



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti risorse
Naturali e Ambiente
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari

IL TRATTAMENTO U.H.T. DEL LATTE AD
INFUSIONE DIRETTA DI VAPORE: aspetti
impiantistici e qualitativi

Relatore:

Prof. Dario Friso

Laureando:

Miriam Pettenuzzo

Matricola n. 617694

ANNO ACCADEMICO 2012-2013

INDICE

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	7
INTRODUZIONE.....	9
CAPITOLO 1	
I TRATTAMENTI TERMICI DEL LATTE	11
1.1 I lattini commerciali	12
1.1.1 Classificazione lattini tradizionali.....	12
1.1.1.1 Il latte pastorizzato	15
1.1.1.2 Il latte pastorizzato E.S.L. (Extended Shelf-life).....	16
1.1.1.3 Il latte sterilizzato.....	17
1.1.1.4 Il latte sterilizzato U.H.T.....	18
1.2 Cinetica di trattamento termico.....	20
1.2.1 Tempo di riduzione decimale (D_0).....	20
1.2.2 Influenza della costante Z sulla cinetica di distruzione microbica	22
1.3 Effetti dei trattamenti termici sulla qualità del latte.....	23
1.3.1 Composizione e caratteristiche chimico-fisiche del latte.....	24
1.3.2 Effetti dei trattamenti termici sui costituenti del latte.....	29
1.3.3 Effetti dei trattamenti termici sulla qualità organolettica del latte.....	31
1.3.4 Gli indicatori di trattamento termico.....	31
CAPITOLO 2	
IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO U.H.T. DEL LATTE.....	35
2.1 Lo scambio termico indiretto	35
2.1.1 Processo di sterilizzazione U.H.T. con scambio termico indiretto	36
2.1.2 Scambiatore tubo in tubo	37
2.1.3 Scambiatori a piastre	38
2.2 Lo scambio termico diretto	39
2.2.1 Iniezione diretta di vapore.....	39
2.2.2 Infusione di vapore.....	41
CAPITOLO 3	
LA CENTRALE DEL LATTE DI VICENZA S.p.A.	43
3.1 Storia	43
3.2 Prodotti.....	44
3.4 Stabilimento di produzione	45

3.4.1	Profilo strutturale	45
3.4.2	Profilo produttivo	46
3.4.2.1	Lavaggio e sterilizzazione degli impianti (C.I.P.)	48
CAPITOLO 4		
IL TRATTAMENTO U.H.T AD INFUSIONE DIRETTA DI VAPORE		
4.1	L'impianto ad infusione diretta di vapore	50
4.1.1	L'azienda A.P.V.	50
4.1.3	Componenti principali	52
4.2	Il processo di sterilizzazione.....	55
4.2.1	Il confezionamento	59
4.2.2	La pulizia dell'impianto.....	60
4.3	La scelta dell'impianto	61
4.3.1	Tipologia di prodotto da trattare	61
4.3.2	Analisi dei principali vantaggi e svantaggi offerti dall'impianto	64
4.3.2.1	Trattamento rispettoso del prodotto.....	65
4.3.2.2	Stabilità del calore	67
4.3.2.3	Tempo di autonomia.....	68
4.3.2.4	Costi.....	69
4.3.3	Analisi sperimentale condotta sull'impianto SDH	70
CONCLUSIONI.....		73
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....		75

RIASSUNTO

Il latte alimentare può essere classificato in base al trattamento termico che ha subito: dal latte crudo al pastorizzato, dall'E.S.L. (extended shelf life) a quello a lunga conservazione. La sterilizzazione del latte può avvenire con il metodo U.H.T. (ultra high temperature), che prevede un trattamento termico a temperatura superiore a 100°C per breve tempo, tale da poter garantire la distruzione di tutti i microrganismi patogeni e non, comprese le spore, impedendone definitivamente la proliferazione.

La combinazione tempo-temperatura è stabilita dalla cinetica di trattamento termico e da alcuni parametri, come il tempo di riduzione decimale (D_{10}), i quali stabiliscono che ad una temperatura compresa tra 140°-150°C e per un tempo di sosta pari a 1-5 secondi, si può assicurare la sterilità commerciale del latte ed una shelf-life che varia da un minimo di 90 giorni, ad un massimo di 180 giorni dal risanamento.

Un trattamento termico condotto a temperature così elevate altera inevitabilmente la composizione biochimica del latte, con conseguenti modificazioni dal punto di vista nutrizionale ed organolettico. Allo scopo di ridurre tali alterazioni, l'ingegneria alimentare studia costantemente nuove tecnologie che combinino l'efficacia del trattamento termico con la qualità organolettica e nutrizionale del prodotto latte. Esistono due differenti tipologie di trattamento termico U.H.T.: a scambio di calore indiretto (scambiatori tubo in tubo o a piastre) o a scambio diretto di calore (sistema ad infusione o iniezione di vapore).

La "Centrale del Latte di Vicenza S.p.A." possiede un impianto per il trattamento di sterilizzazione del latte ad infusione diretta di vapore, prodotto dall'azienda inglese A.P.V., il quale è stato oggetto di studio nell'ambito di un confronto tra i principali sistemi di trattamento U.H.T., sia sotto il profilo impiantistico, sia dal punto di vista della qualità del prodotto finito.

L'analisi ha evidenziato che il trattamento termico ad infusione diretta di vapore diminuisce notevolmente la perdita in componenti nutrizionali del latte e la formazione di composti indesiderati, come la furosina ed il lattulosio, con

conseguenti vantaggi anche sotto il profilo organolettico, riducendo l'imbrunimento ed il gusto di cotto tipici del latte a lunga conservazione.

Tali aspetti positivi sono confermati dall'analisi di campioni di latte a marchio "Centrale del Latte di Vicenza", confrontati con altri campioni che hanno subito un trattamento U.H.T. a scambio termico indiretto: i valori di furosina e lattulosio registrati nei primi campioni sono inferiori ai secondi, inoltre il livello di sieroproteine non denaturate del latte a marchio "Centrale del Latte di Vicenza" è molto vicino a quello calcolato mediamente nel latte fresco pastorizzato.

L'infusione diretta di vapore è rispettosa nei confronti del prodotto, in quanto il latte raggiunge rapidamente la temperatura di trattamento e non viene a contatto con superfici metalliche calde, condizioni che riducono al minimo il danno termico; di contro l'impianto presenta una bassa percentuale di recupero energetico (40%) rispetto ai sistemi indiretti (fino al 90%) ed è costituito da componenti che necessitano di manutenzioni più onerose, per cui i costi produttivi risultano essere i più alti.

La scelta di adottare un impianto per il trattamento ad infusione diretta di vapore da parte dell'azienda "Centrale del Latte di Vicenza S.p.A" è giustificata dalla necessità di commercializzare un prodotto qualitativamente eccellente sotto il profilo nutrizionale e con caratteristiche organolettico sensoriali che si avvicinino il più possibile a quelle del latte fresco pastorizzato, da sempre apprezzate in maniera maggiore dal consumatore.

ABSTRACT

Drinking milk can be classified according to the heat treatment that has undergone: raw milk, pasteurized, E.S.L. (extended shelf life) and the long preservation milk that is sterilized. The sterilization of milk can be made with the U.H.T. method (ultra high temperature), which consists of a heat treatment at temperature higher than 100°C for short time, such as to ensure the destruction of all pathogenic and non-microorganisms, including spores, impeding their proliferation.

The combination between time and temperature is determined by the heat-treatment kinetics and by some parameters such as the decimal reduction time (D_{10}), which warrants the commercial sterility of the milk from a minimum of 90 days to a maximum of 180 days of shelf life if the milk is heat-treated between 140°-150°C for 1-5 seconds.

A heat treatment with so high temperature will damage inevitably the biochemical composition of the milk, with consequent changes in terms of nutritional and organoleptic aspects. The food engineering is constantly searching new technologies to reduce these deteriorations, combining effectiveness of heat treatment with organoleptic and nutritional qualities of milk. There are two different types of heat treatment U.H.T.: in indirect heat exchange (heat exchangers tube in tube or plate) or a direct heat exchange (infusion or injection of steam systems).

The "Centrale del Latte di Vicenza SpA" has a plant for the treatment of sterilization of milk with direct infusion of steam, produced by APV, a British company, which has been the subject of study in the context of a comparison of the main systems of U.H.T. treatment, both in terms of plant engineering, both from the point of view of the quality of the finished product.

The analysis showed that the heat treatment with direct steam infusion significantly decreases the loss in nutritional components of milk and the formation of undesirable compounds, such as furosine and lactulose, with

consequent advantages also under the organoleptic profile, reducing the browning and taste of cooked typical of long-life milk.

These positive aspects are confirmed by the analysis of milk samples under the "Centrale del Latte di Vicenza", compared with other samples that have undergone U.H.T. treatment with indirect heat exchange: the values of furosine and lactulose recorded in the first samples are lower than the latter, also the level of undenatured whey protein milk brand "Centrale del Latte di Vicenza" is very close to the calculated average in fresh pasteurized milk.

The direct infusion of steam is respectful towards the product, as the milk reaches quickly the temperature of treatment and is not in contact with hot metal surfaces, conditions which minimize the thermal damage; on the contrary the plant presents a low percentage of energy recovery (40%) compared to indirect systems (up to 90%) and consists of components that require maintenance more costly, for which the production costs appear to be the highest.

The decision to adopt a treatment plant with direct steam infusion from the company "Centrale del Latte di Vicenza SpA" is justified by the need to market a product of excellent quality from the nutritional and organoleptic sensory characteristics that are as close as possible to the fresh pasteurized milk, that is always more appreciated by most consumer.

INTRODUZIONE

Dalla costruzione del primo impianto per il trattamento U.H.T. del latte, risalente al 1960, ad oggi, sono stati sviluppati numerosi progetti per realizzare sistemi che permettessero di ottenere un prodotto commercialmente sterile ma anche eccellente dal punto di vista della qualità nutrizionale ed organolettica, allo scopo di offrire al consumatore un alimento che si possa conservare per lungo tempo a temperatura ambiente, ma che allo stesso tempo presenti un basso livello di alterazione delle caratteristiche qualitative tipiche del latte fresco pastorizzato.

Durante l'esperienza di tirocinio formativo che ho condotto presso l'azienda "Centrale del Latte di Vicenza S.p.A.", ho potuto visionare il funzionamento di un impianto per il trattamento U.H.T. del latte ad infusione diretta di vapore, il quale è considerato il sistema più rispettoso del prodotto presente sul mercato. Nel seguente elaborato verranno analizzati gli aspetti impiantistici e qualitativi dell'impianto, ponendo un accento sugli effettivi vantaggi che il sistema ad infusione apporta al prodotto finito in termini nutrizionali ed organolettici, a fronte, però, di alti costi in termini di energia consumata per il processo e di manutenzione dell'impianto.

A sostegno della mia analisi sarà descritto uno studio condotto dall'azienda, il quale consiste nella misurazione di alcuni parametri qualitativi del latte U.H.T., a partire da campioni a marchio "Centrale del Latte di Vicenza" trattati con scambio termico diretto, con lo scopo di dimostrare la superiorità dell'impianto rispetto agli altri più comuni sistemi di sterilizzazione.

CAPITOLO 1

I TRATTAMENTI TERMICI DEL LATTE

“Il latte è un liquido alimentare ottenuto dalla mungitura regolare, ininterrotta e completa di animali in buono stato di salute e nutrizione...” (Regio Decreto n. 994, 1929).

Il solo termine “latte” indica quello di vacca, mentre il latte di altri animali deve portare la denominazione della specie cui appartiene.

Il latte munto viene raccolto dagli allevamenti per essere trasportato nelle aziende che si occupano di renderlo idoneo al consumo umano diretto, attraverso trattamenti termici e meccanici. Il latte raccolto quotidianamente può essere mantenuto alla temperatura massima di 8° C; se la raccolta non avviene giornalmente la temperatura massima di conservazione fino al momento del trattamento termico è di 6° C.

Affinché il latte, al momento della raccolta, sia idoneo alla successiva lavorazione, deve rispettare i seguenti parametri:

Parametro	Latte per il consumo umano	Latte fresco pastorizzato di alta qualità
Grasso	Non determinato	> 3,5%
Proteine	> 28 g/l	> 32 g/l
Residuo secco magro	> 8,5 g/l	> 8,5 g/ml
Acido lattico	Non determinato	< 30 ppm
Carica batterica (UFC/ml)	< 100.000 *	< 100.000 *
Cellule somatiche (n./ml)	< 400.000 **	< 300.000 **

* Media geometrica calcolata su un periodo di 2 mesi, con almeno 2 prelievi al mese.

** Media geometrica calcolata su un periodo di 3 mesi, con almeno 1 prelievo al mese.

(Entrambi con possibili variazioni stabilite dall'autorità competente in base alle variazioni stagionali dei livelli di produzione).

Tabella 2.1 Parametri legislativi per la lavorazione del latte crudo (Decreto legge n. 169, 1989)

Nel seguente paragrafo verranno descritte dapprima le tipologie di latte presente in commercio e in secondo luogo i trattamenti termici necessari a renderlo idoneo per il consumo umano.

1.1 I latti commerciali

In commercio sono presenti molteplici tipologie di latte, raggruppate in due categorie:

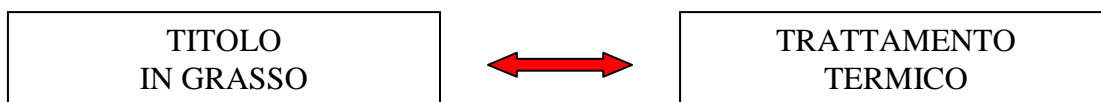
- latte naturale o tradizionale;
- latte modificato o speciale.

Nella prima categoria sono inseriti il latte crudo ed il latte risanato, ovvero latti che non hanno subito notevoli modifiche nella composizione, se non l'addizione o sottrazione del titolo in grasso ed il trattamento di risanamento termico e/o meccanico.

Nella seconda categoria sono inseriti i latti risanati che hanno subito ulteriori trattamenti, con lo scopo di conferire loro nuove caratteristiche chimico-fisiche, nutrizionali ed organolettiche (ad esempio i latti fermentati, arricchiti con probiotici od Omega 3) (Decreto legge n. 169, 1989).

1.1.1 Classificazione latti tradizionali

I latti tradizionali vengono classificati in base a due criteri:



In base al titolo in grasso il latte viene suddiviso in:

- intero, con almeno il 3,5 % di materia grassa;
- parzialmente scremato, con un quantitativo di materia grassa compreso tra 1,5 % e 1,8 %;
- scremato, con materia grassa inferiore allo 0,5 %.

La standardizzazione del tenore in grasso avviene tramite scrematura con centrifuga scrematrice, che sfrutta la forza centrifuga per separare la panna dal plasma latteo.

Un altro pre-trattamento che può essere effettuato prima del risanamento è l'omogeneizzazione, che prevede il passaggio meccanico del liquido attraverso fori di diametro minimo di 10 micron ad una pressione mediamente compresa tra 100 e 1500 bar fino ad un massimo di 4.000 bar nei recentissimi omogeneizzatori UHP (Ultra High Pressure), con conseguente riduzione della dimensione dei globuli di grasso (Friso D, e Niero M., 2010). Questo processo ha lo scopo di aumentare la stabilità e l'uniformità dell'emulsione dei globuli di grasso nel latte, impedendone l'aggregazione e quindi riducendo la velocità di affioramento della panna.

Un altro vantaggio ottenuto dall'omogeneizzazione è la miglior digeribilità del latte.

In base alla tipologia di trattamento che il latte subisce, questo viene suddiviso in:

Crudo	Breve conservazione	Media conservazione	Lunga conservazione
	↓	↓	↓
	<ul style="list-style-type: none"> • Pastorizzato • Fresco pastorizzato 	<ul style="list-style-type: none"> • Extended shelf- life (ESL) • Microfiltrato 	<ul style="list-style-type: none"> • Sterilizzato classico • Sterilizzato Ultra High Temperature (UHT)

(Decreto legge n. 169, 1989)

Il latte crudo non è sottoposto ad alcun trattamento di risanamento prima della sua commercializzazione, pertanto deve essere consumato previa bollitura domestica e non può essere somministrato nella ristorazione collettiva.

Il Regolamento CE 853 del 2004 ne autorizza la commercializzazione, rimandando ad ogni Stato Membro della Comunità Europea la decisione di proibirne o regolamentarne la vendita.

In Italia la vendita di latte crudo è consentita attraverso apposite macchine erogatrici, rifornite direttamente dall'allevamento di produzione; tali distributori mantengono il latte refrigerato ad una temperatura massima di 4° C e presentano una targa ben visibile in cui è riportata la dicitura “da consumarsi dopo bollitura”; la data di scadenza da indicarsi a cura del produttore non deve superare i 3 giorni (Ordinanza del Ministero della Salute, 2008)

I criteri microbiologici ed igienici per la sua produzione sono stati stabiliti durante la Conferenza Stato Regioni del 25 gennaio 2007 (Tabella 2.2):

Parametro	Criterio
Staphylococcus aureus	n = 5, m = 500, M = 2000, c = 2
Listeria monocytogenes	n = 5, assenza in 25 ml, c = 0
Salmonella spp	n = 5, assenza in 25 ml, c = 0
Escherichia coli 0157:H7	n = 5, assenza in 25 ml, c = 0
Campylobacter termotolleranti	n = 5, assenza in 25 ml, c = 0
Aflatossine	< 50 ppt

Legenda: n = numero di campioni analizzati per lotto di prodotto

m = valore guida di carica microbica (UFC/ml)

M = valore massimo di carica microbica accettabile (UFC/ml)

c = numero di campioni che possono presentare un valore di carica microbica compresa tra m ed M.

