

PRODOTTI LATTIERO-CASEARI .....	2
2.1 Latte.....	2
2.1.1 Definizione .....	2
2.1.2 Lattogenesi.....	3
2.1.3 Composizione e fattori di variabilità .....	4
2.1.4 Processi di risanamento .....	8
Pastorizzazione .....	10
Microfiltrazione.....	11
Sterilizzazione.....	12
Latti a breve conservazione.....	13
Latti a media conservazione.....	13
Latti a lunga conservazione .....	14
2.2 Latti fermentati.....	15
2.2.1 Yogurt.....	16
Yogurt a coagulo compatto .....	17
Yogurt a coagulo rotto (omogeneo).....	17
Yogurt da bere.....	17
2.3 Latte parzialmente disidratato.....	18
2.4 Latte totalmente disidratato.....	18
Processo Spray.....	19
Processo Roller .....	20
Liofilizzazione .....	20
Letto di schiuma.....	20
2.5 Burro.....	20
Separazione della panna .....	21
Burrificazione.....	21
Burri speciali.....	22
2.6 Formaggio.....	23
Refrigerazione.....	23
Standardizzazione.....	23
Termizzazione.....	24
Trasferimento in caldaia .....	25
Inoculo starter.....	25
Coagulazione.....	26
Rottura coagulo .....	28
Cottura .....	28
Pressatura .....	29
Stufatura .....	29
Salatura.....	29
Stagionatura .....	31
2.7 Ricotta .....	32
0.1 Bibliografia.....	33

## 2.1 LATTE

### 2.1.1 Definizione

In una delle prime definizioni (Parigi, 1910) il latte era definito come “il prodotto integrale di una mungitura totale, completa e ininterrotta di una femmina lattifera sana, bene alimentata e non affaticata. Il latte deve essere raccolto con proprietà e non contenere colostro: la denominazione di latte, senza alcuna specificazione, non si applica che al latte di vacca”. Tale definizione venne ripresa dalla normativa italiana che con il RD 994 del 9 maggio 1929 definì il latte come “il prodotto ottenuto dalla mungitura regolare, ininterrotta e completa della mammella di animali in buono stato di salute e di nutrizione. Con la sola parola ‘latte’ deve intendersi il latte proveniente dalla vacca. Il latte di altri animali deve portare la denominazione della specie cui appartiene l’animale che lo fornisce”.

Con il Reg. CE 2597/1997 la definizione si semplifica e nell’art. 1 si intende per latte “il prodotto della mungitura di una o più vacche” e per latte crudo “latte non sottoposto ad una temperatura superiore a 40 °C né ad un trattamento avente un effetto equivalente (art. 3)”. Lo stesso regolamento all’art. 2 prevede che “Lo Stato membro prevede misure dirette ad informare il consumatore sulla natura o sulla composizione dei prodotti in tutti i casi in cui l’omissione di tale informazione potrebbe generare confusione nella mente del consumatore” e quindi demanda agli Stati la distinzione fra le diverse tipologie di latti. Il successivo Reg. CE 853/2004 conferma la definizione di latte crudo che risulta essere “il latte prodotto mediante secrezione della ghiandola mammaria di animali di allevamento che non è stato riscaldato a più di 40 °C e non è stato sottoposto ad alcun trattamento avente un effetto equivalente”. Anche in questo caso la definizione non fa riferimento ad una specifica razza animale demandando quindi agli Stati la necessaria distinzione.

Il Reg. CE 2597/1997 all’art. 3 però prevede che al consumatore finale, oltre al latte crudo, possano essere forniti quali latti alimentari anche un latte intero “latte sottoposto a trattamento termico e che, per quanto riguarda il tenore di materia grassa, è conforme ad una delle seguenti formule: latte intero normalizzato [latte il cui tenore di materia grassa corrisponde almeno al 3,50 % (m/m); tuttavia, gli Stati membri possono prevedere una categoria supplementare di latte intero, il cui tenore di materia grassa sia superiore o uguale al 4,00 % (m/m)]; latte intero non normalizzato [latte il cui tenore di materia grassa non è stato modificato, dopo la mungitura, mediante aggiunta o prelievo di materia grassa del latte oppure mediante miscelazione con latte il cui tenore naturale di materia grassa è stato modificato; il tenore di materia grassa non può comunque essere inferiore al 3,50 % (m/m)]”, un latte parzialmente scremato [latte sottoposto a trattamento termico e il cui tenore di materia grassa è stato portato ad un tasso compreso tra un minimo dell’1,50 % (m/m) ed un massimo dell’1,80 % (m/m)] ed un

latte scremato [latte sottoposto a trattamento termico e il cui tenore di materia grassa è stato portato ad un tasso massimo dello 0,50 % (m/m)].

Sempre il Reg. CE 2597/1997 all'art. 3 consente alcune modifiche della composizione del latte ed in particolare "la modifica del tenore naturale di materia grassa del latte tramite un prelievo di crema o un'aggiunta di latte intero, di latte parzialmente scremato o di latte scremato; l'arricchimento del latte con proteine del latte, sali minerali o vitamine; la riduzione del tenore di lattosio del latte, mediante conversione in glucosio e galattosio" lasciando peraltro liberi gli Stati membri di limitare o vietare queste modifiche compositive.

### 2.1.2 Lattogenesi

Il latte è un liquido estremamente complesso i cui componenti, indipendentemente dalla specie animale da cui proviene, si possono trovare, rispetto al componente acqua, in fase di emulsione (grassi), in fase di dispersione colloidale (proteine) od in soluzione (zuccheri, sali minerali, vitamine).

Il colore bianco è dato dalle micelle di caseina mentre le sfumature giallastre sono conferite dalla frazione lipidica e da pigmenti giallo-verdastri, le flavine. Nel latte ovino e caprino essendo assenti i pigmenti il colore risulta essere tendenzialmente più chiaro.

Il sapore del latte è leggermente dolce per la presenza di lattosio. Il latte non possiede un odore proprio, ma assorbe gli odori esterni.

Viene secreto dalla ghiandola mammaria dei mammiferi, ma delle circa 3000 specie di mammiferi solo alcune degli Artiodattili (bovidi, yak, bufali, caprini, ovini, cammelli e renne) e dei Perissodattili (cavalli, asini) producono latte utilizzato per l'alimentazione o la trasformazione.

Nel latte si ritrovano sostanze provenienti direttamente dal sangue per filtrazione (lipidi, proteine, sali minerali) o sintetizzati dalla mammella a partire da precursori presenti nel sangue (zuccheri, lipidi, proteine). Oltre il 90% della sostanza secca del latte viene comunque sintetizzato nella mammella che anatomicamente risulta essere una ghiandola di tipo tubulo-alveolare composta. Nella vacca questa ghiandola risulta formata da quattro ghiandole separate o quarti ognuna indipendente dalle restanti.

Nella mammella le unità secernenti sono gli alveoli, piccole cavità rivestite da un solo strato di cellule epiteliali secretorie con una elevata attività metabolica. Queste cellule prelevano i precursori dai capillari sanguigni, li elaborano nei componenti del latte e li trasferiscono nel lume alveolare per effetto dell'azione contraente delle cellule mioepiteliali. Si calcola che circa 300-500 litri di sangue debbano essere filtrati per formare, in bovine sane, un litro di latte. Attraverso i dotti galattofori, il latte passa dagli alveoli alla cisterna del latte, un'ampia cavità della mammella in diretto contatto con l'esterno tramite il capezzolo.

Con il parto si ha la produzione di prolattina, un ormone che stimola la produzione di latte. Il rilascio del latte è invece dovuto alla produzione di ossitocina, un ormone che si forma per stimolazione della mammella pochi secondi prima della mungitura. Detta stimolazione può essere dovuta all'azione del vitello od al massaggio da parte del mungitore. L'azione della ossitocina dura 5-8 minuti ed in questo periodo deve essere conclusa la mungitura. L'azione della ossitocina è inibita da fattori di stress (rumori, presenza di estranei etc.) che causano la produzione di adrenalina.

Nei primi giorni dopo il parto la mammella produce un liquido molto diverso dal latte ed indicato come colostro. Il Reg. CE 1662/2006 definisce il colostro come il "liquido

secreto dalle ghiandole mammarie di femmine da latte nei 3-5 giorni dopo il parto, ricco di anticorpi e minerali e prodotto prima del latte crudo". Il colostro contiene infatti elevate quantità di proteine (oltre l'8%) costituite in prevalenza da immunoglobuline la cui funzione è quella di attivare le difese immunitarie del vitello. Può essere utilizzato per la produzione di alcuni prodotti lattiero caseari nonché, in ambito farmaceutico, per la produzione di farmaci per persone immunodepresse.

Il colostro non può essere unito al latte e quindi è fatto divieto di conferire il latte prima di 7 gg dal parto.

### 2.1.3 Composizione e fattori di variabilità

Il latte di vacca è, come si è detto, un liquido di colore bianco opaco, di sapore dolciastro e con un pH debolmente acido (6,6-6,8). Supera questi valori in caso di mastite, mentre risulta inferiore in presenza di colostro.

L'acidità del latte è di 6-8 gradi S.H. (Soxlet Henkel) che rappresentano i mL di NaOH N/4 utilizzati per titolare 100 ml di latte sino al viraggio della fenolftaleina.

La composizione del latte dei mammiferi è simile fra le varie specie considerando le tipologie di costituenti, ma differisce sensibilmente in termini quantitativi. Nella Tabella 2.1 è riportata la composizione media del latte di alcuni mammiferi.

Tabella 2.1 – Intervallo compositivo del latte di alcuni mammiferi

	Materia secca (%)	Materia grassa (%)	Proteine (%)	Lattosio (%)	Ceneri (%)
Donna	11,7-12,7	3,5-3,7	1,5-1,6	6,5-7,0	0,2-0,3
Vacca	12,5-13,0	3,3-4,7	2,8-3,8	4,4-5,0	0,6-1,0
Capra	13,0-13,7	2,9-4,5	3,1-4,0	3,9-4,7	0,5-0,8
Pecora	19,1-19,3	5,1-8,7	4,9-6,4	4,1-5,7	0,9-1,1
Bufala	17,8-17,9	7,3-9,4	3,6-5,7	4,6-5,3	0,75-0,99
Renna	31,9-36,7	16,9-22,5	10,1-11,5	2,5-2,8	1,44-1,50
Cavalla	10,0-11,2	1,6-1,5	2,2-2,7	5,9-6,2	0,40-0,51
Asina	10,0-11,7	0,6-2,5	1,7-2	6,1-7,4	0,45-0,50
Scrofa	18,3-19,9	6,0-8,2	4,8-6,0	4,8-5,5	0,63-0,90

Anche nell'ambito della stessa specie vi possono essere differenze compositive legate alla razza. Nella Tabella 2.2 è riportata la composizione media del latte di alcune razze vaccine.

Tabella 2.2 – Composizione media del latte di alcune razze vaccine

Razza	Sostanza secca (%)	Lattosio (%)	Grasso (%)	Proteine (%)	Ceneri (%)
Frisona	12,4	4,9	3,5	3,1	0,9
Jersey	15,2	4,9	5,5	3,9	0,9
Bruno Alpina	13,5	5,0	4,0	3,6	0,9

Nel latte vaccino l'acqua costituisce circa l'87,5% ed è quasi tutta allo stato libero mentre poco più del 3% si trova legata ai colloidi. Conseguentemente il residuo secco è in media

del 12,5%; il residuo secco magro, vale a dire il residuo secco privo di grasso, deve essere almeno l'8,5% (Reg. CE 2597/1997).

Fra gli zuccheri prevale il lattosio (oltre il 98%) costituito da  $\beta$ -D-(+)-galattosio legato al D-(+)-glucosio con legame 1-4 che esiste nelle forme animeriche alfa e beta che danno mutarotazione. È l'unità del D-(+)-glucosio ad avere il gruppo aldeidico "libero" responsabile delle proprietà riducenti del lattosio. La molecola di glucosio dà altresì l'equilibrio di alfa-beta anomerizzazione e, pertanto, il lattosio dà mutarotazione. Il lattosio viene sintetizzato nella ghiandola mammaria ed è il componente solubile più abbondante del latte. Ha un potere dolcificante pari a circa 1/6 del saccarosio, una solubilità pari a 1/10 del saccarosio ed oltre ad essere il substrato dei batteri che intervengono nella caseificazione e nella fabbricazione dei lattici fermentati è all'origine della intolleranza al latte di parte della popolazione.

Il trattamento termico del latte provoca numerosi cambiamenti ed il lattosio è uno dei principali reagenti in queste reazioni. Di particolare importanza sono le reazioni di Maillard che avvenendo a carico di zuccheri e proteine portano alla formazione di composti responsabili delle alterazioni di colore/odore/sapore del latte nonché del suo valore nutrizionale. Fra i composti che si formano vi è la furosina che può essere utilizzata quale indicatore dell'intensità del trattamento termico applicato al latte. Di notevole interesse anche il galattosil- $\beta$ -piranone che consente di distinguere per il latte UHT se si è effettuato un trattamento termico di tipo diretto o indiretto. Dalla isomerizzazione del lattosio, per trattamento termico, si ottiene il lattulosio, un isomero formato da galattosio e fruttosio ampiamente utilizzato come indicatore dell'intensità del trattamento termico nei lattici UHT e sterili.

I lipidi sono presenti nel latte in quantità pari a circa il 3,5% e sono costituiti da trigliceridi per il 98÷99% mentre l'1÷2% è rappresentato da fosfolipidi, steroli, monogliceridi, squalene, carotene, vitamine (A, D, E, K) ed acidi grassi liberi. Sono presenti allo stato di globuli del diametro di 2÷10  $\mu$ m nel latte di vacca e formano un'emulsione grazie alla membrana lipo-proteica che li avvolge per uno spessore di 10 nm. Fra gli acidi grassi prevalgono nel latte di vacca il palmitico (circa 30%), l'oleico (circa 24%), il miristico e lo stearico (circa 11% entrambi). Oltre il 60% degli acidi grassi presenti nel latte di vacca è quindi saturo. Significativa la presenza degli acidi grassi volatili da C4 a C12 (circa 13%) responsabili delle sensazioni di rancido in presenza della lipolisi. La sostanza grassa può andare incontro a modificazioni di natura chimico/fisica indicate come irrancimenti di cui i primi due (idrolitico e chetonico) possono avere in alcuni casi particolari anche aspetti positivi, mentre il terzo (irrancimento ossidativo) è sempre da considerarsi un'alterazione che può portare anche alla presenza di componenti tossici.

