



Improvement of Production and Management Processes in Dairy-Cheese Sector and Dairy waste Management” [Why-Whey], 2014-1-TR01-K202- 012957

#### **Manuale sul SIERO di LATTE**

##### **Autori**

Aydin sheep and goat breeding association

Dr. Murat Aydın, Dr. A. Demet Karaman

Çanakkale Onsekiz Mart University: Dr. Kemal Çelik, Dr. Harun Baytekin, Dr. Zerrin Yüksel Önür, Dr. Ahmet Uzatıcı, Dr. Baver Coşkun, Dr. Halis Kalmış, M.Sc Hilal Çelik

Balikesir University: Dr. Ergün Demir, Dr. Hüseyin Eseceli Dr. Adem Kabasakal

Foundation of Knowledge: Dr. Imre Mucsi

Cia Umbria: Dr. Massimo Canalicchio, Andrea Palomba Arid

Lacjum : Maciej Dymacz, Wioletta Zcerantowicz

Eurocultura: Luciana Levi Bettin, Bernd Faas, Dalmar Mohamed Ali

*Finanziato dal programma Erasmus+ dell'Unione Europea. La Commissione Europea e l'Agenzia Nazionale della Turchia non possono in alcun modo essere ritenute responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni qui contenute.*

<http://www.whey-europe.eu/>

# **Tutti gli aspetti del siero del latte**

Parte I

A cura del Prof. Dr. Kemal Çelik



# **TUTTI GLI ASPETTI DEL SIERO DI LATTE**

## **Parte I**

**A cura del Prof. Dr. Kemal Çelik**

© “Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, distribuita o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, compresa la fotocopia, la registrazione, o altri metodi elettronici o meccanici, senza il previo consenso scritto dell'editore”



# Sommario

Sommario .....	3
1. INTRODUZIONE.....	5
1.1 Componenti e sostanze nutritive del latte .....	5
1.2 Produzione del latte vaccino.....	12
2. ACQUE REFLUE CASEARIE E SIERO.....	16
2.1 Storia del siero .....	17
2.2 Decreti legislativi relativi all'uso di siero di latte .....	18
2.3 Rilascio del siero di latte durante la produzione del formaggio .....	18
2.4 Rilascio di siero durante la produzione della caseina. ....	20
2.5 Tipi di siero e i suoi componenti.....	22
2.6 Aspetti generali dell'industria del siero .....	24
2.7. Siero; da effluente a prodotti pregiati .....	26
2.8. Fattori condizionanti la qualità di prodotti di siero .....	28
3. LAVORAZIONE DEL SIERO: utilizzo e principali prodotti ..	31
3.1. Utilizzo di siero di latte nell'industria alimentare .....	31
3.2. Prodotti principali: la polvere di siero di latte .....	38
4. PRODOTTI INNOVATIVI A BASE DI SIERO DI LATTE .....	57

4.1 Acido lattico .....	57
4.2 Alcol etilico - etanolo .....	57
4.3 Proteine da cellule singole (SCP) .....	58
4.4 Biogas.....	59
4.5 Bioplastiche .....	60
4.6 Colture starter .....	62
4.7. Altri prodotti biologici.....	62
 5. PROPRIETÀ NUTRIZIONALI DEL SIERO E DEI SUOI DERIVATI. ....	65
5.1 Metodi di misura dei parametri di siero. ....	65
5.2 I componenti del siero .....	70
5.3. Struttura e funzionalità delle sieroproteine. ....	79

# 1. INTRODUZIONE

**Autori:** Dr. Murat Yılmaz, Dr. A. Demet Kahraman  
Adnan Menderes University

## 1.1 Componenti e sostanze nutritive del latte

Il latte è definito come un liquido biologico bianco con sapore e odore unici prodotto dalle ghiandole mammarie dei mammiferi per un periodo di tempo variabile a seconda del tipo di animale che contiene tutte le sostanze nutritive, in proporzioni appropriate, necessarie per la crescita e lo sviluppo dei piccoli. Le definizioni legali, invece, comprendono anche i nutrienti che il latte dovrebbe avere come alimento umano.

Secondo Turkish Raw Milk Standard (TS) No. 1018, il latte è definito come un liquido, color bianco o crema con proprio gusto e consistenza, che viene prodotto dalle ghiandole mammarie di mucche, pecore, capre e bufale, che non è miscelato con altri liquidi e da cui nessuna sostanza nutritiva viene estratta. Secondo Turkish Food Codex, il latte grezzo è un liquido prodotto da una o più mucche, pecore, capre o bufale, ad eccezione del colostro, che non è stato riscaldato oltre 40°C oppure elaborato in un processo simile.

Il nome del latte proviene dall'animale da cui è stato munto, quindi, latte di mucca, latte di bufala. Il latte vaccino è una materia prima di molti prodotti, tra cui principalmente il latte alimentare, è la prima cosa che viene in mente quando si dice la parola "latte". Il tipo di latte consumato cambia a seconda della cultura della società in cui viene consumato.

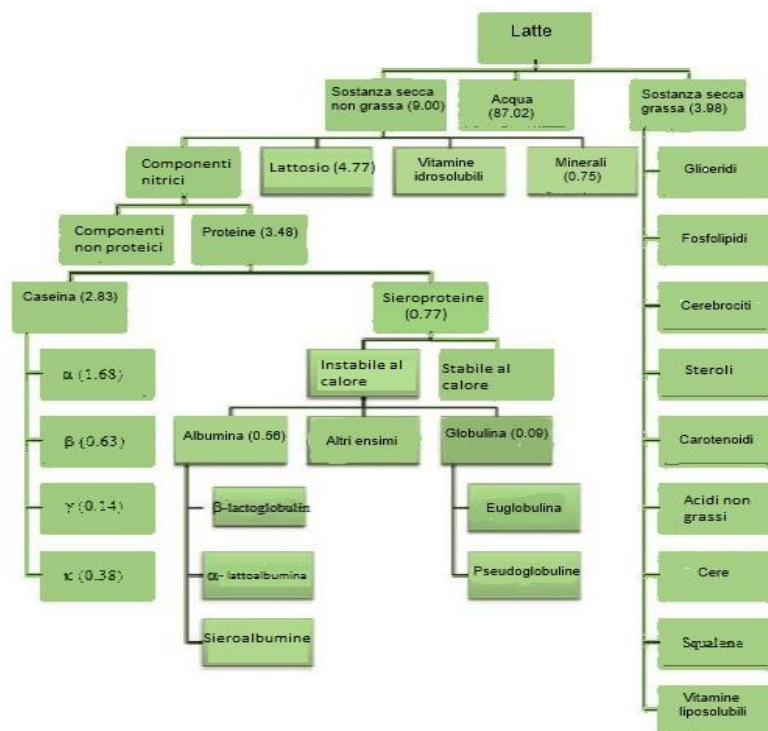
Tuttavia, anche se in Turchia il latte vaccino viene associato con la parola “latte”, ci sono 4 diversi tipi di latte: vaccino, pecorino, caprino e bufalino. Latte prodotto da mucche, pecore, capre, cammelli ecc. è usato nell'alimentazione umana.