Tabella 2.2 Criteri microbiologici per la produzione di latte crudo (Pasini G., 2010)

Il latte alimentare destinato al consumo umano diretto deve aver subito almeno un trattamento termico ammesso o un trattamento di effetto equivalente autorizzato dalla legge n. 169 del 1989.

In seguito sono pertanto descritte le principali tipologie di latte risanato presenti attualmente in commercio.

1.1.1.1 Il latte pastorizzato

La legge n. 169 del 1989 definisce la pastorizzazione come un “...trattamento termico idoneo ad assicurare la distruzione di tutti i microrganismi patogeni e di parte rilevante della flora microbica saprofitica con limitate alterazioni delle caratteristiche chimiche, fisiche ed organolettiche del prodotto.”

Il latte pastorizzato per consumo umano diretto è ottenuto mediante un trattamento termico a temperatura inferiore a 100° C, per un tempo molto breve (valori minimi: 71,7° C per 15 secondi): questa tipologia di pastorizzazione si definisce pastorizzazione rapida o High Temperature Short Time (HTST).

Al trattamento termico deve seguire un rapido raffreddamento del prodotto fino alla temperatura di refrigerazione (massimo 6° C), alla quale sarà necessario conservarlo fino alla data di scadenza, posta al sesto giorno successivo a quello del trattamento termico (breve scadenza).

Affinché il latte pastorizzato possa essere commercializzato, il suo contenuto in sieroproteine solubili non denaturate dal trattamento termico deve essere superiore o uguale all'11% delle proteine totali.

Se il latte crudo subisce un solo trattamento termico di pastorizzazione entro 48 ore, allora il prodotto ottenuto prende la denominazione di “Latte Fresco Pastorizzato”.

In base al contenuto di grasso il latte fresco pastorizzato si suddivide in:

- Intero di Alta Qualità, con contenuto in grasso e proteine non inferiore rispettivamente a 3,5% e 3,2%, sieroproteine solubili non denaturate non inferiori al 15,5% delle proteine totali.

Il latte non deve aver subito alcuna sottrazione o addizione delle sue componenti naturali e deve essere mantenuto alla temperatura massima di 6° C fino al momento della vendita;

- Intero, con contenuto in grasso non inferiore a 3,5% (Intero non normalizzato se non ha subito modificazioni del contenuto originario di grasso, Intero normalizzato se il contenuto di grasso è stato standardizzato con l'aggiunta di crema di latte), sieroproteine solubili non denaturate non inferiori al 14% delle proteine totali;

- Parzialmente scremato, con un quantitativo di grasso compreso tra 1,5% e 1,8%;
- Scremato, con una percentuale di grasso non superiore a 0,5%.

(Decreto legge n. 169, 1989)

1.1.1.2 Il latte pastorizzato E.S.L. (Extended Shelf-life)

La necessità di ottenere un prodotto con shelf-life di maggior durata, ma di qualità nutrizionale ed organolettica superiore rispetto al latte sterilizzato, ha portato all'introduzione di metodi di risanamento condotti a temperature più alte rispetto alla pastorizzazione classica.

Il latte pastorizzato a temperatura elevata è quindi ottenuto dal trattamento di latte crudo ad una temperatura compresa tra 80° e 135° C, per un tempo che può variare da 1 a 4 secondi (valori standard : 121° C per 2-4 secondi).

La data di scadenza è determinata direttamente dal produttore in base alle condizioni del trattamento termico compiuto, in conformità con il decreto n. 109 del 1992; generalmente è posta a 18 giorni dal trattamento.

Anche per il latte E.S.L. vale la distinzione sulla base del contenuto di grasso vista precedentemente.

Si può ottenere latte a media conservazione anche grazie ad una operazione unitaria che riduce la carica batterica presente nell'alimento per eliminazione meccanica anziché per uccisione tramite calore ovvero per microfiltrazione.

Il latte crudo scremato viene sottoposto al processo di microfiltrazione (autorizzato dal Decreto del Ministero della Salute del 17/06/2002), abbinato al trattamento termico di pastorizzazione.

I filtri utilizzati sono costituiti da membrane ceramiche con pori di diametro compreso tra 1 e 2,5 micron, che sono quindi in grado di allontanare gran parte della flora microbica originaria; il latte crudo scremato subisce però la standardizzazione del titolo in grasso, con l'aggiunta di crema di latte non risanata, dopo il processo di microfiltrazione, per cui è necessario pastorizzare il prodotto prima di confezionarlo (a condizioni più blande rispetto alla

pastorizzazione classica, visto il ridotto contenuto di microrganismi ottenuto per filtrazione) (Friso D. e Niero M., 2010).

Nonostante il latte microfiltrato possieda caratteristiche pari al latte fresco pastorizzato, il Decreto legge n. 157 del 24 giugno 2004 vieta l'utilizzo della denominazione "Fresco". La sua data di scadenza è fissata al decimo giorno successivo alla data di trattamento.

1.1.1.3 Il latte sterilizzato

La sterilizzazione è un trattamento termico effettuato a temperatura superiore a 100° C, idoneo ad assicurare la distruzione di tutti i microrganismi (patogeni e non) in forma vegetativa e le loro spore presenti nell'alimento o ad impedirne definitivamente la proliferazione (Decreto legge n. 169, 1989).

Le elevate temperature impiegate hanno inoltre lo scopo di denaturare gli enzimi termoresistenti presenti nel latte, che potrebbero alterarne le caratteristiche qualitative globali.

Il trattamento termico deve essere eseguito sul prodotto già confezionato in recipienti ermeticamente chiusi, in modo da assicurarne la sterilità commerciale, requisito fondamentale affinché il latte si possa conservare a temperatura ambiente per lungo tempo. Il punto di forza del latte sterilizzato è per l'appunto la sua lunga conservabilità a temperature non di refrigerazione, aspetto che ne rende più facile il trasporto, lo stoccaggio e la commercializzazione in mercati nazionali ed esteri. Il Termine Minimo di Conservazione viene stabilito dal produttore e generalmente è posto a 180 giorni dalla data di produzione.

La sterilizzazione classica prevede il trattamento del latte imbottigliato ad una temperatura che varia da 100° a 120° C per massimo 20 minuti, seguito da un raffreddamento con impiego di acqua fredda; la salita e la discesa delle temperature sono progressive e lente (Cappelli P.e Vannucchi V., 2005).

Un trattamento termico così spinto comporta l'alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche, organolettiche e nutrizionali del latte, le quali possono essere più o meno rilevanti in base alla combinazione dei parametri tempo e temperatura.

Per ovviare a questa problematica è preferibile sterilizzare il latte con il metodo definito Ultra High Temperature (U.H.T.), che attualmente ha sostituito la sterilizzazione classica.

1.1.1.4 Il latte sterilizzato U.H.T.

Il metodo U.H.T. consiste nell'esposizione del latte ad elevate temperature, tra 140° e 150° C, per un tempo molto breve, da 1 a 5 secondi, seguita da un rapido raffreddamento del prodotto, tale da ottenere una corretta sterilizzazione del latte, con contenute modificazioni delle sue caratteristiche qualitative (Cappelli P.e Vannucchi V., 2005).

Il latte subisce un primo trattamento di pastorizzazione prima di raggiungere la temperatura finale di trattamento, con lo scopo di ridurre in modo considerevole la carica microbica dell'alimento e rendere minimo il tempo di sterilizzazione.

A differenza della sterilizzazione classica, il prodotto viene confezionato in asettico successivamente al trattamento termico, in imballaggio pre-sterilizzato protettivo e opaco, in grado di garantire la sterilità commerciale e la minor variazione delle caratteristiche nel tempo.

Anche nel caso del latte U.H.T. il T.M.C. è stabilito dal produttore, ed è fissato in un intervallo che va da un minimo di 90 ad un massimo di 180 giorni (Cappelli P.e Vannucchi V., 2005).

Il metodo di sterilizzazione U.H.T. sarà approfondito nel quarto capitolo, in cui sarà analizzato in dettaglio l'impianto a contatto indiretto per infusione di vapore posseduto dalla "Centrale del Latte di Vicenza S.p.A."

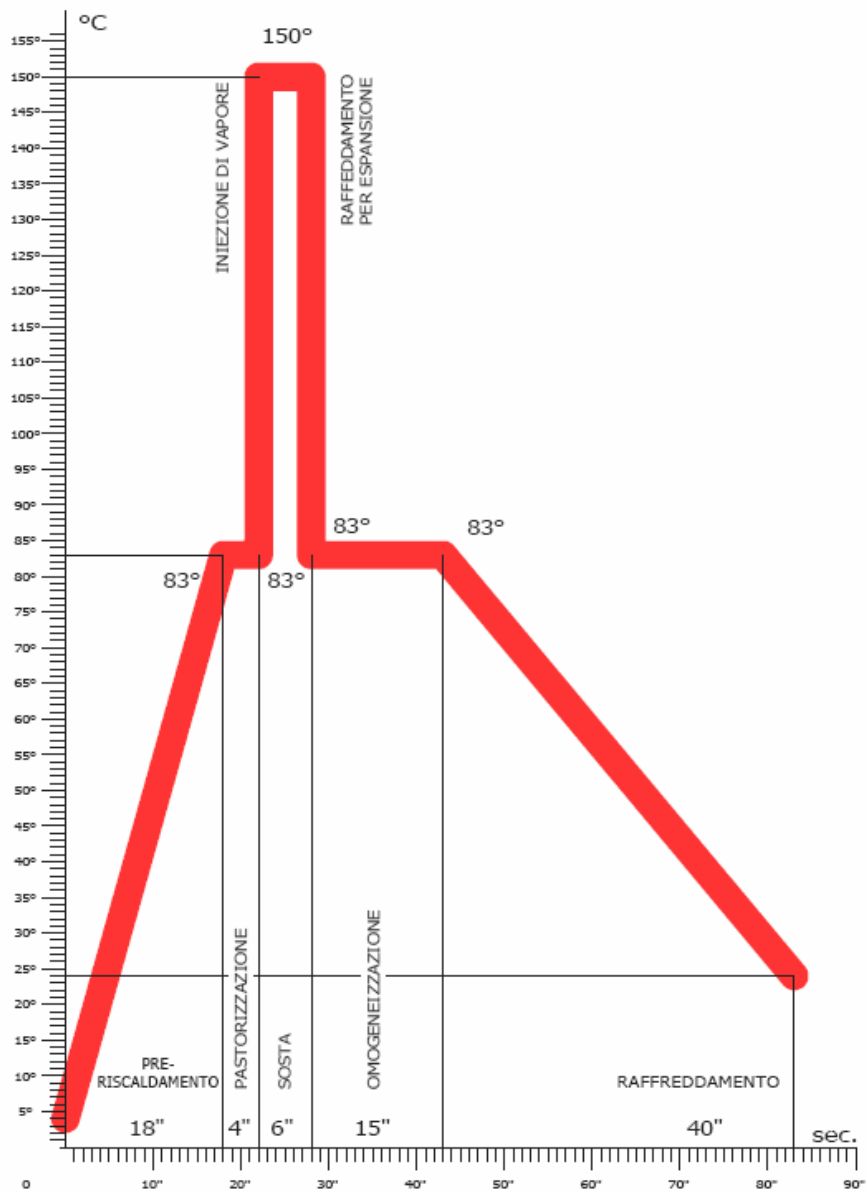


Figura 1.1 Profilo di temperatura di un impianto U.H.T. a scambio diretto di calore relativo all'impianto Stematic Long Run dell'azienda R&C.

Il latte viene pastorizzato ad 83° C per 4 secondi, in seguito viene portato alla temperatura di sterilizzazione, pari a 150°C, alla quale sosta per 6 secondi; dopo le fasi di degasatura ed omogeneizzazione, il latte subisce un rapido raffreddamento fino a raggiungere la temperatura di 24°C. (Sito web CFT Rossi & Catelli, 2013)

1.2 Cinetica di trattamento termico

I trattamenti termici di pastorizzazione e sterilizzazione si basano entrambi sulla combinazione dei parametri tempo e temperatura: l'uccisione dei microrganismi avviene infatti grazie al calore fornito all'alimento, il quale deve raggiungere il microrganismo ed investirlo per un determinato intervallo di tempo.

Un organismo vivente sottoposto all'effetto di un elevato riscaldamento, subirà come prima conseguenza un aumento della velocità delle reazioni metaboliche e successivamente una denaturazione delle proteine vitali, fino alla morte dello stesso.

Affinché il trattamento termico sia efficace, non è importante il solo livello di temperatura raggiunto, ma anche il rapporto tra questo fattore ed il tempo di applicazione della temperatura stessa. Tempo e temperatura del trattamento vengono stabiliti in base alla termoresistenza del microrganismo che deve essere ucciso o inattivato, alla sua carica microbica antecedente al trattamento, a quella finale che si vuole ottenere ed alle caratteristiche chimico-fisiche del prodotto.

1.2.1 Tempo di riduzione decimale (D_θ)

A temperatura costante l'andamento della distruzione microbica segue una cinetica di primo ordine, ovvero la riduzione dei microrganismi nel tempo risulta direttamente proporzionale al numero degli stessi attraverso una costante di velocità K_θ (dove θ è la temperatura a cui si compie il trattamento), che dipende dal microrganismo e dalle caratteristiche chimico-fisiche del prodotto.

Tale relazione può essere espressa attraverso l'equazione :

$$dN / dt = K_\theta \cdot N \quad (2.1)$$

dove N è il numero dei microrganismi al tempo finale

Dalla risoluzione dell'equazione differenziale otteniamo la prima equazione di Bigelow, nella quale viene espresso un fondamentale parametro per lo studio del corretto trattamento termico, ovvero il Tempo di Riduzione Decimale (D_0):

$$\log(N_0/N) = t / D_0 \quad (2.2)$$

Il Tempo di Riduzione Decimale è il tempo necessario per distruggere il 90% della popolazione di un ceppo microbico presente in un alimento: è specifica per ogni microrganismo e varia in base alla temperatura.

Dall'equazione (2.2) è possibile ricavare l'andamento della riduzione della popolazione microbica (N) rispetto al tempo:

$$\log(N) = \log(N_0) - t / D_0 \quad (2.3)$$

Costruendo un grafico semi-logaritmico sull'equazione (2.3), ponendo sull'asse delle ascisse la variabile indipendente tempo (t) e su quello delle ordinate la variabile dipendente $\log(N)$, otteniamo graficamente una retta, detta Retta di Sopravvivenza.

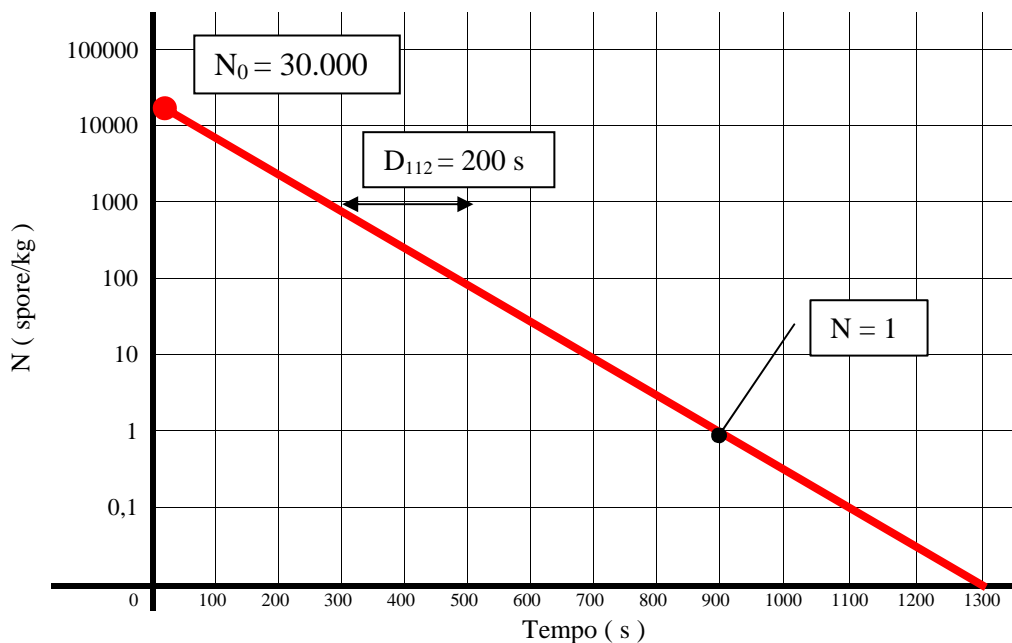


Figura 1.2 Retta di sopravvivenza di un microrganismo sporigeno a temperatura costante di 112° C (Friso D. e Niero M., 2010)

Il grafico 1.2 rappresenta la di retta di sopravvivenza di un microrganismo sporigeno trattato a $t = 112^{\circ} \text{C}$ con $N_0 = 30.000$ spore/kg di alimento. La retta varia in funzione del tempo (t), ha pendenza negativa perché la popolazione (N) decresce ed è incidente all'asse logaritmico delle ordinate al valore $\log(N_0)$.