L'irrancimento idrolitico o lipolisi è di natura enzimatica dovuto all'attività delle lipasi che idrolizzano i legami estere degli acilgliceroli con liberazione dei corrispondenti acidi grassi. Le lipasi possono avere varie origini (native, da caglio, da microrganismi) e la loro azione in alcune condizioni è fondamentale per la formazione degli odori/aromi caratteristici del prodotto (es: produzione gorgonzola). La lipolisi è favorita da tutte le operazioni che danneggiano la parete del globulo di grasso rendendo attaccabili i gliceridi contenuti (agitazione, omogeneizzazione, raffreddamento e riscaldamento ripetuti). L'irrancimento chetonico segue di norma l'irrancimento idrolitico poiché grazie all'azione della  $\beta$ -ossidasi, prodotta in genere da funghi, si ha l'ossidazione del gruppo metilenico in posizione  $\beta$  rispetto al carbossile dell'acido grasso libero. Il cheto-acido formatosi può quindi decarbossilarsi con formazione di un metil-chetone caratterizzato da un numero dispari di atomi di carbonio. Sia il cheto-acido che il metil-chetone sono volatili ed aromatici e la loro presenza caratterizza i formaggi erborinati.

L'irrancidimento ossidativo è invece una trasformazione chimica caratteristica degli acidi grassi insaturi che vengono ossidati per addizione di ossigeno sui doppi legami con formazione di molti composti fra cui aldeidi e chetoni tossici. E' una reazione di tipo autocatalitico in quanto gli intermedi di reazione fungono da catalizzatori facendo proseguire spontaneamente la reazione. I fattori che favoriscono questo tipo di irrancidimento sono l'ossigeno, la radiazione luminosa, le temperature elevate e la presenza di metalli, in particolare ferro e rame.

Le sostanze azotate costituiscono mediamente il 3,4% del latte e per il 99,5% sono rappresentate da proteine (3÷3,2% del latte); le sostanze azotate non proteiche sono costituite da ammoniaca, acido urico, aminoacidi, amine, urea ecc.

La caseina (CN) è la proteina più importante del latte, rappresentando il 75-78% circa delle proteine totali e il 2,3÷2,6% del latte, nonché il principale substrato della caseificazione. Chimicamente è una proteina coniugata, più esattamente un fosfocaseinato di calcio contenente anche zuccheri, magnesio e acido citrico. E' quindi un aggregato di più unità proteiche unite da ponti calcio. La frazione caseinica più abbondante è l' $\alpha$  (45-50% circa nel latte vaccino) suddivisa in  $\alpha_{s1}$  con 199 aminoacidi e l' $\alpha_{s2}$  con 207 aminoacidi. E' la caseina più ricca di fosforo ed è la più sensibile al calcio con un punto isoelettrico a pH 4,4. La frazione  $\beta$  (35% circa nel latte vaccino) è costituita da 209 aminoacidi, ha punto isoelettrico a pH 4,9 ed è relativamente sensibile al calcio. La frazione  $\kappa$  (13 % circa nel latte vaccino) è formata da 169 aminoacidi ed è una fosfo-glicoproteina per la presenza di gruppi glucidici. Ha un punto isoelettrico a pH 3,7 e il legame Phe<sub>105</sub>-Met<sub>106</sub> (fenilalanina-metionina) è particolarmente sensibile all'attività degli enzimi coagulanti. La frazione  $\gamma$  (5% circa nel latte vaccino) non è una proteina nativa del latte bensì deriva dalla degradazione della  $\beta$ -caseina per azione della plasmina ed è presente in tre forme ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$ ). Ognuna delle frazioni caseiniche indicate è, a sua volta, suddivisibile in altre frazioni la cui presenza percentuale è strettamente correlata a fattori genetici.

Le caseine sono riunite in virtù di interazioni dirette e di legami formati da fosfato di calcio in strutture indicate come "micelle" aventi un diametro di 30-300 nm con all'esterno la  $\kappa$ -CN che, essendo fortemente idrofila, consente una forte idratazione della micella e quindi la sua stabilità nella fase acquosa (siero). Un prolungato raffreddamento del latte causa una solubilizzazione delle caseine ed in particolare della  $\beta$ -CN con perdita della capacità di caseificare, ma un riscaldamento a 30-40 °C può determinare una inversione del fenomeno.

Le proteine del siero costituiscono lo 0,5÷0,7% del latte ed il 17-18% delle sostanze azotate totali. Esse non coagulano durante la caseificazione a meno che siano anche riscaldate in quanto hanno una struttura globulare compatta con una distribuzione di carica omogenea; hanno punto isoelettrico a pH 3,3-7,3 e contengono l'1,5% di zolfo (contro lo 0,8% della caseina), sono prive di fosfato e non sono aggregati proteici. Sono suddivisibili nei seguenti gruppi:

- albumine: costituiscono il 75% delle sieroproteine e comprendono  $\beta$ -lattoglobulina,  $\alpha$ -lattalbumina, sieroalbumina;
- proteosi e peptoni: costituiscono il 4% delle sieroproteine ed hanno catena corta;
- immunoglobuline: sono le proteine del siero con maggiore peso molecolare e termosensibilità e costituiscono un sistema antibatterico naturale del latte;
- proteine minori: fra cui agglutinine, lattenina, proteine enzimatiche, transferrina.

I sali costituiscono lo 0,90÷0,96% del latte e si trovano in parte in soluzione vera e in parte allo stato colloidale (specialmente fosfati, calcio, magnesio, citrati, potassio).

Essi svolgono azione stabilizzante verso la caseina.

Gli ioni più abbondanti sono:

potassio	1,4-1,6 g/l	fosfato	1,0-2,0 g/l
calcio	0,5-1,3 g/l	citrato	1,5-1,8 mg/l
sodio	0,4-0,5 g/l	solfo	0,09-0,1 g/l
magnesio	0,09-0,15 g/l	bicarbonato	0,10-0,15 g/l

Sono alla base, con il lattosio, della iso-tonicità del latte con il sangue nonché della struttura della micella caseinica in cui il fosfato di calcio funge da stabilizzante. In presenza di mastite, infezione a carico dell'apparato mammario, si ha un aumento significativo di sodio e di cloruri ed una corrispondente diminuzione di calcio e fosfati.

Sono presenti nel latte anche numerosi costituenti minori dal punto di vista quantitativo quali le vitamine (sono tutte presenti, ma è abbondante soprattutto la A mentre sono piuttosto scarse la C e la D), i gas (anidride carbonica, azoto, ossigeno) e gli enzimi (fra cui proteasi, lipasi, catalasi, lattoperossidasi, fosfatasi alcalina e fosfatasi acida sono i più interessanti dal punto di vista tecnologico).

Il latte contiene sia la vitamina A che il suo precursore ( $\beta$ -carotene) responsabile con gli altri carotenoidi del colore giallo della frazione lipidica. Nel latte di bufala e di capra risulta assente e questo spiega il colore più bianco di questi latti. Il contenuto in vitamina A è influenzato molto dall'alimentazione: una dieta ricca di foraggi verdi ne favorisce la presenza. La vitamina A è resistente ai trattamenti di sanitizzazione come le altre vitamine liposolubili.

Di particolare importanza tecnologica sono due enzimi: fosfatasi alcalina e lattoperossidasi, la cui termolabilità viene sfruttata ai fini del controllo dei processi termici di sanitizzazione del latte. La fosfatasi alcalina si degrada infatti a 72 °C per 16 sec (o 62 °C per 30 min) mentre la lattoperossidasi si degrada a 80 °C per 15 sec (o 70 °C per 30 min). L'attività di fosfatasi alcalina è espressa in milliunità di attività enzimatica per litro (mU/L) e, un'unità di attività della fosfatasi alcalina, corrisponde alla quantità di enzima fosfatasi alcalina che catalizza la trasformazione di 1 micromole di substrato al minuto. Il risultato del test della fosfatasi alcalina è considerato negativo a seguito del trattamento termico se l'attività misurata nel latte vaccino non è superiore a 350 mU/L (Reg. CE 2074/2005).

La composizione del latte non è ovviamente costante: oltre a modificarsi nel corso della lattazione può subire significative variazioni in funzione di numerosi fattori che possono essere endogeni (di razza, individuali, età, numero dei parti, stato di salute) ed esogeni (alimentazione, clima, sistema di allevamento, stabulazione, tecnica e tempi di mungitura, modalità di conservazione). Nel corso della lattazione vi è una variazione della quantità di latte prodotta che raggiunge il massimo dopo circa 60 gg dal parto per poi diminuire costantemente sino alla fase di asciutta a circa 8 mesi dal parto. Contemporaneamente si ha anche una variazione dei componenti del latte: la concentrazione di lattosio aumenta sino a circa 60 gg dal parto per rimanere costante sino a circa 8 mesi dal parto dopodiché decresce in corrispondenza dell'asciutta mentre la concentrazione dei grassi e delle proteine, che hanno i valori minimi di concentrazione a 2-4 mesi dal parto e poi risalgono costantemente sino all'asciutta.

E' da precisare che questi andamenti possono comunque variare sensibilmente in funzione dell'individuo, dell'età, dell'epoca del parto, del regime alimentare, dell'ambiente e così via.

Molto importanti ai fini della composizione del latte e delle sue caratteristiche tecnologiche e nutrizionali sono i fattori genetici. Così la variante B della  $\kappa$ -caseina,

abbondante nella vacche di razza Reggiana, determina micelle più piccole e numerose della variante A con una migliore attitudine alla coagulazione presamica. L'alimentazione è il fattore esogeno di maggiore effetto sulla composizione del latte in grado di modificarne oltre al valore nutrizionale anche quello tecnologico. In particolare vengono a modificarsi sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo le proteine ed i grassi mentre il lattosio risente in misura minore del tipo di dieta.

#### **2.1.4 Processi di risanamento**

Il latte crudo ed il colostro per poter essere ammessi all'alimentazione umana devono provenire (Reg. CE 853/2004 e s.m.i.) da animali:

- "a) che non presentano sintomi di malattie infettive trasmissibili all'uomo attraverso il latte e il colostro;
- b) che presentano uno stato di salute generale buono e non evidenziano sintomi di malattie che possano comportare una contaminazione del latte e del colostro e, in particolare, non sono affetti da infezioni del tratto genitale con perdite, enterite con diarrea accompagnata da febbre, o infiammazioni individuabili della mammella;
- c) che non sono affetti da ulcerazioni della mammella tali da poter alterare il latte e il colostro;
- d) ai quali non sono stati somministrati sostanze o prodotti non autorizzati e i quali non sono stati oggetto di un trattamento illecito ai sensi della direttiva 96/23/CE;
- e) per i quali, in caso di somministrazione di prodotti o sostanze autorizzati, siano stati rispettati i tempi di sospensione prescritti per tali prodotti o sostanze."

Sempre secondo il Reg CE 853/2004 e s.m.i. "Il latte e il colostro devono essere posti, immediatamente dopo la mungitura, in un luogo pulito, progettato e attrezzato in modo da evitare la contaminazione. Il latte deve essere immediatamente raffreddato a una temperatura non superiore a 8 °C in caso di raccolta giornaliera e non superiore a 6 °C qualora la raccolta non sia effettuata giornalmente. Il colostro deve essere immagazzinato separatamente e immediatamente raffreddato a una temperatura non superiore a 8 °C in caso di raccolta giornaliera e non superiore a 6 °C qualora la raccolta non sia effettuata giornalmente, oppure congelato. La catena del freddo deve essere mantenuta durante il trasporto e, all'arrivo presso lo stabilimento di destinazione, la temperatura del latte e del colostro non deve superare i 10 °C."

A queste temperature si può derogare se la trasformazione avviene entro le due ore successive alla mungitura oppure nel caso in cui, per motivi tecnologici connessi alla fabbricazione di alcuni prodotti lattiero-caseari, si renda necessaria una temperatura più elevata e l'autorità competente conceda l'autorizzazione in tal senso.

Quando il prodotto viene trasferito dall'azienda ad uno stabilimento di trasformazione è necessario che al momento dell'accettazione presso lo stabilimento il latte sia rapidamente refrigerato a una temperatura non superiore ai 6 °C e sia mantenuto a tale temperatura fino al termine della trasformazione (Reg. CE 853/2004 e s.m.i.). Anche in questo caso è possibile mantenere il latte e il colostro ad una temperatura superiore se la trasformazione ha inizio immediatamente dopo la mungitura o entro 4 ore dall'accettazione presso lo stabilimento di trasformazione oppure se l'autorità competente autorizza una temperatura superiore per ragioni tecnologiche connesse alla fabbricazione di taluni prodotti lattiero-caseari o di taluni prodotti ottenuti dal colostro (Reg. CE 853/2004 e s.m.i.).

Fatto salvo il latte crudo, che come tale può essere fornito al consumatore finale, direttamente o tramite ristoranti, ospedali, mense o altre analoghe collettività (Reg. CE



2597/1997) od utilizzato nella produzione di alcuni prodotti caseari è possibile trattare il latte al fine di contenere la carica microbica ed aumentare la shelf-life.

Il DPR 54/1997 prevedeva la presenza di un latte pastorizzato, di un latte UHT ed un latte sterile. Secondo questo decreto:

- il latte pastorizzato deve:

- essere ottenuto mediante un trattamento che comporti un'elevata temperatura per un breve periodo di tempo (almeno +71,7°C per 15 secondi o qualsiasi altra combinazione equivalente) o mediante un trattamento di pastorizzazione che impieghi diverse combinazioni di tempo e temperatura raggiungendo un effetto equivalente;
- presentare una reazione negativa alla prova della fosfatasi e positiva alla prova della perossidasi. E' tuttavia autorizzata la fabbricazione di latte pastorizzato che presenti una reazione negativa della prova di perossidasi, a condizione che sulle confezioni vi sia un'indicazione del tipo: "pastorizzato a temperatura elevata";
- immediatamente dopo la pastorizzazione, essere raffreddato al fine di raggiungere quanto prima una temperatura non superiore a +6°C.

