = a * \exp^{-b\theta_1}$$

$$D_2 = a * \exp^{-b\theta_2}$$

Da cui:

$$\ln D_1 = \ln a - b\theta_1$$

$$\ln D_2 = \ln a - b\theta_2$$

Sottraendo la seconda equazione dalla prima si ha:

$$\ln(D_1 / D_2) = b * (\theta_2 - \theta_1)$$

E passando ai logaritmi decimali:

$$\log(D_1 / D_2) = (b / 2.3) * (\theta_2 - \theta_1)$$

Ponendo  $2.3/b = z$  si ha:

$$\log(D_1 / D_2) = (\theta_2 - \theta_1) / z$$

Che rappresenta la **II° equazione di Bigelow** e che consente di calcolare il tempo di riduzione decimale  $D_2$  alla temperatura  $\theta_2$  noto  $D_1$  alla temperatura  $\theta_1$  e il valore  $z$ .

Il valore  $z$  è una temperatura (ponendo  $D_1$  pari a 10 volte  $D_2$ , il logaritmo del rapporto sarà 1 e  $z=(\theta_2-\theta_1)$ ) e corrisponde alla differenza di temperatura che determina una variazione di 10 volte di  $D$  od anche l'aumento di temperatura che determina un aumento di 10 volte della velocità di distruzione termica del microrganismo.

Anche i valori di  $z$  per i principali microrganismi sono riportati in bibliografia (Pompei, 2009):

Microrganismo	$z$ (°C)
<i>Bacillus cereus</i> (s)	9.7



<i>Clostridium butyricum (s)</i>	10
<i>Clostridium sporogenes (s)</i>	13
<i>Clostridium botulinum (s)</i>	8.3-27.0
<i>Escherichia coli</i>	4.9-6.5
<i>Listeria monocytogenes</i>	6.7
<i>Styaphylococcus aureus</i>	5.1

(s – spore)

Si evidenzia che per le spore dei microrganismi  $z$  è dell'ordine di 10 °C (cioè se la temperatura aumenta di 10 °C la cinetica di distruzione dei microrganismi aumenta di 10 volte) mentre per le forme vegetative è di circa 5 °C.

Nel caso delle reazioni chimiche il valore di  $z$  è di circa 30 °C e quindi un aumento della temperatura di trattamento termico accelera molto di più la velocità di abbattimento dei microrganismi che non la velocità delle reazioni chimiche di danneggiamento del prodotto. Ne deriva inoltre che un trattamento termico è tanto più efficace quanto più viene condotto a temperature elevate per tempi brevi. All'aumentare della temperatura i tempi necessari per raggiungere la sterilizzazione diminuiscono in maniera logaritmica ed il limite è dovuto al fatto che superati i 150 °C i tempi sono così piccoli da non poter essere attuati industrialmente.

Dal punto di vista impiantistico la stabilizzazione termica può essere attuata mediante due approcci: il trattamento del prodotto sfuso (in modo diretto od indiretto) seguito dal confezionamento in ambiente sterile oppure il trattamento del prodotto già confezionato.

Entrambi possono essere utilizzati sia per la pastorizzazione che per la sterilizzazione in funzione delle temperature applicate e della matrice interessata.

#### **PRODOTTO SFUSO – TRATTAMENTO INDIRETTO**

Questo tipo di trattamento è utilizzato sia per la pastorizzazione che per la sterilizzazione e viene attuato mediante degli scambiatori (a piastre o tubolari) in cui il prodotto da trattare incontra in contro-corrente un liquido che ne determina il riscaldamento. Nel caso degli scambiatori a piastre vi sono delle piastre in acciaio poste a pochi mm di distanza così da formare delle intercapedini all'interno delle quali vengono fatti scorrere, alternativamente, il prodotto da trattare ed il liquido di riscaldamento. Apposite guarnizioni poste intorno alla piastra oltre a delimitare lo spessore delle cavità, le isolano dall'ambiente circostante. Le piastre, molto sottili, sono sagomate così da facilitare lo scambio termico fra i due liquidi con la creazione di moti turbolenti all'interno delle cavità. Nel caso invece degli scambiatori tubolari vi sono, in genere, tre tubi concentrici e nella corona circolare che si viene a creare fra il primo tubo (il più interno) ed il secondo tubo viene fatto scorrere il prodotto. Per applicazioni particolari possono essere utilizzati anche scambiatori a fascio tubiero o, nel caso di prodotti molto densi e/o che possono dare origine a sedimenti, scambiatori a superficie raschiata.

#### **PRODOTTO SFUSO – TRATTAMENTO DIRETTO**

Questo tipo di trattamento viene utilizzato esclusivamente per la sterilizzazione ed è basato sul contatto diretto fra il prodotto ed il fluido riscaldante (vapore). In particolare il contatto può avvenire mediante l'iniezione di vapore nel prodotto o l'infusione nel

vapore del prodotto. Nel primo caso il vapore viene iniettato direttamente nel prodotto mediante una speciale valvola a tre vie mentre nel secondo il prodotto viene disperso nel vapore all'interno di un reattore. La dispersione del prodotto nel vapore consente di trattare anche fluidi ad elevata viscosità quali creme che non sono invece trattabili con il sistema ad iniezione diretta in quanto il vapore non si unisce al prodotto. Il trattamento diretto ha il vantaggio rispetto a quello indiretto di determinare un aumento istantaneo della temperatura del prodotto e quindi una riduzione del tempo di degradazione termica con evidenti vantaggi dal punto di vista compositivo, sensoriale e nutrizionale. L'immissione di vapore direttamente nel prodotto implica però che il vapore sia ottenuto da acqua alimentare, mentre nel caso del trattamento indiretto non vi sono vincoli di questo tipo. Un ulteriore problema del trattamento diretto è la miscelazione del vapore con il prodotto e di conseguenza una diluizione del prodotto stesso. Dopo il trattamento l'acqua in eccesso viene quindi eliminata con una evaporazione sottovuoto sfruttando il calore derivante dalla miscelazione con il vapore. L'evaporazione determina altresì il raffreddamento del prodotto.