Le sostanze nutritive del latte cambiano a seconda dell'animale da cui viene acquisito. Il latte vaccino è il più consumato nel mondo. È composto per l'88% di acqua e contiene più di 100 componenti. Il latte e i latticini sono un'ottima fonte di proteine, calcio, fosforo, vitamina A, alcune vitamine B (specialmente riboflavina, vitamina B12).

Il latte prodotto subito dopo il parto, è il primo latte chiamato colostro. Il colostro è più ricco di sostanze nutritive del latte normale. Gli elementi immunoprotettivi del colostro sono molto importanti.

Il latte è composto dallo zucchero del latte (lattosio), grasso del latte, proteine del latte, sali minerali e vitamine.

Il latte contiene molta acqua ed è una miscela di grassi, caseina, lattoglobuline, lattoalbumine, lattosio e materiali minerali che passano dal sangue attraverso i tessuti. Il latte contiene più di centomila molecole.



**Figura 1.1** Componenti del latte

Gli ingredienti del latte sono: il grasso sotto forma di globuli in emulsione, proteine dislocate in stato colloidale (caseina), lattosio solubile e proteine solubili. Anche diversi minerali, vitamine, enzimi, composti organici e gas fanno parte degli ingredienti del latte. Gli ingredienti del latte variano a seconda del tipo e razza dell'animale.

La tabella 1.1 mostra i principali ingredienti del latte di diversi animali.



**Tabella 1.1** Composizione chimica del latte vaccino, pecorino, caprino, bufalino (g/100g di latte)

Composizione	Latte vaccino	Latte pecorino	Latte caprino	Latte bufalino
Acqua	87.5	81.7	86.9	82.5
Grassi	3.6	6.9	4.0	7.9
Lattosio	4.7	4.8	4.6	4.5
Proteine	3.3	5.6	3.6	4.2
Minerali	0.9	1.0	0.9	0.9

**Tabella 1.2** Componenti del latte nelle diverse razze vacche (g/100g di latte)

Razza	Grassi	Proteine	Lattosio	Cenere	Totale sostanza secca
Holstein	3.54	3.29	4.68	0.72	12.16
Ayrshire	3.95	3.48	4.60	0.72	12.77
Guernsey	4.72	3.75	4.71	0.76	14.04
Jersey	5.13	3.98	4.83	0.77	14.42
Brown Swiss	3.99	3.64	4.94	0.74	13.08

Il latte è un alimento fondamentale della dieta umana grazie alle sue caratteristiche e alla sua composizione chimica. Contiene gran parte degli ingredienti nutritivi. Le proteine del latte sono un'importante fonte di aminoacidi (che non possono essere sintetizzati nel corpo umano) e sono presenti nel latte in modo sufficiente e bilanciato. Includono anche altri importanti aminoacidi come la lisina. Di conseguenza i latticini consumati insieme ad alcuni cibi (come farina, mais, patata), migliorano i valori biologici di essi.

Il latte e i suoi derivati contengono un bilanciato livello di essenziali (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina, arginina) e non essenziali (alanina, acido aspartico, cistina, acido glutammico, glicina, prolina, serina, tirosina) aminoacidi che fanno parte della struttura delle proteine. Il lattosio, la cui unica fonte è il latte, è fondamentale nella fisiologia della nutrizione. Svolge un importante ruolo nella formazione e protezione della naturale flora intestinale.

Poiché viene digerito lentamente, influisce positivamente sul funzionamento dell'intestino e previene il rapido aumento del livello di glucosio nel sangue. L'acido lattico aiuta l'assorbimento del calcio e del magnesio dall'intestino e diminuisce l'accumulo di grassi nel fegato. Il latte vaccino e pecorino contiene circa il 4.5% di lattosio. Grazie alla sua solubilità penetra nel siero, da cui poi può essere estratto.

Il lattosio viene metabolizzato da alcuni microorganismi che determinano il livello di acidità del latte. Oltre ad essere una ricca fonte di energia, il latte vaccino contiene un'importante quantità di vitamine liposolubili (vitamina A, D, E, K) e di acidi grassi essenziali (linoleico, linolenico e arachidonico). Essi hanno un ruolo fondamentale nella formazione del sapore e struttura del latte e dei suoi derivati. Inoltre, il grasso del latte è più digeribile grazie alla

presenza nella sua struttura di un'elevata quantità di acidi grassi a corta e media catena. Il colore giallastro del grasso del latte è determinato dalla presenza del carotene, mentre la riboflavina dà al grasso un colore fluorescente.

Nel latte con meno grasso, anche la quantità delle vitamine disciolte è minore. Il latte scremato contiene un basso livello di vitamine D e K. Nel latte sono presenti anche le vitamine idrosolubili. È considerato come una buona fonte di acido folico grazie alla presenza del folato. Tuttavia, un trattamento termico non controllato del latte potrebbe diminuire la quantità di vitamine.

Per quanto riguarda il materiale minerale, il latte è la più importante fonte di calcio e fosforo. Senza consumare latte e latticini, ad eccezione del burro, non sarebbe possibile soddisfare il fabbisogno giornaliero di calcio (800 – 1200mg). Il latte è anche una buona fonte di magnesio, potassio, zinco ecc.

La quantità dei minerali presenti nel latte è determinata da diversi fattori quali le condizioni fisiologiche del animale, le condizioni di lattazione, i fattori ambientali e genetici ma anche da alcuni trattamenti del latte.

**Tabella 1.3** Media degli ingredienti di latte grezzo (in 100 g di latte)

<b>Vitamine</b>	Vit. B12 (µg)	Niacina (mg)	Acido pantotenico (mg)	Vit. C (mg)	Vit. E (mg)
<b>Quantità</b>	0.50	0.09	0.36	2.0	0.12

<b>Ingredienti</b>	Energia (kcal)	Grassi (g)	Proteine (g)	Lattosio (g)	Acqua (g)
<b>Quantità</b>	69	3.8	3.3	4.8	87.2

<b>Aminoacidi essenziali</b>	Triptofano	Fenilalanina + Tirosina	Leucina	Isoleucina
<b>Quantità (g)</b>	0.05	0.35	0.34	0.21

<b>Aminoacidi essenziali</b>	Treonina	Metionina	Lisina	Valina
<b>Quantità (g)</b>	0.17	0.12	0.27	0.22

<b>Minerali</b>	Ca	P	Mg	K	Na	Cl
<b>Quantità (g)</b>	0.12	0.10	0.12	0.15	0.05	0.10

<b>Vitamine</b>	Vit. A (mg)	Carotene (mg)	Vit. B1 (mg)	Vit. B2 (mg)	Vit. B6 (mg)
<b>Quantità</b>	0.06	0.02	0.04	0.17	0.05

## 1.2 Produzione del latte vaccino

Secondo i dati pubblicati dalla FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) il numero totale di bovini al mondo è cresciuto nel 2012 di 0.9% rispetto all'anno precedente e ammonta a circa 1.5 miliardi.