-il latte UHT deve:

- essere ottenuto mediante applicazione al latte crudo di un procedimento di riscaldamento continuo ad almeno +135°C per non meno di un secondo in modo da inattivare i microrganismi e le spore, e confezionato in recipienti opachi o resi tali dall'imballaggio e aseptici in modo tale che le variazioni chimiche, fisiche e organolettiche siano ridotte al minimo;
- essere conservabile, in modo da non presentare, in caso di controllo a sondaggio, alterazioni palesi dopo mantenimento in un recipiente chiuso per 15 giorni, alla temperatura di +30°C oppure, ove occorra, per sette giorni ad una temperatura di + 55°C. Se il procedimento di trattamento del latte detto a "ultra-alta temperatura" viene applicato mediante contatto diretto del latte e del vapore acqueo, quest'ultimo deve essere ottenuto da acqua potabile e non deve cedere al latte sostanze estranee, né esercitare su di esso effetti nocivi. L'impiego di tale procedimento non deve comportare alcuna variazione nel tenore di acqua del latte trattato.

-il latte sterilizzato deve:

- essere riscaldato e sterilizzato in confezioni o recipienti ermeticamente chiusi ed il dispositivo di chiusura deve rimanere intatto al termine del trattamento;
- essere conservabile in modo da non presentare, in caso di controllo a sondaggio, alterazioni palesi dopo mantenimento in un recipiente chiuso per 15 giorni ad una temperatura di +30°C oppure, ove occorra, per sette giorni ad una temperatura di +55°C.

Il Reg. CE 2074/2005 prevede anch'egli due tipologie di intervento, la pastorizzazione e la sterilizzazione.

La pastorizzazione è ottenuta mediante un trattamento comportante una temperatura elevata durante un breve periodo (almeno 72 °C per 15 secondi) oppure una temperatura moderata durante un lungo periodo (almeno 63 °C per 30 minuti) od infine ogni altra combinazione tempo-temperatura che permetta di ottenere un effetto equivalente.

Qualsiasi sia il trattamento di pastorizzazione scelto è necessario che, immediatamente dopo aver subito il trattamento stesso, i prodotti reagiscano negativamente all'eventuale test della fosfatasi alcalina.

L'altro trattamento previsto dal Reg. CE 2074/2005 è quello a temperatura ultra elevata (UHT) che può essere ottenuto mediante un trattamento:

- comportante un flusso termico continuo ad elevata temperatura per un breve periodo (almeno 135 °C per un periodo di durata appropriata) tale da eliminare microrganismi o spore vitali in grado di svilupparsi nel prodotto trattato quando esso sia mantenuto in un recipiente chiuso asettico a temperatura ambiente;
- sufficiente per assicurare la stabilità microbiologica dei prodotti dopo un periodo d'incubazione di 15 giorni a 30 °C o di 7 giorni a 55 °C in recipienti chiusi o dopo l'impiego di ogni altro metodo dimostrante che è stato applicato il trattamento termico appropriato.

La chiusura ermetica delle confezioni destinate al consumo deve avvenire, immediatamente dopo il riempimento, nello stabilimento in cui ha luogo l'ultimo trattamento termico mediante dispositivi di chiusura che impediscano le contaminazioni. Il sistema di chiusura deve essere concepito in modo che l'eventuale apertura risulti evidente e sia facilmente verificabile (Reg. CE 853/2004).

Questo insieme di normative (L 169/1989; DPR 54/1997, Reg. CE 853/2004, Reg. CE 2074/2005) fanno sì che si possano individuare per il risanamento del latte almeno tre tipologie di trattamento termico (pastorizzazione, pastorizzazione a temperatura elevata e sterilizzazione) da cui derivano latti a breve conservazione, a media conservazione o Extended Shelf Life (ESL) ed a lunga conservazione.

Qualunque sia il trattamento utilizzato, che costituisce il passaggio tecnologico fondamentale, nel processo industriale di produzione del latte alimentare sono presenti altre operazioni quali filtrazione, standardizzazione del grasso, omogeneizzazione e confezionamento che contribuiscono in vario modo a garantire la sicurezza e la massima qualità del prodotto finito.

L'efficacia di questi trattamenti termici è influenzata da vari fattori fra cui risultano fondamentali la carica microbica iniziale del latte (crudo o già trattato), il binomio tempo/temperatura utilizzato e le condizioni igienico-sanitarie degli impianti utilizzati.

#### **PASTORIZZAZIONE**

La pastorizzazione del latte è un processo termico a temperature inferiori a 100 °C ma tali da inattivare la fosfatasi alcalina e quindi superiori ai 71,7 °C per 15 sec.

Condotta in flusso continuo con confezionamento sterile viene effettuata su scambiatori a piastre o tubolari che consentono il riscaldamento ed il raffreddamento rapidi del prodotto e sono inseriti in un processo produttivo con più fasi che consente di portare il latte crudo alle condizioni ottimali per la commercializzazione (Figura 2.1).

La prima di queste è la depurazione fisica attuata mediante pulitrici e/o filtri al fine di eliminare il materiale grossolano eventualmente presente.

A questo punto il latte preriscaldato a circa 60 °C viene scremato. Una parte della crema al 40 % circa viene scaricata ed una parte unita al latte scremato sino ad ottenere una miscela al 10-12% di grasso che viene omogeneizzata a 100-300 bar. Questo consente di ridurre le quantità di latte omogeneizzate e quindi i costi legati all'omogeneizzatore.

Il latte omogeneizzato viene quindi unito alla parte restante di latte magro al fine di ottenere il latte scremato, parzialmente scremato od intero previsti dalla normativa.

Sul latte ricostituito e normalizzato viene quindi applicata la pastorizzazione in flusso continuo mediante un pastorizzatore a piastre dotato di tubo di sosta al fine di consentire di ottenere un trattamento in flusso per un tempo prolungato. Lo stesso scambiatore consente il recupero di una parte del calore fornita dalla pastorizzazione mediante il pre-riscaldamento del prodotto in ingresso ed il raffreddamento sino ai 4 °C del prodotto trattato. Ultimo passaggio è il confezionamento in bottiglie di materiale plastico (polietilene tereftalato o polietilene) soffiato a caldo o in cartoni in poliaccoppiato formati, riempiti e termosaldati.

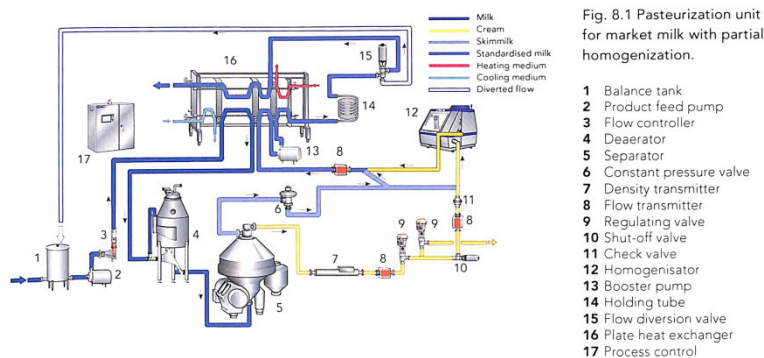


Fig. 8.1 Pasteurization unit for market milk with partial homogenization.

Fig. 2.1 – Impianto completo di pastorizzazione del latte (TetraPack)

#### MICROFILTRAZIONE

La pastorizzazione, sfruttando la scarsa resistenza termica dei microrganismi patogeni non sporigeni, garantisce una elevata sicurezza igienico-sanitaria del prodotto, ma non agisce sulle spore che possono svilupparsi in condizioni di abuso termico provocando tossinfezioni. Inoltre la pastorizzazione inattiva i microrganismi e le cellule somatiche, ma non eliminandoli favorisce la fuoriuscita degli enzimi endocellulari dal citoplasma che portano ad alterazione il prodotto. Infine trattandosi di un trattamento termico provoca la parziale denaturazione delle sieroproteine nonché le reazioni di Maillard con conseguente alterazione cromatica e compositiva del prodotto.

Una possibile parziale soluzione al problema può essere costituita dalla microfiltrazione che, operando sulla taglia e la morfologia dei microrganismi, non assicura la sicurezza del trattamento di pastorizzazione, ma riduce complessivamente la microflora presente. Inoltre trattandosi di un procedimento effettuato a bassa temperatura non provoca i danni tipici del riscaldamento.

Poiché non è possibile effettuare la sola microfiltrazione, in quanto si produrrebbe solo latte magro microfiltrato, questa viene accoppiata alla pastorizzazione così da ottenere i benefici di entrambe e di conseguenza un significativo aumento della shelf-life del prodotto.

Il processo di produzione di un latte microfiltrato è complesso in quanto la microfiltrazione può avvenire solo su latte magro che quindi dovrà essere standardizzato al termine del processo e pastorizzato prima del confezionamento.

Da un punto di vista operativo in un impianto per la produzione di latte pastorizzato-microfiltrato il latte viene pre-riscaldato a circa 50 °C e scremato totalmente. La frazione magra viene microfiltrata in continuo ed il permeato viene addizionato di panna proveniente dalla centrifuga così da ottenere il prodotto standardizzato. Questo latte viene quindi omogeneizzato, pastorizzato e confezionato.

Al fine di contenere il processo termico di pastorizzazione anche la panna, prima dell'aggiunta nel latte microfiltrato, può subire un trattamento di pastorizzazione.

### STERILIZZAZIONE

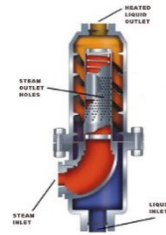
Nella sterilizzazione si può distinguere una sterilizzazione del prodotto confezionato (latte sterile) o del prodotto sfuso che verrà successivamente confezionato (latte UHT). In quest'ultimo caso il processo può prevedere uno scambio diretto od indiretto.

Nel caso della produzione di latte sterile si è di fronte ad un processo di appertizzazione e quindi il prodotto standardizzato ed omogeneizzato viene confezionato in contenitori resistenti alle alte temperature che vengono sigillati e quindi sterilizzati a 110-120 °C per 15-40 min in funzione del materiale, del contenitore e delle sue dimensioni in autoclavi statiche (eventualmente con cestelli rotanti) o rotative.

Al fine di ridurre i tempi di trattamento e quindi gli effetti compositivi/nutrizionali sul prodotto nonché operare in continuo è possibile un pre-trattamento del latte sfuso (135 °C per pochi secondi) seguito da un imbottigliamento a caldo ed una sterilizzazione in autoclavi idrostatiche verticali od orizzontali a 115-125 °C per 20-30 min.

Per i latti UHT ottenuti mediante un processo continuo è possibile operare mediante uno scambio di calore diretto o indiretto in relazione al tipo di contatto che esiste fra la sorgente calda ed il prodotto.

Nel caso dell'UHT indiretto il processo è simile ad una pastorizzazione in quanto il riscaldamento avviene in uno scambiatore a piastre o tubolare operante ad almeno 135 °C, ma per tempi di 1-3 sec. Benché vi sia un recupero significativo del calore e la possibilità di utilizzare per il riscaldamento vapore da acqua non potabile, vi è, in fase di riscaldamento e di raffreddamento, un elevato tempo di inerzia termica che determina danneggiamenti al prodotto e perdita del suo valore nutrizionale.



I sistemi diretti, indicati anche come uperizzazione, prevedono invece che il vapore venga a contatto con il latte mediante due tecniche: l'iniezione di vapore nel latte o l'infusione del latte nel vapore. Nel primo caso il vapore viene iniettato direttamente nel latte in flusso (<http://www.tappi.org/>) mentre nel secondo il latte viene disperso in

una camera mantenuta ad alta temperatura con vapore. Poiché in entrambi i casi si ha una parziale condensazione del vapore nel latte, che risulta quindi diluito, al trattamento segue immediatamente una espansione sottovuoto che provoca l'eliminazione istantanea dell'acqua in eccesso e l'abbassamento della temperatura sino a 70-80 °C. A questo punto si ha l'ulteriore raffreddamento in scambiatori ed il confezionamento asettico. In entrambi i casi i costi produttivi sono più elevati del riscaldamento indiretto in quanto non si ha recupero termico ed è necessario l'utilizzo di acqua potabile per la produzione del vapore, ma le zone di inerzia termica sono molto ristrette e quindi il danneggiamento termico del prodotto limitato.

#### LATTI A BREVE CONSERVAZIONE

Si possono considerare afferenti a questa categoria i latti la cui durabilità è molto breve a causa di un trattamento termico blando condotto a temperature inferiori ai 100 °C o comunque, secondo la definizione FIL-IDF in grado di garantire al consumatore un prodotto sicuro sotto il profilo igienico-sanitario, in relazione alla distruzione dei microrganismi patogeni, ma con minime variazioni dal punto di vista compositivo e sensoriale. Fanno parte di questa tipologia di prodotti il latte pastorizzato, il latte fresco pastorizzato ed il latte fresco pastorizzato di alta qualità. Mentre la durabilità del pastorizzato è fissata direttamente dal produttore quella delle altre due tipologie di prodotto non eccede i 6 giorni più il giorno di confezionamento in condizioni di refrigerazione salvo che il produttore non indichi un termine inferiore (DL 157/2004). Il "latte pastorizzato" è un latte che ha subito un solo trattamento di pastorizzazione con prova della fosfatasi alcalina negativa ed un contenuto in sieroproteine solubili non denaturate non inferiore all'11% delle proteine totali. Il "latte fresco pastorizzato" è un latte che giunge crudo allo stabilimento di confezionamento e viene sottoposto ad un solo trattamento di pastorizzazione entro 48 ore dalla mungitura. E' caratterizzato da un contenuto in sieroproteine solubili non denaturate non inferiore al 14% delle proteine totali, una prova della fosfatasi alcalina negativa e della perossidasi positiva.

Il "latte fresco pastorizzato di alta qualità" infine è un latte che giunge crudo allo stabilimento di confezionamento e viene sottoposto ad un solo trattamento di pastorizzazione entro 48 ore dalla mungitura. Oltre ad essere caratterizzato da un contenuto in sieroproteine solubili non denaturate non inferiore al 15,5% delle proteine totali, una prova della fosfatasi alcalina negativa e della perossidasi positiva. Può essere prodotto solo con latte che deve rispondere almeno ai seguenti requisiti (DM 185/1991): materia grassa non inferiore al 3,5%; materia proteica non inferiore a 32 g/L; tenore in germi a +30°C per mL non superiore a 100.000; tenore in cellule somatiche per mL non superiore a 300.000; contenuto in acido lattico non superiore a 30 ppm. Può essere commercializzato solo nella versione "intero" con un contenuto in materia grassa non inferiore al 3,5% (DM 185/1991).