#### **PRODOTTO CONFEZIONATO**

Il trattamento del prodotto confezionato o "appertizzazione" può essere utilizzata sia per la pastorizzazione che la sterilizzazione di liquidi e solidi. Il processo, messo a punto nell'800 prevede che il prodotto, opportunamente preparato, venga posto nel contenitore finale, sigillato e quindi trattato in acqua a pressione ambientale o con autoclavi in sovra-pressione. Nel primo caso la temperatura massima del trattamento è di 100 °C e quindi ha l'effetto di una pastorizzazione ma se il pH del prodotto è inferiore a 4,5 si ottiene, in virtù dell'azione combinata di temperatura ed acidità, una sterilizzazione. Il trattamento può essere fatto immergendo direttamente le confezioni in acqua od aspergendole con acqua calda all'interno di tunnel dove le confezioni si muovono su nastri trasportatori. Utilizzando invece delle autoclavi è possibile utilizzare temperature superiori ai 100 °C per tempi variabili in funzione del prodotto. Il processo può essere discontinuo o continuo. Nel primo caso le confezioni sigillate vengono poste nell'autoclave ed estratte dopo il trattamento mentre nel secondo caso le confezioni vengono portate con opportuni sistemi alla zona di trattamento in modo continuo e da questo estratte al termine dello stesso (sistemi Hydrolock, Hydroflow, sterilizzatori idrostatici a torre).

In entrambi i casi le temperature e soprattutto i tempi vengono definiti, oltreché dal tipo di prodotto e di intensità del trattamento che si vuole raggiungere, anche dal volume del contenitore. In Tabella 1.3 è riportato un confronto fra la tecnica di appertizzazione e quella di confezionamento del prodotto sterile:

*Tabella 1.3: Confronto fra la tecnica di appertizzazione e la sterilizzazione in flusso con confezionamento asettico*

<b>Appertizzazione</b>	<b>Confezionamento asettico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- riempimento e chiusura dei contenitori in ambiente non sterile</li> <li>- sterilizzazione del recipiente con l'alimento</li> <li>- riscaldamento lento</li> <li>- consumo energetico elevato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- elevato numero di alimenti sterilizzabili</li> <li>- shelf-life elevata</li> <li>- danni termici limitati</li> <li>- processo termico indipendente dal contenitore finale</li> <li>- uso di contenitori leggeri, flessibili,</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- perdite notevoli di componenti</li> <li>- variazioni sensoriali elevate</li> <li>- necessari contenitori robusti, pesanti ma di capacità limitata</li> <li>- costi elevati di trasporto e distribuzione</li> <li>- impianti semplici</li> <li>- conservazione molto lunga anche a T ambiente</li> <li>- trattamento anche di alimenti solidi o molto viscosi o con solidi</li> </ul>	<p>economici, con volumi anche elevati</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- costi ridotti di trasporto e distribuzione</li> <li>- minori interazioni fra alimento e contenitore</li> <li>- si possono sterilizzare singolarmente i componenti che vengono uniti solo al confezionamento</li> <li>- maggiore automazione</li> <li>- minori perdite di componenti</li> <li>- minore consumo energetico</li> <li>- tecnica "delicata"</li> <li>- difficoltà con solidi, pastosi o pezzi grandi</li> </ul>
---	--

### 1.2.3 Filtrazione

La filtrazione è una tecnica di separazione meccanica di particelle solide disperse in un fluido. La separazione avviene mediante il passaggio della sospensione attraverso un mezzo poroso che trattiene le particelle solide mentre viene attraversato dal fluido. Molto utilizzata nei processi alimentari, consente di ridurre la carica batterica e quindi determinare una stabilizzazione biologica, di eliminare sostanze intorbidanti e quindi determinare una stabilizzazione chimica e ridurre la cessione di sostanze indesiderate dalle particelle al liquido.

E' possibile distinguere le operazioni di filtrazione sulla base delle dimensioni medie delle particelle trattenute, del meccanismo di ritenzione dei solidi e della direzione dei flussi.

Nel caso delle dimensioni delle particelle possiamo distinguere una filtrazione (>10 µm), una microfiltrazione (0,1-10 µm) ed una ultrafiltrazione (0,01-0,1 µm).

Considerando il meccanismo di azione si può avere una filtrazione di superficie o una filtrazione di profondità. Nel primo caso le particelle vengono trattenute sulla superficie del mezzo filtrante costituito da una membrana molto sottile in quanto le dimensioni dei fori non ne consentono il passaggio. E' quindi una tecnica assimilabile al setacciamento dove le particelle di dimensione superiore ai pori sono trattenute mentre quelle con dimensione inferiore passano nel filtrato. Si tratta di una tecnica utilizzata in genere per sospensioni con un basso numero di particelle per evitare una rapida occlusione dei pori ("colmataggio") e quindi l'interruzione della filtrazione. Quindi viene utilizzata nelle fasi di "finitura", dopo che altri sistemi di filtrazione hanno già eliminato la maggior parte delle particelle in sospensione. Nel caso invece della filtrazione di profondità il mezzo filtrante presenta uno spessore notevole con delle porosità di varia dimensione e forma all'interno delle quali le particelle anche se di dimensioni inferiori ai pori vengono comunque trattenute con vari meccanismi.