**Tabella 1.4** Numero di mucche da latte in EU, USA e Turchia (milioni) (FAOSTAT, 2015)

Paese	2008	2009	2010	2011	2012
EU	24,193	23,658	23,107	22,868	23,028
USA	9,315	5,431	9,119	9,194	9,223
TURCHIA	4,080	4,133	4,384	4,761	5,431

Il latte vaccino costituisce l'83% della produzione mondiale di latte. Nel 2011 la produzione è aumentata del 2,7% rispetto all'anno precedente, mentre l'aumento della produzione nel 2012 è stato pari al 2,1 %. Nel 2012 la produzione di latte vaccino e bovino è aumentata del 2,6% pari a 739 milioni di tonnellate. Il 54% della totale produzione mondiale del latte vaccino e bovino viene da Asia ed Europa.

Secondo la valutazione della FAO, la produzione totale di latte è pari a 738,9 milioni di tonnellate e nel 2012 è aumentata del 2%, raggiungendo circa 754 milioni di tonnellate.

**Tabella 1.5** I paesi leader nella produzione di latte vaccino (2012)

Paese	Produzione (milioni di tonnellate/anno)	Incremento di produzione (%)
EU - 27	152.0	0.0
USA	90.9	2.1
India	60.1	4.7
Cina	37.4	2.4
Brasile	33.7	2.0
Russia	31.9	0.9
Nuova Zelanda	20.6	8.5
Turchia	<b>16.0 – 18.0 (2014)</b>	15.8
Pakistan	13.9	3.8
Argentina	11.7	1.2
Messico	11.3	2.1
Ucraina	10.1	2.6

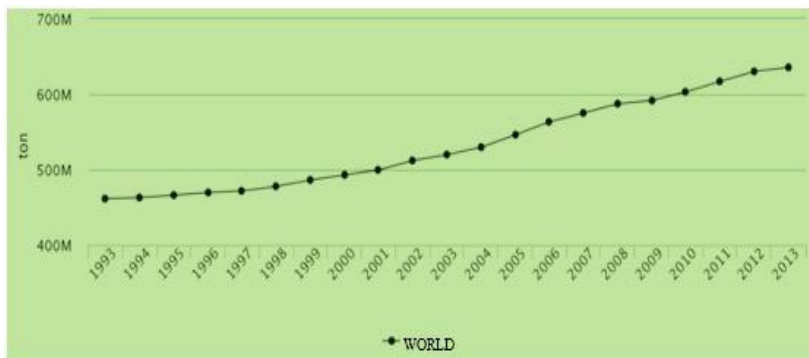
La tabella 1.5 mostra che i paesi europei sono in prima posizione, con una produzione di latte di 152 milioni di tonnellate e USA, India, Cina, Brasile, Russia, Nuova Zelanda, Turchia, Pakistan, Argentina, Mexico e Ucraina sono tra i primi 12 paesi con la più alta produzione di latte. Secondo le ricerche della FAO, la produzione del latte in Brasile, Cina e India è aumentata costantemente, mentre in Europa e negli USA l'incremento è stato piuttosto basso.

**Tabella 1.6** Produzione mondiale del latte da diverse specie (milioni di tonnellate) (FAO, 2014)

Specie	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Mucche	561.7	573.8	585.1	586.2	597.6	612.7	625.7
Pecore	9.2	9.1	8.9	9.4	9.8	9.9	10.1
Capre	15.1	15.9	16.1	16.4	17.2	17.6	17.8
Bovini	81	84.2	85.4	88.3	92.2	95.6	97.4
Totale	668.8	685.1	697.7	702.3	719.2	738.9	753.9

Secondo i dati della FAO, il numero degli animali munti è aumentato rispetto all'anno precedente, il numero di mucche da latte è aumentato dello 0,9% e il numero di pecore da latte è aumentato dell'1,5 % rispetto all'anno precedente.

Il fatto che la produzione totale del latte sia aumentata più del numero di animali munti può essere dovuto al miglioramento delle prestazioni di mungitura.



**Figura 1.2** Produzione mondiale del latte negli anni (M- milioni) (FAO, 2014)

La quantità di piante coltivate in Turchia, destinate al bestiame appartenente al settore lattiero-caseario, è più alta rispetto ad altri paesi. Tuttavia si parla di un gran numero di aziende di piccole dimensioni, dove la superficie coltivata dipende dal numero di bovini di loro proprietà. In Europa il numero medio di mucche da latte per azienda è 32,2, in Turchia invece questo valore è in media 4,5. Il 76.3% delle aziende casearie ha da 1 a 10 animali, del resto il 98.38% delle coltivazioni proviene da aziende con meno di 50 animali. Il fatto che le coltivazioni dipendano strettamente dalla popolazione animale, aumenta notevolmente i costi di produzione, aumenta le difficoltà nella distribuzione di razze bovine con alta produzione di latte e aumenta le difficoltà di marketing nel settore del latte e dei prodotti lattiero-caseari e anche l'organizzazione per aumentare l'efficienza e la produttività dei bovini da latte. Secondo i dati della TÜİK (Turkish Statistical Institute), la quantità di latte alimentare prodotto nel nostro paese nel 2013 ammonta a 1.323.942 tonnellate.



## 2. ACQUE REFLUE CASEARIE E SIERO

**Autori:** Dr. Zerrin Yüksel Önür, Dr. Kemal Çelik, Dr. Harun Baytekin  
Çanakkale Onsekiz Mart University- Turchia

Le acque reflue casearie contengono i residui di prodotti chimici utilizzati per la pulizia, nonché materiali come proteine, sali, componenti grassi e lattosio. Dato che nel settore lattiero-caseario vengono prodotti diversi articoli, le caratteristiche delle acque reflue variano a seconda dei metodi e dei tipi di produzione. Suddetto settore, in Europa, costituisce la più grande fonte di acque reflue industriali. Qualsiasi tipico caseificio situato in Europa rilascia giornalmente 500 tonnellate di acque reflue. Il siero di latte (W) è un rifiuto privilegiato tra le acque reflue del settore lattiero-caseario. È uno dei residui più significativi della tecnologia casearia. Il siero è un liquido generalmente verde giallastro, ottenuto a seguito della separazione della cagliata durante la produzione di formaggio, contiene lattosio, proteine e minerali.



**Foto 2.1** Rilascio del siero durante la produzione del formaggio.

Il siero interrompe i processi biologici durante il trattamento tradizionale delle acque reflue a causa della sua forte richiesta biochimica di **ossigeno** (BOD) (40.000-60.000 ppm). Lo scarico del

siero di latte in natura potrebbe provocare gravi problemi di inquinamento ambientale a lungo termine.