Dal grafico possiamo notare che dopo 15 minuti N si è ridotto ad 1 spora/kg evidenziando che il tempo D per le spore del microrganismo preso in esame a 112°C è pari a 200 secondi (Friso D. e Niero M., 2010).

Il Tempo del Trattamento Termico, ovvero (t_{θ}), risulta quindi equivalente al Tempo di Riduzione Decimale (D_{θ}) moltiplicato per il numero di riduzioni decimali (n) della popolazione microbica che vogliamo effettuare:

$$t_{\theta} = D_{\theta} \cdot n \quad (2.4)$$

1.2.2 Influenza della costante Z sulla cinetica di distruzione microbica

La costante D_{θ} è influenzata dall'innalzamento della temperatura, ed in particolare il suo valore diminuisce all'aumentare di questa; tale fenomeno è espresso attraverso la seconda equazione di Bigelow:

$$\log(D_1 / D_2) = (T_2 - T_1) / Z \quad (2.5)$$

Nell'equazione compare la costante Z , che rappresenta la variazione di temperatura necessaria affinché la curva di distruzione microbica attraversi un ciclo logaritmico, dunque per rendere la morte di una popolazione microbica dieci volte più veloce (Giacomini A., 2011). La costante Z è specifica per ogni microrganismo ma è possibile stimare che mediamente valga:

- 5°C per i microrganismi in forma vegetativa;
- 10°C per le spore.

Se prendiamo nuovamente in esame l'esempio trattato nel sottoparagrafo precedente, apportando un innalzamento di temperatura pari a 10°C (quindi $\theta = 121^{\circ}\text{C}$), l'inattivazione delle spore avverrà in 20 secondi anziché in 200 secondi. L'inattivazione delle spore presenti in un alimento viene eseguita alla temperatura di $121,1^{\circ}\text{C}$, in questo caso il Tempo di Trattamento Termico (t_{θ}) viene sostituito da F.

Con il termine Letalità di processo o Process lethality (F_0), invece, si indica il tempo di trattamento termico nella particolare condizione in cui Z sia pari a 10°C .

L'efficacia dei trattamenti termici è condizionata dal tipo e dalla qualità della carica batterica presente nel latte: in particolare i batteri termofili possono resistere alle temperature di trattamento e svilupparsi con rapidità una volta che il resto della popolazione microbica è stata uccisa. Ecco perché, una volta effettuato il risanamento, è fondamentale raffreddare rapidamente il latte pastorizzato, per impedire lo sviluppo di eventuali batteri termodurici sopravvissuti o altri batteri derivati da ri-contaminazioni.

1.3 Effetti dei trattamenti termici sulla qualità del latte

Come spiegato in precedenza, il calore porta ad un aumento della velocità delle reazioni metaboliche di un individuo, fino alla denaturazione degli enzimi in esse coinvolti: questa conseguenza non colpisce solamente le proteine che compongono gli esseri viventi, ma anche quelle presenti negli alimenti trattati, e con loro anche il resto dei costituenti organici.

E' quindi doveroso esaminare i principali costituenti del latte e le alterazioni che subiscono in seguito ai trattamenti di risanamento tramite calore, nonché gli indicatori di corretto trattamento termico.

1.3.1 Composizione e caratteristiche chimico-fisiche del latte

Il latte è un alimento caratterizzato da una elevata complessità, perché presenta eterogeneità dal punto di vista fisico (è composto da più fasi) e chimico (è composto da molte sostanze diverse), variabilità di composizione in base alla specie e alle condizioni di allevamento dell'animale e possibile instabilità dei suoi componenti.

Composizione chimica del latte:

• Acqua	86,9-88,5 %
• Lattosio	4,8-5,1 %
• Materia grassa	3,3-4,4 %
• Sostanze azotate	2,8-3,3 %
• Sali minerali	0,6-0,8%
• Estratto secco totale	11-13 %
• Estratto secco magro	8,5-9,5 %

Caratteristiche chimico-fisiche del latte:

• pH	6,5-6,7
• Acidità di titolazione	6-8 °SH 14-18 °D 0,14-0,18 g/100 ml ac. lattico
• Densità a 20 °C	1,030-1,033 g/ml intero 1,035-1,036 g/ml scremato 1,025-1,029 g/ml siero
• Punto di congelamento	-0,530/-0,540 °C

(Salvatori del Prato O., 2005)

Le sostanze eterogenee che compongono la dispersione acquosa latte, sono presenti in fasi diverse:

- fase di emulsione - grasso, vitamine liposolubili (separabili con scrematrice o flocculazione per aggregazione);
- fase di dispersione colloidale – caseine (separabili con centrifuga ad alta velocità o flocculazione con acidi o coagulanti);
- fase di soluzione - lattosio, sieroproteine, sali minerali, vitamine idrosolubili, gas (separabili per dialisi);
- fase di sospensione - cellule, microrganismi (separabili con centrifuga o flocculazione per aggregazione).

(Pasini G., 2010)

Dal punto di vista tecnologico è importante comprendere che le diverse fasi sono tra loro in equilibrio chimico e fisico, ma sono instabili e tendono a separarsi, provocando ad esempio la separazione dei globuli di grasso dalla soluzione, con affioramento della panna.

Il componente maggiormente presente nel latte è l'acqua ed il suo contenuto influenza la sintesi di lattosio, ovvero dello zucchero disaccaride secreto dalla mammella, che viene idrolizzato dall'enzima β -galattosidasi negli zuccheri semplici glucosio e galattosio. Questa reazione ed il suo enzima specifico sono alla base di tutti i processi metabolici del lattosio, sia fermentativi che digestivi. E' uno zucchero poco solubile, coinvolto nei processi di alterazione delle caratteristiche qualitative del latte in seguito al trattamento termico affrontate successivamente (Salvatori del Prato O., 2005).

Il grasso nel latte è organizzato in globuli racchiusi in una membrana che ne assicura stabilità e protezione, per cui i trattamenti meccanici violenti, che provocano una distruzione delle membrane, causano la separazione del grasso dalla soluzione in equilibrio, con possibile irrancidimento dello stesso. I trattamenti termici, invece, non ne alterano in modo significativo le caratteristiche, in quanto il grasso è poco sensibile al calore.

Le sostanze azotate presenti nel latte sono suddivise in:

- caseine (78 %), importanti nella formazione della cagliata in caseificazione (α, β, γ -caseine ed altre);
- sieroproteine (17 %), proteine fibrose e solubili che coagulano al calore (α -lattoalbumina, β -lattoglobulina e altre);
- azoto non proteico (5 %), ovvero composti azotati a basso peso molecolare (amminoacidi liberi, urea, ammoniaca, creatina ed altri).

Quando le proteine sono esposte all'azione del calore, a temperatura superiore a 70° C, vanno incontro a denaturazione, con perdita della loro struttura e funzionalità biochimica, ma restano inalterate le loro caratteristiche nutrizionali: per questo motivo il latte sterilizzato non può essere impiegato in caseificazione, poiché non si formerebbe il coagulo per azione degli enzimi del caglio (Salvatori del Prato O., 2005).

Nel latte sono presenti anche altri costituenti, in quantità nettamente inferiore rispetto ai precedenti, definiti micro-costituenti:

- Sali minerali, principalmente calcio, fosforo, potassio e acido citrico, presenti in equilibrio mobile in soluzione ed in sospensione colloidale (se diminuiscono i sali solubili una parte dei sali colloidali passa in soluzione e viceversa). Un aumento di temperatura e di pH comporta lo spostamento dell'equilibrio calcio-fosforo verso la forma colloidale, ma un trattamento termico severo, come la sterilizzazione, ne danneggia la stabilità fino alla precipitazione dei sali (Salvatori del Prato O., 2005).
- Vitamine, suddivise in liposolubili (associate al grasso) e idrosolubili (associate al siero). Una ulteriore classificazione può essere effettuata sulla base della loro resistenza al calore, suddividendole tra termostabili (prevalentemente liposolubili) e tremolabili (prevalentemente idrosolubili).

Liposolubili

A (axeroftolo) **TS**
Carotene (b-carotene o provitamina A)
D (calciferoli) **TS**
E (tocoferoli) **TS**
K

Idrosolubili

B1 (tiamina) **TS**
B2 (riboflavina)
B6 (piridossina) **TS**
B12 (cianocobalamina) **TS**
PP (niacina)
Acido nicotinico
Acido pantotenico
Acido folico **TS**
C (acido ascorbico) **TS**
H (biotina)
Acido paraminobenzoico
Colina
Inositolo

TS = termostabile

TS = termosensibile

I trattamenti termici sterilizzanti hanno effetto negativo sul contenuto vitaminico, ma i nuovi metodi studiati, come il trattamento UHT ad infusione di vapore, hanno ridotto notevolmente il danno termico a carico delle vitamine. Come si può notare dalla tabella 2.3 - riportata in seguito – i metodi UHT a contatto diretto apportano perdite percentuali in vitamine notevolmente inferiori rispetto alla sterilizzazione classica o UHT con contatto indiretto. Per quanto riguarda la pastorizzazione HTST, invece, il danno a carico delle vitamine è minimo e la perdita percentuale di ciascuna vitamina si attesta quasi sempre al di sotto del 10 %.

VITAMINA	HTST	STERILIZZAZIONE CLASSICA	UHT Metodo indiretto	UHT Metodo diretto
B1	< 10	30	20	10
B6	< 10	20	15	10
B12	< 10	< 90	< 60	10
C	20	90	60	25
Acido folico	< 10	50	< 30	15

Tabella 2.3 Perdite percentuali in vitamine del latte a seguito del trattamento termico (Salvatori del Prato O., 2005)

- Enzimi, naturalmente presenti nel latte o di origine microbica; i più importanti fanno parte delle famiglie delle idrolasi e delle ossidoriduttasi

IDROLASI

- Lipasi: catalizza la rottura dei legami esteri dei trigliceridi in stato di emulsione nel latte, liberando glicerina e acidi grassi; causa irrancidimento lipolitico in seguito alla rottura della membrana protettiva dei globuli di grasso (per riscaldamento o trattamenti meccanici). E' inattivata dalla pastorizzazione (70° C per 15 secondi).
- Proteasi: le più presenti nel latte sono plasmina e catepsina, entrambe coinvolte nella degradazione delle caseine. Sono parzialmente inattivate dai trattamenti termici e nel latte sterilizzato sono causa di fenomeni di gelificazione.
- Fosfatasi : idrolizzano i legami esteri dei gruppi fosforici e sono presenti come fosfatasi alcalina e fosfatasi acida; la prima è indice di qualità di processo per la pastorizzazione, poiché mantiene la sua funzionalità fino ad un trattamento di 72° C per 16 secondi (o combinazioni equivalenti), la sua inattivazione rappresenta perciò una corretta esecuzione del trattamento termico.
- α -Amilasi: degrada l'amido ed è inattivata dalla pastorizzazione;
- Lisozima: catalizza la lisi dei polisaccaridi che costituiscono la parete cellulare dei batteri Gram + presenti nel latte (azione battericida) ed è relativamente termostabile.

OSSIDORIDUTTASI:

- Lattoperossidasi: ha azione battericida ed è inattivata ad 80° C per 20 secondi (o combinazioni equivalenti). E' indicatore di qualità del prodotto e indice di corretta pastorizzazione ESL.
- Xantinaossidasi: catalizza diverse reazioni di ossido-riduzione ed è termoresistente.

- **Catalasi:** enzima che detossifica il latte dalle Specie Reattive dell'Ossigeno (ROS), ovvero molecole che portano alla formazione di radicali liberi con conseguente ossidazione delle membrane cellulari, trasformando il perossido di idrogeno in acqua ed ossigeno molecolare. E' tremolabile, inattivata dalla pastorizzazione.

(Salvatori del Prato O., 2005)

- **Gas:** il latte durante la mungitura ne ingloba fino all'8 %, il principale è l'anidride carbonica (6,5 % dopo la mungitura, 2-4 % nelle ore successive) ma sono presenti anche ossigeno (0,5 %), azoto (1,3 %) ed eventuali gas maleodoranti; tali gas possono rendere problematica la misura volumetrica del latte e lo svolgimento dei trattamenti termici, nonché influire negativamente sullo sviluppo dei fermenti lattici in caseificazione, per cui è necessario degasare e deodorare il latte al ricevimento in stabilimento prima di effettuare qualsiasi trattamento (Salvatori del Prato O., 2005).

1.3.2 Effetti dei trattamenti termici sui costituenti del latte

Come già citato precedentemente, i trattamenti termici hanno come conseguenza un'alterazione delle sostanze che compongono il latte, che può manifestarsi nella denaturazione del componente stesso oppure nella formazione di nuove sostanze in seguito a reazioni chimiche stimulate dal calore.

Il costituente maggiormente coinvolto nelle alterazioni in seguito a risanamento tramite calore è il lattosio, che a temperature superiori a 80° C reagisce con i composti azotati presenti nel latte, determinando il fenomeno chiamato imbrunimento non enzimatico o Reazione di Maillard, che porta alla formazione di aldeidi, chetoni e ossimetilfurfurolo: quest'ultimo composto conferisce al latte ESL o a lunga conservazione un gusto di cotto o caramello e un colore tendente al bruno. Tale fenomeno si presenta durante qualsiasi trattamento termico di risanamento, in modo più o meno pronunciato (durante il processo di pastorizzazione la reazione di Maillard si verifica in minima parte) tanto da essere

considerata irrilevante per cui è stato messo appunto un metodo per individuare l'entità del trattamento termico sulla base di un composto che si forma nelle prime fasi della reazione, ovvero la furosina. Gli indicatori di trattamento termico, compresa la furosina, saranno descritti in seguito (Salvatori del Prato O., 2005).

A temperature comprese tra 110° e 140° C, ovvero a temperature di sterilizzazione o UHT, il lattosio perde acqua di cristallizzazione, producendo composti che conferiscono al latte un odore pungente, come l'acido levulonic e l'acido formico; oltre i 150° C il lattosio ingiallisce e a 175° C caramellizza (Cappelli P. e Vannucchi V., 2005).

Nella seguente tabella sono riassunte le principali alterazioni a carico dei componenti del latte in seguito a riscaldamento:

COMPONENTI	MODIFICHE	CONSEGUENZE
Lattosio	Decomposizione con formazione acidi organici	Influenza su crescita di batteri lattici, abbassamento pH e caramellizzazione
Lattosio + Proteine	Reazione di Maillard	Imbrunimento, formazione composti riducenti e diminuzione valore nutritivo
Sieroproteine	Denaturazione, comparsa gruppi S-H attivi e liberi	Gusto di "cotto", flocculazione, no affioramento della panna
Sieroproteine + Caseina	Formazione ammoniacca, complessi K + B-lattoglobulina	Formazione della "pelle" del latte, alterazione del gusto
Caseina	Degradazione delle molecole e modificazione dello stato micellare	Flocculazione della caseina (ad alte temperature) e gelificazione del latte
Minerali	Spostamento dell'equilibrio Ca-P solubile/insolubile e modificazione delle micelle di caseina	Insolubilizzazione dei Sali di Ca, abbassamento del pH e instabilità della caseina
Grasso	Idrolisi e formazione lattoni	Liberazione degli acidi grassi e formazione odori sgradevoli
Vitamine	Distruzione vitamine D, C, B1 e B12	Diminuzione del valore nutritivo
Enzimi	In attivazione totale o parziale	Diminuzione del valore nutritivo
Gas	Perdita di gas CO2	Leggero innalzamento del pH e del punto crioscopico

Tabella 2.4 Principali effetti del trattamento termico sui componenti del latte (Salvatori del Prato O., 2005).

1.3.3 Effetti dei trattamenti termici sulla qualità organolettica del latte

Oltre alle modificazioni dei suoi costituenti, il latte può subire alterazioni dal punto di vista della qualità organolettica in seguito al risanamento, presentando difetti di odore, sapore, colore e tessitura.

Il latte fresco pastorizzato può presentare:

- gusto di cotto e colore tendente al bruno, causato da un errato trattamento termico (temperatura troppo elevata);
- gusto e odore di ossidato e/o rancido, derivati da un prolungato contatto del latte con l'aria nelle fasi di pastorizzazione e/o confezionamento.

Il latte sterilizzato classico e UHT può presentare:

- gusto di cotto anche molto pronunciato (a volte gusto di caramello) e colore tendente al bruno, derivati dalle alte temperature impiegate nei trattamenti o a tempi troppo prolungati;
- gusto di ossidato e/o rancido, causate da eccessive esposizioni all'aria del latte durante le fasi di lavorazione;
- coagulazione e/o acidificazione, provocati dall'azione di microrganismi sopravvissuti ad un trattamento termico insufficiente;
- gelificazione accompagnata da sapore amaro, in seguito a trattamenti UHT alla temperatura minima, non si verificano a temperature elevate;
- formazione di schiuma, a causa di un trattamento termico troppo severo e/o omogeneizzazione eccessiva del latte.