I materiali utilizzati come mezzo filtrante sono molti (sabbia, lana di vetro, ausiliari vari) e gli spessori possono arrivare a decine di centimetri. Durante la predisposizione del filtro si ha la formazione di una fitta rete di capillari di varia forma e dimensione entro cui scorre la sospensione. Le particelle di diametro inferiore alle porosità entrano nelle porosità stesse ma per effetto di adsorbimento, attrazione elettrostatica, sedimentazione ed altri meccanismi vi vengono trattenute. Vi è anche un fenomeno di filtrazione superficiale che interessa le particelle di diametro superiore alle porosità ma che si cerca di evitare in quanto riduce la capacità filtrante del filtro. Nella filtrazione di

profondità il mezzo filtrante può essere pre-formato o preparato al momento. In questo caso si può avere una filtrazione con deposito (si costruisce il mezzo filtrante o “panello” depositando del materiale opportuno su di un supporto metallico) o con alluvionaggio (il materiale che costituirà il filtro viene unito al prodotto da filtrare e contribuiscono insieme ai solidi del prodotto alla costituzione del “panello”).

In tutte le tecniche esaminate sinora la sospensione viene inviata perpendicolarmente alla superficie del filtro e questo può determinare, nel caso di sospensioni molto ricche di materiali, una occlusione delle porosità con perdita di funzionalità del filtro.

In questi casi può essere utilizzata una tecnica alternativa di filtrazione in cui la sospensione viene inviata tangenzialmente alla superficie filtrante. In questo modo le particelle solide non possono depositarsi ed occludere le porosità in quanto messe in movimento dal flusso e la superficie del mezzo filtrante rimane pulita.

In un impianto di filtrazione tangenziale la sospensione viene inviata sul filtro ed a causa di una differenza di pressione fra la zona a monte e quella a valle del filtro una parte attraversa il filtro andando a costituire il “permeato”. La parte che non passa attraverso il filtro (“retentato”) viene inviata ad un serbatoio polmone da cui viene ripresa e re-inviata sul filtro unitamente a nuova sospensione. Il processo si ripete sino a quando l’occlusione dei pori determina un eccessivo aumento di pressione sul filtro. A questo punto il processo viene interrotto ed il filtro lavato.

La filtrazione tangenziale rispetto alla filtrazione tradizionale può operare con sospensioni ad elevato contenuto di solidi (acque reflue, mosto) ed ha una capacità di filtrazione maggiore a parità di superficie filtrante per il minore colmataggio dovuto allo scorrimento della sospensione.

#### **1.2.4 Distillazione**

La distillazione è una tecnica utilizzata per separare o frazionare i componenti di una miscela liquida sulla base dei rispettivi punti di ebollizione.

Portando ad esempio una miscela liquida, ad esempio binaria, al suo punto di ebollizione, il componente più volatile passa allo stato di vapore in quantità maggiore di quello meno volatile. Si ottengono quindi due miscele, una nella fase vapore più ricca del componente più volatile, l'altra nella fase liquida più ricca del componente meno volatile.

È usata sia per separare miscele complesse che per purificare sostanze. È una tecnica nota sin dal Medioevo dov'era applicata principalmente alla produzione di bevande alcoliche. Oggi trova applicazione in numerosi processi chimici, il più importante dei quali, è indubbiamente, la separazione del petrolio greggio nei suoi diversi componenti.

Esistono varie tecniche di distillazione:

- *Semplice*: la soluzione liquida viene portata ad ebollizione e il vapore che si libera viene condensato senza che torni in contatto con il liquido in ebollizione.
- *Frazionata o di rettifica*: la distillazione frazionata prevede che il vapore che si forma dal liquido venga condensato e sottoposto a ulteriore riscaldamento per generare un nuovo vapore, che a sua volta viene condensato e fatto ri-evaporare. Questo processo può essere ripetuto più volte. Alla fine del processo si ottiene un vapore che presenta una concentrazione di prodotto più volatile maggiore rispetto a quella che si può ottenere con una distillazione semplice.
- *Sotto vuoto*: l'applicazione del vuoto consente di diminuire la temperatura di ebollizione e quindi di effettuare la distillazione a temperature inferiori. Le pompe ad acqua operano a 20-25 torr e portano ad una diminuzione della temperatura di

ebollizione di circa 100 °C, le pompe meccaniche operano a circa 0,1 torr e portano ad un abbassamento del punto di ebollizione di circa 200 °C. La tecnica della distillazione sotto vuoto è discontinua ed è alla base del Rotavapor.

- *In corrente di vapore*: la miscela od il prodotto vengono attraversati da una corrente di vapore che separa i componenti da recuperare. Il vapore arricchito dei componenti volatili della miscela viene quindi ricondensato. E' una tecnica molto utilizzata per il recupero degli oli essenziali dalle spezie e dalle piante aromatiche. Il vapore può essere generato all'esterno del distillatore o all'interno mantenendo il prodotto separato mediante una griglia sul fondo del distillatore.

La tecnica di distillazione più importante è quella di rettifica realizzata industrialmente nelle colonne per la distillazione frazionata, dove per aumentare l'interfaccia di scambio tra le fasi e quindi la velocità di separazione dei componenti della miscela, la colonna di distillazione viene riempita con piatti forati equidistanti (e in questo caso si parla di colonna a piatti) oppure con blocchetti di materiale (anche chiamata colonna a corpi di riempimento) inerte alle sostanze trattate.

A diverse altezze della colonna, condensano le diverse sostanze, in funzione del loro punto di ebollizione (o in altre parole della loro diversa volatilità). Maggiore è l'altezza della colonna ed il gradiente di temperatura che si instaura lungo la sua altezza, più efficiente sarà la separazione delle sostanze.

Nelle colonne a piatti si possono avere:

- *piatti a campanelle* (bubble cap trays): sono dei piatti in cui sono poste delle campanelle costituite da un tubo sopra al quale vi è una coppa forata. Il liquido scende dallo stramazzo del piatto superiore e forma un battente che corrisponde all'altezza del tubo della campanella. I vapori in risalita attraversano i fori della "coppa" e sono costretti a gorgogliare nel liquido, condensando in parte, a seconda della temperatura a cui si trova il piatto. I piatti a campanelle presentano una grande flessibilità operativa, tuttavia non presentano elevate efficienze, specie se la volatilità relativa tra i componenti della miscela non è molto diversa;
- *piatti a valvole* (valve trays): possono essere considerati come una semplificazione del piatto a campanelle. In questo caso in ogni foro è alloggiata una valvola che si apre solo tramite la pressione del vapore in risalita. I piatti a valvole sono costruttivamente più semplici e quindi meno costosi, ma presentano una maggior difficoltà di dimensionamento. Inoltre il vapore per pressioni basse rischia di essere bypassato, per la non risalita della valvola nel caso di battenti di liquido importanti (weeping);
- *piatti forati* (sieve tray): sono costituiti semplicemente da una piastra forata. I piatti forati possono non essere dotati di discendente e stramazzo e la discesa del liquido può essere realizzata in controcorrente al vapore attraverso i fori. Anche questo tipo di piatto presenta il problema del bypass del vapore, specie se non dimensionato adeguatamente.