## **2.1 Storia del siero**

Il siero è stato scoperto 3000 anni fa. È stato usato abitualmente a scopo terapeutico. Nel 1749 a Zurigo, Svizzera, un paziente incurabile, a cui i dottori avevano dato poco tempo da vivere, viaggiò fino ad un rifugio a Gais, e là, bevendo ogni giorno il siero del latte, riuscì a guarire. Non è ovviamente chiaro se il paziente conoscesse le proprietà terapeutiche del siero, chiamato "acqua terapeutica " dagli antichi medici greci, oppure gli fosse stato raccomandato dai contadini di quella regione. Tuttavia, la notizia del paziente che era riuscito a sopravvivere nonostante la terribile diagnosi fatta dai medici, in poco tempo portò a Gais molti pazienti desiderosi di provare le miracolose proprietà del siero. In questo piccolo villaggio venne fondato un centro di salute e di seguito altri 160 centri simili furono fondati in Svizzera, Austria e Germania.

Questi centri hanno funzionato in modo più attivo tra la metà del XVII e il IX secolo. La fama delle proprietà terapeutiche del siero di latte si diffuse in poco tempo e portò imperatori, principi e aristocratici di tutta l'Europa in questi centri per curare i loro disturbi o migliorare il loro stato di salute generale. Un aspetto confuso del siero, è il fatto che nonostante le sue proprietà terapeutiche siano state scoperte nell'antichità, anche le ricerche scientifiche moderne utilizzano i dati di epoche antiche. Ippocrate (466-377 a.C), il padre della medicina, consigliava ai suoi pazienti il siero di latte.

Anche Galeno (131-200 d.C), altro notevole nome della scienza medica, raccomandava il siero di latte ai suoi pazienti. Inoltre, la terapia del siero di latte è stata suggerita anche da altri nomi famosi

e notevoli della storia della medicina, tra cui Avicenna (980-1037 d.C), autore di circa 200 opere, Thomas Sydenham (1624-1689), un celebre medico noto come "Ippocrate inglese", Hermann Boerhaave (1668-1738), i cui metodi di insegnamento clinico sono utilizzati in tutta Europa.

## **2.2 Decreti legislativi relativi all'uso di siero di latte**

Valutazione dell'impatto ambientale (VIA) significa: esame dei possibili effetti positivi e negativi di progetti pianificati sull'ambiente, valutazione delle misure da adottare per prevenire o ridurre al minimo gli effetti negativi in modo da non danneggiare l'ambiente, selezione della posizione e delle tecnologie alternative, monitoraggio e supervisione dei progetti in accordo con il regolamento adottato dal Ministero preposto.

Tutti i progetti presentati dagli impianti di trasformazione casearia, la cui capacità di trasformazione di latte crudo arriva a 100.000 litri/giorno e più, saranno sottoposti alla VIA.

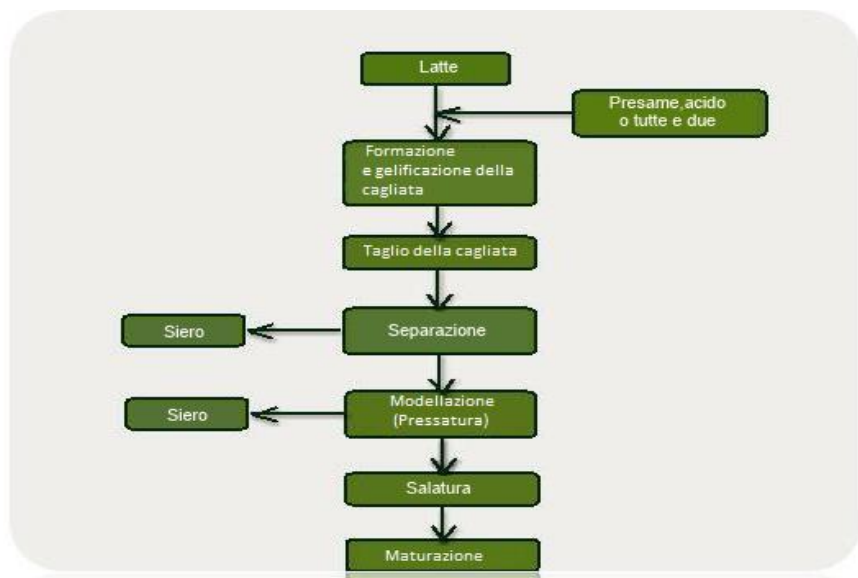
## **2.3 Rilascio del siero di latte durante la produzione del formaggio**

Le caseine sono le proteine di base della cagliata, la quale si ottiene quando il latte fresco viene bollito. Per questo processo si usa il termine informale "cagliare". Si forma una struttura gelatinosa ed è visibile se successivamente non viene miscelata o agitata. La separazione del siero è visibile durante la gelificazione del latte. Questo processo può essere velocizzato grazie al trattamento termico ed alla miscelazione. Quindi, la struttura viene divisa in due parti: cagliata e siero, ed è questa la base della produzione del

formaggio. Tuttavia, il latte è stato coagulato da secoli utilizzando il caglio ottenuto dallo stomaco di vitello (presame). La caseina e i grassi sono in forma concentrata, ma gli altri componenti del latte passano al siero insieme all'acqua durante la trasformazione dal latte a formaggio.

Le fasi di produzione di base di tutti i tipi di formaggio possono variare come di seguito:

- **Processo di coagulazione del latte:** si usa caglio o acido oppure entrambi. In questa fase si forma una struttura gelatinosa composta da caseine che si riuniscono in una struttura a rete circondata da globuli di grasso.
- **Separazione del siero:** In questa fase l'acqua e i componenti idrosolubili si separano dalla struttura gelatinosa.
- **Formazione di acido:** una parte del lattosio si trasforma in acido lattico
- **Salatura:** Viene effettuata utilizzando NaCl
- **Maturazione:** È necessaria per ottenere il sapore desiderato del formaggio e la formazione delle sue proprietà strutturali.



**Figura 2.1** Schema generale di flusso per la produzione di formaggio e il rilascio di siero (Walstra et al., 1999).

## **2.4 Rilascio di siero durante la produzione della caseina.**

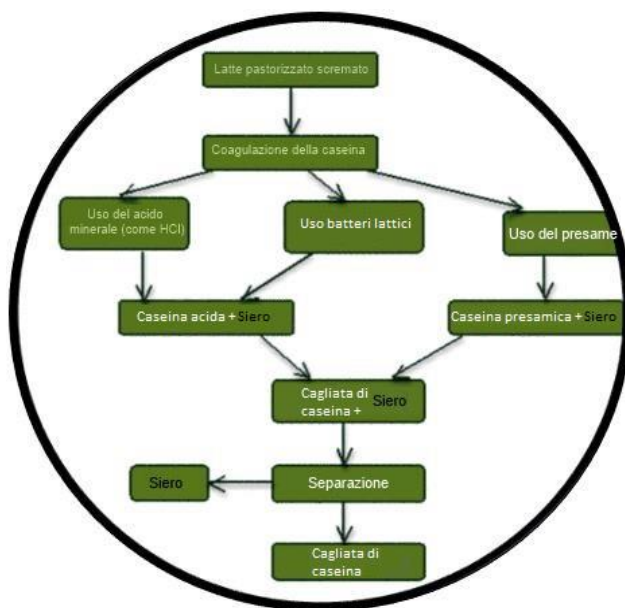
La caseina è un prodotto ottenuto durante il processo di coagulazione, lisciviazione e asciugatura del latte scremato.