(Salvatori del Prato O., 2005)

1.3.4 Gli indicatori di trattamento termico

L'intensità del trattamento termico subito dal latte viene valutata attraverso l'esame di alcuni parametri stabiliti dalla Legislazione Italiana; in particolare deve

essere analizzata la presenza (o assenza) e/o la concentrazione delle seguenti componenti:

- fosfatasi alcalina, metallo proteina con funzione enzimatica contenente Zinco e Magnesio, prevalentemente legata al grasso e inattivabile alle combinazioni tempo/temperatura pari a 72° C per 16", 70° C per 20", 63° C per 20', 62° C per 30'. E' inattivata nel latte che ha subito almeno un processo di pastorizzazione;
- lattoperossidasi, proteina con attività enzimatica antiossidante, termoresistente ed inattivabile a temperature superiori a quelle di pastorizzazione. E' inattivata completamente a 80° C per 20";
- sieroproteine solubili (SPsol), proteine che precipitano facilmente in seguito a riscaldamento, soprattutto a temperature superiori a quelle di pastorizzazione. La più tremolabile è la b-lattoglobulina, la cui denaturazione comincia a temperature di poco superiori a 70° C. Nel latte crudo le SPsol rappresentano il 18-20% del contenuto proteico totale, ma in seguito al trattamento termico il loro contenuto diminuisce in quanto una frazione di esse coagula (fino al 70% nel latte sterilizzato classico e al 40% in quello UHT). Le SPsol rappresentano inoltre un parametro legislativo sul quale si basa la classificazione del latte fresco pastorizzato;
- furosina, composto che si forma durante le prime fasi della Reazione di Maillard, a temperature superiori a 80° C. La sua ricerca ha lo scopo di verificare eventuali trattamenti termici subiti dal latte e/o l'aggiunta fraudolenta di latte in polvere. Il contenuto massimo di furosina nel latte crudo e pastorizzato (fosfatasi negativo e lattoperossidasi positivo) deve essere di 8,6 milligrammi ogni 100 grammi di proteine;
- lattulosio, composto derivato dalla reazione di isomerizzazione del lattosio, fenomeno che avviene a temperature superiori a 100° C, per cui la sua ricerca ha lo scopo di determinare la severità del trattamento termico subito dal latte.

(Pasini G., 2010)

Nella tabella seguente sono riportati gli indicatori di trattamento termico e i relativi valori di riferimento per il latte pastorizzato secondo la legge 169/89:

Parametri	Latte Pastorizzato	Latte Fresco Pastorizzato	Latte Fresco Pastorizzato Alta Qualità
Prova Fosfatasi Alcalina	Negativa	Negativa	Negativa
Prova Perossidasi	Negativa	Positiva	Positiva
Sieroproteine solubili	>11%	>14%	>15,5%

Tabella 2.5 Indicatori di trattamento termico per il latte pastorizzato (Decreto legge n. 169, 1989).

La Federazione Italiana del Latte (FIL) ha proposto l'introduzione di nuovi parametri per la determinazione dell'entità del trattamento termico di sterilizzazione classica e U.H.T.:

LATTE STERILIZZATO IN BOTTIGLIA	Lattulosio < 600 mg/L b-lattoglobulina > 20 mg/L
LATTE U.H.T.	Lattulosio > 600 mg/L b-lattoglobulina < 20 mg/L

CAPITOLO 2

IMPIANTI PER IL TRATTAMENTO U.H.T. DEL LATTE

Il trattamento di sterilizzazione U.H.T. del latte avviene mediante lo scambio termico di calore con vapore saturo sotto pressione, in modo tale che il prodotto raggiunga una temperatura di trattamento superiore a 135° C, per pochi secondi. Lo scambio termico può essere di tipo indiretto, se il fluido di servizio riscaldante scorre in piastre o tubi che lo separano dal liquido alimentare, oppure di tipo diretto, se il vapore saturo si miscela con il latte e lo riscalda per condensazione. Nell'economia aziendale è diventato indispensabile ridurre i costi produttivi, perciò gli attuali impianti per il trattamento U.H.T. sono stati progettati affinché vi sia maggior recupero energetico possibile, utilizzando, ad esempio, il prodotto sterilizzato in uscita dall'impianto come fluido riscaldante per il latte in ingresso nello scambiatore per il preriscaldamento.

Nonostante lo scambio termico diretto sia in grado di riscaldare il prodotto in tempi molto rapidi, il recupero energetico di questi impianti può arrivare solo al 50% (rispetto allo stesso impianto privo di recupero), comportando una spesa in termini energetici maggiore rispetto agli scambiatori termici indiretti, il cui recupero termico arriva fino al 90% (Friso D. e Niero M., 2010)

2.1 Lo scambio termico indiretto

Nello scambio termico indiretto sono coinvolte due tipologie di trasmissione del calore: conduzione e convezione. I fluidi trasportano il loro calore per convezione forzata, poiché subiscono la pressione di una pompa, mentre la superficie solida in acciaio inox dello scambiatore trasmette il calore per conduzione. Il modo più efficiente per trasmettere il calore tra l'alimento ed il fluido di servizio è realizzare

la controcorrente perfetta, ovvero progettare un impianto nel quale i fluidi scorrano per più tempo possibile in direzioni opposte (Friso D. e Niero M., 2010).

2.1.1 Processo di sterilizzazione U.H.T. con scambio termico indiretto

In un comune impianto per il trattamento U.H.T. con scambio termico indiretto, il latte subisce un pre-riscaldamento fino a 70°C , per recupero termico del prodotto in uscita, seguito dall'operazione di omogeneizzazione, che garantisce la stabilità chimico-fisica dell'alimento durante tutta la sua shelf-life; una ulteriore sezione di scambio termico di recupero porta infine il latte alla temperatura di 128°C .

Il latte raggiunge la temperatura di trattamento (142°C) all'interno dello scambiatore indiretto, in cui il fluido di servizio è vapore a 150°C , in seguito il prodotto fluisce all'interno della tubatura di sosta per il tempo necessario affinché avvenga la sterilizzazione, generalmente pari a 4 secondi; segue il raffreddamento del prodotto fino ad 86°C per recupero termico (scambio termico con il latte che si riscalda da 70° a 128°C).

Prima di raggiungere la temperatura di confezionamento, pari a 20°C , il latte entra nel degasatore, ovvero in una camera a vuoto forzato, nella quale vengono allontanati i gas sciolti nel latte a pressione atmosferica, i quali si sono liberati durante il processo di sterilizzazione (Friso D. e Niero M., 2010).

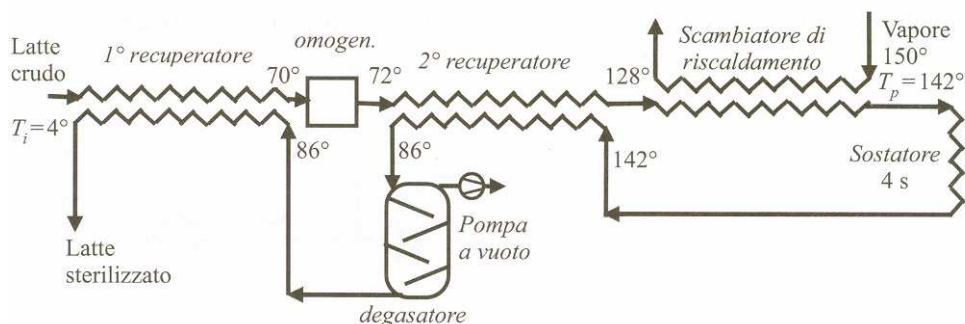


Figura 2.1 Processo di sterilizzazione del latte a scambio termico indiretto (Friso D. e Niero M., 2010).

I più diffusi sistemi per il trattamento U.H.T. a scambio termico indiretti sono gli scambiatori a piastre e quelli tubolari, in particolare il sistema tubo in tubo.

2.1.2 Scambiatore tubo in tubo

Lo scambiatore tubo in tubo è costituito da due tubi concentrici, nella cui sezione centrale scorre il fluido alimentare ed in quella più esterna scorre il fluido di servizio; tali scambiatori possono resistere ad alte pressioni e raggiungere una buona efficienza di trasmissione del calore, grazie anche alla superficie interna del tubo che, essendo corrugata, genera la turbolenza dei fluidi. Sono di semplice realizzazione e facilmente ispezionabili, inoltre permettono la controcorrente perfetta e sono modulabili.

A causa dell'ampia superficie del tubo esterno hanno elevate dispersioni di calore, per cui necessitano spesso di coibentazione.

Per ottenere maggiore efficienza dallo scambiatore tubolare, è possibile aumentare di circa il doppio la superficie di scambio termico, assemblando un terzo tubo, interno al tubo nel quale scorre il liquido alimentare (figura 2.2). Nella sezione del tubo si può quindi osservare che il latte, in controcorrente perfetta, scorre tra i due fluidi di servizio (Friso D. e Niero M., 2010).

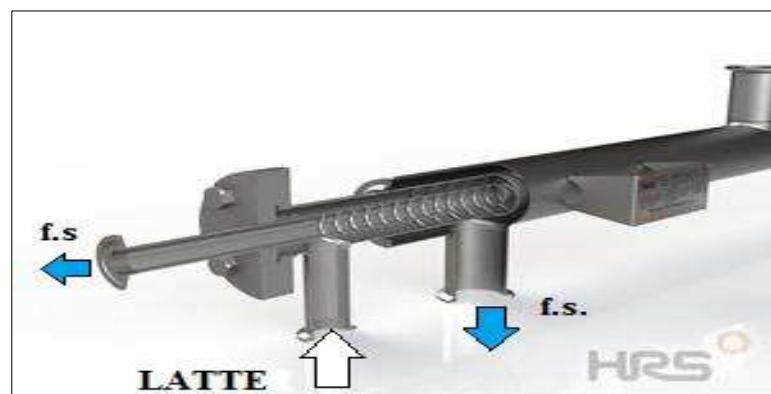


Figura 2.2 Scambiatore di calore a tre tubi concentrici: in blu il fluido di servizio ed in bianco l'alimento da riscaldare in controcorrente perfetta (Sito web HRS - heat exchangers, 2013).

2.1.3 Scambiatori a piastre

Gli scambiatori a piastre sono realizzati assemblando un certo numero di piastre rettangolari in acciaio inox, attraversate da fuori entro i quali scorrono il fluido di servizio ed il fluido alimentare; il passaggio dei due fluidi è regolato dalle guarnizioni presenti su ogni piastra, le quali permettono lo scorrimento nella sezione prima dell'uno, poi dell'altro liquido, intervallando un passaggio di liquido alimentare ad uno di servizio (figura 2.3).

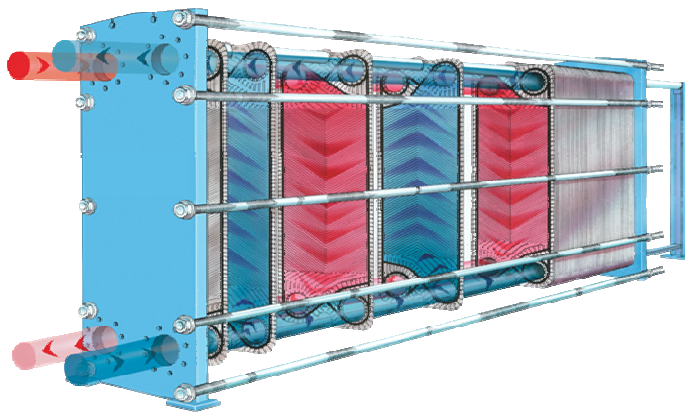


Figura 2.3 Scambiatore di calore a piastre con assemblaggio in parallelo: di colore rosso il fluido di servizio ed in blu l'alimento da riscaldare (Sito web Tranter, 2013).

Le piastre sono appese e serrate con barre filettate e dadi su dei longheroni, sono modulabili ed ispezionabili; inoltre sono imbutite per permettere maggiore resistenza alle alte pressioni e stimolare il moto turbolento dei fluidi, il quale aumenta l'efficienza di trasmissione del calore.

L'impianto risulta vantaggioso sia dal punto di vista dell'ingombro, in quanto si presenta molto compatto, sia per quanto riguarda le dispersioni di calore, che risultano molto ridotte; di contro necessita di un'accurata manutenzione delle guarnizioni, in quanto i rischi di perdita sono elevati, e delle piastre, che sono facilmente incrostabili a causa del limitato spessore che le separa.

L'elevata modularità permette di assemblare le piastre in modi differenti (parallelo, misto ed in serie). L'assemblaggio delle piastre in parallelo permette di realizzare la controcorrente perfetta, a fronte di una limitata superficie di scambio,

poiché i fluidi subiscono un solo passaggio lungo la piastra (ingresso ed uscita dallo stesso lato, come immagine sopra). Con gli assemblaggi in serie e misto, invece, non si realizza la controcorrente perfetta ma si possono ottenere più passaggi dei fluidi lungo le piastre (Friso D. e Niero M., 2010).

2.2 Lo scambio termico diretto

La sterilizzazione U.H.T. del latte può avvenire anche attraverso scambio termico diretto di calore, ovvero per contatto diretto tra il fluido di servizio, rappresentato dal vapore acqueo, ed il fluido alimentare, i quali si miscelano ottenendo il fenomeno dello scambio termico: tale processo prende il nome di uperizzazione.

Gli impianti a scambio diretto per la produzione di latte U.H.T. presenti sul mercato sono l'iniettore e l'infusore di vapore: entrambi richiedono la presenza di un omogeneizzatore, allo stesso modo degli scambiatori di calore diretti, nel quale viene però introdotto il latte già sterilizzato e degasato.

2.1.1 Iniezione diretta di vapore

Nell'impianto ad iniezione diretta di vapore il latte subisce il riscaldamento fino alla temperatura di sterilizzazione all'interno dell'iniettore, grazie allo scambio termico diretto con vapore saturo a 150° C.

Come previsto nei sistemi tubolari o a piastre, il latte crudo o pastorizzato viene pre-riscaldato fino ad 80° C, per recupero termico del latte in raffreddamento e successivamente per scambio termico indiretto con acqua o vapore; il latte riscaldato viene pompato alla pressione di 5 bar nell'iniettore, nel quale si miscela con il vapore saturo a 150° C, che si condensa, cedendo il calore latente di condensazione al latte che si riscalda istantaneamente fino a 142° C (Friso D. e Niero M., 2010)

L'iniettore può essere di due tipologie: ad apertura anulare o a multiforo: l'iniettore ad apertura anulare è costituito da una tubazione con due aperture circolari, attraverso le quali avviene l'ingresso del prodotto da trattare ed il vapore

saturo. In questo sistema il vapore investe perpendicolarmente ed in un unico punto il flusso di latte.

Il sistema a multiforo, invece, è costituito da un collettore cilindrico forato lungo tutta la superficie: il latte scorre all'interno del collettore e viene investito dal vapore che penetra attraverso i fori perpendicolarmente e lungo tutta la tubatura (Hamberg L. e Innings F., 2011).

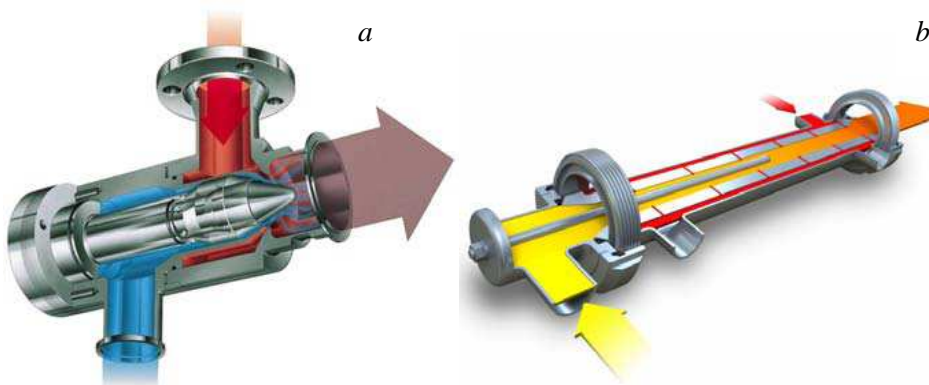


Figura 2.4 Iniettore di vapore ad apertura anulare (a) e multiforo (b) (Hamberg L. e Innings F., 2011).

Il vapore acqueo, a contatto con il latte che si trova ad una temperatura inferiore, si condensa e fa aumentare la concentrazione di acqua nel latte stesso, in misura tanto maggiore quanto più rilevante risulta essere l'incremento di temperatura che subisce il latte nell'iniettore.

In uscita dall'iniettore, il prodotto scorre lungo il tubo di sosta alla temperatura di 142° C per pochi secondi, solitamente pari a 3.

Per ripristinare l'originaria concentrazione di acqua nel latte, si ricorre alla flash-evaporazione, o flash-cooling, operazione che prevede l'invio del latte crudo in una camera (o bolla) in depressione (0,5 bar assoluti), attraverso il passaggio per una valvola di laminazione, che ha il compito di ridurre la pressione del latte da 5 a 0,5 bar assoluti.

La tensione di vapore del latte resta pari a 5 bar, ed è quindi superiore alla pressione presente nella bolla (0,5 bar), per cui deve avvenire l'evaporazione della

frazione della componente acquosa del latte fino ad ottenere l'equilibrio tra la tensione di vapore del fluido e la pressione vigente nella camera.

Affinché avvenga l'evaporazione è necessaria energia termica, nota con il nome di calore latente di evaporazione. All'interno della bolla, tale energia può essere fornita unicamente dalla frazione di latte rimasta liquida la quale, quindi, si deve raffreddare fino alla temperatura di 80° C, corrispondente ad una tensione di vapore di 0,5 bar assoluti: raggiunta la situazione di equilibrio, l'evaporazione si arresta.

All'interno della camera (bolla) in depressione si liberano anche i gas che erano disciolti nel latte crudo a bassa pressione atmosferica, i quali devono essere allontanati per evitare un indesiderato aumento della pressione nella bolla. L'operazione di degasatura ha inoltre il vantaggio di allontanare i cattivi odori, ovvero di deodorare il latte.