Nelle colonne a corpi di riempimento il contatto tra le fasi è di tipo continuo ed il riempimento serve per dare una superficie sulla quale il liquido possa scorrere dall'alto verso il basso, mentre il gas risale con moto contrario. Il riempimento può essere eseguito in due modi:

- *in modo casuale*: è il più antico ed usato sino agli anni '70. Consiste nel riempire la colonna con elementi cilindrici cavi (anelli Raschig) o elementi a forma di sella (selle Berl) in modo che i due fluidi aderiscano sotto forma di film su tali elementi. La principale limitazione del riempimento casuale è determinata dalla possibilità che si

formino dei cammini preferenziali, ossia zone in cui il riempimento è meno compatto. In tal caso i fluidi tenderebbero a percorrere la colonna senza distribuirsi uniformemente sul riempimento, con perdite di prestazioni. Altre limitazioni sono dovute alle perdite di carico elevate ed alla possibilità che la colonna si ingolfi facilmente, specie se vengono introdotti fluidi ad alta viscosità;

- *per pacchi strutturati*: è il sistema più utilizzato attualmente. Il pacco strutturato consiste in un sistema di lamelle ondulate applicate a due griglie di sostegno. La colonna riempita con i pacchi strutturati presenta non solo minori perdite di carico, ma anche una minore altezza, dato che questo tipo di riempimento fa sì che ogni pacco presenti una minore altezza equivalente del piatto teorico (HETP) che non nel riempimento casuale. Tutto ciò si traduce in una migliore efficienza della colonna e in un minore costo di manutenzione.

### **1.2.5 Omogeneizzazione**

Molte volte nei processi produttivi alimentari si ha la necessità di mescolare i componenti di una miscela facendo in modo che durante la successiva fase di conservazione non possano più separarsi. E' il caso della frazione lipidica di un latte che tende spontaneamente ad affiorare o dei frammenti di polpa in un succo di frutta che invece tendono a sedimentare e così via. Problema analogo si ha con alcune preparazioni speciali in cui si devono unire materiali solidi disomogenei (carne, verdura, frutta) così da avere una miscela in cui non siano individuabili i singoli componenti. In tutti questi casi è necessario l'impiego dell'omogeneizzatore, una macchina che consente di micronizzare e disperdere le particelle in sospensione nel fluido, conferendo stabilità alla miscela nonostante i successivi trattamenti e stoccaggi. Il principio di funzionamento dell'omogeneizzatore è quello di disperdere i componenti di una miscela mediante una frammentazione spinta ottenuta non per semplice azione meccanica come nel caso dei mulini ma unendo più azioni (urto, cavitazione, vibrazione). Nel processo di omogeneizzazione la miscela viene portata ad una pressione molto elevata (oltre i 100 bar) e quindi fatto passare attraverso una "valvola di omogeneizzazione" costituita da un foro parzialmente chiuso da un pistone servo-assistito che lascia libera una sottile corona circolare (Figura 1.2).

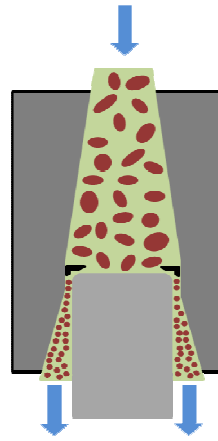


Figura 1.2. Schema di funzionamento della testata di omogeneizzazione

Nel passaggio attraverso questa corona circolare il prodotto viene assoggettato a numerose forze che causano la micronizzazione delle particelle: una violenta accelerazione con immediata decelerazione che generano cavitazione con esplosione dei globuli, intensa turbolenza, unita a vibrazioni ad alta frequenza, forze di taglio d'urto derivate dal passaggio laminare tra le superfici della valvola di omogeneizzazione e conseguente impatto con l'anello d'urto

L'omogeneizzazione può avvenire con l'impiego di una singola valvola omogeneizzante (idonea nel trattamento di dispersione), oppure di una doppia (consigliata nell'impiego di emulsioni e per il controllo della viscosità quando richiesto).

### 1.2.6 Essiccamento

E' una operazione unitaria in cui l'umidità di un prodotto viene ridotta per evaporazione. Differisce dalla liofilizzazione che elimina l'acqua per sublimazione, dalla concentrazione dove la quantità di acqua eliminata è molto inferiore ed in alcuni casi è preliminare alla essiccazione e differisce dai processi in cui l'umidità è ridotta per aggiunta di sostanze osmoticamente attive (zucchero, sale). Si può avere un essiccamento per convezione operando in corrente d'aria o un essiccamento per ebollizione quando l'evaporazione dell'acqua avviene alla sua pressione di vapore. In genere i due fenomeni avvengono contemporaneamente.

I vantaggi dell'essiccamento sono una conservazione maggiore ( $a_w$  più bassa e quindi attività microbica, chimica ed enzimatica minori), una riduzione del peso e/o del volume ed una maggiore comodità di utilizzo (caffè solubile, latte in polvere etc.). Fra gli svantaggi abbiamo le variazioni organolettiche, compositive e nutrizionali a carico del prodotto trattato e quindi la necessità di definire le condizioni ottimali di essiccamento per ogni alimento, i cambiamenti nella struttura che diventa dura e compatta, la perdita di aromi, l'ossidazione dovuta alla penetrazione di aria negli spazi occupati dall'acqua, la perdita e/o la modifica di colore con formazione di colori anomali dovuti alle possibili reazioni di Maillard.