Per tutti questi prodotti la normativa prevede un trattamento termico relativamente blando ma sufficiente a determinare l'inattivazione di tutti i microrganismi patogeni potenzialmente presenti nel latte quali; *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella spp.*, *Coli spp.*, *Campylobacter*, *Lysteria* nonché la *Coxiella burnetii* agente della Febbre Q la cui inattivazione richiede 71,7 °C per 15,5 sec o 63 °C per 20 min. Il trattamento ovviamente determina una riduzione anche della microflora non patogena così da rendere il prodotto conservabile in condizioni refrigerate per almeno il periodo previsto dalla normativa. Molto scarsa invece l'azione sugli enzimi endogeni ed in particolare sulle lipasi e proteasi il che determina una elevata suscettibilità del latte pastorizzato alla lipolisi in quanto anche omogeneizzato. Pertanto dal punto di vista pratico le temperature di pastorizzazione utilizzate sono più elevate (almeno 75 °C per 15-20 sec) al fine di ottenere una maggiore riduzione della lipasi endogena.

#### LATTI A MEDIA CONSERVAZIONE

Si possono inserire in questa tipologia di prodotto due latti, il "latte pastorizzato a temperatura elevata" ed il "latte pastorizzato microfiltrato" la cui durabilità viene

definita, in entrambi i casi, dal produttore (Circ. Min. Att. Prod. 2/08/2001 n. 167; Circ. Min Att. Prod. 15/10/2004 n.169), ma comunque superiore ai 6+1 dei pastorizzati ed in genere si aggira sui 10-15 giorni ma può arrivare sino ad 1 mese. Benché il Reg. 2074/2005 parli esclusivamente di pastorizzazione ed utilizzi, quale parametro di valutazione, la fosfatasi alcalina, la normativa italiana, con il DPR 54/1997, aveva introdotto la possibilità di produrre un latte pastorizzato particolare indicato come "pastorizzato a temperatura elevata" in cui oltre alla fosfatasi negativa risulta essere negativa anche la perossidasi che invece è di norma positiva nei latti pastorizzati. La produzione di questo latte è stata autorizzata dalla Circ. Min. Att. Prod. 2/08/2001 n. 167 che prevede un trattamento termico ad almeno 85 °C per 15 sec. Industrialmente vengono in genere utilizzati 110-120 °C per almeno 1-2 sec che determinano la potenziale distruzione delle forme vegetative, ma non delle spore né la disattivazione completa delle lipasi, proteasi e plasmid batteriche. La pastorizzazione a temperatura elevata può essere abbinata alla battofugazione che consente l'eliminazione delle spore con conseguente aumento della shelf-life del prodotto.

Al trattamento di pastorizzazione previsto dal Reg. CE 2074/2005 può essere abbinata anche la microfiltrazione, autorizzata in Italia dal DM 17/06/2002, in cui il latte scremato viene fatto passare a 40-50 °C su elementi filtranti esenti da cessioni ed aventi pori con luce media da 1,4 a 2 micron con applicazione di pressioni transmembrarie comprese tra 1 e 1,2 bar. Come per la bactofugazione si ha una eliminazione fisica dei microrganismi e delle spore con i relativi corredi enzimatici ed un conseguente aumento della shelf-life del prodotto.

#### **LATTI A LUNGA CONSERVAZIONE**

I latti a lunga conservazione sono prodotti che hanno subito trattamenti termici a temperature molto elevate per tempi sufficientemente lunghi da determinare una distruzione completa dei batteri e delle spore o comunque da impedirne lo sviluppo a temperatura ambiente per lunghi periodi. Appartengono a questa categoria il "latte sterilizzato a lunga conservazione" in cui il trattamento termico viene effettuato direttamente sul contenitore finale sigillato (L 169/1989) ed il "latte sterilizzato UHT" o più semplicemente "latte UHT" in cui il trattamento termico viene attuato sul latte in flusso continuo a cui segue il confezionamento sterile (Reg. CE 2074/2005).

La durabilità di questi latti è fissata direttamente dal produttore (Circ. Min Att. Prod. 15/10/2004 n.169) e supera in genere i 90 gg. Mentre nel caso del latte sterilizzato non esistono indicazioni in merito al binomio tempo/temperatura da utilizzare in quanto dipendenti dalla tipologia di contenitore utilizzato in termini di volume e materiale, per il latte UHT il trattamento deve essere attuato ad almeno 135 °C. Detto trattamento può essere attuato in modo indiretto mediante scambiatori a piastre o tubolari oppure in modo diretto per iniezione di vapore nel latte (Figura 2.2) od infusione del latte nel vapore. In quest'ultimo caso il vapore utilizzato non deve contenere alcuna sostanza che presenti un pericolo per la salute o possa contaminare il prodotto (Reg. CE 852/2004). Il trattamento diretto, in relazione allo scambio termico molto più rapido ed efficiente, determina un minore danneggiamento termico del prodotto. Inoltre la fase di separazione del vapore condensatosi nel latte durante il trattamento termico determina la contemporanea eliminazione dal latte di composti volatili indesiderati ed ossigeno potenzialmente in grado di attivare fenomeni alterativi nel prodotto in conservazione.

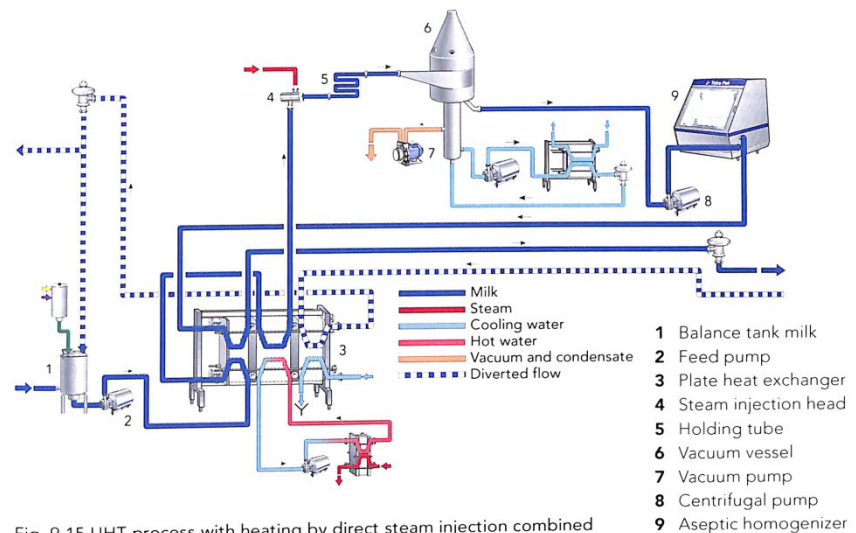


Fig. 9.15 UHT process with heating by direct steam injection combined with plate heat exchanger.

Figura 2.2 – Impianto di produzione del latte UHT per iniezione diretta di vapore (TetraPack)

## 2.2 LATTI FERMENTATI

Con il termine di latti fermentati si indica una vasta tipologia di prodotti caseari in cui il lattosio è stato parzialmente trasformato in acido lattico da microrganismi presenti nel latte od aggiunti in forma di colture pure.

I latti fermentati sono quindi caratterizzati dalla presenza di un elevato numero di batteri lattici che devono risultare vivi al momento del consumo (Circolare 4 gennaio 1972 n. 2; Circolare 12 marzo 1974 n. 40; Circolare 3 febbraio 1986, n. 9) nonché dai relativi corredi enzimatici. Lo sviluppo dei batteri con il conseguente abbassamento del pH sino a 4,0-4,6 oltre a provocare la coagulazione del latte lo rendono sufficientemente stabile e sicuro dal punto di vista microbiologico.

A questo gruppo di prodotti appartengono i tipi acido-termofili (fermentazione a 37-45 °C con produzione prevalente di acido lattico e rappresentati dallo yogurt), i tipi acido-mesofili (fermentazione a 20-30 °C con produzione prevalente di acido lattico e rappresentati dal latte acido, dalla crema acida, dal latticello acido, dal Viili, dal Filmjöl, dallo Ymer, dallo Skyr ecc.) ed i tipi acido-alcologici (fermentazione a 15-25 °C con produzione di acido lattico, alcol e anidride carbonica per presenza contemporanea di batteri lattici e di lieviti e rappresentati dal Gioddu, dal Kephir, dal Kourmis, dal Kos ecc.).

Qualora si impiegasse latte di specie diversa da quella bovina dovrà esserne fatta menzione nella denominazione di vendita (es.: nome specifico del latte fermentato

seguito da «al latte di capra», «al latte di bufala», «al latte di pecora» oppure «latte fermentato di... bufala - capra - pecora») (Circolare 3 febbraio 1986, n. 9).

### 2.2.1 Yogurt

Tra i lattici fermentati lo yogurt è la tipologia più diffusa e secondo quanto previsto dalla Circolare 4 gennaio 1972 n. 2 e dalla norma volontaria UNI 10358/1993 è ottenuto per coagulazione acida del latte con parziale o senza successiva sottrazione di siero, per azione esclusiva di due microrganismi specifici in associazione: *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*. Al momento del consumo la carica deve essere di almeno  $10^7$  per grammo e ciascuna specie almeno  $10^6$  per grammo. Dal punto di vista del contenuto in grassi si ha il prodotto magro (mg <1%), parzialmente scremato (1,5% < mg <1,8%) ed intero (mg >3%). E' possibile una aggiunta di altre sostanze alimentari che però non devono superare il 30% (m/m). In questo caso si potrà usare la dizione «Yogurt con ...» o «yogurt al...» se risultano fisicamente presenti oppure la dizione «Yogurt al gusto di...» se è presente solo l'aroma. La conservabilità dello yogurt è stabilita dal produttore, ma generalmente è di 28-45 gg. In funzione della tecnologia produttiva/forma di presentazione possiamo avere lo yogurt compatto (incubato, coagulato e raffreddato nella confezione), lo yogurt omogeneo (incubato e coagulato in serbatoio, raffreddato e rotto prima del confezionamento), lo yogurt liquido/da bere (simile all'omogeneo, ma ridotto in forma liquida), lo yogurt gelato (incubato e coagulato in serbatoio, ma congelato) e lo yogurt concentrato (incubato e coagulato in serbatoio, ma concentrato prima del raffreddamento ed anche noto come "lebneh").

Indipendentemente dal ciclo produttivo utilizzato, la produzione dello yogurt prevede alcune fasi comuni che hanno lo scopo di preparare il latte per la successiva acidificazione. Il latte al suo arrivo in stabilimento subisce quindi una depurazione fisica (filtrazione, centrifugazione) e se necessario, l'aggiunta di zuccheri (max 10% per limitare la pressione osmotica che potrebbe rallentare lo sviluppo batterico) e degli altri ingredienti (farine, prebiotici etc.). In questo modo la dissoluzione dei componenti è facilitata dalle successive fasi di riscaldamento ed omogeneizzazione e se ne permette la sanitizzazione con la successiva pastorizzazione. Segue la concentrazione a bassa temperatura sotto vuoto che determina una eliminazione del 15-20% dell'acqua presente così da avere una sostanza secca del 13-14% circa ed il 4% di proteine. Questo trattamento consente di ridurre altresì il contenuto in ossigeno della miscela limitando la possibilità di germinazione delle spore di *Bacillus* in fermentazione. Una alternativa alla concentrazione è l'aggiunta di proteine del latte in forma essiccata ed in particolare di latte in polvere, caseinati, siero in polvere, concentrati di sieroproteine (WPC) o proteine del latte (MPC). A questo trattamento segue la omogeneizzazione a 60-80 °C con pressioni fra 8 e 30 MPa che impedisce l'affioramento del grasso in fase di conservazione e le interazioni fra proteine e costituenti lipidici. In questo modo si ha un aumento della idrofilia del coagulo con maggiore ritenzione di siero e cremosità. Al termine della omogeneizzazione la miscela viene pastorizzata a 85-90 °C per 5-20 minuti. Questo trattamento ha numerosi effetti tecnologici: aumenta la sicurezza igienica del latte, inattiva gli enzimi del latte e dei batteri, provoca la denaturazione delle sieroproteine con conseguente loro aggregazione alle caseine, stimola la successiva fermentazione lattica per produzione di acido formico e lattulosio dalla trasformazione termica del lattosio e favorisce la de-aerazione del latte. Di particolare importanza la



denaturazione delle sieroproteine che interagendo con le caseine, ne migliora l'idratazione portando ad un coagulo più viscoso e con minore sineresi e le reazioni di Maillard che portano a componenti fondamentali per la successiva fermentazione lattica. Al termine del processo di pastorizzazione la miscela è raffreddata a 40-45 °C e inocolata con i batteri lattici tipici dello yogurt in genere in forma liofilizzata. La fermentazione richiede dalle 3 alle 9 ore in relazione ai ceppi utilizzati ed utilizza una parte più o meno rilevante del lattosio presente (che in virtù della concentrazione è arrivato al 6% circa) scindendolo nei suoi due componenti e trasformando, di conseguenza, il glucosio in acido lattico sino ad una concentrazione di circa 0,8-1,3% ed un pH di 4,0-4,5. Nel prodotto finale residua una concentrazione di lattosio del 2,5-5,5%, ma la presenza di una lattasi batterica rende il prodotto consumabile anche agli individui intolleranti al lattosio.

Durante la fermentazione si ha anche una leggera attività proteolitica che dipende dai ceppi utilizzati con liberazione di aminoacidi liberi. Di particolare interesse anche la produzione di componenti volatili aromatici fra cui l'acetaldeide ed il diacetile.

In alcuni prodotti si ha anche la formazione di esopolissacaridi da parte di particolari ceppi con aumento della consistenza del prodotto.

#### **YOGURT A COAGULO COMPATTO**

La produzione dello yogurt compatto prevede che la fermentazione avvenga direttamente nel vasetto finale sigillato. Pertanto la miscela dopo l'inoculo viene confezionata unitamente alle eventuali puree di frutta ed i vasetti sono posti direttamente ad incubare alla temperatura necessaria. Al termine del processo fermentativo i vasetti vengono trasferiti nelle celle di conservazione a bassa temperatura. Poiché non si ha la rottura del coagulo, il prodotto si presenta compatto con una modesta sineresi. Per limitare l'effetto osmotico, provocato dai preparati di frutta, che potrebbe rallentare lo sviluppo batterico, il preparato viene posto sul fondo del contenitore e non mescolato con la miscela da fermentare.