Il latte sterilizzato viene poi inviato all'omogeneizzatore ed infine raffreddato per scambio termico indiretto con il latte in entrata nello sterilizzatore (Friso D. e Niero M., 2010).

2.2.2 Infusione di vapore

Il trattamento U.H.T. ad infusione di vapore si differenzia da quello ad iniezione unicamente per la presenza di una camera, detta camera ad infusione, in cui è presente vapore saturo, solitamente alla temperatura di 150-155° C; mentre nell'iniettore il vapore viene spinto verso il latte, il quale scorre all'interno di una tubatura, l'infusione invece prevede l'inoculo del latte nella camera in cui è presente vapore saturo, attraverso una valvola di laminazione che permette di far scorrere il latte sottoforma di film sottile e circolare. La presenza del vapore saturo all'interno della camera fa sì che nel processo ad infusione il latte non vada mai a contatto con le pareti calde, in modo da limitare i danni termici a carico del prodotto trattato (APV [b], 2013).

Ricordiamo che l'efficienza di recupero termico di un impianto per il trattamento U.H.T. a scambio termico diretto sfiora il 50% e risulta, quindi, nettamente

inferiore a quella calcolata per gli scambiatori indiretti (fino al 90%): tale differenza è giustificata dalla minore possibilità di scambio termico di recupero tra il prodotto in uscita e quello in entrata negli sterilizzatori ad iniezione ed infusione di vapore (Friso D. e Niero M., 2010).

CAPITOLO 3

LA CENTRALE DEL LATTE DI VICENZA S.p.A.

3.1 Storia

La Centrale del Latte di Vicenza venne costituita nel 1929, ad iniziativa del Comune di Vicenza, che deteneva la maggioranza delle azioni, e di alcuni produttori di latte, soci di minoranza.

Lo scopo della società era garantire il rispetto delle norme igieniche prescritte dal Regio Decreto del 9 maggio 1929 n. 994.

Nel 1944, in seguito a difficoltà economico-gestionali incontrate nei primi anni di attività, la Società venne sciolta con una conseguente ripartizione del patrimonio, assegnato interamente al Comune di Vicenza.

Dalla seconda metà del 1947 la Centrale del Latte di Vicenza venne municipalizzata, ottenendo così l'esclusiva sulla distribuzione del latte in alcune zone del Vicentino.

Il monopolio distributivo finì nella seconda metà degli anni '70, in seguito alla liberalizzazione dei mercati; di conseguenza la Centrale del Latte di Vicenza modificò la sua struttura produttiva e commerciale, trasformandosi da azienda produttrice di solo latte alimentare fresco, ad azienda produttrice di panna, yogurt, formaggi e latte UHT a lunga conservazione.

Tale trasformazione determinò un aumento degli occupati ed un rinnovamento dei locali e degli impianti produttivi, spinti anche dal buon andamento economico dell'azienda

Nel 1995 la Centrale del Latte di Vicenza acquisì il Caseificio Valdagnese s.r.l., azienda che produceva e commercializzava latte UHT a marchio Dolomiti, tuttora presente sul mercato.

L'azienda restò municipalizzata sino al 1997, anno in cui si trasformò in Società per Azioni, detenute ancora una volta al 100% dal Comune di Vicenza, prendendo il nome di “Centrale del Latte di Vicenza S.p.A.”.

Nuove difficoltà economiche investirono l'azienda al termine del millennio scorso: le quote azionarie vennero vendute ed acquistate in maggioranza dal gruppo “Centrale del Latte di Torino & C. S.p.A.”, unica azienda del settore lattiero-caseario quotata in Borsa oltre a Parmalat.

Dal giugno 2008 l'azienda è situata nell'Est vicentino, in un'unica sede che sostituisce i due precedenti stabilimenti presenti a Vicenza (Sito web Centrale del Latte di Vicenza [a], 2013).

3.2 Prodotti

I seguenti prodotti sono commercializzati a marchio “Centrale del Latte di Vicenza”:

- latte fresco pastorizzato intero, parzialmente scremato, alta qualità intero;
- latte pastorizzato a temperatura elevata intero, parzialmente scremato;
- latte UHT intero, parzialmente scremato, scremato;
- latte alta digeribilità UHT;
- panna fresca pastorizzata, panna UHT;
- yogurt naturale intero, magro, con frutta;
- latte fermentato con probiotici e fibre;
- **formaggio fresco: caciotta, stracchino;**
- **formaggio fresco a pasta filata: mozzarella, mozzarella di Bufala Campana DOP, mozzarella in filone;**
- **ricotta fresca e a media conservazione;**
- **mascarpone**
- **burro**
- **grana grattugiato;**
- prodotti di quarta gamma: insalate;

- **budino cioccolato, vaniglia;**
- **uova.**

I prodotti che presentano una sottolineatura vengono realizzati in stabilimenti del Gruppo “Centrale del Latte di Torino & C. S.p.A.”, diversi da quello di Vicenza, mentre i prodotti trascritti in grassetto vengono realizzati per la “Centrale del Latte di Vicenza S.p.A.” da aziende terzi (Sito web Centrale del Latte di Vicenza [a], 2013).

3.4 Stabilimento di produzione

3.4.1 Profilo strutturale

Il lotto su cui è stato costruito lo stabilimento ha una superficie di 60.000 mq: la zona amministrativa occupa un'area di 1.600 mq ed è fisicamente separata da quella produttiva, il cui stabile ricopre 9.800 mq di superficie.

La zona di produzione è suddivisa nelle seguenti aree:

- area degli impianti industriali, costituita dalle centrali frigorifera, elettrica, di aria compressa, termica, idrica e chimica di lavaggio e disinfezione;
- area esterna di ricezione del latte, costituita da 2 linee indipendenti con portata unitaria di 20.000 l/h, alimentate da pompe centrifughe a 1.450 giri/min che inviano il latte dalle cisterne di trasporto ai serbatoi di stoccaggio, anch'essi posizionati all'esterno dello stabile;
- laboratorio analisi aziendale, suddiviso in due ambienti, uno destinato alle analisi chimiche ed uno a quelle microbiologiche;
- area degli impianti di processo di pastorizzazione, di sterilizzazione e di omogeneizzazione, con annessa sala di controllo informatizzato degli impianti;
- area di confezionamento;
- area di stoccaggio latte UHT, panna UHT e uova (a temperatura ambiente);

- magazzino refrigerato per lo stoccaggio di latte fresco pastorizzato, panna fresca pastorizzata e yogurt;
- area spedizioni.

(Centrale del Latte di Vicenza [b], 2012)

3.4.2 Profilo produttivo

Nello stabilimento della “Centrale del Latte di Vicenza S.p.A.” l’azienda produce latte fresco pastorizzato (alta qualità, intero e parzialmente scremato), latte UHT (intero e parzialmente scremato), panna fresca pastorizzata e UHT, yogurt naturale intero, magro, con frutta e latte fermentato con probiotici e fibre.

Ogni settimana vengono lavorati in media 6.600 quintali di latte crudo: il 50 % del latte ricevuto proviene da allevamenti veneti ed è destinato alla produzione di latte fresco pastorizzato e yogurt; il restante 50% proviene da Paesi esteri, quali Slovenia, Repubblica Ceca e Slovacca, ed è destinato alla produzione di latte U.H.T.

Il trasporto del latte dalle stalle all’azienda avviene su gomma, in cisterne che conservano il prodotto ad una temperatura che non deve superare i 9° C; gli impianti di lavorazione sono in funzione 6 giorni alla settimana e vengono spenti unicamente la domenica, giorno in cui non è prevista la ricezione di latte crudo (Agostini V., 2012).

In seguito sono riportati i flow-charts di processo per la produzione del latte fresco pastorizzato. Nel quarto capitolo verranno descritte più in dettaglio le fasi di processo riguardanti la produzione di latte U.H.T.

I successivi diagrammi sono costituiti da tre colonne, che descrivono da sinistra verso destra:

- il diagramma di flusso del ciclo di lavorazione in esame;
- gli impianti e/o macchinari utilizzati;
- il processo produttivo.

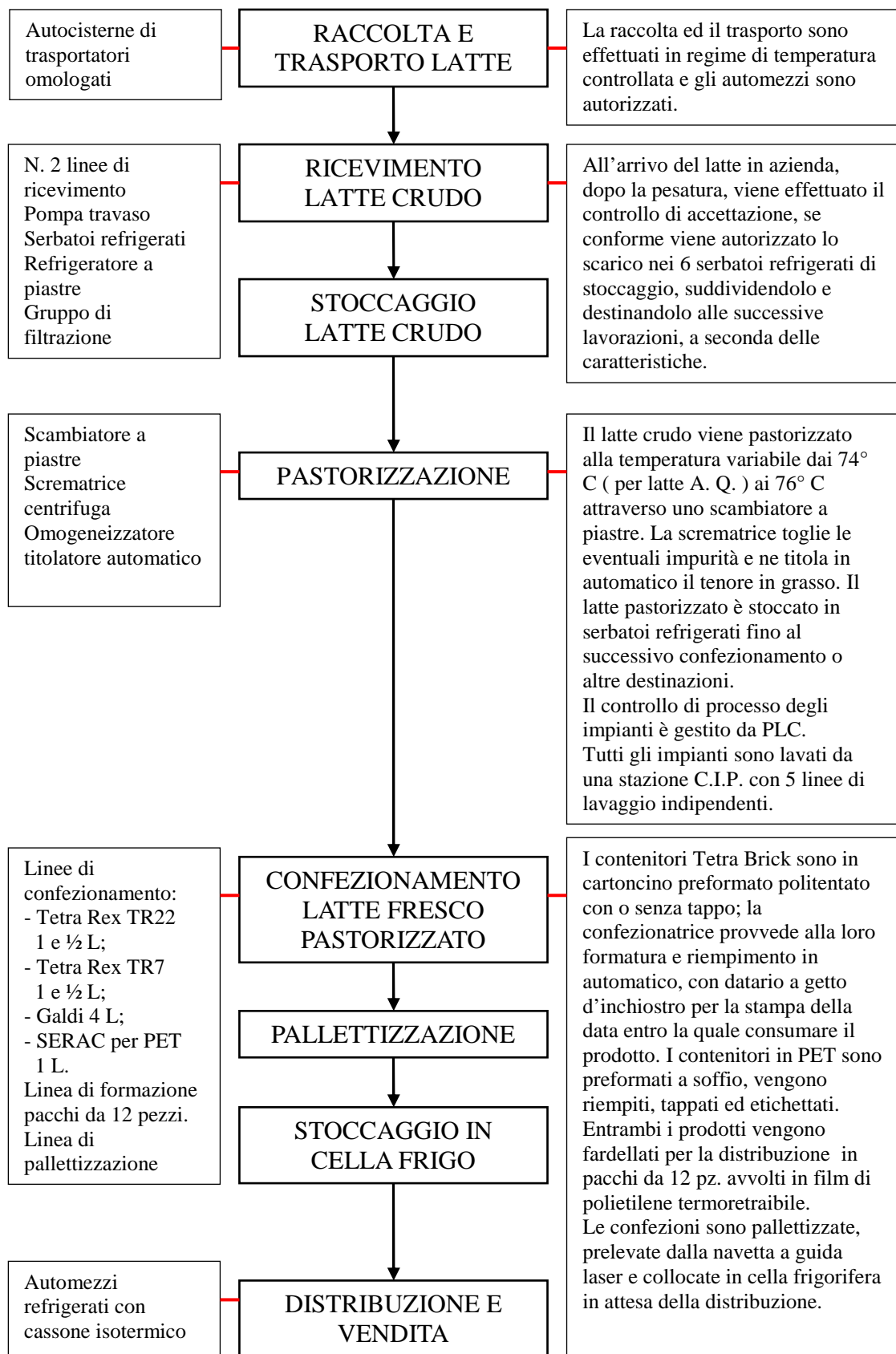


Figura 3.1 Flow-chart di produzione latte fresco pastorizzato (Centrale del Latte di Vicenza [b], 2012).

3.4.2.1 Lavaggio e sterilizzazione degli impianti (C.I.P.)

Il processo produttivo è caratterizzato da cicli di lavaggio in diverse fasi del processo:

- scarico materie prime (autocisterne e serbatoi);
- trattamento del latte (tubazioni ed impianti);
- confezionamento (macchine confezionatrici).

I cicli di lavaggio prevedono l'utilizzo di soluzioni di soda con NaOH al 2 % alla temperatura massima di 75° C e di soluzioni di acido nitrico con HNO₃ al 1,5 % alla temperatura massima di 65° C, alternate a risciacqui con acqua sterilizzata.

L'impiego delle suddette soluzioni ha come scopo l'uccisione di eventuali microrganismi sensibili ad ambienti basici ed acidi, oltre all'eliminazione di residui organici e sali minerali.

Le soluzioni di lavaggio sono preparate automaticamente dall'unità di lavaggio a partire da concentrati al 40 % di soda e acido nitrico.

L'unità C.I.P. è costituita da 9 serbatoi in acciaio inox per lo stoccaggio delle soluzioni, dei concentrati e dell'acqua utilizzata per i risciacqui che deve essere recuperata.

Ogni lavaggio è contraddistinto da 9 fasi:

- pre-risciacquo;
- risciacquo;
- lavaggio con soda;
- risciacquo;
- lavaggio con acido nitrico;
- risciacquo;
- risciacquo finale;
- sterilizzazione;
- recupero finale delle soluzioni.

L'impianto di sterilizzazione per la produzione del latte UHT è sottoposto a lavaggi indipendenti, pertanto la sua descrizione è rimandata al quarto capitolo (Centrale del Latte di Vicenza [b], 2012).

CAPITOLO 4

IL TRATTAMENTO U.H.T.

AD INFUSIONE DIRETTA DI VAPORE

La “Centrale del Latte di Vicenza” possiede, per la produzione di latte alimentare U.H.T. ed E.S.L., un moderno impianto ad infusione diretta di vapore: modello SDH dell’azienda A.P.V.

La costruzione del primo impianto industriale per la sterilizzazione U.H.T. risale al 1960: negli anni che sono trascorsi da questa data sono avvenute intense e continue ricerche per ottimizzare tale trattamento, fino ad ottenere l’impianto ad infusione diretta di vapore descritto nel seguente capitolo.



Figura 4.1 Impianto U.H.T. A.P.V. tipo SDH, ad infusione diretta di vapore (Sito web A.P.V. [a], 2013).

4.1 L'impianto ad infusione diretta di vapore

4.1.1 L'azienda A.P.V.

A.P.V. (Aluminium Plant & Vessel Company) è un'azienda inglese, fondata nel 1910 dal Dr. Richard Seligman, da sempre leader nello sviluppo e nella costruzione di impianti e tecnologie per il trattamento termico nell'industria alimentare e non.

Il primo scambiatore di calore indiretto a piastre fu inventato nel 1923 dal Dr. Seligman e nel 1960, come già citato, venne costruito dalla stessa ditta il primo impianto U.H.T.

Attualmente l'azienda produce una vasta gamma di prodotti, adatti a soddisfare ogni tipologia di esigenza. Nel solo ambito del trattamento U.H.T. del latte, la A.P.V. produce i seguenti impianti:

- infusione di vapore (tipo SDH – 143° C per 3’’);
- infusione ad alta temperatura (tipo SHH – 152° C per 1-3’’);
- infusione con tecnologia Pure-Lac™ (tipo Pure-Lac™ – 135° C per 0,5’’);
- infusione istantanea (tipo SII – 135° C per 0,1’’), per latte concentrato;
- iniezione di vapore (tipo SDI – 140° C per 4’’);
- scambiatore tubulare (tipo STH – 95°-140° C per 60-4’’);
- scambiatore a piastre (tipo SIH – 95°-140° C pe 60-4’’);
- sterilizzatore ad infusione per latte bactofugato (tipo SSU – 140° C)

(Sito web A.P.V. [a], 2013).

4.1.2 Specifiche tecniche dell'impianto

L'impianto è stato dimensionato per poter trattare i seguenti prodotti:

Prodotto	Profili di Temperatura	Trattamento	Massima Portata	Massima Viscosità a 20°C
Panna 38%	4-145(3'')-25°C	U.H.T.	3.500 l/h	12 mPa·s
Panna 38%	4-125(1,5'')-6°C	E.S.L.	3.500 l/h	12 mPa·s
Latte intero	4-145(3'')-25°C	U.H.T.	7.000 l/h	2 mPa·s
Latte intero	4-131(1,5'')-6°C	E.S.L.	7.000 l/h	2 mPa·s

Tabella 4.1 Dimensionamento impianto SDH ad infusione di vapore (A.P.V. [b], 2013).

Come si può notare dalla tabella 4.1, l'impianto è in grado di trattare termicamente panna (con un contenuto massimo di grasso pari al 38%) e latte intero: attraverso l'impostazione di due differenti profili di temperatura è possibile ottenere latte e panna U.H.T. (Ultra High Temperature) o E.S.L. (Extended Shelf Life). I profili di temperatura descrivono la temperatura minima del prodotto prima del trattamento, la temperatura ed il tempo di trattamento ed infine la temperatura a cui sarà portato il prodotto risanato in seguito al raffreddamento.

I valori di portata dell'impianto sono garantiti con una variazione del $\pm 5\%$ rispetto alle specifiche, mentre la temperatura di trattamento e quella finale del prodotto risanato possono variare del $\pm 0,5\%$ (A.P.V. [b], 2013).