Nella essiccazione il riscaldamento può essere in equicorrente (prodotto e fluido caldo hanno la stessa direzione) o in controcorrente (prodotto e fluido caldo si muovono in

direzioni opposte) e la scelta del tipo di processo dovrà essere fatta in funzione del tipo di prodotto da trattare e della sua resistenza termica.

Fra gli essiccatori a convezione vi sono:

- spray*: si tratta di essiccatori nei quali il prodotto liquido viene nebulizzato all'interno di una camera mantenuta ad alta temperatura mediante aria calda. Le gocce di prodotto essicano immediatamente e vengono raccolte sul fondo del conico della camera. Le polveri fini trascinate dalla corrente di aria calda vengono raccolte mediante appositi abbattitori. E' un sistema continuo che consente di produrre polveri di elevata qualità ed elevata solubilità,
- *a letto di schiuma*: il prodotto viene unito ad agenti schiumogeni ed insufflato con gas così da formare una schiuma che viene separata ed essicata. E' un sistema discontinuo che da origine a polveri di elevata solubilità, ma che contengono agenti schiumogeni e quindi di uso più limitato,
- a tunnel*: il prodotto, posto in opportuni contenitori, viene inviato su carrelli in un tunnel dove incontra aria calda in equi- o in contro-corrente. Questa tecnica può essere utilizzata anche per prodotti solidi,
- *a nastro*: il prodotto solido viene posto su di un nastro che incontra una corrente d'aria tangenzialmente o perpendicolarmente,
- *a cilindro rotante*: il prodotto viene posto alla estremità di un cilindro rotante inclinato in cui incontra in equi- o contro-corrente una corrente d'aria. Il prodotto si muove all'interno del cilindro in virtù della inclinazione del cilindro e di apposite strutture. E' un sistema di essiccazione continuo che può operare solo su materiali solidi molto resistenti meccanicamente,
- *flash*: il prodotto viene immesso alla base di un condotto forzato ove scorre un fluido caldo ad alta velocità. Al termine del condotto il prodotto essicato viene separato dal fluido. E' un processo continuo molto rapido utilizzabile però solo con solidi molto leggeri in quanto devono poter essere trasportati dal flusso di fluido,
- *a letto fluido*: il prodotto viene posto in un serbatoio dove una corrente calda lo mantiene in sospensione e lo essicca. Può essere continuo o discontinuo ma opera esclusivamente su solidi molto leggeri che possano essere mantenuti in sospensione in una corrente d'aria calda. Esiste inoltre il problema di regolare il flusso di aria calda in modo da mantenere sospeso il prodotto nel corso della essiccazione tenendo conto che il suo peso diminuisce con il procedere della essiccazione stessa,
- *ad armadio*: sono i sistemi di essiccazione più semplici e spesso utilizzati a livello domestico. Il prodotto solido o liquido, posto in opportuni contenitori, viene inserito in una cella termo-condizionata dove una corrente di aria ne determina l'essiccazione.

Fra gli essiccatori ad ebollizione vi sono:

- *a cilindro (roller)*: il prodotto liquido, in genere preventivamente concentrato, viene distribuito su di un cilindro mantenuto caldo e rotante. L'essiccamento può avvenire a pressione ambientale o sottovuoto. Il prodotto essicato viene distaccato dalla superficie del cilindro mediante raschiatura,
- *ad intercapedine*: il prodotto liquido viene posto in una vasca dotata di un mantello riscaldante ed un agitatore. Anche in questo caso si può operare a pressione ambientale o sottovuoto,
- *sottovuoto*: il prodotto solido o liquido viene posto in una camera od un contenitore riscaldato e mantenuto sottovuoto. La presenza di una depressione consente di



ottenere l'essiccamento ad una temperatura inferiore a quella normale con evidenti vantaggi pur con un aumento della complessità impiantistica e dei costi di processo.

### 1.2.7 Concentrazione

La concentrazione è definita come la parziale eliminazione del solvente (in genere acqua) da una soluzione. Mediante questo processo è possibile aumentare la conservabilità del prodotto, ridurre i costi di stoccaggio e trasporto o preparare i prodotti per altri trattamenti (essiccamento, liofilizzazione, cristallizzazione). Benché sia una tecnica molto utilizzata nelle industrie alimentari (succhi concentrati, latte in polvere, zucchero) può determinare, se condotta ad elevate temperature, perdita delle componenti volatili e di quelle termolabili. Al fine di ridurre questi svantaggi è possibile effettuare la concentrazione sottovuoto così da poter operare a basse temperature e ridurre di conseguenza il danneggiamento termico.

Le tecniche di concentrazione sono l'evaporazione, la crioconcentrazione e l'osmosi inversa.

#### EVAPORAZIONE

Un sistema di evaporazione è formato da uno scambiatore di calore che consente il riscaldamento del prodotto, un separatore dove avviene la separazione della miscela in fase di concentrazione del solvente ed un condensatore/scambiatore per la condensazione del vapore formatosi. Questa condensazione può avvenire in modo sia diretto (il vapore è mescolato con l'acqua di raffreddamento) che indiretto (scambiatore a superficie). Molto importante il separatore il cui funzionamento dipende dalla sua geometria, dal tipo di prodotto, dalla presenza di incrostazioni e dal movimento del prodotto.