#### **YOGURT A COAGULO ROTTO (OMOGENE)**

Nel caso dello yogurt a coagulo rotto la miscela, inocolata con i batteri lattici, viene posta in una fermentiera termocondizionata dove avviene la fermentazione. Al termine di quest'ultima il coagulo viene rotto, inizialmente già nella fermentiera quindi per passaggio attraverso setacci in acciaio ("lisciatura") così da ottenere un prodotto omogeneo e privo di grumi. Questa operazione è molto importante e deve essere eseguita con estrema cura al fine di non danneggiare il reticolo caseinico e provocare quindi una sineresi eccessiva. Il prodotto ottenuto viene quindi confezionato aggiungendo, al momento del riempimento dei vasetti, i preparati di frutta precedentemente sterilizzati e posto in conservazione refrigerata.

#### **YOGURT DA BERE**

Nel caso dello yogurt da bere la miscela inocolata con i batteri lattici viene posta in una fermentiera termocondizionata dove avviene la fermentazione. Al termine di quest'ultima il coagulo viene rotto e quindi omogeneizzato previa aggiunta di stabilizzanti ed addensanti al fine di impedire la separazione del coagulo caseinico. In questa fase vengono aggiunti gli eventuali succhi di frutta necessari alla aromatizzazione. Al termine del processo il prodotto è confezionato sterilmente e posto in conservazione refrigerata.

### 2.3 LATTE PARZIALMENTE DISIDRATATO

Con l'indicazione di "latte parzialmente disidratato" si intende il prodotto liquido, con o senza aggiunta di zuccheri, ottenuto mediante parziale eliminazione dell'acqua dal latte, da latte totalmente o parzialmente scremato o da una miscela di tali prodotti, eventualmente addizionati di crema di latte o di latte totalmente disidratato o di questi due prodotti; nel prodotto finito l'aggiunta di latte totalmente disidratato non deve superare il 25 per cento di estratto secco totale ottenuto dal latte (Direttiva CE 114/2001; Dlgs 8/10/2011 n. 175). Si tratta quindi di prodotti in cui vi è stata una parziale eliminazione dell'acqua presente mediante evaporazione, un possibile zuccheraggio ed una aggiunta di prodotti disidratati. In funzione della presenza o meno di zuccheri aggiunti si distingue il "latte concentrato senza aggiunta di zuccheri" anche noto come "latte evaporato" e "latte concentrato con aggiunta di zuccheri" anche noto come "latte condensato". Per entrambe le tipologie la normativa prevede diversi tipi in funzione dell'estratto secco e del contenuto in grassi.

La tecnologia di produzione del latte concentrato senza aggiunta di zuccheri prevede che il latte dopo la fase di standardizzazione mediante scrematrice, al fine di ottenere la percentuale di grasso richiesta, venga trattato a 105-110 °C per pochi secondi per ridurre la carica batterica presente. Segue la concentrazione a bassa temperatura (48-53 °C) sino ad un peso specifico di circa 1,1-1,2 od una concentrazione di 2,2-2,7 volte il latte di partenza. E' necessario in questa fase non sottrarre più del 75% dell'acqua presente al fine di non determinare la cristallizzazione del lattosio con conseguente "sabbiosità" del prodotto. Segue la omogeneizzazione per impedire l'affioramento del grasso durante la conservazione, il raffreddamento rapido a 30°C per impedire la cristallizzazione del lattosio, il confezionamento sotto vuoto e la sterilizzazione finale ad almeno 115 °C per 20 min o con altri binomi tempo/temperatura in funzione del tipo di contenitore e del suo volume.

Nel caso del latte concentrato con aggiunta di zuccheri dopo la standardizzazione ed il trattamento sanitizzante si ha l'aggiunta di sciroppo di saccarosio al 70% bollente sino ad ottenere un valore di concentrazione del saccarosio che rispetti la formula:

$$[(\%saccarosio)*100] / [(\%saccarosio)+\%H_2O] \geq 62$$

Segue una concentrazione a bassa temperatura (48-53 °C) sino ad ottenere un peso specifico di circa 1,3. Infine si effettua un raffreddamento rapido ed un confezionamento sterile.

### 2.4 LATTE TOTALMENTE DISIDRATATO

Il "latte totalmente disidratato" altresì noto come "latte in polvere" è il prodotto solido ottenuto mediante eliminazione dell'acqua dal latte, da latte totalmente o parzialmente scremato, dalla crema di latte o da una miscela di tali prodotti ed il cui tenore in acqua è uguale o inferiore al 5 per cento in peso del prodotto finito (Direttiva CE 114/2001; Dlgs 8/10/2011 n. 175).

Per la produzione di latte totalmente disidratato si utilizza in genere latte parzialmente concentrato al fine di ridurre l'intensità del trattamento di essiccazione e standardizzato. Il processo di essiccazione può avvenire mediante quattro procedimenti.

**PROCESSO SPRAY**

Il processo Spray è un processo continuo che può essere utilizzato per prodotti termolabili ed è il più utilizzato per la polverizzazione del latte e del siero. E' basato sulla micronizzazione del liquido mediante atomizzatori o turbine in una camera calda dove l'acqua, contenuta nel prodotto, evapora istantaneamente ed il prodotto essiccato può essere raccolto sul fondo della camera stessa (Fig. 2.3). Il latte viene concentrato preliminarmente sino al 48-52% di residuo secco mediante evaporatori a tubi a stadio singolo o multiplo quindi inviato alla camera di evaporazione dove viene trasformato mediante atomizzatori o turbine in particelle di 40-300  $\mu\text{m}$ . Le particelle vengono disperse in una camera dal fondo conico dove, per effetto dell'azione di un flusso di aria a 160-230 °C, l'acqua evapora ed il prodotto essiccato esce ad una temperatura di circa 70-85 °C in funzione del tipo di prodotto considerato. Mentre il latte in polvere si raccoglie sul fondo, l'aria umida viene inviata in una serie di cicloni e filtri al fine di recuperare le polveri fini trascinate con il flusso di aria. Le polveri fini sono quindi riunite alle polveri in uscita dalla camera di essiccazione.

Il processo spray può operare in singolo stadio od in multi stadio nel caso in cui alla camera di essiccazione venga abbinato un essiccatore a letto fluido. Operando in stadio multiplo si ottiene una umidità più regolare nel prodotto, un minore assorbimento di aria e dimensioni delle particelle di latte essiccato più omogenee.

Un parametro fondamentale per le polveri è la solubilità che può essere aumentata mediante l'agglomerazione ossia la formazione di aggregati fra particelle che presentano interstizi vuoti dove potrà penetrare in fase di dissoluzione il solvente. Questa aggregazione può essere provocata sia durante l'essiccazione nella camera mediante l'unione di particelle diverse, sia mediante la "istantaneizzazione". In quest'ultimo caso la polvere in uscita dalla camera di essiccazione viene riумidificata con vapore al fine di provocare l'unione delle particelle quindi essiccata mediante un essiccatore a letto fluido.

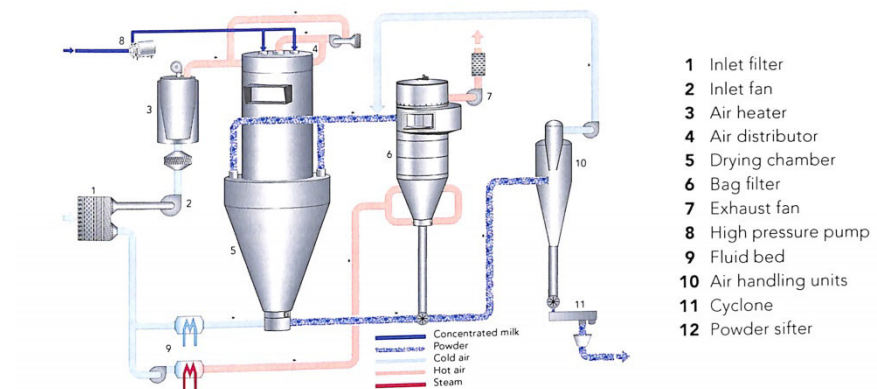


Figure. 17.5 Single stage dryer

Figura 2.3 – Schema di funzionamento di un impianto spray per la produzione di latte (TetraPack)

**PROCESSO ROLLER**

Nel processo Roller il latte, previamente standardizzato e concentrato, viene distribuito sulla superficie di uno o due rulli (lunghezza 1-6 m; diametro 0,6-3 m) rotanti e mantenuti ad elevate temperature. A contatto con la superficie calda il prodotto essicca e viene staccato dai rulli mediante lame che raschiano la superficie dei rulli stessi. Il processo è molto semplice ma le elevate temperature possono provocare una denaturazione delle proteine con riduzione della solubilità e imbrunimenti di colore.

**LIOFILIZZAZIONE**

La liofilizzazione è un processo di essiccazione ampiamente utilizzato nell'industria alimentare (caffè solubile, minestre pronte etc...) così come in quello farmaceutico che si basa sulla eliminazione dell'acqua dal prodotto mediante sublimazione ossia il passaggio diretto dell'acqua dallo stato solido a quello gassoso senza passare per lo stato intermedio liquido. La liofilizzazione è possibile operando in condizioni di alto vuoto. Dal punto di vista operativo il prodotto viene surgelato quindi posto in una camera dove viene ottenuto il vuoto. La presenza di vuoto provoca la sublimazione dell'acqua pertanto è indispensabile che durante tutto il processo il prodotto resti surgelato. Il processo è quindi discontinuo, complesso e costoso, ma il prodotto ottenuto mantiene inalterate le sue caratteristiche compositive e sensoriali ed è caratterizzato da una perfetta solubilità.

**LETTO DI SCHIUMA**

Questo processo può essere utilizzato solo per latti in polvere destinati all'industria dolciaria in quanto il prodotto che si ottiene contiene emulsionanti. Il processo di produzione prevede che il latte sia unito ad agenti emulsionanti e schiumogeni quindi, mediante l'insufflamento di aria, ne venga provocata la formazione di schiuma che potrà essere successivamente essiccata. Il prodotto risulta di ottima qualità, ma la presenza di additivi ne limita gli utilizzi.

**2.5 BURRO**

Secondo quanto previsto dal Reg. CE 2991/1994 i grassi lattieri ossia i prodotti che si presentano sotto forma di una emulsione solida e malleabile, principalmente di grassi ottenuti esclusivamente dal latte e/o da prodotti lattieri sono classificati in "Burro" (grasso >80% ma <90%; acqua < 16%; estratto secco non grasso <2%), "Burro tre quarti" (grasso >60% ma <62); "Burro metà" (grasso >39% ma <41%) e "Grasso lattiero da spalmare al ...%" (grasso <39%; grasso <41% ma <60%; grasso <62% ma <80%)

Dal punto di vista commerciale si può indicare la definizione "A ridotto tenore di grassi o alleggerito" se il grasso >41% ma <62% e la dizione "A basso tenore di grassi o light o leggero" quando il grasso <41%. E' infine possibile utilizzare la dizione «tradizionale» unitamente a quella di «burro» quando il prodotto è ottenuto direttamente dal latte o dalla crema di latte o panna ossia il prodotto ottenuto dal latte, sotto forma di un'emulsione di grassi in acqua con un tenore minimo, in peso, di grassi lattieri del 10%. Nel caso in cui si produca burro a partire da materie prime provenienti da latte di animali diversi dalla vacca, può essere attribuita la denominazione «burro», purché

seguita dalla indicazione della specie animale. La shelf-life del burro viene definita direttamente dal produttore ed in genere si aggira sui 90 gg.

Dal punto di vista produttivo si possono distinguere due fasi successive: la separazione della panna e la burrificazione della panna.

#### **SEPARAZIONE DELLA PANNA**

La separazione della panna, ossia della frazione grassa del latte, può avvenire mediante affioramento spontaneo oppure centrifugazione.

L'affioramento spontaneo è una tecnica ampiamente utilizzata sia a livello artigianale che a livello industriale soprattutto in Italia dove costituisce l'unica applicabile nella produzione del Parmigiano Reggiano DOP e del Grana Padano DOP ed è basata sulla diversa densità fra i globuli di grasso ed il siero. Secondo quanto prevede la legge di Stokes la velocità di affioramento dei globuli di grasso è data dalla espressione:

$$[D^2 * (dg-dl) * g] / 18\eta$$

dove D rappresenta il diametro del globulo, dg la densità del grasso, dl la densità del latte, g la forza di gravità ed  $\eta$  la viscosità.

Ne deriva quindi che la velocità di affioramento aumenta all'aumentare del diametro del globulo e diminuisce all'aumentare della viscosità. Poiché il valore di viscosità è inversamente correlato alla temperatura, ne deriva che la velocità di affioramento del globulo aumenta all'aumentare della temperatura. A 20 °C la velocità di affioramento del globulo di grasso è di circa 0,5 cm/h ma considerando che i globuli nel latte sono in genere raggruppati in clusters la velocità reale diventa di circa 1,5 cm/h. Pertanto ponendo il latte non omogeneizzato in una vasca di ampia superficie, ma di piccola profondità (20-25 cm) dopo circa 12-15 ore a circa 12-15 °C si avrà un affioramento quasi completo della frazione grassa e la produzione di una panna al 30-35% di materia grassa. L'affioramento deve essere effettuato ad una temperatura che consenta di limitare l'aumento di viscosità, ma contemporaneamente anche lo sviluppo della microflora presente. In genere questo equilibrio viene raggiunto nell'intorno dei 10-18 °C. Benché la temperatura sia mantenuta bassa, vi è comunque uno sviluppo batterico con conseguente acidificazione del latte e della panna derivata. L'affioramento determina inoltre una concentrazione dei microrganismi nella panna per effetto della loro adesione superficiale ed del loro inglobamento nella massa grassa.

La panna può essere separata anche mediante centrifugazione. In questo caso il prodotto ha una concentrazione in grasso superiore al 70% e nella legge di Stokes, che regola il processo, il parametro forza di gravità viene sostituito dal parametro accelerazione angolare data dal prodotto fra la distanza dall'asse di rotazione ed il quadrato della velocità angolare radiale. Pertanto la velocità di separazione della frazione grassa sarà direttamente proporzionale, oltretutto al diametro della particella, anche alla dimensione della centrifuga ed alla sua velocità di rotazione. Ipotizzando una centrifuga operante a 5400 rpm e con un diametro di 0,4 m risulta una velocità di separazione di circa 390 cm/h. In questo caso, visto che il processo è istantaneo, non si ha acidificazione del latte e quindi della panna derivata.