Esistono due tipi di caseina industriale. Una di queste è la “caseina acida” prodotta da latte scremato usando un acido minerale oppure acido lattico. L'altra è caseina rennet ottenuta durante la cagliatura del latte scremato usando il presame.

Subito dopo la separazione del siero avviene la coagulazione della caseina utilizzando l'acido o il presame.

La separazione può essere eseguita utilizzando uno dei diversi metodi sotto indicati:

- usando dei setacci fini fatti di acciaio inossidabile
- usando dei setacci inclinati fatti di poliestere
- meccanicamente, usando un separatore centrifugo.



**Figura 2.2.** Rilascio del siero durante la coagulazione acida e presamica del latte. (Gürsel, 2001).

## 2.5 Tipi di siero e suoi componenti

Esistono due tipi di siero, siero dolce e siero acido, in base al tipo di lavorazione.

1. **siero dolce:** è un sottoprodotto ottenuto dalla cagliatura del latte usando presame, il suo pH è 5.6
2. **siero acido:** è un sottoprodotto ottenuto da latte inacidito, il suo pH è inferiore a 5.1

Il siero è un liquido diluito. Contiene circa il 6% di sostanza secca. Il siero corrisponde a quasi l' 85-95% del volume del latte e contiene circa il 55% dei componenti del latte. È un significativo sottoprodotto contenente proteine come l'albumina e la globulina, e componenti del latte quali lattosio, grassi, minerali e vitamine in vari livelli.

Componenti	Siero dolce	Siero acido
Totale sostanza secca	63.0 – 70.0	63.0 – 70.0
Lattosio	46.0 – 52.0	44.0 – 46.0
Proteine	6.0 – 10.0	6.0 – 8.0
Calcio	0.4 – 0.6	1.2 - 1.6
Fosfati	1.0 – 3.0	2.0 – 4.5
Acido lattico	2.0	6.4
Cloruro	1.1	1.1

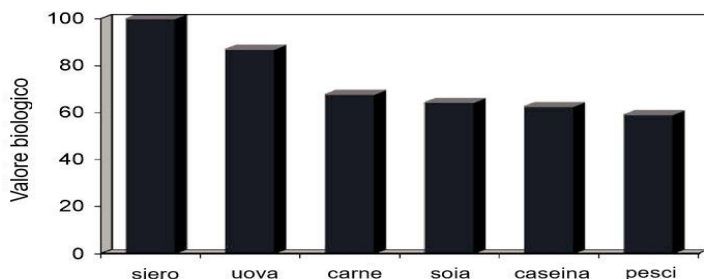
**Tabella2.1** Componenti del siero (g/l)

Le proteine principali del siero sono:  $\beta$ -lattoglobulina,  $\alpha$ -lattoalbumina, glicomacropeptide (GMP), lattoferrina, albumina sierica bovina (BSA) e immunoglobuline. Vengono chiamate “proteine del siero”.

Le sieroproteine hanno un valore nutritivo più alto rispetto alle altre proteine alimentari. La figura 2.3 indica che le proteine del latte hanno un alto valore biologico, che supera di quasi il 15% il valore biologico delle proteine dell'uovo. Inoltre, è indicato nella figura 2.4 che le proteine del siero, rispetto ad altre proteine alimentari, sono ricche fonti di amminoacidi basici.

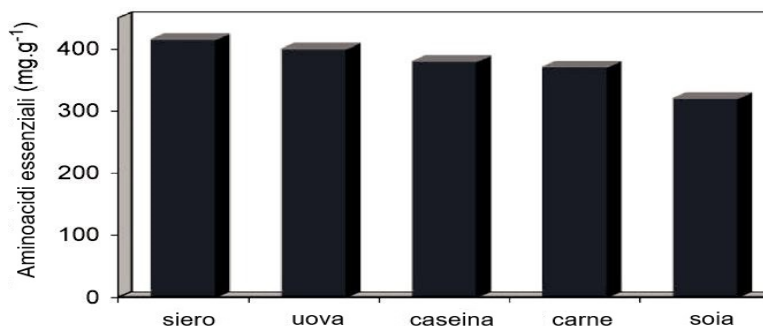
Le proteine del siero hanno notevoli effetti nutritivi e fisiologici su: prestazioni fisiche, recupero dopo l'esercizio fisico e prevenzione di atrofia muscolare, gestione della sazietà e del peso, salute cardiovascolare, effetti anti-cancro, cura e trattamento delle ferite, gestione delle infezioni, alimentazione infantile e invecchiamento sano.

**Figura 2.3** Valore biologico del siero confrontato con alcune proteine alimentari. (Smithers, 2008).





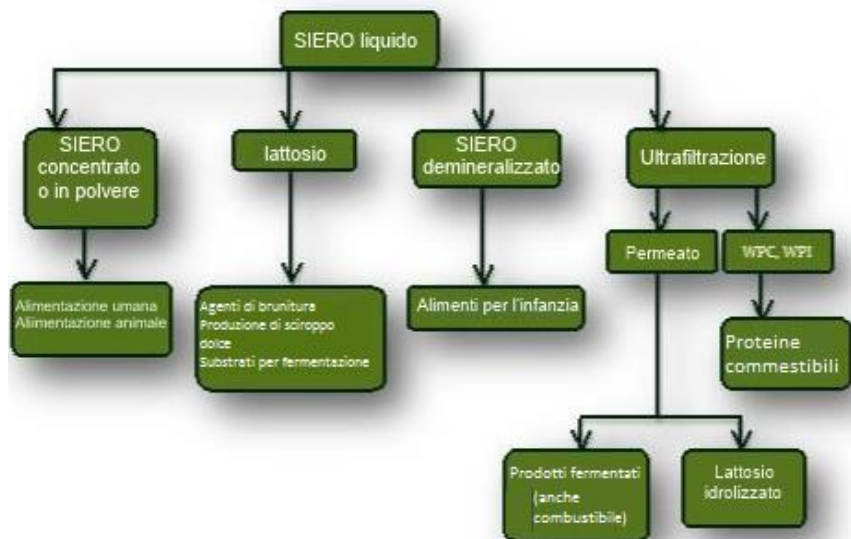
**Figura 2.4** Aminoacidi basici del siero confrontati con alcune proteine alimentari. (Smithers, 2008).