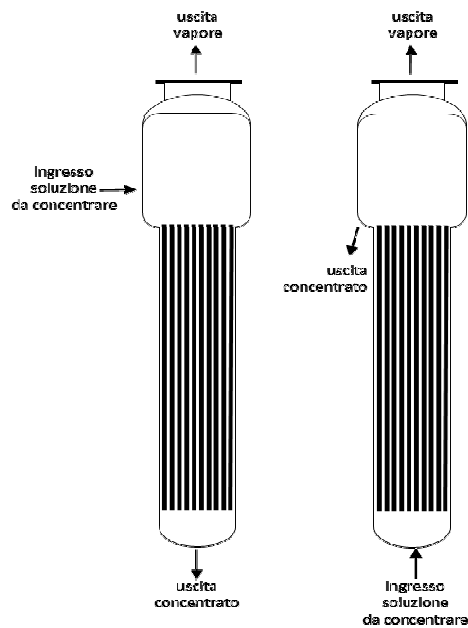
Esistono evaporatori senza riciclo (il prodotto passa un volta sola nel separatore uscendo alla concentrazione voluta) o con riciclo (il prodotto passa più volte nel separatore sino a che non raggiunge la concentrazione voluta).

Infine un sistema di evaporazione può essere a singolo effetto (vi è un solo separatore) od a multiplo effetto (vi sono più separatori che operano in serie). Quest'ultimo a sua volta può operare in equicorrente od in controcorrente.

Le principali tipologie di evaporatori sono:

- *A fuoco diretto*: sono sistemi molto semplici utilizzati per le produzioni artigianali e costituiti da un contenitore posto direttamente su di una sorgente di calore. Il prodotto viene mantenuto in agitazione sino a che non ha raggiunto la concentrazione voluta. Sono quindi a singolo effetto. Il contatto diretto con la sorgente di calore e l'agitazione all'aria provocano significativi cambiamenti compositivi, sensoriali e nutrizionali.
- *Incamicciati*: sono simili ai sistemi a fuoco diretto ma in questo caso il contenitore è dotato di intercapedine in cui scorre il fluido di riscaldamento. Sono a singolo effetto. Possono operare anche sottovuoto e quindi il danneggiamento termico del prodotto è più contenuto.
- *A tubi*: sono fra i sistemi di evaporazione più diffusi e si dividono in evaporatori a tubi corti, a tubi sommersi, a tubi lunghi a film ascendente ed a tubi lunghi a film discendente. In questi sistemi il sistema di riscaldamento è interno al concentratore ed è costituito da uno scambiatore a fascio tubiero. Nel caso dell'evaporatore a tubi corti il fascio tubiero è posto verticalmente ed è formato da tubi di circa 2 m con

grande diametro (circa 20 cm). Al centro del fascio tubiero vi è un foro di grande diametro che serve per il riciclo del prodotto. Il prodotto, che copre il fascio tubiero, viene riscaldato ed inizia un movimento dal basso verso l'alto attraverso il fascio tubiero. Arrivando in superficie si ha un raffreddamento per evaporazione e quindi la ricaduta del prodotto verso il basso attraverso il foro centrale. Questo tipo di evaporatore è poco costoso, molto resistente e può essere utilizzato anche per soluzioni che lasciano incrostazioni o per soluzioni con concentrazioni alquanto elevate. Nel caso dell'evaporatore a tubi sommersi, nella parte inferiore del separatore vi è uno scambiatore a fascio tubiero a tubi orizzontali nei quali passa il vapore di riscaldamento. Il fascio tubiero è completamente immerso nella soluzione ed il prodotto scorre nello spazio fra le tubazioni. Questo tipo di evaporatori si rivela adatto per soluzioni non troppo viscosi che non depositano cristalli. I sistemi a tubi lunghi sono caratterizzati da un separatore verticale di grandi dimensioni all'interno del quale vi è un fascio tubiero con tubi molto lunghi (6-7 m) di piccolo diametro (circa 2 cm) all'interno dei quali scorre il prodotto da concentrare. Nel caso degli evaporatori a film discendente (a sx nello schema sottostante) il prodotto da concentrare viene immerso dall'alto e raccolto al fondo concentrato mentre in quelli a film ascendente (a dx nello schema sottostante) i tubi sono pieni per circa 2/3 di prodotto che per effetto del riscaldamento risale per capillarità sino alla cima del separatore dove viene raccolto.



- *A piastre*: sono simili ad un pastorizzatore a piastre ma oltre ai fori di ingresso ed uscita del prodotto e del fluido di riscaldamento vi è anche un foro di grandi dimensioni da cui fuoriesce il vapore. Possono operare sottovuoto determinando concentrazioni elevate anche su prodotti termosensibili (latte, succhi di frutta).
- *A film agitato*: utilizzato per liquidi molto viscosi è costituito da una tubazione verticale di grande diametro in cui ruota un agitatore a palette che disperde il

prodotto in caduta dall'alto sulla superficie calda del tubo. Il materiale scorrendo verso il basso si concentra mentre il vapore esce dall'alto.

- *Centrifugo*: è un evaporatore a singolo effetto che opera sotto vuoto e utilizza vapore per il riscaldamento. La superficie riscaldante è posta sotto a dei coni rotanti. Il prodotto da concentrare entra nell'evaporatore attraverso un tubo di alimentazione e degli iniettori (uno per ogni cono) e viene distribuito sulle superfici riscaldate. La forza centrifuga distribuisce istantaneamente il prodotto su di uno strato molto sottile (circa 0.1 mm) ed il prodotto attraversa la superficie riscaldata in meno di 1 secondo. Il prodotto concentrato viene raccolto alla fine dei coni e trasferito all'esterno da tubazioni. I vapori vengono raccolti al centro dei coni e trasferiti ad un condensatore esterno.
- *Wurling*: si tratta di un evaporatore sotto vuoto dotato di un serpentino riscaldante rotante posto sul fondo del separatore dove si trova il prodotto in ebollizione. L'efficienza è elevata e viene usato per concentrazioni spinte di prodotti anche viscosi ed incrostanti.
- *A bolla*: sono degli evaporatori incamiciati chiusi, operanti sotto vuoto, molto utilizzati nelle industrie alimentari. Un agitatore interno serve a evitare incrostazioni sulla superficie interna della bolla e a facilitare la trasmissione del calore. Sono generalmente utilizzate nelle industrie di pomodoro, confetture e saccarifera.
- *A pompa di calore*: si tratta di evaporatori che utilizzano una pompa di calore per generare l'energia termica necessaria ad evaporare il solvente ed utilizzano lo stesso gas frigotecnico per condensare i vapori. Dal punto di vista energetico equivalgono ai sistemi a 3-4 effetti ma consentono una riduzione dei costi di investimento in quanto l'evaporazione avviene in un unico effetto. La tecnica è più efficiente delle tradizionali ad acqua calda/vapore a singolo effetto, essendo competitivi con gli schemi a multiplo effetto. La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta. Il suo ciclo termodinamico è assolutamente uguale a quello dei frigoriferi. La sostanziale differenza consiste nel fatto che nei frigoriferi interessa il calore sottratto alla sorgente fredda, mentre nelle pompe di calore interessa il calore ceduto alla sorgente calda.