#### **BURRIFICAZIONE**

Il processo di burrificazione prevede inizialmente delle fasi volte a preparare la panna per la successiva trasformazione. La prima di queste è la pastorizzazione eseguita ad almeno 90-95 °C per 15-30 min al fine di distruggere la microflora presente, particolarmente resistente per la presenza della matrice grassa, nonché gli enzimi fra i quali le lipasi che potrebbero alterare il prodotto nel corso della conservazione. Alla pastorizzazione può seguire la deodorazione sotto vuoto riscaldando la panna a circa 78

°C e ponendola in una camera con un vuoto che determina una ebollizione a circa 62 °C. Questo trattamento consente di eliminare gli eventuali odori presenti e dovuti alla alimentazione degli animali o a problemi insorti nella conservazione della panna. La panna viene quindi inoculata con miscele di batteri lattici costituite in genere da *Streptococcus diacetylactis* e *Leuconostoc citrovorum* che determinano la formazione di aromi (acido lattico, diacetile, acido acetico) e l'acidificazione che risulta fondamentale per la successiva burrificazione.

La panna acidificata ed aromatizzata viene quindi sottoposta ad un processo di trattamento termico al fine di controllare la cristallizzazione dei grassi e raggiungere la consistenza finale voluta. La presenza infatti di acidi grassi a lunga catena insaturi determina la produzione di burro morbido mentre al contrario acidi grassi saturi portano a burro più compatto. Quando la panna è raffreddata sotto i 40 °C inizia la cristallizzazione che risulterà graduale in funzione dei punti di solidificazione dei diversi grassi se anche il raffreddamento risulterà graduale. In realtà in funzione del numero di iodio della panna verranno utilizzate delle programmate di temperatura che permettono di ottimizzare il rapporto fra grassi solidi e liquidi nella miscela e di conseguenza le caratteristiche reologiche del prodotto finito. Al termine del processo di raffreddamento si ha la fase di zangolatura ossia di agitazione violenta della panna al fine di determinare una inversione di fase che determina il passaggio da grassi dispersi in acqua ad acqua dispersa nella matrice grassa. Alla base del processo di zangolatura vi è la "teoria della schiuma" secondo la quale, durante la zangolatura, si ha formazione di schiuma con bolle di aria alla cui interfaccia si vanno a disporre i globuli di grasso. Per effetto della violenta agitazione alcuni di questi globuli collassano e la frazione liquida, uscendo, lega i restanti globuli. Si formano quindi cristalli di burro attorno ai quali coagulano i globuli di grasso in un continuo che viene ad interessare tutta la massa. Il processo dura circa 40-45 min al termine dei quali la frazione liquida (latticello) è scaricata ed il burro lavato con acqua fredda al fine di liberarlo dalle frazioni non grasse che potrebbero determinare uno sviluppo batterico ed una conseguente alterazione nel corso della conservazione. Durante questa fase viene effettuata anche la salatura del burro.

Il processo di burrificazione può anche avvenire in continuo mediante specifiche macchine in cui la trasformazione della panna in burro è istantanea a causa del raffreddamento energetico ed alla violenta agitazione della massa. I granuli di burro formati nella zangola sono quindi separati dal latticello e compattati prima dello scarico.

#### **BURRI SPECIALI**

Fra i burri speciali sono di particolare interesse i burri anidri o Anidrous Milk Fat o AMF che contengono almeno il 99,8% di grassi lattieri ed il burro senza colesterolo.

Per la produzione dell'AMF si può utilizzare panna o burro. Nel caso in cui la produzione inizi dalla panna questa viene concentrata al 75% quindi portata al 99,5% mediante centrifugazione. Segue un trattamento sotto-vuoto e la solidificazione a bassa temperatura. Nel caso della produzione da burro, la materia prima è portata a circa 60 °C quindi concentrata mediante una centrifuga sino al 99,5% di grasso ed infine raffreddata al fine di solidificarla.

La produzione di burro a ridotto contenuto di colesterolo è legata alla richiesta di una parte dei consumatori verso prodotti salutistici. Le tecniche proposte negli anni allo scopo di ridurre il contenuto di colesterolo nel burro sono state diverse, ma la più utilizzata sfrutta la capacità adsorbente delle ciclodestrine ed in particolare delle  $\beta$ -ciclodestrine di adsorbire la molecola del colesterolo. Le  $\beta$ -ciclodestrine vengono quindi

unite alla panna ed il complesso di adsorbimento che si forma con il colesterolo può essere separato per centrifugazione. Il processo non altera la frazione trigliceridica né quella aromatica del burro trattato e permette di ridurre il contenuto di colesterolo del burro di circa il 65% con un solo passaggio e di una percentuale maggiore con più trattamenti.

## 2.6 FORMAGGIO

Secondo quanto previsto dal RD 2033/1925 in Italia il formaggio è il prodotto che si ottiene dalla coagulazione acida o presamica del latte intero o parzialmente o totalmente scremato o dalla crema, anche facendo uso di fermenti o di sale da cucina. Il nome di 'formaggio' senza altre aggiunte è riservato ai derivati del latte vaccino, mentre per gli altri lattici il termine 'formaggio' deve essere accompagnato dalla specie da cui proviene il latte.

Questa definizione esclude quindi la ricotta mentre comprende il mascarpone in quanto derivato dalla coagulazione della panna.

La produzione di formaggio rappresenta il metodo più antico di conservazione del latte e la sua tecnologia molto articolata e complessa per le moltissime fasi produttive presenti è alla base dell'elevato numero di tipologie di formaggio esistenti in Italia e nel Mondo. Il processo di caseificazione comprende comunque sempre un'operazione di coagulazione della frazione proteica seguita da una serie di operazioni che hanno lo scopo di allontanare una quantità spesso molto rilevante di fase acquosa (dissierazione) al fine di ottenere il prodotto di composizione desiderata.

### REFRIGERAZIONE

La refrigerazione del latte è una fase utilizzata laddove si effettui per motivi tecnologici od organizzativi una sola lavorazione giornaliera. In alcuni casi la refrigerazione è abbinata alla fase di scrematura del latte per affioramento. In questa fase è importante che la temperatura del latte arrivi a 4 °C in 2-3 ore al fine di evitare uno sviluppo eccessivo della microflora presente. In ogni caso la refrigerazione non migliora la qualità del latte. La permanenza del latte a bassa temperatura favorisce infatti lo sviluppo della microflora psicrofila anticasearia che potrà essere eliminata con una successiva pastorizzazione, ma arricchirà il latte di enzimi proteolitici e lipolitici che interferiranno negativamente sulla stagionatura. La refrigerazione del latte determina altresì uno spostamento dell'equilibrio dei sali con passaggio di parte del calcio colloidale micellare in soluzione e conseguente solubilizzazione delle caseine. Questo fenomeno determina una maggiore idratazione delle caseine e di conseguenza un coagulo molle ed una presa di coagulo lenta.

### STANDARDIZZAZIONE

La composizione del latte si modifica nel corso della lattazione e quindi per poter avere una standardizzazione produttiva è necessario effettuare una standardizzazione compositiva del latte da caseificare. In genere detta standardizzazione viene attuata utilizzando un latte di massa ossia proveniente da un elevato numero di animali, ma in alcuni casi può essere necessaria una modifica compositiva che interessi proteine, sali, pH e lattosio. Il contenuto proteico può essere aumentato direttamente mediante l'aggiunta di latte in polvere o siero in polvere o caseinati od indirettamente mediante osmosi inversa o nanofiltrazione o concentrazione. L'aumento di Sali, ed in particolare di calcio, aumenta la resa di caseificazione e la durezza del coagulo e può avvenire con

l'aggiunta di  $\text{CaCl}_2$  sino ad un massimo di 200 mg/L. Per una corretta coagulazione è necessario un pH acido e questa condizione può essere ottenuta mediante la maturazione a caldo in presenza di batteri lattici (pre-maturazione) o con l'aggiunta di acidi organici (acido lattico) o sostanze acidificanti (glucono-delta-lattone, sieroproteine acide). Anche il contenuto in lattosio può essere modificato ed in genere ridotto mediante ultrafiltrazione.

Una standardizzazione compositiva molto particolare è la riduzione del titolo in grasso o scrematura che per alcune produzioni è obbligatoria. La scrematura può essere attuata sia per affioramento che per centrifugazione con le modalità già descritte nel capitolo sulla produzione del burro.

#### **TERMIZZAZIONE**

Relativamente alla termizzazione del latte per la sua caseificazione si deve evidenziare che vi sono formaggi prodotti solo con latte termizzato, altri che possono essere ottenuti con latte termizzato o crudo ed infine altri che possono essere ottenuti solo da latte crudo.

Non esistendo indicazioni di legge in merito al tipo di trattamento termico da eseguire si può avere una semplice termizzazione oppure una pastorizzazione. Nel caso della termizzazione il riscaldamento è attuato ad una temperatura inferiore ai 68 °C per 15-30 sec a cui segue un raffreddamento sino a 4 °C nel caso in cui il trattamento preceda lo stoccaggio o sino a circa 35 °C se precede la coagulazione. Le funzioni di questo trattamento sono quelle di ridurre la carica batterica e di ristabilire gli equilibri del calcio.

Oltre alla termizzazione può essere attuata anche una pastorizzazione con  $T > 63$  °C per 30' (pastorizzazione bassa LTLT),  $T > 71,7$ °C per 15,5 " (pastorizzazione HTST) o  $T > 85$  °C per 1-4" (flash pasteurization). Non è possibile attuare trattamenti a temperature più elevate in quanto si avrebbe una alterazione delle caseine con perdita della capacità coagulante.

La pastorizzazione bassa determina una riduzione elevata della microflora, soprattutto quella anticasearia con lievi alterazioni compositive poiché solo la vitamina C viene ad essere ridotta. Numerosi però gli svantaggi di questa tecnica. E' discontinua, la riduzione di carica non è uniforme e minore soprattutto in superficie per formazione di schiuma, vi è immissione di aria per l'agitazione con conseguente ossidazione dei grassi, vi è un aumento del pH per perdita di  $\text{CO}_2$  ed è possibile la selezione di ceppi resistenti (*Propionibacterium*).

Nel caso delle pastorizzazioni ad alta temperatura si forma un complesso fra lattoglobuline e k-caseina con conseguente riduzione dell'azione coagulante della chimosina, modifiche di odore e colore ed una diminuzione del calcio solubile il che determina una maggiore difficoltà nella formazione del coagulo caseinico. Ne deriva quindi che il trattamento termico aumenta il tempo di presa e di indurimento, determina una riduzione della rigidità finale del coagulo e dello spurgo, ma aumenta la resa per co-precipitazione caseina/proteine solubili.

Tecniche alternative al trattamento termico sono la bacto-fugazione e la microfiltrazione che rispetto ai trattamenti termici hanno il vantaggio di eliminare anche le spore, non provocare alcun danno termico al latte, eliminare le cellule e quindi anche gli enzimi endocellulari, non modificare l'equilibrio salino del latte.



### TRASFERIMENTO IN CALDAIA

Nella maggior parte dei processi di caseificazione la coagulazione viene attuata in un contenitore o caldaia costituito da una vasca di volume molto variabile in materiali diversi (legno, vetro, metallo, plastica).

Nell'ambito del metallo prevale l'acciaio inox benché per molte produzioni, soprattutto di formaggi a lunga stagionatura, sia utilizzato il rame per la sua migliore conducibilità termica e per la cessione di ioni rameici al coagulo che catalizzano alcune reazioni nel corso della stagionatura.

Le caldaie di medie e grandi dimensioni sono attrezzate con sistemi per il controllo termico e l'agitazione della massa nonché per il riscaldamento della massa.

Quando il latte viene trasferito in caldaia la sua temperatura deve essere di 32-38 °C al fine di facilitare l'attività degli enzimi coagulanti. Minore sarà la temperatura in caldaia, minore sarà la compattezza del coagulo ottenibile.

### INOCULO STARTER

Sino ad alcuni decenni or sono tutte le produzioni utilizzavano per la caseificazione la sola microflora autoctona del latte, ma la constatazione dei difetti ascrivibili alla fermentazione "selvaggia" che si avevano senza l'ausilio di innesti ha portato già alla fine dell'800 all'introduzione dell'innesto abbinato in genere al trattamento termico del latte. Gli innesti sono microrganismi che vanno a definire i caratteri compositivi e sensoriali del prodotto finito e si possono suddividere in primari (acidificanti) suddivisi a loro volta in naturali e selezionati e secondari (non acidificanti).

Le colture primarie sono costituite da batteri lattici la cui funzione è quella di acidificare il latte e condurre tutti i processi che si sviluppano nel corso della stagionatura mentre quelle secondarie sono costituite da una microflora specifica (lieviti, muffe, batteri cromogeni ecc.) che con lo sviluppo nella cagliata e/o nel formaggio contribuiscono a determinare i caratteri fisici e/o aromatici del prodotto finito.

Nell'ambito delle colture primarie naturali vi sono il siero-innesto, il latte-innesto e la scotta-innesto. Il siero-innesto è costituito da siero ricavato dalle lavorazioni e conservato a temperatura ambiente o controllata al fine di provocare lo sviluppo della microflora lattica presente. Tipico delle lavorazioni del Grana Padano e del Parmigiano Reggiano presenta una microflora molto varia e tipica di ogni caseificio ed una acidità di 28-32 °SH/50 mL.

Per la produzione di latte-innesto si utilizza latte di ottima qualità che può essere termizzato a 65 °C per 15-20 min, raffreddato sino a 40-45 °C, conservato a questa temperatura sino alla coagulazione e quindi raffreddato nel caso si voglia un latte-innesto termofilo. Il trattamento termico seleziona infatti una microflora lattica termofila in cui prevale *Streptococcus thermophilus*. Nel caso in cui si voglia invece un latte-innesto mesofilo sarà sufficiente lasciare il latte a temperatura ambiente sino alla formazione del coagulo. È evidente in questo caso la possibile variabilità nella microflora presente.

La scotta-innesto è costituita da scotta ossia dal liquido ricavato dalla produzione della ricotta fatto raffreddare e conservato a temperatura ambiente. Utilizzata ad esempio nella produzione del Pecorino Romano DOP è caratterizzata dalla presenza di batteri lattici termoresistenti.