## 2.6 Aspetti generali dell'industria del siero

Secondo le regole generali, durante la produzione di 1 kg di formaggio si ottengono 9 litri di siero. È stabilito che in tutto il mondo si producono più di 160 tonnellate di siero e il suo incremento annuo è dell'1-2%. Una considerevole parte del siero viene trasformata in polvere, la parte rimanente è trasformata in altri prodotti come: polvere di siero dolce, siero di latte demineralizzato, siero di latte delattosato, proteine del siero concentrate (WPC), proteine del siero isolate (WPI) e lattosio. Prodotti come WPC e WPI vengono usati nel settore farmaceutico e cosmetico. La figura 2.5 riporta informazioni generali sul siero liquido, i prodotti del siero e i settori in cui viene utilizzato.

**Figura 2.5** Processo di siero liquido (Tunick, 2008).



Le sieroproteine vengono aggiunte a vari alimenti per motivi funzionali e nutrizionali. Ad esempio, vengono utilizzate in vari prodotti, soprattutto nelle bevande sportive e negli integratori di proteine di alta qualità.

Il siero contiene quasi il 93% di acqua e lo 0.6% di proteine. Le WPC contengono tra il 25 e l'80% di proteine, mentre le WPI contengono il 90% o più di proteine. Un kg di WPI viene prodotto da 150 kg di siero utilizzando diversi metodi di lavorazione. Rimangono almeno 149 kg di acqua e materiale idrosolubile.

Nella produzione di WPC e WPI sono utilizzati metodi di separazione a membrana, cioè: osmosi reversa, ultrafiltrazione (UF), microfiltrazione (MF) e nanofiltrazione (NF).

I processi a membrana condotti sotto campo elettrico sono l'elettrodialisi e l'elettrodeionizzazione. Le tecniche moderne utilizzate nei metodi di trasformazione del siero negli ultimi 15 anni si sono concentrate sulla massima qualità e sicurezza, sui metodi di separazione sofisticati e sulla separazione in frazioni. La cromatografia è la tecnica più utilizzata per la separazione delle proteine dal siero su scala industriale. Inoltre, un continuo sviluppo di processi a membrana consente la produzione di un'ampia gamma di ingredienti speciali del siero (proteine di alta quantità / peptidi isolati e purificati / proteine bioattive frazionali ecc.) e il lattosio in grandi quantità permette il rilascio di minerali durante la lavorazione del siero.

Negli ultimi 10 anni, le tecnologie moderne hanno portato su scala commerciale anche l'idrolisi e l'isolamento del lattosio, sostenendo così le produzioni a basso costo. L'industria del siero adotta le nuove e moderne applicazioni per la produzione del siero e dei suoi derivati, al fine di aumentare la gamma di prodotti alimentari sani. Il siero e i suoi prodotti hanno una vasta gamma di utilizzo per scopi diversi in molti settori, in particolare agricoltura e biotecnologie alimentari.

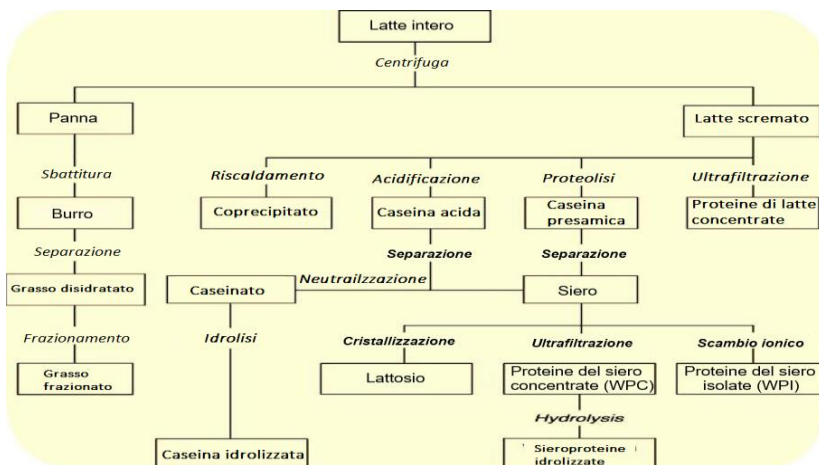
## **2.7. Siero: da effluente a prodotto pregiato**

Il siero causa notevoli problemi ambientali perché viene prodotto in grandi quantità e contiene molta materia organica. È necessario sviluppare i metodi di produzione dei prodotti pregiati di siero che nello stesso tempo diminuiscono gli effetti nocivi che possono verificarsi sull'ambiente. In questo senso, è evidente che l'uso e l'utilizzo del siero in grandi quantità fornisce un doppio vantaggio. La figura 2.6 mostra i prodotti del settore lattiero-caseario e l'ottenimento del siero. Presenta anche alcuni sottoprodotti di base, come il lattosio prodotto con l'utilizzo del siero.

I prodotti lattiero-caseari ottenuti dal siero sono utilizzati in settore lattiero-caseario come ingredienti dello yogurt e dei gelati. Il siero di latte e i materiali inclusi nel suo complesso sono utilizzati anche come ingredienti aggiuntivi in molti prodotti alimentari per bambini, prodotti da forno, carne e prodotti della pesca. Inoltre, il siero è molto utilizzato nella nutrizione.

Oggi cresce l'attenzione e l'interesse sul siero come alimento, grazie ai suoi effetti positivi sulla salute. Il siero e i suoi derivati si usano sempre più come ingredienti di prodotti e alimenti dietetici e sanitari. I componenti bioattivi del siero come le proteine bioattive vengono utilizzati sempre più spesso nell'industria farmaceutica e alimentare. In Europa il 25% del siero prodotto è utilizzato nella nutrizione umana. Si prevede che in un prossimo futuro l'uso del siero e dei suoi derivati nella nutrizione umana aumenterà in quantità considerevoli.

**Figura 2.6.** Schema di flusso per la produzione di prodotti caseari - Processi di recupero del siero.



## **2.8. Fattori condizionanti la qualità di prodotti di siero**

La qualità del latte grezzo usato nella produzione di formaggio incide sulla qualità del siero di latte e dei suoi prodotti, perché il siero si ottiene durante la trasformazione del latte in formaggio. Le fasi successive come lo stoccaggio del siero, la trasformazione in vari prodotti e la conservazione, influenzano la loro qualità. Per la trasformazione in formaggio il latte deve essere:

- munto e conservato in modo igienico
- raffreddato, se non viene lavorato subito dopo la mungitura.
- pastorizzato per rimuovere gli agenti patogeni.

La produzione deve svolgersi in modo assolutamente igienico per prevenire la contaminazione microbica durante la produzione del formaggio. La chiarificazione è uno dei principali pretrattamenti da applicare durante l'elaborazione del siero. La cagliata viene rimossa dal siero utilizzando la forza centrifuga. Questo processo è importante perché influenza il gusto, il sapore e le caratteristiche di solubilità del prodotto finale.