SERVIZI/PRESSIONE/TEMPERATURA	CONSUMI	
	PRODUZIONE	PICCO
Vapore saturo, 7 bar, culinario*	980 kg/h	1560 kg/h
Barriere di vapore	15 kg/h	15 kg/h
Acqua sterile per vapore	25 kg/h	25 kg/h
Aria compressa	50 NI/min	50 NI/min
Acqua di pozzo, 3 bar, 10° C	1.000 l/h	8.000 l/h
Acqua di torre, 3 bar, 35° C	15.000 l/h	17.000 l/h
Acqua gelida, 2,5 bar, 1° C	14.000 l/h	16.000 l/h
Elettricità, incluso omogeneizzatore**	51 kW	56 kW

* Valori guida basati sulla capacità di 6.000 l/h di latte e profilo termico 4° - 145° - 6° C.

** Operando alla pressione di omogeneizzazione di 200 bar.

Tabella 4.2 Consumi medi dell'impianto (A.P.V. [b], 2013).

4.1.3 Componenti principali

L'impianto è costituito dalle seguenti unità:

- **vaschetta di alimentazione** a livello costante in acciaio inox;
- **scambiatore di calore a piastre** con incastellatura in acciaio inox, per il pre-riscaldamento ed il raffreddamento del prodotto. Lo scambiatore è composto da:
 - sezione di pre-riscaldamento del prodotto da 5° C a 75° C per mezzo di acqua calda a 78° C;
 - sezione di raffreddamento del prodotto sterilizzato da 75° C a 27° C per mezzo di acqua fredda proveniente dalla sezione di pre-riscaldamento;
 - sezione di raffreddamento del prodotto sterilizzato alla temperatura di confezionamento (6° C);
- **gruppo di preparazione dell'acqua calda**, costituito da uno scambiatore di calore tubolare, in cui avviene lo scambio termico indiretto tra acqua e vapore condensante. Il gruppo è costituito da:
 - vaso di espansione in acciaio inox;

- scambiatore tubolare per il riscaldamento indiretto dell'acqua tramite condensazione di vapore saturo;
- pompa di circolazione dell'acqua calda;
- termostato di sicurezza;
- sistema di pressurizzazione del circuito.

L'acqua viene riscaldata fino a 78° C e successivamente viene inviata allo scambiatore di calore a piastre per il pre-riscaldamento del latte.

- **camera di infusione** in acciaio inox, dotata di apposito distributore laminare attraverso il quale scorre il latte: in questo modo il prodotto viene disperso in modo omogeneo e circolare, evitandone l'atomizzazione e ottenendo il massimo trasferimento di calore nel minor tempo possibile, con minima produzione di schiuma. Sulla sommità della camera, in posizione centrale, è posta una sfera di lavaggio, necessaria per l'igienizzazione della camera stessa prima di ogni ciclo di sterilizzazione. All'interno della camera è presente vapore saturo a 5,5 bar alla temperatura di 155° C.
- **tubazione di sosta termica** in acciaio inox, che permette la sosta del prodotto alla temperatura finale di trattamento per alcuni secondi (alla portata nominale dell'impianto). Modificando la lunghezza della tubazione viene variato il tempo di sosta del prodotto, in base alle esigenze produttive;
- **camera di espansione sottovuoto** in acciaio inox con pressione pari a 0,4 bar assoluti, in cui avviene l'evaporazione della stessa quantità di vapore miscelata nel latte nella camera di infusione. Il prodotto subisce contemporaneamente un raffreddamento rapido fino alla temperatura di pre-riscaldamento (75° C) e una degasatura per l'eliminazione degli off-flavour;
- **pompe centrifughe di rilancio (A.P.V. modello W+)** in acciaio inox, necessarie per il rilancio del prodotto nelle seguenti sezioni di tubazione dell'impianto:
 - dallo scambiatore di pre-riscaldamento all'infusore
 - dall'infusore alla camera di espansione

➤ dalla camera di espansione all'omogeneizzatore asettico

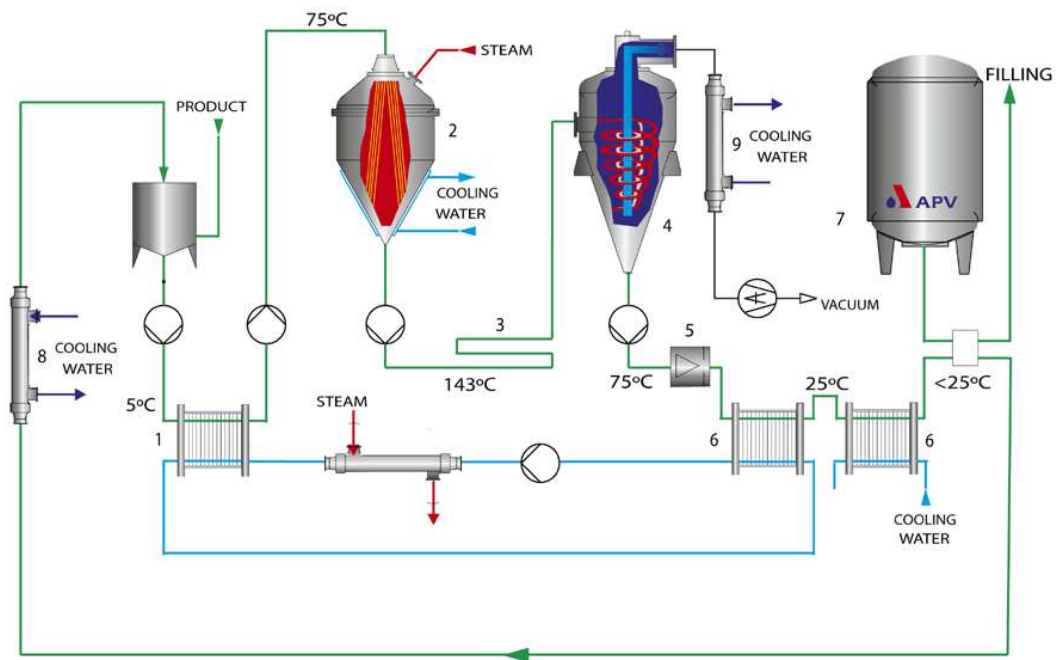
Le pompe posizionate lungo le tubazioni in cui scorre il latte sterilizzato sono asettiche;

- **valvole (A.P.V. modello SW-DA34-DAX)** in acciaio inox, automatiche e con portata volumetrica regolabile. Permettono il controllo dei flussi di latte, acqua e soluzioni di lavaggio dell'impianto. Anche in questo caso sono presenti valvole asettiche in corrispondenza dei punti in cui fluisce il prodotto sterilizzato;
- **condensatore**, ovvero uno scambiatore di calore tubolare, in cui avviene la condensazione del vapore estratto dalla camera di espansione a vuoto controllato;
- **omogeneizzatore asettico (A.P.V. modello Rannie 90)**, a doppio stadio e caratterizzato dalle seguenti specifiche tecniche:

PORTATA	7.000 l/h ($\pm 5\%$)
PRESSIONE DI LAVORO	250 bar
PRESSIONE MINIMA DI ALIMENTAZIONE	5 bar
CONSUMO	59,6 kW
VELOCITA' DI ROTAZIONE	148 rpm

Tabella 4.3 Specifiche tecniche omogeneizzatore APV mod. Rannie 90 (A.P.V. [b], 2013).

- **serbatoio asettico** in acciaio inox di capacità 6.000 litri; garantisce l'alimentazione continua e costante del latte sterilizzato alle macchine confezionatrici ed è dotato di agitatore asettico per il rimescolamento del prodotto;
- **sensori e componenti di controllo**, che permettono il monitoraggio dei parametri di controllo durante l'intero processo di sterilizzazione.
Esempio: termoresistenze Pt-200, ovvero sensori di temperatura, che permettono il monitoraggio accurato delle temperature di pre-sterilizzazione e sterilizzazione, dell'acqua calda, del prodotto in uscita e dell'acqua impiegata nel lavaggio CIP dell'impianto (A.P.V. [b], 2013).



- | | | |
|--|--|--|
| 1. Scambiatore a piastre per il pre-riscaldamento del latte | 4. Camera di espansione sottovuoto | 7. Serbatoio asettico |
| 2. Camera di infusione con vapore saturo a 155°C | 5. Omogeneizzatore asettico | 8. Gruppo di preparazione dell'acqua calda |
| 3. Tubo di sosta | 6. Scambiatore a piastre per il raffreddamento del latte | 9. Condensatore |

Figura 4.2 Schema dell'impianto UHT APV tipo SDH (Sito web A.P.V. [a], 2013).

4.2 Il processo di sterilizzazione

Il trattamento termico si svolge in un unico ciclo ed in modo automatico: la gestione dell'intero processo avviene tramite un sistema PLC-PC monitorato da personale qualificato.

L'intero processo di risanamento è caratterizzato dalle seguenti fasi:

PREPARAZIONE IMPIANTO

La prima operazione fondamentale, che precede ogni singola sterilizzazione, è la **pre-sterilizzazione** dell'impianto e delle linee in cui fluirà il prodotto.

L'operazione avviene grazie alla circolazione di vapore a 145° C per 20 minuti, seguita da un passaggio di acqua fredda che permette il raffreddamento dell'impianto.

STERILIZZAZIONE

La vaschetta di alimentazione dell'impianto viene riempita con latte crudo o pastorizzato, proveniente dai serbatoi di stoccaggio posti all'esterno dello stabilimento di produzione, grazie all'apertura di una valvola a doppia sede (APV modello DA34).

Successivamente il prodotto fluisce dalla vaschetta di alimentazione fino allo scambiatore a piastre per subire il **pre-riscaldamento** a 75° C: il riscaldamento del latte a 75° C avviene grazie allo scambio termico con acqua calda a 78° C, proveniente dal gruppo di preparazione dell'acqua calda (vedi sottoparagrafo 4.1.3).

La temperatura del latte in pre-riscaldamento viene costantemente monitorata da un sensore (Termoresistenza Pt100) che gestisce l'apertura di una valvola modulante, la quale regola l'immissione del vapore nello scambiatore del circuito di preparazione dell'acqua calda.

Il latte in uscita dallo scambiatore a piastre viene pompato a 5 bar fino alla camera di infusione, in cui è presente vapore saturo a 155° C alla pressione di 5,5 bar.

A questo punto può avvenire l'**infusione**, ovvero l'inoculo del latte nella camera sottoforma di film sottile, successivamente riscaldato alla temperatura di 143° C in 0,1-0,2 secondi, grazie allo scambio termico diretto di calore con il vapore saturo. La distribuzione del vapore avviene in modo omogeneo e centrale rispetto alla camera, per cui il latte non viene mai a contatto con le sue pareti, evitando così qualsiasi tipo di stress termico.

La sfera di lavaggio presente sulla sommità della camera ad infusione permette l'espulsione dell'aria emessa dal latte in fase di riscaldamento ed appositi sensori di temperatura e vapore garantiscono il corretto proseguimento del processo.

Una volta raggiunta la temperatura di sterilizzazione (143° C), avviene la **sosta del prodotto** all'interno dell'apposita tubazione per 3 secondi, affinché si realizzi l'effettivo risanamento.

Una pompa di estrazione, posta sotto la camera di infusione, invia il latte alla tubazione di sosta con portata di 7000 l/h, garantendo una sufficiente sovrappressione all'interno del tubo stesso, che permette di avere un flusso di prodotto a singola fase con velocità e temperatura costante (altrimenti si formerebbe un flusso multifase, in cui la velocità delle particelle non risulterebbe omogenea per la presenza di aria, gas incondensati e vapore).

La portata dell'impianto, la temperatura di trattamento ed il tempo di sosta possono essere variate, nonostante ci si possa attenere alla seguente equazione, derivata dalla seconda legge di Bigelow (eq. 2.6), per il calcolo del tempo minimo di sosta per il trattamento U.H.T.:

$$t = 10,1 \cdot 10^{(135 - T) / 10,5} \quad (4.1)$$

dove t = tempo di sosta termica (secondi)

T = temperatura di trattamento (° C)

FLASH-EVAPORAZIONE

La quantità di vapore culinario che si è condensata nella camera di infusione, deve essere eliminata per ripristinare la concentrazione di acqua originaria presente nel latte crudo; perciò, dopo la sterilizzazione, il latte caldo (a 143° C) viene inviato alla camera di espansione sottovuoto (recipiente con pressione pari a 0,4 bar assoluti) attraverso una valvola di laminazione, che ne riduce la pressione da 5 a 0,4 bar assoluti, ovvero alla stessa pressione presente nella camera di espansione.

Al contatto con la camera il latte ha una tensione di vapore di 5 bar, ovvero superiore alla pressione presente nella camera stessa, per cui si otterrà una situazione di disequilibrio, che si risolverà con l'evaporazione dell'acqua presente nel latte grazie all'assorbimento, sempre da parte dell'acqua che evapora, del calore latente del latte che rimane allo stato liquido.

L'evaporazione dell'acqua continua fino a quando il latte non raggiunge la temperatura di circa 75° C, ovvero la temperatura di pre-riscaldamento, che corrisponde ad una tensione di vapore di 0,4 bar assoluti: la tensione di vapore del latte, a questo punto, eguaglia la pressione totale della bolla con l'arresto del processo di evaporazione.

La pressione della camera di espansione deve rimanere pari a 0,4 bar, per cui il vapore che si è formato per evaporazione dell'acqua viene inviato ad un condensatore, dove condenserà a contatto con la parete fredda dei tubi, entro i quali scorre acqua fredda.

Tali condense vengono recuperate e pompate al generatore di vapore per poter essere trasformate in vapore culinario, necessario per un nuovo ciclo di sterilizzazione.

La fase di **flash-evaporazione**, o **flash-cooling** per il conseguente raffreddamento del prodotto, è importante anche per l'eliminazione degli off-flavour: i gas presenti in soluzione a pressione atmosferica si liberano nella camera di espansione, ma devono essere allontanati per evitare che la pressione della camera aumenti, con conseguente arresto precoce dell'evaporazione dell'acqua.

Si ricorre perciò ad una operazione di **degasatura**, grazie ad una pompa a vuoto posta alla fine del condensatore, che allontana i gas liberati. Tale pompa a vuoto ha il compito, prima di ogni ciclo di sterilizzazione, di asportare parte dell'aria atmosferica presente nella camera di espansione per ottenere la pressione di 0,4 bar assoluti.

OMOGENEIZZAZIONE

Il latte a 75° C viene inviato all'omogeneizzatore asettico per ottenere maggiore stabilità chimico-fisica: grazie ad una pompa a pistoni, il latte raggiunge una valvola di laminazione a circa 250 bar, con conseguente rottura dei globuli di grasso, che si disperdono in soluzione. L'attrito conseguente al passaggio del latte attraverso la valvola di laminazione comporta un surriscaldamento del prodotto di 2°- 4° C.

La riduzione delle dimensioni dei globuli di grasso impedirà l'affioramento della panna dopo il confezionamento del prodotto.

RAFFREDDAMENTO E STOCCAGGIO

In uscita dall'omogeneizzatore, il latte si trova ad una temperatura di circa 80° C e deve essere raffreddato prima del confezionamento, perciò viene pompato ad uno scambiatore a piastre, in cui avviene lo scambio termico tra il latte caldo

sterilizzato e l'acqua fredda derivata dallo scambio termico con il latte crudo da preriscaldare in ingresso. Infatti, il latte crudo che entra nello scambiatore di preriscaldamento a 5° si riscalda fino a 75°, mentre l'acqua calda a 78° uscirà dal preriscaldatore ad una temperatura di alcuni gradi superiore a 5°, dunque fredda sufficientemente per diventare il fluido di servizio freddo destinato al raffreddamento fino a 25° del latte già sterilizzato. Un ulteriore stadio di scambio termico con dell'acqua gelida, in una successiva sezione a piastre, potrà riportare il latte sterilizzato ad una temperatura inferiore a 25° (sottoparagrafo 4.1.3).

Il latte in uscita dall'impianto, ad una temperatura inferiore ai 25° C, viene stoccato in un serbatoio asettico: la sterilità del prodotto durante il passaggio tra l'impianto ed il serbatoio di stoccaggio è garantita dall'apertura di un gruppo di valvole aseptiche a doppia sede (A.P.V. modello DAX) ed il flusso è spinto da vapore acqueo. Nel serbatoio sono presenti sistemi di regolazione della pressione dell'aria sterile che occupa il volume vuoto, sensori di livello e di volume del latte contenuto.

Prima di essere riempito, il serbatoio deve essere sterilizzato con vapore acqueo a 145° C ed aria compressa sterile e pressurizzata a 3 bar; dopo il riempimento, la temperatura di conservazione del latte è mantenuta costante attraverso il circolo di acqua gelida (2° C) nella camicia di raffreddamento del serbatoio, mentre un agitatore asettico a pale mantiene l'uniformità del prodotto (A.P.V. [b], 2013).

4.2.1 Il confezionamento

Dopo il trattamento termico e le fasi di degasatura ed omogeneizzazione, il latte deve essere confezionato: tale operazione viene effettuata con l'impiego di confezioni ed impianti aseptici, al fine di mantenere la sterilità del prodotto.