#### **CRIOCONCENTRAZIONE**

E' una tecnica particolare di concentrazione in cui si congela una parte dell'acqua presente in un alimento, quindi si separano i cristalli dalla soluzione concentrata. Questi cristalli saranno costituiti dal solvente puro e quindi la soluzione rimasta risulterà concentrata. E' molto adatta per i prodotti termolabili e non determina alcuna perdita di sostanze volatili.

#### **OSMOSI INVERSA**

L'osmosi è un fenomeno fisico in cui si assiste al movimento di un solvente da una soluzione meno concentrata a una soluzione più concentrata, attraverso una membrana semipermeabile. Per semipermeabile si intende una membrana che permette il passaggio del solvente (per esempio l'acqua) ma non di determinati soluti (per esempio zuccheri e proteine). Applicando nel comparto della soluzione a maggior concentrazione una pressione superiore a quella osmotica, il processo si inverte dando luogo al fenomeno dell'osmosi inversa. In questo caso il solvente passa attraverso la membrana, mentre i componenti disciolti vengono respinti. E' un metodo applicato sia per

concentrare una soluzione sia per ottenere il solvente puro (acqua potabile dal mare, depurazione). Operando a temperatura ambiente non determina alterazioni al prodotto.

### 1.2.8 Congelamento

Il congelamento è una tecnica di conservazione in cui si porta l'alimento a temperature molto basse che determinano la cristallizzazione dell'acqua e la solidificazione del prodotto. Il punto di congelamento (punto di gelo o punto crioscopico) negli alimenti è compreso fra  $-0,5$  /  $-4^{\circ}\text{C}$  per la presenza di diversi soluti che abbassano il punto di congelamento. E' da rilevare peraltro che abbassando la temperatura, si separano il ghiaccio e le sostanze insolubili dall'acqua liquida e dai sali in soluzione e quindi aumentando la concentrazione di questi ultimi diminuisce ulteriormente il punto di congelamento. Il totale congelamento quindi in genere non si verifica poiché l'acqua legata ha un punto di congelamento molto inferiore a quello dell'acqua libera ( $<-40^{\circ}\text{C}$ ) e quindi negli alimenti congelati una parte dell'acqua (2-15%) è ancora liquida. Questo fa sì che le reazioni enzimatiche, benchè molto rallentate possano proseguire durante la conservazione causando un deterioramento del prodotto congelato che quindi ha comunque una sua shelf-life. Durante il processo di congelamento si hanno due fasi, la nucleazione (comparsa di nuclei di cristallizzazione) e l'accrescimento (i nuclei crescono formando dei macrocristalli). Se il congelamento è lento con  $T > -20^{\circ}\text{C}$  prevale la fase di accrescimento con la formazione di pochi cristalli di grandi dimensioni che distruggono le pareti cellulari con danneggiamenti alla struttura e perdita di liquidi al momento dello scongelamento. Questo tipo di congelamento è quello tipicamente applicato a livello casalingo.

Al contrario se il congelamento è rapido con  $T < -30^{\circ}\text{C}$  prevale la fase di nucleazione con la formazione di molti cristalli di piccole dimensioni che non danneggiano l'alimento. Questo processo viene indicato come "surgelamento" ed applicato a livello industriale.

Il processo di congelamento può avvenire:

- *Per contatto con piastre*: il prodotto è posto fra due piastre fredde. Questa tecnica viene utilizzata per prodotti regolari (cubi di spinaci).
- *Ad aria forzata*: il prodotto sfuso è inviato in un tunnel o in una cella con aria a  $-40^{\circ}\text{C}$  circa. In alcuni casi per alimenti multi piccoli il getto d'aria tiene in sospensione il prodotto (congelatori a letto fluido).
- *Immersione in liquidi incongelabili*: il prodotto è sigillato ed immerso in liquidi congelanti (salamoia).
- *Con uso diretto di agenti congelanti*: il prodotto viene cosperso con azoto liquido ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) o ghiaccio secco ( $-80^{\circ}\text{C}$ ) che evaporano dopo il trattamento.

### 1.2.9 Irradiazione

Sono definite ionizzanti quelle radiazioni, elettromagnetiche e corpuscolate, che possiedono energia sufficiente per ionizzare, in modo diretto o indiretto, gli atomi del materiale irradiato che incontrano, impartendo agli elettroni energia cinetica sufficiente a farli allontanare, con formazione di ioni e radicali liberi. Si tratta di un trattamento ipotizzato già negli anni '20 ed usato dagli anni '40 in cui vengono applicate radiazioni elettromagnetiche (raggi X, raggi  $\gamma$ ) che forniscono una elevata shelf-life ed una elevata sicurezza. La FAO/WHO ha evidenziato (1977, 1981) che "La dose media di irraggiamento di 10 kGy non presenta effetti tossici né problemi particolari negli alimenti dal punto di vista nutrizionale o microbiologico". Attualmente in Europa il trattamento con radiazioni ionizzanti è disciplinato dalle direttive quadro 1999/2/CE e