Un altro importante processo applicato al siero è la pastorizzazione, che consente di ottenere un prodotto stabile in aspetto microbico. Il siero se deve essere immagazzinato prima della lavorazione va raffreddato sotto i 5°C il più presto possibile. È noto, che una gran parte del siero prodotto in tutto il mondo viene trasformato in polvere. In conformità con gli standard turchi (TS 11860), il siero deve essere bianco o color crema, deve avere una propria struttura, aspetto, gusto e sapore e non deve contenere alcuna sostanza estranea. Il tasso di umidità deve essere al massimo del 4,5%, deve avere almeno l'11% di proteine e il 65% di lattosio. Anche le proprietà microbiologiche della polvere di siero devono rispettare gli standard specificati.

I tipi di microrganismi inclusi nel prodotto determinano la qualità microbiologica. I processi applicati durante la produzione della polvere influenzano notevolmente le sue qualità.

La polvere di siero non può essere accettata come un prodotto microbiologicamente sicuro per tre determinanti motivi:

- I microrganismi inclusi nel siero possono essere ancora attivi dopo il trattamento termico.
- Alcuni microrganismi si possono sviluppare durante le varie fasi del processo di trasformazione in polvere.
- Ci può essere la contaminazione da parte di microrganismi durante la trasformazione.

Il livello di solubilità è un importante criterio di qualità per i prodotti in polvere, tra cui anche la polvere di siero. I prodotti in polvere devono facilmente sciogliersi in acqua. La loro solubilità dipende dal metodo di essiccazione. La solubilità della polvere di siero dipende dal metodo "spray drying" usato ad alto livello. Secondo TS 11860, la solubilità della polvere di siero di classe A è del 98%, invece quella di classe B è dell'85%.

È stato rilevato che la polvere di siero può assorbire l'acqua dall'aria e quindi forma gli aggregati e si trasforma in una massa solida (cake), ciò colpisce negativamente le sue qualità. I cristalli di lattosio sono responsabili dell'assorbimento dell'acqua. "Cake" non si forma se i valori di attività dell'acqua necessaria per la cristallizzazione del lattosio sono bassi (inferiori a 0,4). Per questo motivo l'imballaggio è molto importante per la qualità del prodotto, perché protegge il siero dall'umidità dell'aria.

Secondo TS 11680, la polvere di siero deve essere imballata in modo da non far passare aria, umidità e luce. Secondo la

legislazione (TS 1234), per l'imballaggio si possono usare: contenitori in plastica, laminati, cera, alluminio, contenitori rivestiti di polietilene, sacchetti di carta e lattine. Le polveri di siero possono essere imballate sottovuoto o non, il processo di confezionamento può essere effettuato utilizzando gas inerte (azoto all'80% e CO<sub>2</sub> al 20%). Le polveri di siero non possono essere conservate né trasportate in luoghi maleodoranti, che possono danneggiare la loro qualità. I pacchetti contenenti il prodotto devono essere immagazzinati in un luogo asciutto e su una griglia di legno in modo da poter prendere aria. Durante lo stoccaggio e il trasporto, la polvere di siero deve essere tenuta lontano dalla luce del sole. È opportuno prendere queste misure precauzionali per evitare di rovinare il prodotto.

### 3. LAVORAZIONE DEL SIERO: utilizzo e principali prodotti

**Autori:** Dr. Kemal Çelik, Dr. Zerrin Yüksel Önür,  
Dr. Harun Baytekin, Dr. Bayer Coşkun

#### 3.1. Utilizzo di siero di latte nell'industria alimentare

Il siero può essere largamente utilizzato nell'industria alimentare. Varie bevande alcoliche e analcoliche vengono prodotte utilizzando il siero di latte, anche se questo non è molto noto nel nostro paese. Le proteine del siero vengono usate nella produzione di prodotti dolciari come torte, cioccolato e molti altri tipi di dolci. Le suddette proteine forniscono la struttura e il controllo dell'umidità, aiutano a produrre emulsioni e schiume. Grazie alla sua proprietà emulsionante e alla stabilità ad alti livelli, le proteine del siero vengono usate per la produzione di panna, maionese, formaggio spalmabile, salse per insalata e per la lavorazione della carne. Inoltre, grazie alla loro proprietà gelificante di alto livello, le proteine del siero vengono usate anche come addensante per produrre creme - zuppe, salse a base di carne e prodotti simili.



Il concentrato di siero è utilizzato per: sviluppare la struttura di



Quark, Cottage e formaggio fuso, aumentare la resa in Cheddar, ottenere i prodotti più viscosi nella produzione dello yogurt. A causa della capacità di legare l'acqua, le proteine del siero hanno un impiego anche nell'industria della carne, formando emulsioni stabili e grasso vincolante. La polvere di siero è utilizzata in prodotti a base di carne come salsiccia, salame e alcune salse. Inoltre, la polvere di siero è usata al posto del latte scremato in polvere nei prodotti da forno come torte, biscotti e pasticcini a causa dell'elevato contenuto di lattosio. Le proteine del siero sono utilizzate anche per la produzione di alimenti per l'infanzia. I capitoli seguenti contengono i dati relativi all'uso del siero di latte nell'industria alimentare.

### ***Nel campo della medicina:***

È stato indicato in numerosi studi clinici condotti, che il siero di latte ha dato risultati positivi nel trattamento di **cancro, HIV, epatite B, malattie cardiovascolari e osteoporosi**. Prima di analizzare gli effetti di proteine del siero e amminoacidi sulla salute umana, i ricercatori hanno svolto le ricerche sui topi. Hanno misurato il livello del glicogeno muscolare, hanno osservato i cambiamenti biologici e fisiologici e anche i cambiamenti nelle prestazioni dovute al consumo di alimenti a base di proteine del siero. Poi, hanno determinato i loro effetti sulle varie malattie dell'uomo. È comprovato che le proteine del siero di latte hanno più effetti sul cancro rispetto alla caseina. Gli studi e le ricerche condotte sugli animali indicano che il siero di latte previene la carcinogenesi. Le ricerche effettuate sui topi hanno confermato che le proteine del siero sono più efficaci nella prevenzione del cancro al colon, rispetto alle proteine della carne o della soia. È stato determinato che le diete contenenti lattoferrina o  $\beta$  - lattoglobulina aumentano l'effetto protettivo contro lo sviluppo dei tumori locali sulla parete intestinale. Il glutatone è il materiale essenziale del sistema

immunitario del corpo umano, rientra nella composizione di un gruppo di enzimi ad azione antiossidante. Le proteine del siero hanno un'alta concentrazione di cisteina e quindi sono le uniche proteine ad aumentare la produzione di glutathione. Studi e ricerche confermano che anche la lattoferrina e la lattoferricina del siero hanno proprietà antiossidanti. Inoltre le proteine del siero formate da peptidi bioattivi svolgono una funzione protettiva contro l'ipertensione, inibendo un enzima di conversione dell'angiotensina (ACE). Alcuni risultati mostrano che il siero impedisce la formazione di osteoporosi grazie alla presenza di lattoferrina e lattoperossidasi, che sostiene lo sviluppo delle ossa, ma protegge anche la struttura interna del corpo, che controllando il peso impedisce l'obesità. La lattoferrina assunta dagli alimenti è efficace contro patogeni come batteri e virus, per esempio l'*Haemophilus* influenzale, che causa l'otite nei bambini. È stato anche scoperto che la lattoferrina ha un effetto protettivo contro diversi virus contenenti citomegalovirus (CMV), influenza di tipo A e B, rotavirus, Herpes simplex di tipo 1 e 2 e l'epatite C. Inoltre, è stato rilevato che nei pazienti affetti da HIV, che consumano integratori a base di siero, aumenta notevolmente la concentrazione plasmatica del glutathione. Le proteine del siero riducono il livello di colesterolo nel plasma e nel fegato.