La "Centrale del Latte di Vicenza" confeziona il latte a lunga conservazione in contenitori di cartoncino Tetra Pack tipo Tetra Brik Aseptic 500 Slim (capacità 1 l) e Tetra Brik Aseptic 1000 Square (capacità 0,5 l) tramite la macchina confezionatrice Tetra Pack® A3/Flex: i contenitori vengono formati e sterilizzati dalla macchina a partire da bobine laminari e sono costituiti da una struttura

multistrato composta da cartone (75%), che fornisce rigidità, polietilene (20 %), che li rende impermeabili ed alluminio (5%), che funge da barriera ad ossigeno e luce.

Dopo lo svolgimento della bobina laminare, il cartoncino viene sterilizzato grazie ad un bagno di perossido di idrogeno, in seguito viene asciugato da una serie di rulli spremitori ed infine riempito in un'area dell'impianto in cui non è presente aria, in modo da garantire la continua sterilità del prodotto. Ogni confezione viene tappata ed inviata attraverso un nastro trasportatore al palettizzatore, in cui vengono formati fardelli di cartone da 12 pezzi, successivamente riposti in magazzino fino alla loro distribuzione.

Dalla data di produzione a quella di distribuzione, devono trascorrere almeno 4 giorni, affinché siano effettuate le analisi di laboratorio necessarie per confermare l'avvenuta sterilizzazione del latte (Centrale del Latte di Vicenza [b], 2012)

4.2.2 La pulizia dell'impianto

Al termine di ogni operazione di trattamento termico, l'impianto subisce un lavaggio che ha lo scopo di eliminare i residui di latte all'interno di tubature e componenti, ma soprattutto di ripristinare le condizioni di sterilità necessarie per l'avvio di un nuovo ciclo di produzione.

Nonostante l'esecuzione del lavaggio corrisponda a quella descritta per gli impianti di produzione del latte fresco pastorizzato (vedere capitolo 3), l'impianto ad infusione di vapore ha un'unità C.I.P. indipendente e specifica; la pulizia viene effettuata ogni 10 ore circa, ovvero al termine di ogni ciclo di produzione giornaliera, nonostante l'impianto sia potenzialmente in grado di operare in sterilità per oltre 24 ore. La pulizia avviene secondo il seguente metodo:

- risciacquo iniziale con acqua;
- dosaggio di soda concentrata per l'ottenimento di una soluzione di lavaggio al 2,5-3% in peso di NaOH;
- lavaggio con la soluzione di NaOH a 90-95° C per 30 minuti;
- risciacquo con acqua;

- dosaggio di acido per l'ottenimento di una soluzione contenente 1,5-2% in peso di HNO₃;
- lavaggio con la soluzione di HNO₃ a 80-85° C per 20 minuti;
- risciacquo finale con acqua.

Terminato il lavaggio, l'impianto si arresta in automatico ed è pronto per operare nuovamente (A.P.V. [b], 2013).

4.3 La scelta dell'impianto

La “Centrale del Latte di Vicenza S.p.A.” possiede l'impianto per il trattamento termico U.H.T. ad infusione di vapore dal 2001: precedentemente si avvaleva, per la produzione di latte a lunga conservazione, di un impianto a scambio termico indiretto a piastre, ma la volontà di commercializzare un prodotto qualitativamente più vicino possibile al latte fresco pastorizzato ha spinto, in seguito ad accurate ricerche, verso l'acquisto dell'impianto descritto in precedenza.

Nel seguente paragrafo sono proposti i principali studi che l'azienda ha visionato prima della scelta, i quali mettono a confronto sia l'aspetto nutrizionale, sia l'aspetto organolettico, del latte trattato con diverse tipologie di impianti, a scambio termico diretto ed indiretto.

4.3.1 Tipologia di prodotto da trattare

Il primo aspetto fondamentale che deve essere tenuto in considerazione prima dell'acquisto di un impianto per il trattamento termico, è la tipologia di alimento che si deve produrre, in quanto ogni impianto è adatto per il trattamento di un certo numero di prodotti, ma inadatto per altri.

Come si può notare dalla tabella 4.4, il trattamento ad infusione è adatto per prodotti che posseggono elevata qualità nutrizionale ed organolettica (la quale non deve decadere in seguito al trattamento), per prodotti sensibili, ovvero prodotti

che subiscono un elevato danno chimico se riscaldati, ma è inadatto al trattamento di prodotti contenenti fibre.

TIPO DI IMPIANTO	PRODOTTI CONSIGLIATI	PRODOTTI NON CONSIGLIATI
Infusione Iniezione	Prodotti di alta qualità Prodotti sensibili Panna Gelato	Prodotti a basso costo Prodotti con fibre Caffé/The Aromi volatili
Tubolare	Prodotti a basso costo Aromi volatili Prodotti con fibre Succhi di frutta Caffé/The	
Piastre	Prodotti a basso costo Aromi volatili Succhi di frutta Caffé/The	Prodotti con fibre

Tabella 4.4 Prodotti adatti alle diverse tipologie di trattamento U.H.T. (Sito web A.P.V. [a], 2013).

Il latte è un alimento ricco di nutrienti, molti dei quali possono danneggiarsi in seguito ad un trattamento termico severo, inoltre non contiene fibre, per cui risulta adatto al trattamento ad infusione di vapore. Dalla tabella 4.4 si può inoltre notare che gli impianti a scambio termico indiretto sono adatti a trattare quasi la totalità dei prodotti alimentari, anche se è preferibile che tali prodotti non siano di qualità elevata, bensì di basso costo: questo aspetto svela il principale svantaggio dell'impianto ad infusione di vapore, ovvero l'alto costo di acquisto e di mantenimento, argomento che sarà trattato in seguito.

	0,1 – 1 mm	1 – 5 mm	6 – 25 mm
Infusione	+	-	-
Iniezione	+	+	-
Tubolare	+	+	+
Piastre	+	+	+

Tabella 4.5 Suddivisione dei trattamenti termici in base al diametro delle particelle contenute negli alimenti da trattare (Sito web A.P.V. [a], 2013)

Il diametro delle particelle che un alimento può contenere, se trattato con infusione di vapore, è compreso tra 0,1 e 1 millimetro, per cui il latte risulta nuovamente adatto a tale trattamento, in quanto i globuli di grasso contenuti in esso hanno un diametro compreso tra 1 e 10 μm (Tabella 4.5)(Corradini C., 1995).

A conferma di quanto affermato in precedenza, viene proposta un'indagine comparativa elaborata dall'azienda A.P.V., in cui sono confrontati i più comuni impianti di sterilizzazione, rapportati ad alimenti diversi.

Ad ogni alimento è attribuito un punteggio sulla base della minore o maggiore compatibilità con la tipologia di sterilizzatore, compreso tra 1 e 5, in cui il valore più basso corrisponde al più alto gradimento.

	Piastre	Tubolare	Iniezione	Infusione
Latte	3	3	2	1
Panna	3	3	2	1
Succhi di frutta	5	1	5	5
Latte di soia	3	3	2	1
Caffé e the	1	1	4	4

Valori scelti su una scala da 1 a 5: 1 = eccellente; 2 = buono; 3 = accettabile; 4 = possibile; 5 = non consigliabile.

Tabella 4.6 Confronto tra i più comuni impianti di sterilizzazione (Sito web A.P.V. [a], 2013).

Succhi di frutta, caffè e the ottengono un giudizio negativo se sterilizzati attraverso scambio termico diretto: i succhi di frutta sono composti da fibre che rendono difficoltoso il passaggio dell'alimento attraverso il distributore laminazione posto a monte della camera di infusione.

Il caffè ed il the sono invece alimenti che non subiscono rilevanti modificazioni nella composizione a seguito del riscaldamento, per cui l'acquisto di un impianto a scambio termico diretto risulta essere un investimento non giustificato.

Latte, panna e latte di soia, al contrario, vengono valutati in modo positivo se sterilizzati attraverso i sistemi ad iniezione ed infusione: tra i due metodi l'infusione risulta essere il più apprezzato, ottenendo l'eccellenza nel trattamento

di tali alimenti, in quanto è in grado di preservarne maggiormente le qualità nutrizionali ed organolettiche.

4.3.2. Analisi dei principali vantaggi e svantaggi offerti dall'impianto

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	VANTAGGI	LIMITI
<p>Infusione</p> <p>Iniezione</p>	<p>Riscaldamento gentile ed accurato</p> <p>Mantenimento accurato della temperatura</p> <p>Qualità superiore del prodotto</p> <p>Lungo tempo di autonomia</p>	<p>Alto costi di acquisto e manutenzione</p> <p>Basso livello di recupero del calore</p> <p>Presenza di vapore culinario</p> <p>Possibile surriscaldamento del prodotto</p>
Tubolare	<p>Alto livello di recupero del calore</p> <p>Trattamento di prodotti con fibre</p> <p>No guarnizioni</p> <p>Bassi costi di manutenzione</p>	<p>Livello di rigenerazione del calore inferiore del sistema a piastre</p> <p>Alto grado di usura</p>
Piastre	<p>Alto livello di recupero del calore</p> <p>Poco ingombro</p> <p>Investimento economico basso</p>	<p>Presenza di guarnizioni</p> <p>Cadute di pressione elevate</p>

Tabella 4.7 Principali vantaggi e svantaggi dei più comuni impianti per il trattamento U.H.T. (Sito web A..P.V. [a], 2013).

I principali vantaggi assicurati dall'impianto ad infusione diretta di vapore sono il trattamento termico rispettoso, che permette l'ottenimento di un prodotto di qualità elevata, l'accurato mantenimento della temperatura di sterilizzazione ed il lungo tempo di autonomia tra le fasi di pulizia dell'impianto.

A differenza degli impianti a scambio termico indiretto, però, l'infusione di vapore risulta essere un sistema a basso recupero energetico, che aggiunto agli elevati costi di acquisto e manutenzione, lo rendono una soluzione costosa, il cui

acquisto è giustificato unicamente dall'elevata quantità e qualità del prodotto finale.

Inoltre, nello scambio termico diretto, è impiegato vapore culinario, che richiede costi energetici per la sua generazione ed uno specifico monitoraggio per garantirne salubrità e qualità.

Segue un'analisi in dettaglio dei singoli vantaggi e svantaggi riassunti in precedenza, sulla base di studi effettuati unicamente sul latte, essendo il prodotto trattato dall'azienda "Centrale del Latte di Vicenza".

4.3.2.1 Trattamento rispettoso del prodotto

Per valutare la severità di un trattamento termico nei confronti del latte, è possibile stimare l'entità di danno chimico C^* (C^* star), il quale esprime il livello di vitamina tiamina denaturata per unità di peso di prodotto.

C^* è pari ad 1 se il contenuto di tiamina denaturata è del 3% p/p, equivalente ad un trattamento condotto a 135°C per 30,5 secondi, con un valore di z per la vitamina pari a $31,4^\circ\text{C}$; un processo U.H.T. si può ritenere tanto più soddisfacente, quanto più basso risulta il valore di C^* , il quale deve essere inferiore ad 1 (Kessler, 1981).

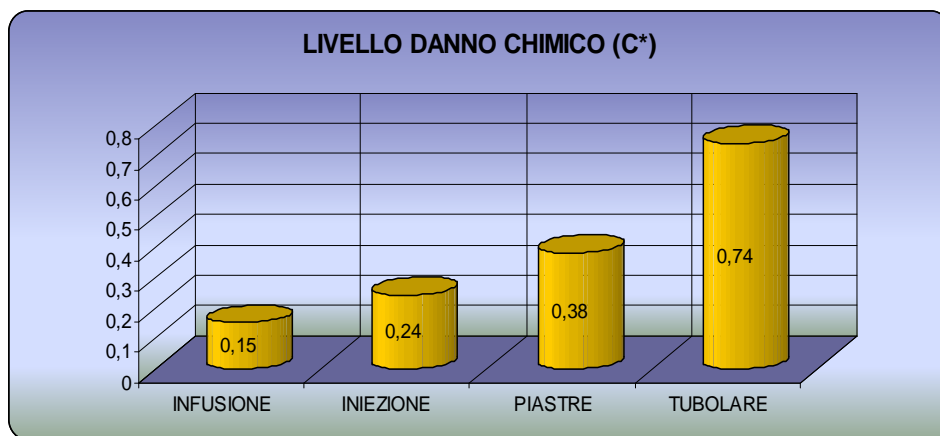


Figura 4.3 Livello di danno chimico (Sito web A.P.V. [a], 2013).

L'analisi di quattro campioni di latte con stessa composizione biochimica, ma sterilizzati con metodi diversi, dimostra che il latte trattato con infusione diretta di vapore presenta un C^* pari a 0,15, ovvero inferiore agli altri campioni, che si attestano su valori di 0,24 per il metodo ad iniezione di vapore, 0,38 per quello a piastre e 0,74 per il tubolare.

Il valore C^* è calcolato in seguito al processo di sterilizzazione, il quale è stato tarato per ottenere B^* (effetto batteriologico) pari ad 1, corrispondente ad un trattamento termico a 135°C per 10,1 secondi, al fine di ottenere una riduzione delle spore, con z pari a $10,5^\circ\text{C}$, dell'ordine di 10^9 per unità di prodotto (Kessler, 1981).

Se il valore di C^* supera 1, il latte potrebbe aver subito un eccessivo danno chimico durante il trattamento di risanamento, che si manifesta con la formazione di aromi indesiderati, perdita di nutrienti e, in casi estremi, con l'imbrunimento del prodotto (Tran, 2008).

Dal punto di vista della modificazione del colore, uno studio condotto su 22 differenti impianti U.H.T. (17 indiretti e 5 diretti) ha dimostrato che il livello medio di imbrunimento totale del latte, espresso come tempo equivalente alla temperatura di 121°C , è pari a 185 secondi per il latte trattato con scambio termico indiretto, mentre si attesta su un valore medio di 82 secondi per quello risanato con scambio termico diretto (Tran, 2008).

E' doveroso ricordare che una significativa modificazione del colore è visibile se l'imbrunimento totale è pari a 400 secondi, corrispondente ad un trattamento termico condotto a 121°C per 400 secondi, per cui nessun campione analizzato supera tale soglia di rilevazione di modificazione del colore (Browning ed al., 2001; Fink & Kessler, 1988).

Un altro importante aspetto che evidenzia il principale vantaggio dell'infusione diretta di vapore, è il contenuto di β -lattoglobulina (sieroproteina) che rimane inalterato in seguito al trattamento termico: il latte crudo contiene mediamente 3.400 mg/l di β -lattoglobulina, tale valore si riduce in maniera tanto più rilevante, quanto più severo è il trattamento termico (Corridi C., 1995).

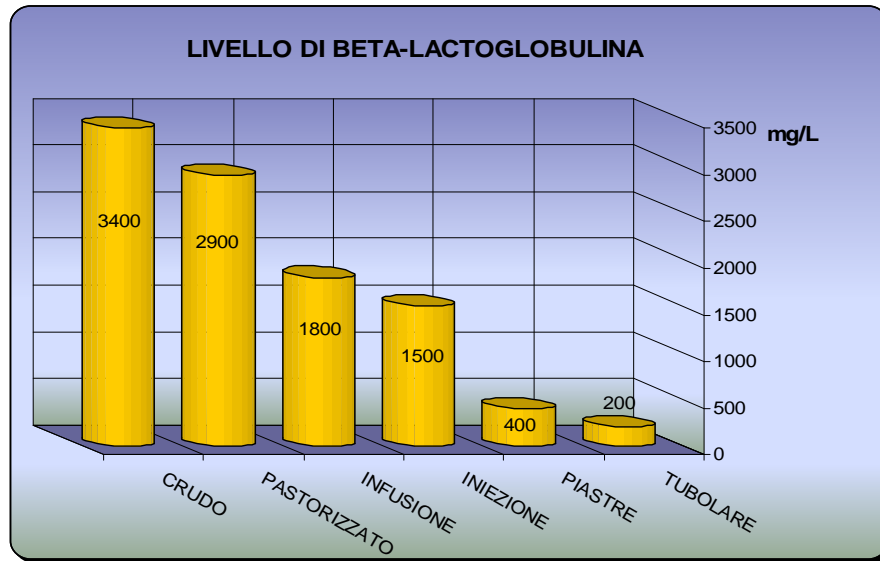


Figura 4.4 Livello di β -lattoglobulina nel latte (Sito web A.P.V [a], 2013).

I metodi di sterilizzazione indiretta a piastre e tubolari riducono il quantitativo di sieroproteina non denaturata rispettivamente a 400 e 200 mg/l, mentre il metodo diretto ad iniezione di vapore ne garantisce un contenuto pari a 1.500 mg/l.

Il metodo ad infusione di vapore risulta ancora una volta il migliore nel rispettare la composizione biochimica originaria del latte, riducendo il contenuto di β -lattoglobulina a 1.800 mg/l, valore che si avvicina maggiormente ai 2.500 mg/l del latte fresco pastorizzato, rispetto agli altri trattamenti termici sterilizzanti.

4.3.2.2 Stabilità del calore

Nell'ambito dell'analisi comparativa condotta dall'azienda A.P.V. sui più diffusi impianti di sterilizzazione, sono stati valutati anche altri aspetti, oltre alla maggiore o minore compatibilità con gli alimenti da trattare.

La tabella 4.10 evidenzia che l'impianto per l'infusione diretta di vapore, con una variabilità massima della temperatura di trattamento dello 0,5%, viene giudicato eccellente nel mantenere stabile il livello di calore implicato nello scambio termico, garantendo maggiore efficienza rispetto agli altri sistemi presi in esame.