Le colture primarie naturali sono affette da numerosi problemi (possibilità di contaminazione, attività non regolare dei fermenti, bassa regolarità delle produzioni, disponibilità limitata, bassa purezza microbiologica) e quindi, ove possibile, sono state sostituite con quelle selezionate costituite da colture pure liofilizzate o congelate di batteri lattici puri od in miscela. Aggiunte direttamente nel latte in caldaia consentono

un migliore controllo del processo ed una maggiore standardizzazione produttiva. La loro scelta è funzione del tipo di formaggio da produrre e di quanto previsto dall'eventuale Disciplinare di produzione.

Le colture secondarie infine sono costituite da microrganismi che svolgono particolari attività quali la formazione di colori superficiali, occhiature od erborinature. Ne sono un esempio i *Propionibacterium* spp. utilizzati per l'occhiatura dell'Emmentaler in quanto gasogeni, il *Penicillium roqueforti* ed il *P. weindemannii* utilizzati per l'erborinatura del Gorgonzola o l'*Enterococcus faecium* utilizzato per la sua attività antagonista nei confronti di *Listeria*.

#### COAGULAZIONE

La produzione di un formaggio non può prescindere dalla separazione della frazione proteica (tutta o solo quella caseinica) dalla matrice latte e quindi questa fase è specifica per questa attività.

Da un punto di vista tecnologico la coagulazione può avvenire per effetto termico, per azione dell'acidità, per azione di enzimi coagulanti o per la contemporanea presenza di più modalità.

Per quanto concerne la coagulazione termica è da rilevare che le caseine non sono sensibili al riscaldamento quindi, in questo tipo di coagulazione, sono le sieroproteine che coagulando inglobano nel reticolo, che si viene a formare, le caseine e ne provocano la separazione. Questa tecnica determina elevate rese per la contemporanea presenza di caseine e sieroproteine, ma le caratteristiche del coagulo per la presenza di tutte le frazioni proteiche sono molto particolari e quindi risulta poco utilizzata. Ne sono un esempio il Cacioricotta od il Queso Blanco.

Nel caso della coagulazione acida è da evidenziare che le caseine sono sensibili alla acidificazione del mezzo e quando il pH raggiunge 4,6 a 4 °C (o 5,2 a 37 °C), punto isoelettrico delle caseine, queste coagulano. L'acidificazione provoca la solubilizzazione del calcio delle micelle e la liberazione delle catene proteiche che tendono quindi a riaggregarsi con deboli legami elettrostatici. Il reticolo che si forma ha una struttura molto debole e friabile. Con la stagionatura il coagulo tende ad asciugare e con la rottura dei legami, il formaggio diventa friabile e gessoso.

La tecnica più diffusa di coagulazione è quella presamica che utilizza il caglio, una miscela di enzimi con attività coagulante. La stessa storia del formaggio è legata agli enzimi coagulanti in quanto è probabile che i primi formaggi siano nati dalla conservazione del latte in otri ricavati dagli stomaci di agnelli. Esistono quattro tipologie di cagli in funzione della loro origine: vegetali, animali, microbici, da DNA ricombinante. I cagli vegetali sono stati ampiamente utilizzati nella produzione dei formaggi ed il nome stesso di caglio deriva da *Gallium verum*, una pianta utilizzata dai romani per la produzione di formaggi. Molti altri vegetali hanno attività coagulante (fico, papaia, carciofo, kiwi, cardo), ma solo i fiori del cardo hanno un'applicazione industriale e molti formaggi fra cui alcuni DOP della Penisola Iberica vengono prodotti con caglio di cardo. L'attività coagulante nei fiori di cardo è dovuta alle due proteasi acide presenti, la cardosina A e la cardosina B che idrolizzano la caseina in modo analogo alla chimosina ed alla pepsina, gli enzimi presenti nei cagli animali. L'attività proteolitica di questi enzimi e degli altri presenti negli estratti da cardo è però molto elevata e quindi si ha una proteolisi spinta dei formaggi con formazione di sapore amaro ed, in alcuni casi, liquefazione della pasta.

I cagli animali sono ottenuti in genere dagli stomaci di ruminanti lattanti benchè vengano utilizzati anche gli stomaci di altri animali (pollo, suino, bovini adulti ecc.). Da

questi materiali, opportunamente sanitizzati, è possibile estrarre, per macerazione, gli enzimi coagulanti ottenendo il caglio liquido e quindi il caglio in polvere per essiccazione del caglio liquido. Un'altra tipologia di caglio è quello "in pasta" ottenuto mescolando l'abomaso tritato di ruminanti lattanti (soprattutto agnello e capretto) con sale. Si ottiene una pasta che è dispersa in acqua, filtrata ed liquido ottenuto utilizzato per la coagulazione.

I costi elevati della materia prima e la sua sempre più scarsa disponibilità hanno però spinto verso la ricerca di nuove tipologie di coagulanti. La prima è costituita dai coagulanti microbici ottenuti estraendo dai brodi di coltura le aspartil-proteasi secrete da alcune muffe (*Rhizomucor miehei* e *pusillus*, *Cryptonectria parasitica* ecc.) a cui è seguita la produzione diretta di chimosina da *Escherichia coli* e *Kluyveromyces lactis* modificati geneticamente. L'utilizzo di queste tipologie di caglio e soprattutto di quelli da chimosina genetica sono sottoposti a numerosi vincoli legislativi e vietati per le produzioni DOP.

La coagulazione enzimatica del latte è legata a un processo inizialmente idrolitico e quindi aggregativo a carico delle caseine ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$ ) del latte ed è caratterizzato da due fasi distinte. La prima, di natura enzimatica, determina la scissione della  $\kappa$ -caseina mentre la seconda comporta l'aggregazione della caseina così modificata, in presenza di ioni  $\text{Ca}^{++}$ , con formazione di un gel continuo.

Ai fini dell'utilizzo, il caglio è caratterizzato commercialmente dal titolo o forza e, nel caso di quelli animali, dal rapporto chimosina:pepsina. Il titolo o forza indica l'attività coagulante del caglio espresso dai mL di latte coagulati da 1 mL (o grammo) di caglio a 35 °C in 40 min oppure dalle RU (Rennet Units) o IMCU (International Milk Clotting Units) ossia la quantità di coagulante necessaria per coagulare in 100 sec 10 mL di substrato costituito da latte in polvere (bassa temperatura) ricostituito al 10,7% (p/p) in una soluzione acquosa 0,01 molare di cloruro di calcio ad un pH di 6,35. Un caglio liquido animale ha in genere un titolo di 1:5000-1:20000 mentre un caglio in polvere può superare i 150000.

Nel caso dei cagli animali è molto importante anche il rapporto chimosina:pepsina in quanto la chimosina ha una scarsa attività proteolitica, ma una forte attività coagulante mentre la pepsina ha una forte attività proteolitica ed una scarsa attività coagulante. Ne deriva che un caglio con una elevata percentuale di chimosina porterà ad un coagulo molto compatto, ma con una scarsa proteolisi in fase di stagionatura mentre un caglio ricco in pepsina darà origine ad un coagulo morbido con una proteolisi molto accentuata in stagionatura.

La coagulazione del latte ad opera del caglio si sviluppa in due fasi.

Nella fase primaria si ha l'idrolisi del legame Phe<sub>105</sub>-Met<sub>106</sub> della  $\kappa$ -caseina ( $\kappa$ -CN) con formazione del peptide 1-105  $\kappa$ -CN o para- $\kappa$ -caseina che rimane nel coagulo e del peptide 106-169  $\kappa$ -CN o caseino-glico-macro-peptide (CMP) che si solubilizza nel siero.

Il distacco del CMP comporta una diminuzione della stabilità della micella per perdita di idratazione della micella stessa con modificazione della carica elettrica e quindi nella seconda fase della coagulazione si ha la formazione di legami salini mediati dal calcio e dal fosforo presenti in soluzione che determinano l'avvicinamento delle micelle e la formazione di una struttura reticolare che si compatta via via che si ha la perdita di siero. I fattori che controllano le due fasi sono numerosi e legati sia al substrato (caratteristiche e concentrazione della caseina, pH, contenuto minerale e temperatura) che all'enzima coagulante (tipologia, quantità e attività). In generale aumentando la concentrazione del caglio si ha una coagulazione veloce ed un coagulo compatto ed elastico, ma si può avere la formazione di peptidi amari per una eccessiva azione proteolitica. Per quanto concerne la temperatura, l'ottimale è di 40-42 °C. La formazione

del coagulo scompare a 10-15 °C ed oltre i 55 °C con la degradazione termica dell'enzima coagulante. L'endotermicità delle interazioni idrofobiche fa sì che non si abbia flocculazione ad una temperatura inferiore ai 4 °C. Nel caso infine del pH, quelli bassi favoriscono l'attività della chimosina (se il pH passa da 6,6 a 6,4 l'attività raddoppia), ma se il pH scende a 6,0 si ha friabilità del coagulo per la solubilizzazione del calcio colloidale.

Mentre il coagulo acido ha una scarsa capacità di contrarsi e quindi il contenuto in siero rimane molto elevato (70-85%) il coagulo presamico tende spontaneamente a contrarsi in relazione al formarsi di legami tra le micelle caseiniche. Alcune pratiche tecnologiche (rottura del coagulo, cottura e pressatura) accentuano tale fenomeno portando a cagliate con una bassa umidità residua.

Anche alcune operazioni attuate prima della caseificazione possono avere effetto sulla stessa. Nel caso di una prolungata refrigerazione, il tempo di coagulazione si allunga in quanto si è avuta una modifica dello stato micellare con passaggio in soluzione di calcio colloidale e di  $\beta$ -CN. Questo comporta una riduzione della dimensione micellare ed un aumento della idratazione che causano un corrispondente aumento della stabilità. Anche nel caso di un latte trattato termicamente vi è un aumento del tempo di coagulazione, ma in questo caso la causa è il passaggio di parte del calcio ionico in fase colloidale e la formazione di un complesso  $\beta$ -LG/ $\kappa$ -CN che crea un impedimento sterico all'attività del coagulante.

Di notevole interesse, ai fini delle caratteristiche del coagulo, il polimorfismo delle caseine. Le varianti B della  $\kappa$ -CN, della  $\beta$ -CN e della  $\beta$ -LG sono associate ad un maggiore contenuto in caseina ed a micelle di minori dimensioni (12-60 nm) con quindi una maggiore superficie esposta il che determina migliore attitudine alla coagulazione presamica, minori tempi di coagulazione, maggiori rese e maggiore consistenza del coagulo.

#### **ROTTURA COAGULO**

La rottura del coagulo è una fase di estrema importanza nella caseificazione in quanto concorre a definire l'umidità del prodotto finito nonché il passaggio di grasso nel siero. La rottura della cagliata può essere effettuata con vari utensili (spada, rotella, lira e spino) benché i più diffusi siano la lira e lo spino. Nel primo caso si tratta di fili di acciaio tesi su di una intelaiatura mentre nel secondo di una sfera formata da fili di acciaio che simula un mappamondo con i meridiani ed i paralleli costituiti da fili di acciaio. La spada e la rotella determinano una rottura molto grossolana e difforme mentre la lira e, soprattutto lo spino, forniscono granuli di minore dimensione e molto regolari. La regolarità delle dimensioni nei granuli della cagliata è molto importante per la sua successiva sineresi e per la consistenza del prodotto in quanto i granuli di maggiori dimensioni tendono a trattenere maggiore umidità e quindi determinare una maggiore morbidezza.

Le dimensioni dei granuli in genere è indicata per tradizione con frutti/semi e prevede una scala decrescente: pompelmo-arancia-mandarino-noce-nocciola-mais-riso.

Durante la rottura della cagliata il materiale è mantenuto in agitazione per favorire la sineresi, per evitare la sedimentazione sul fondo, nel caso delle caldaie polivalenti a scarico completo, e per facilitare il trasferimento del calore nei casi di cottura della cagliata.

#### **COTTURA**

La cottura della cagliata è anch'essa una fase fondamentale per la definizione delle caratteristiche del formaggio finito in quanto aumenta sensibilmente la capacità di

sineresi della cagliata, determina un incremento dei batteri lattici termofili ed una riduzione dei microrganismi patogeni e/o alteranti (accentuata dall'acidificazione operata dai batteri lattici termofili che rimuovono altresì il lattosio entro le prime 24 ore).

Tecnologicamente si può distinguere una semi-cottura ( $T < 48$  °C) ed una cottura (48-57 °C) benché spesso si parli più genericamente di cottura per indicare tutti i riscaldamenti della cagliata durante la fase di rottura o immediatamente prima della sua estrazione.

Il riscaldamento della cagliata può avvenire sia mediante un riscaldamento diretto sia mediante un riscaldamento indiretto con vapore immesso nell'intercapedine delle caldaie a doppio fondo. Per alcuni formaggi si utilizzano tecniche particolari di cottura. E' il caso di alcune paste filate cotte (Provolone, Caciocavallo, Ragusano) in cui la cagliata viene addizionata di siero o scotta caldi (70-80 °C) o dell'Asiago pressato e del Fontal in cui la cagliata viene addizionata di acqua calda che determina anche l'eliminazione del lattosio e dei sali determinando la produzione dei cosiddetti "formaggi a pasta lavata". Sempre assimilabili a delle cotture sono l'immersione della cagliata già formata in siero o scotta caldi (70-80 °C) per tempi da qualche minuto ad alcune ore (Pecorino siciliano, Canestrato siciliano, Maiorchino, Fiore sardo) od il lavaggio delle cagliate con acqua calda (Pecorino romano, caciotta). In tutti questi casi si tende ad aumentare la permeabilità superficiale determinando quindi un maggiore spurgo nonché a controllare la microflora favorendo lo sviluppo dei batteri lattici termofili e l'acidificazione.

#### **PRESSATURA**

La cagliata posta negli stampi o fascere può subire una pressatura che favorisce la sineresi o spurgo e quindi la compattezza del prodotto. In alcune produzioni (Asiago pressato, Cheddar, Castelmagno) ha anche la funzione di ricompattare la cagliata dopo la macinatura che caratterizza questi formaggi. In genere maggiore è la pressatura, maggiore sarà la durezza del formaggio.