1999/3/CE recepite nel nostro Paese dal D.Lgs 30 gennaio 2001, n. 94. Tali direttive stabiliscono, a maggior tutela della libera scelta del consumatore, che tutti gli alimenti e/o ingredienti che sono sottoposti al trattamento con radiazioni ionizzanti, debbano riportare in etichetta la dicitura "irradiato" e che ogni stato membro debba effettuare controlli sugli alimenti presenti sul mercato al fine di individuare la correttezza dell'etichettatura. I prodotti in questo momento ammessi al trattamento nella UE sono la categoria "erbe aromatiche essiccate, spezie e condimenti vegetali", ad una dose massima di 10 kGy; in via transitoria ciascuno Stato membro può mantenere i trattamenti precedentemente autorizzati. In Italia è previsto un uso come antigermoglio per patate, aglio e cipolla, mentre in altri Paesi (Francia, Belgio, Olanda, Regno Unito) esistono anche usi su: frutta, cereali, carni di pollo, prodotti ittici. L'utilizzo delle radiazioni ha alcuni svantaggi: gli impianti sono molto costosi; vi sono problemi di sicurezza per gli operatori; vi è possibilità di sanitzizzare alimenti altrimenti non utilizzabili; è possibile lo sviluppo di resistenza nei microrganismi; vi può essere una perdita di valore nutrizionale; esistono pochi metodi per valutare i prodotti trattati; vi è una resistenza psicologica dei consumatori verso l'industria nucleare. Dal punto di vista delle modalità di azione le radiazioni possono rompere i legami intra-molecolari ed in alimenti ricchi di acqua l'acqua è ionizzata e gli elettroni liberati vanno a formare molecole radicaliche che si ricombinano in nuove molecole disattivando il materiale genetico dei microrganismi. Le stesse molecole radicaliche hanno però azione sugli enzimi, sui grassi e su vari composti e quindi su alcuni alimenti non può essere utilizzata (latte). Inoltre vi è la produzione di O<sub>2</sub> reattivo da vari enzimi (perossidasi, xantina ossidasi) che accelera le ossidazioni e quindi è necessario che l'irradiazione venga effettuata sotto vuoto come nel caso della carne. Il generatore di raggi  $\gamma$  è costituito da una sorgente ad alta energia con cobalto-60 o cesio-137 ed il tempo di trattamento dipende dalla dose necessaria e dalla potenza del generatore. Una dose di 5 Gy è sufficiente per uccidere un operatore ed è quindi necessario operare alle dosi più basse (0,1 KGy) ed utilizzare le massime norme di sicurezza. La penetrazione dei raggi  $\gamma$  dipende dalla densità dell'alimento e dall'energia dei raggi e la radiazione è assorbita con l'attraversamento dell'alimento quindi la parte esterna riceve una dose superiore di quella interna. E' necessario quindi definire per ogni alimento la dose massima consentita per l'esterno del prodotto e legata a modificazioni sensoriali e la dose minima che abbia attività antimicrobica. I virus sono molto resistenti e non vengono disattivati con i trattamenti commerciali mentre i batteri sporificanti e quelli in gradi di riparare il DNA (es *Deinococcus radiodurans*) sono più resistenti degli altri. Insetti e parassiti sono più sensibili alle radiazioni. Si possono avere più modalità di trattamento in funzione del tipo di intervento che si vuole attuare:

- *sterilizzazione*: la dose necessaria supera i 10 kGy (servono 48 KGy per 12 riduzioni decimali di *Clostridium botulinum*) quindi si hanno modificazioni inaccettabili nel prodotto. Questa tecnica viene utilizzata solo per le erbe e le spezie con 8-10 kGy senza significative perdite di qualità del prodotto,
- *riduzione patogeni*: i microrganismi patogeni quali *Salmonella typhimurium* sono meno resistenti del *Cl. botulinum* e quindi bastano 3-10 kGy per distruggerli,
- *prolungare la shelf-life*: basse dosi di irraggiamento distruggono funghi, batteri non sporigeni e quelli che sopravvivono sono più sensibili ai trattamenti termici,
- *controllare la stagionatura*: alcuni vegetali (mirtilli, pomodori) possono essere trattati per allungare la shelf-life. E' importante che siano maturi poiché il trattamento blocca la maturazione,
- *disinfezione*: cereali e frutti tropicali possono essere infestati da insetti e larve. In questo caso basse dosi quali 1 kGy sono sufficienti;

- *blocco germogliamento*: utile per le patate, aglio, cipolla. Sono sufficienti in questo caso 150 Gy.

## **0.1 BIBLIOGRAFIA**

Mucchetti G., Neviani E. (2006). Microbiologia e tecnologia lattiero-casearia. Qualità e sicurezza. Ed. Tecniche Nuove, Milano

AA.VV. ( 2011). Manuale lattiero-caseario. Ed. Tecniche Nuove, Milano

Salvadori del Prato O. (1998). Trattato di tecnologia casearia. Ed Edagricole, Bologna

AA.VV. (2006). Libro bianco sul latte e i prodotti lattiero-caseari. Ed. Assolatte, Milano.

Bolzoni G., Buffoli E., Marcolini A. (2015). Pastorizzazione del latte e trattamento equivalente. Il Latte, 89, 7, 18-21.

Valsecchi G. (2015). Il latte: un alimento di eccellenza. Alimenti&Bevande, 17, 3, 60-63.

Peri C. (1991). Le operazioni fondamentali della tecnologia alimentare. Vol. I: trasporto dei fluidi e trasporto di calore. Ed. CUSL, Milano

Peri C. (1991). Le operazioni fondamentali della tecnologia alimentare. Vol. II: operazioni di conservazione. Ed. CUSL, Milano

Zanoni B. (2011). Tecnologia alimentare. Contenuti e metodologie di studio. Ed. Libreriauniversitaria, Padova.

Pompei C. (2009). Operazioni unitarie della tecnologia alimentare. Ed. Casa Editrice Ambrosiana, Milano