L'efficacia di sterilizzazione è equivalente per tutti e quattro gli impianti, in quanto sono stati progettati per ottenere lo stesso grado di sterilità commerciale imposto dalla legislazione.

	PIASTRE	TUBOLARI	INIEZIONE	INFUSIONE
Stabilità del calore	3	3	2	1
Efficacia di sterilizzazione	1	1	1	1
Manutenzione	2	1	2	2

Tabella 4.10 Confronto tra i più diffusi impianti per il trattamento U.H.T. (Sito web A.P.V. [a], 2013).

Per quanto riguarda la ricorrenza delle manutenzioni ordinarie, lo sterilizzatore tubolare risulta essere la soluzione che ne necessita in misura minore, mentre gli altri sterilizzatori richiedono più interventi annui.

Nonostante l'impianto ad infusione ottenga in questo ambito lo stesso punteggio degli sterilizzatori ad iniezione e a piastre, il costo per la sua manutenzione è però maggiore; tale aspetto negativo sarà trattato in seguito.

4.3.2.3 Tempo di autonomia

Durante l'operazione di sterilizzazione U.H.T. di un alimento, è fondamentale monitorare l'asetticità dell'impianto, affinché il trattamento si possa ritenere corretto.

Dopo alcune ore di funzionamento, un impianto di sterilizzazione necessita di un arresto con successiva pulizia per ripristinare la condizione di asepticità che potrebbe non essere più garantita. Mediamente un impianto per il trattamento U.H.T. indiretto può rimanere in funzione per 12-16 ore tra una fase di pulizia e l'altra, mentre l'impianto ad infusione diretta di vapore dell'azienda A.P.V. può operare per oltre 24 ore senza necessità di arresto (Sito web A.P.V. [a], 2013).

Tale differenza è giustificata dalla formazione di depositi sulle superfici degli scambiatori termici indiretti, che comporta una diminuzione dell'efficienza dell'impianto, con una minor garanzia igienico-sanitaria.

Gli impianti per il trattamento termico diretto non sono soggetti a formazione di depositi, in quanto sono stati progettati per sterilizzare alimenti contenenti particelle di diametro massimo pari ad 1 millimetro, ovvero con solidi in dispersione di piccolissime dimensioni. Nello scambio termico indiretto, invece, è possibile trattare alimenti contenenti particelle con diametro di oltre 25 millimetri: lo scorrimento di tali fluidi all'interno delle strutture metalliche dello scambiatore a piastre porta alla formazione di depositi che rendono inoltre difficoltose le operazioni di pulizia (Sito web A.P.V. [a], 2013).

4.3.2.4 Costi

I moderni impianti di sterilizzazione vengono progettati affinché sia possibile ottenere un recupero energetico, con un conseguente risparmio economico. Per la spiegazione del sistema di recupero energetico si rimanda al capitolo 2.

I sistemi per il trattamento termico indiretto possono presentare una percentuale di recupero energetico pari all' 80-85%, mentre l'impianto ad infusione diretta di vapore utilizzato dalla "Centrale del Latte di Vicenza", ha una capacità di recupero energetico solamente del 40% (Sito web A.P.V. [a], 2013).

La presenza di componenti complessi e soggetti ad usura, di elementi supplementari, come l'omogeneizzatore astatico e la camera di espansione, oltre al basso livello di recupero energetico, apportano all'impianto ad infusione costi di acquisto e di manutenzione più alti rispetto agli altri impianti presenti sul mercato.

Nel seguente grafico sono riportati i costi energetici in Euro (conversione dal Dollaro americano al tasso di cambio del 1.7.2013) relativi alla produzione di 100 litri di latte, dei quattro impianti U.H.T. presi in esame in precedenza, operanti alla capacità di 10.000 litri/ora.

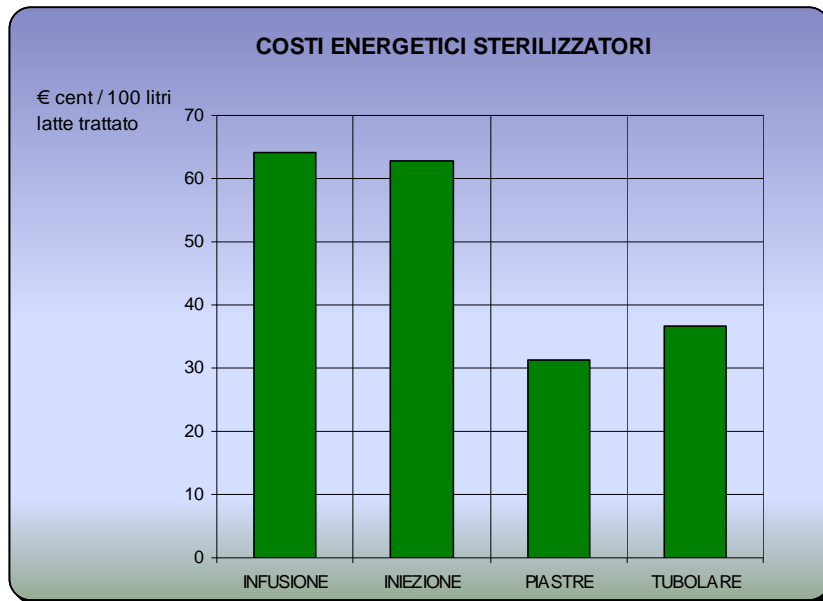


Figura 4.5 Costi energetici calcolati sulla base di:

- 10 ore lavorative al giorno, 300 giorni all'anno;
- costi di vapore, energia, acqua e manutenzione (ogni 2500 ore di attività) al prezzo stabilito in Danimarca;
- costi del C.I.P. inclusi.

(Sito web A.P.V. [a], 2013).

Mentre i sistemi a piastre e tubolari hanno un costo compreso tra 30-40 centesimi di Euro ogni 100 litri di latte prodotti, i sistemi a scambio termico diretto hanno costi maggiori, pari a 62-64 centesimi di Euro. Confrontando il metodo ad iniezione con il metodo ad infusione, il secondo risulta essere il più dispendioso, superando il primo di alcuni centesimi di Euro.

4.3.3 Analisi sperimentale condotta sull'impianto SDH

La "Centrale del Latte di Vicenza" ha svolto un'analisi di tipo biochimico su campioni di latte a proprio marchio, per valutare l'effettiva superiorità nel rispetto del prodotto dell'impianto ad infusione di vapore SDH, confrontando i propri dati con quelli misurati a partire da campioni di latte sterilizzati con il più diffuso

sistema per il trattamento termico indiretto a fascio tubero, lo Stork Sterideal dell'azienda Stork.

I campioni di latte sono stati trattati con diverse combinazioni di tempo, temperatura e portata dell'impianto; in seguito per ognuno di essi è stato misurato il contenuto in:

- lattulosio;
- furosina;
- sieroproteine non denaturate.

Impianto Stork Sterideal (a)

PRODOTTO	TEMPERATURA (°C) SOSTA (s) PORTATA (l/h)	LATTULOSIO (mg/l)	FUROSINA (mg/100 g proteine)	SIEROPROTEINE TOTALI (% su proteine totali)
Latte intero U.H.T.	140° C 3 secondi 13.000 l/h	> 290 (< 500)	> 120	<7

Impianto SDH (b)

PRODOTTO	TEMPERATURA (°C) SOSTA (s) PORTATA (l/h)	LATTULOSIO (mg/l)	FUROSINA (mg/100 g proteine)	SIEROPROTEINE TOTALI (% su proteine totali)
Latte intero U.H.T.	145° C, 2'' 5.000 l/h	< 50	< 20	< 12
Latte P.S. U.H.T.	148° C, 2'' 5.000 l/h	< 80	< 30	9
	148° C, 3,8'' 7.000 l/h		< 50	7
Latte intero U.H.T.	148°, 6'' 5.000 l/h		< 70	> 6
Latte P.S. U.H.T.	150° C, 2'' 5.000 l/h		< 60	7
	150° C, 2'' 7.000 l/h		< 50	< 9

Tabella 4.11 Lattulosio, furosina e sieroproteine non denaturate contenuti nel latte trattato con impianto Stork Sterideal (a) e con l'impianto SDH (b) (Centrale del Latte di Vicenza [b], 2012).

Il contenuto massimo di lattulosio consentito dalla legge è di 600 milligrammi/litro: il trattamento ad infusione provoca una formazione di lattulosio

inferiore a 50 mg/l, se condotto a 145° C per 2 secondi, valore che sale fino ad 80 mg/l se viene aumentata la temperatura, il tempo di sosta e la portata.

Tali valori sono nettamente inferiori a quelli misurati nel latte trattato con lo Stork Sterideal, che si attestano tra 250-500 mg/l.

Il secondo parametro misurato è l'indicatore di trattamento termico furosina, che non deve superare i 200 mg su 100 g di proteine: il trattamento con lo scambiatore tubolare provoca la formazione di oltre 120 mg/100 g di proteine, mentre i test sperimentali condotti dalla "Centrale del Latte di Vicenza" hanno evidenziato che l'infusione diretta di vapore riduce notevolmente la formazione di furosina, la quale è inferiore a 20 mg nel caso in cui il trattamento avvenga a condizioni blande ed inferiore a 70 mg se il latte è trattato a 148° C per 3,8 secondi alla capacità di 7.000 l/h.

Ricordiamo che la furosina si forma per idrolisi acida del composto di Amadori durante le prime fasi della reazione di Maillard, per cui la sua maggiore o minore presenza è indice anche del livello di modificazione del gusto del latte a seguito del risanamento, in particolare ne evidenzia il possibile gusto di cotto, legato alla formazione di ossimetilfurfurolo durante la reazione di Maillard; da ciò si può dedurre che l'infusione diretta di vapore permette di ottenere un latte con minore gusto di cotto rispetto a quello trattato con gli altri metodi U.H.T (Cappelli P. e Vannucchi V., 2005).

Infine è stato calcolato il contenuto delle sieroproteine non denaturate di ogni campione, ottenendo anche in questo caso ottimi risultati: il contenuto di sieroproteine non denaturate nel latte fresco pastorizzato non deve essere inferiore al 14% delle proteine totali e, come si può notare dalla tabella 4.11, il latte U.H.T. che maggiormente si avvicina al latte fresco pastorizzato è quello trattato ad infusione diretta di vapore a 145° C per 2 secondi, alla portata di 5.000 l/h, il quale contiene una percentuale di sieroproteine di poco inferiore a 12. Altre combinazioni di tempo, temperatura e portata ne riducono il contenuto, fino ad avvicinarsi al livello di sieroproteine non denaturate rilevato nel latte trattato con lo Stork Sterideal, di poco inferiore al 7% delle proteine totali.

CONCLUSIONI

In questo elaborato sono stati analizzati in primo luogo gli aspetti impiantistici dell'infusore di vapore posseduto dall'azienda "Centrale del Latte di Vicenza", i quali hanno evidenziato la presenza di componenti aggiuntivi rispetto agli altri sistemi per la sterilizzazione del latte: tali componenti necessitano di manutenzioni più onerose, che aggiunte agli alti consumi energetici, rendono l'impianto descritto il più costoso sul mercato, attestandosi su valori medi di 64 centesimi di Euro per la produzione di 100 litri di latte U.H.T.

Gli alti costi di acquisto, di manutenzione ed energia richiesta, sono giustificati dall'elevata qualità nutrizionale riscontrata nel prodotto finito, molto vicina a quella del latte fresco pastorizzato.

Dall'analisi condotta sui campioni di latte a marchio "Centrale del Latte di Vicenza" è infatti risultato che il contenuto in sieroproteine totali non denaturate è di poco inferiore al 12% delle proteine totali, valore prossimo al 14% di sieroproteine non denaturate necessarie per la commercializzazione del latte fresco pastorizzato.

Un altro aspetto positivo è rappresentato dal quantitativo di lattulosio e di furosina prodotto durante il trattamento di sterilizzazione, nettamente inferiore a quello formato nel corrispondente trattamento condotto mediante scambio termico indiretto.

Dal punto di vista organolettico, il latte U.H.T. prodotto attraverso infusione diretta di vapore presenta un minor gusto di cotto rispetto agli altri latti U.H.T. in commercio, in quanto la reazione di Maillard risulta essere meno rilevante, inoltre è in grado di conservare maggiormente il tipico colore bianco opalescente dell'alimento crudo, presentando un livello di imbrunimento totale inferiore al latte trattato con scambio termico indiretto.

In conclusione si può affermare che la scelta di acquistare un impianto per il trattamento U.H.T. del latte ad infusione diretta di vapore da parte della "Centrale del Latte di Vicenza" è stata spinta dalla necessità di ottenere un prodotto che presenti un elevato grado qualitativo finale, non solo nella composizione

biochimica mantenuta in seguito al processo, ma anche dal punto di vista organolettico e sensoriale, aspetto che il consumatore è in grado di percepire ed apprezzare in maniera più immediata.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- 1929. Regio Decreto 9.5.1929 n. 994. Approvazione del regolamento sulla vigilanza igienica del latte destinato al consumo diretto. Gazzetta Ufficiale n. 146, 24.6.1929.
- 1989. Decreto legge 3.5.1989 n. 169. Disciplina del trattamento e della commercializzazione del latte alimentare vaccino. Gazzetta Ufficiale n. 108, 11.5.1989.
- 1992. Decreto legge 27.1.1992 n. 109. Attuazione delle direttive n. 89/395/CEE e n. 89/396/CEE concernenti l'etichettatura, la presentazione e la pubblicità di prodotti alimentari. Gazzetta Ufficiale n. 31, 17.2.1992.
- 2002. Decreto legge 17.6.2002. Trattamento di microfiltrazione nel processo di produzione del latte alimentare. Gazzetta Ufficiale n. 178, 31.7.2002
- 2004. Decreto legge 24.6.2004 n. 157. Disposizioni urgenti per l'etichettatura di alcuni prodotti agroalimentari, nonché in materia di agricoltura e pesca. Gazzetta Ufficiale n. 147, 25.6.2004.
- 2004. Regolamento CE 29.4.2004 n. 853. Norme specifiche in materia di igiene per gli alimenti di origine animale. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee n. L 139/55, 30.4.2004.
- 2008. Ordinanza del Ministero della Salute 10.12.2008. Misure urgenti in materia di produzione, commercializzazione e vendita diretta di latte crudo per l'alimentazione umana. Gazzetta Ufficiale n. 10, 14.1.2009.
- Agostini V. 2012. Comunicazione personale

- APV S.p.A. [a]. 2013. www.apv.com.
- APV S.p.A. [b]. 2013 Dati non pubblicati. Documentazione tecnica impianto SDH.
- Browning E., Lewis M. e MacDougall D. 2001. Predicting safety and quality parameters for U.H.T.-processed milks. *International Dairy Journal* n. 54 (citato da H. Tran, N. Datta, M.J. Lewis e H.C. Deeth. 2008. Prediction of some product parameters based on the processing conditions of ultra-high-temperature milk plants. *International Dairy Journal* n. 18).
- Cappelli P. e Vannucchi V. 2005. *Chimica degli alimenti: conservazione e trasformazioni*. Zanichelli.
- Centrale del Latte di Vicenza S.p.A. [a]. 2013. www.centralelattevicenza.com.
- Centrale del Latte di Vicenza S.p.A. [b]. 2012. Dati non pubblicati:
 - Procedura: Trattamento e confezionamento latte fresco pastorizzato
 - Procedura: Trattamento e confezionamento latte U.H.T.
 - Specifiche tecniche commerciali di prodotto finito: latte U.H.T intero (1L) Vicenza - CLVI.
 - Organigramma aziendale e struttura stabilimento
- Corradini C. 1995. *Chimica e tecnologia del latte. Tecniche nuove*.
- CTF Rossi e Catelli S.p.A. 2013. www.ctfrossicatelli.com
- Friso D. e Niero M. 2010. *Operazioni unitarie dell'ingegneria alimentare: modelli fisici e matematici – macchine e impianti*. CLEUP.
- Giacomini A. 2011. *Appunti di lezione Microbiologia degli alimenti – Corso di laurea in Scienze e tecnologie alimentari*.

- H. Tran, N. Datta, M.J. Lewis e H.C. Deeth. 2008. Prediction of some product parameters based on the processing conditions of ultra-high-temperature milk plants. *International Dairy Journal* n. 18 (939-944).
- Hamberg L. e Innings F. 2011. Steam condensation dynamics in annular gap and multi-hole steam injectors. *Procedia Food Science* n. 1.
- HRS – heat exchangers. 2013. www.hrs-heatexchangers.com.
- Kessler H.G. 1981. *Food engineering and dairy technology*. Verlag A. Kessler (citato da H. Tran, N. Datta, M.J. Lewis e H.C. Deeth. 2008. Prediction of some product parameters based on the processing conditions of ultra-high-temperature milk plants. *International Dairy Journal* n. 18).
- Kessler H.G. e Fink R. 1986. Changes in heated and storage milk with an interpretation by reaction kinetics. *Journal of Food Science* n. 51 (citato da H. Tran, N. Datta, M.J. Lewis e H.C. Deeth. 2008. Prediction of some product parameters based on the processing conditions of ultra-high-temperature milk plants. *International Dairy Journal* n. 18).
- Pasini G. 2010. *Appunti di lezione Tecnologie delle trasformazioni dei prodotti di origine animale – Corso di laurea in Scienze e tecnologie alimentari*.
- Salvatori del Prato O. 2005. *Tecnologie del latte*. Edagricole.
- Tranter. 2013. www.tranter.com.