#### **STUFATURA**

La stufatura è una fase di riposo della cagliata negli stampi in cui si favorisce l'attività fermentativa dei batteri lattici termofili mantenendo elevate temperature ambientali (25-40 °C) ed umidità (>95%) per periodi di 8-12 ore. In questo periodo si completa l'acidificazione, si completa la sineresi ed inizia la proteolisi che porta alla cremificazione del formaggio. E' quindi una pratica tipica dei formaggi a pasta molle (Taleggio, Gorgonzola, Quartirolo Lombardo, Italice, Crescenza). Un particolare tipo di stufatura è il riposo sotto siero del Castelmagno in cui la cagliata, dopo 24 ore di riposo all'aria, viene immersa in siero caldo per almeno 48 ore sino a raggiungere pH inferiori a 4,8. Analogamente nel Panterone lodigiano tradizionale è previsto un periodo di riposo della cagliata per 4-5 gg a 28-30 °C così da determinare la tipica occhiatura.

#### **SALATURA**

Quasi tutti i formaggi vengono sottoposti a salatura. Fanno eccezione il Panterone lodigiano tradizionale ed alcuni formaggi di pecora. I formaggi vengono salati per favorire lo spurgo del siero mediante osmosi, controllare lo sviluppo dei batteri lattici e quindi l'acidificazione, controllare più in generale lo sviluppo di tutta la microflora riducendo il valore di acqua libera, facilitare la solubilizzazione delle proteine, contribuire alla formazione della crosta ed infine aumentare la gradevolezza del prodotto. Esistono varie tecniche di salatura:

- A secco - E' la forma più tradizionale di salatura, spesso svolta a mano e quindi molto variabile nei risultati. In pratica l'operatore pone del sale grosso sulla

faccia della forma e dopo un periodo variabile da poche ore a qualche giorno sala l'altra faccia. L'operazione può essere ripetuta più volte. La scarsa uniformità del processo, i tempi ed i costi di manodopera hanno fatto sì che la salatura a secco venisse sostituita da quella in salamoia in molte produzioni. Utilizzata ancora in quelle produzioni (Taleggio, Camembert) in cui vi è una interazione con la microflora di superficie.

- In salamoia – In questa tecnica il formaggio viene posto in gabbie ed immerso in vasche con la salamoia. In genere si evita l'immersione diretta delle forme che tendono a galleggiare e quindi richiedono interventi di rotazione della forma per ottenere una salatura omogenea. I fattori che influenzano il processo di salatura in salamoia sono il tempo di contatto, la concentrazione della salamoia (più è elevata e maggiore sarà la penetrazione del sale), la temperatura (più elevata è la temperatura maggiore è la penetrazione del sale, ma salamoie calde rammolliscono i formaggi e salamoie troppo fredde induriscono la crosta rallentando l'assorbimento di sale), l'umidità della pasta (maggiore è l'umidità della pasta e maggiore sarà la velocità di assorbimento del sale), la dimensione (le forme piccole hanno un maggiore assorbimento), la forma del formaggio (la forme cubiche assorbono più rapidamente delle cilindriche e delle sferiche), l'agitazione (se la salamoia è mantenuta in agitazione si evita la formazione di gradienti e si velocizza il processo). Il tempo di salatura oscilla da 30 min per forme di piccola pezzatura (200-300 g) sino ad oltre 30 gg per forme di grande pezzatura (Grana padano, Parmigiano reggiano). Con l'utilizzo la salamoia si arricchisce di componenti nutrizionali provenienti dal formaggio (soprattutto se utilizzata per formaggi a pasta molle) e diventa quindi substrato ottimale di crescita per una microflora varia in cui possono essere presenti anche patogeni. Si rende quindi necessaria la rigenerazione della salamoia mediante trattamenti combinati che prevedono disacidificazione, ultrafiltrazione e nanofiltrazione al fine di eliminare oltre ai microrganismi anche i sali di calcio ed ai lattati.
- Del latte – Si tratta di una tecnica ormai abbandonata che consiste nell'aggiungere sale direttamente nel latte in caldaia. In genere questo tipo di salatura è abbinato ad un'altra tecnica (a secco, in salamoia) in quanto non è possibile utilizzare valori molto elevati di sale al fine di non inibire i batteri acidificanti. Fra i fattori negativi del processo vi è l'utilizzo di maggiori quantità di sale e la produzione di siero salato di difficile e costoso recupero.
- Della pasta – In questo caso il sale è aggiunto nella cagliata durante la frugatura (mescolamento della cagliata prima della messa in forma) come nel Castelmagno e nel Cheddar. L'acidificazione è quindi completata e l'azione è immediata nei confronti della microflora alterante.
- In filatura – Tipica delle paste filate può avvenire nel corso della fase di riscaldamento della cagliata utilizzando acqua calda salata o durante il raffreddamento dopo la filatura facendo rassodare il formaggio in acqua fresca salata.
- Durante la conservazione – E' una tecnica tipica della Feta greca, del Domiati egiziano e dell'Asino friulano in cui il formaggio viene conservato in salamoia sino al momento del consumo. Nella salamoia possono essere presenti altri ingredienti come siero e panna nel caso dell'Asino.

### STAGIONATURA

Nel corso della stagionatura si hanno numerose attività enzimatiche che coinvolgono i quattro componenti fondamentali del formaggio e sulla base delle condizioni di processo determineranno le caratteristiche compositive e sensoriali del prodotto finito.

La proteolisi, ossia la demolizione della struttura proteica, ha inizio già subito dopo la mungitura e procede durante tutto il processo di caseificazione benché trovi nella fase di stagionatura la sua massima espressione. Questa rottura della matrice proteica è ascrivibile alle attività di endo-proteasi ed eso-peptidasi che derivano dal latte, dal caglio e dalla microflora presente. Le caseine, per azione delle endo-peptidasi, danno origine a peptidi ad elevato peso molecolare dai quali si ottengono peptidi a basso peso molecolare, quindi aminoacidi liberi ed infine ammoniaci, ammine, alcoli, chetoni, CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>S. Questa trasformazione determina non solo un cambiamento sensoriale nel formaggio in quanto si ha la formazione di composti via via più volatili ed aromatici, ma anche strutturale poiché si ha la rottura del reticolo caseinico con conseguente collassamento. Detto fenomeno è ovviamente più evidente nei formaggi molli mentre in quelli duri si ha un aumento della friabilità.

La stagionatura ha effetto altresì sulla frazione grassa soprattutto nel caso in cui si siano utilizzati dei cagli di capretto o agnello ricchi di lipasi o vi sia uno sviluppo di muffe. Negli altri formaggi questo processo è di minore interesse. La lipasi nativa non sembra infatti svolgere un ruolo significativo nella lipolisi dei formaggi in quanto poco resistente al calore. Così pure i batteri lattici sono scarsamente lipolitici non possedendo lipasi. Fondamentali invece le lipasi provenienti dal caglio e dalle muffe del tipo *Penicillium* tipiche dei formaggi erborinati. Questa azione lipolitica è accentuata nei casi in cui il globulo di grasso sia danneggiato per effetto della agitazione o di una blanda omogeneizzazione utilizzata per alcuni formaggi erborinati. Ad accentuare il processo concorre anche la dimensione dei globuli e quindi la superficie esposta e pertanto sarà più intensa per i formaggi da latte ovino/caprino caratterizzati da globuli più piccoli di quelli bovini. Dai gliceridi si ottengono acidi grassi liberi, molti dei quali volatili e quindi aromatici che possono a loro volta diventare substrato di reazioni di ossidazione ed esterificazione con formazione di nuovi composti anch'essi aromatici.

Un altro componente interessato dai fenomeni di maturazione è il lattosio benché la maggior parte di questo zucchero venga metabolizzata già nella fase di stufatura. La presenza di lattosio, galattosio ed acido lattico nei formaggi a fine stagionatura è quindi legata alla tipologia di formaggio, allo starter utilizzato, alla tecnica di produzione ed alla durata della stagionatura. L'acido lattico in alcuni casi (formaggi a lunga stagionatura ed a crosta fiorita) non costituisce però il prodotto terminale ma può essere trasformato ad esempio in acido propionico e butirrico con liberazione di CO<sub>2</sub> e quindi apertura della pasta con formazione di occhiatura oppure in acido acetico e CO<sub>2</sub> in funzione del tipo di microflora presente. In particolare nei formaggi a crosta fiorita in cui la maturazione è di tipo centripeto (dalla crosta verso il centro) l'acido lattico prodotto dai batteri lattici mesofili è utilizzato dal *Geotrichum candidum* come fonte di carbonio e questo provoca una disacidificazione superficiale che favorisce lo sviluppo del *Penicillium*. Si ha quindi un gradiente di pH che da valori anche superiori ad 8 in superficie arriva a valori inferiori a 4,9 al centro del formaggio. Esaurito l'acido lattico la flora superficiale utilizza le proteine come fonte di carbonio liberando NH<sub>3</sub> che diffonde verso l'interno della forma dove viene neutralizzata. L'abbassamento di pH nella zona periferica rende più attiva la plasmina che ha pH ottimale a 7,5 che contribuisce a solubilizzare le caseine cremificando il prodotto. Contemporaneamente l'alcalinizzazione esterna determina la insolubilizzazione del calcio che richiama calcio dall'interno della forma e contribuisce a cremificare anche la parte centrale del formaggio stesso.

L'ultimo componente che viene coinvolto nei processi di stagionatura è l'acido citrico che viene metabolizzato e convertito in diacetile e CO<sub>2</sub>, ma può anche essere trasformato in acetato ed acido piruvico o in acido succinico in relazione ai microrganismi presenti. Contemporaneamente ai processi biochimici di trasformazione dei componenti della cagliata si ha il processo di formazione della crosta, la parte superficiale del formaggio a contatto con l'ambiente, che caratterizza la maggior parte dei formaggi e assume aspetti e significati diversi a seconda della tipologia di formaggio considerata. La crosta inizia a formarsi durante le ultime fasi della sineresi, ma assume le proprie caratteristiche specifiche solo in salatura e durante la stagionatura. In funzione della sua struttura si distingue la pelle (struttura molto sottile, quasi non distinguibile dalla cagliata, tipica di formaggi freschissimi), la buccia (struttura già differenziata, ma comunque molto sottile tipica di formaggi freschi od a breve stagionatura) e la crosta (struttura ben differenziata ed in alcuni casi molto spessa, con microflora più o meno sviluppata). La crosta può essere attiva (i microrganismi partecipano attivamente alla maturazione del formaggio che risulta quindi centripeta) o passiva (la crosta ha solo azione protettiva e di regolazione degli scambi gassosi e idrici con l'esterno e la maturazione è quindi centrifuga).

I trattamenti di superficie eseguiti durante la stagionatura mirano a strutturare la crosta e portano a varie tipologie di croste: fiorita (caratteristica di formaggi freschi a pasta molle con maturazione centripeta, presenta un feltro superficiale da microflora fungina secondaria), lavata (la crosta viene periodicamente lavata con acqua e sale sino alla formazione di una morchia superficiale; caratteristica di Fontina, Taleggio, Puzzone di Moena, Pont l'Eveque, Reblochon, Abondance, Beaufort è presente anche in altri formaggi in forma parziale quali Murazzano), pulita (la crosta viene pulita a fondo così da evitare lo sviluppo di muffe; è possibile anche un trattamento con olio o "cappatura"; è caratteristica di Grana Padano, Parmigiano Reggiano, Valtellina Casera, Formai de Mut, Asiago, Montasio), ammuffita (vi è la presenza di muffe superficiali in genere spontanee, anche colorate; è tipica di Toma, Bra tenero, Chantal, Salers), trattata (alcune croste subiscono trattamenti particolari con cenere di ginepro, spezie, erbe aromatiche, foglie di vite, cera d'api, frumento ed altri materiali; da ricordare il Fiore sardo trattato con olio e grasso di pecora che originano la "cappatura marrone", il Pecorino di Farindola con olio, aceto e pomodoro per la "cappatura rossa" o il Pecorino di Pienza con olio e pomodoro per la "cappatura rossa").

## **2.7 RICOTTA**

La ricotta è un prodotto tipicamente italiano ottenuto per coagulazione termica delle sieroproteine del latte contenute nel siero separatosi nel corso della caseificazione e deve il suo nome al termine "*recoctus*" o ricotto che indica il secondo riscaldamento dopo il primo utilizzato per la caseificazione. Può essere ottenuta da siero vaccino, ovino, caprino e bufalino o loro miscele ed essere commercializzata fresca, stagionata (con o senza affumicatura) o infornata (tipica della Sicilia, viene cotta in forno determinando la formazione di una crosta superficiale imbrunita dalle reazioni di caramellizzazione).

Per la produzione della ricotta si può utilizzare siero puro od in varia miscela con latte (5-25%) o panna. Benché esistano molte varianti in funzione della miscela utilizzata e della origine del siero (dolce od acido, di vacca, pecora, capra o bufala) il processo di produzione della ricotta prevede in genere una acidificazione sino a pH 6,0 ed un riscaldamento a 85-95 °C. Detto riscaldamento può avvenire in modo diretto con calore o con iniezione di vapore nella massa. Si ha quindi la denaturazione delle sieroproteine



per effetto della temperatura, la neutralizzazione delle cariche negative superficiali per effetto degli idrogenioni e degli ioni calcio ed infine l'aggregazione delle sieroproteine in strutture insolubili. In alcuni casi non si ha la modificazione preliminare del pH, ma l'aggiunta di solfato di magnesio o cloruro di sodio od altre miscele saline provocano una variazione significativa della forza ionica del mezzo che contribuisce alla coagulazione delle siero-proteine. Nel caso venga aggiunto latte questa addizione dovrebbe essere fatta a temperature superiori ai 60 °C al fine di evitare l'azione del caglio presente nel siero sulle caseine.

Il coagulo formatosi ingloba il grasso presente fornendo una struttura molto soffice che tende ad affiorare. Questo affioramento è favorito, nel caso in cui venga insufflato vapore nella massa, al fine di causarne il riscaldamento. La presenza di caseine determina la formazione di un coagulo più strutturato e quindi di più facile manipolazione. La ricotta, raccolta in modo manuale o meccanizzato con varie tecniche, è quindi fatta sgrondare per tempi variabili da pochi minuti a 24 ore in fuscelle monouso o in teli e quindi raffreddata. Il confezionamento, per limitare la possibilità di inquinamenti ed aumentare la shelf-life può avvenire a caldo previo spurgo rapido o dopo trattamento a 85-95 °C in uno scambiatore a superficie raschiata.

## 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