Al giorno d'oggi, le proteine del siero e gli integratori di aminoacidi sono migliori rispetto ai farmaci che generano effetti collaterali sull'uomo. Per questo motivo le proteine del siero e i suoi componenti bioattivi dovrebbero essere utilizzati di più e i risultati dovrebbero essere ben definiti e rilevati.

### ***In agricoltura e allevamento:***

Il siero di latte è un sottoprodotto utilizzato in alcune attività agricole e animali. Alcune ricerche condotte hanno indicato che il siero ha un effetto inibitore nei confronti di alcuni virus delle piante.

I ricercatori hanno dimostrato che l'irrigazione dei terreni coltivati ad orzo con il siero ha impedito lo sviluppo e la diffusione di qualsiasi tipo di virus. Questo effetto antivirale è legato alla presenza delle proteine. Un'altra ricerca ha dimostrato che l'irrigazione dei pomodori con il siero ha ridotto in 6 giorni l'attività del virus del mosaico del pomodoro. È stato inoltre indicato che il siero è efficace contro alcuni tipi di virus del cetriolo e tabacco. Alcune aziende agricole utilizzano il siero come insetticida. Ci sono alcune ricerche e studi sull'uso del siero nelle coltivazioni degli alberi da frutto, in particolare degli agrumi, contro i Tisanotteri.

In questi casi il siero viene mischiato con Floxina B, una vernice fotoattiva. Il siero può essere anche usato contro gli insetti sui bulbi da fiore. Agli animali, il siero si dà direttamente da bere oppure si aggiunge ai mangimi. Le ricerche e gli studi effettuati, soprattutto sui ruminanti, dimostrano che la digeribilità della sostanza secca aumenta nel caso in cui il foraggio venga ammorbidito con il siero, piuttosto che con l'acqua. Si precisa inoltre che l'assorbimento delle proteine e del fosforo aumenta, se ai mangimi viene aggiunto il 5% di siero.

### ***Nella nutrizione sportiva:***

Le proteine del siero sono utilizzate come ingrediente delle bevande sportive grazie ad un elevato contenuto di proteine di alta qualità. Forniscono numerosi vantaggi agli atleti. Somministrate direttamente nelle diete degli atleti aumentano le prestazioni atletiche. La presenza all'interno del siero, soprattutto di WPC 80 e WPI (vedi capitolo 3.2 per informazioni dettagliate), di grassi e lattosio al livello minimo, fornisce agli atleti proteine di alta qualità.

Il profilo degli amminoacidi del siero è simile in larga parte agli amminoacidi dei muscoli scheletrici. Gli integratori a base di

proteine del siero contengono generalmente più amminoacidi basici rispetto ad altre fonti di proteine. Questi amminoacidi basici sono necessari per la sintesi proteica nel muscolo. Suddetti integratori sono ricchi di amminoacidi ramificati come leucina, isoleucina e valina. Questi amminoacidi svolgono un ruolo importante nel metabolismo muscolare. La catena ramificata degli amminoacidi, in particolare della leucina, ha un ruolo chiave nella traslazione del DNA, nella sintesi proteica, e porta ad un recupero più efficace dei muscoli forniti di questo aminoacido dopo l'allenamento. La cisteina presente nelle proteine del siero aiuta gli atleti a mantenere il loro peso corporeo, nonché lo sviluppo muscolare.

Le proteine del siero hanno un valore unico, perché vengono digerite in modo diverso rispetto ad altre proteine. Esse sono assorbite rapidamente nel corpo e per questo più amminoacidi raggiungono i tessuti, aiutando la sintesi proteica e causando un alto guadagno delle proteine. Il fatto che le proteine del siero siano facili da sciogliere in acqua, rende il siero facilmente miscelabile con qualsiasi liquido, così può essere consumato prima, durante e dopo l'allenamento. Le proteine del siero sono supplementi nutrizionali raccomandati al fine di sviluppare l'adattamento fisiologico e aumentare le prestazioni atletiche durante l'esercizio fisico. Le ricerche che riguardano le conseguenze dell'uso delle proteine del siero per migliorare la salute e ottimizzare le prestazioni dell'atleta, non hanno ancora raggiunto un livello adeguato. Per questo motivo le ricerche cliniche dovrebbero essere più complete, al fine di formulare raccomandazioni più chiare.

### ***Nella cosmetica:***

Al giorno d'oggi, gli sviluppi tecnologici nel settore cosmetico sono orientati alla qualità dei prodotti, all'uso delle risorse naturali per la produzione e alla tutela dell'ambiente. Gli idrocolloidi così

come le proteine, nell'industria cosmetica sono usate nella produzione di prodotti aventi attività biologica e proprietà funzionali. Il siero è un'importante fonte di ingredienti cosmetici naturali a causa dei suoi composti preziosi, soprattutto proteine. Alcune proprietà delle proteine del siero relative a questo settore sono: legare l'acqua, favorire la formazione di schiuma, proprietà emulsionanti e gelificanti. Le proteine del siero idrolizzate sono considerate ingredienti sicuri nei prodotti cosmetici. Le sieroproteine idrolizzate hanno un potenziale di utilizzo come idratante della pelle, si ottengono a seguito dell'idrolisi acida parziale, enzimi o altri metodi.

È stato determinato che i composti di basso peso molecolare inclusi nelle proteine del siero hanno caratteristiche molto simili a quelli dei fattori idratanti naturali nella pelle umana. La frazione a basso peso molecolare dei minerali del siero adeguata per i cosmetici viene ottenuta durante la produzione del siero concentrato o isolata direttamente da esso. Le caratteristiche di questo materiale secco, tra cui idrosolubilità, capacità di legare l'acqua, rapida diffusione nelle cellule, sono simili alle caratteristiche dell'acido ialuronico utilizzato nell'industria cosmetica. Per questo motivo, questi materiali ottenuti dal siero sono usati in prodotti cosmetici, saponi e lozioni per neonati. Studi clinici hanno dimostrato che questi prodotti cosmetici sono indicati anche per le dermatiti.

I risultati della ricerca svolta sull'uso del siero nello shampoo hanno indicato che esso può essere utilizzato con successo anche in questo prodotto perché aumenta le capacità schiumogene. I tensioattivi come l'alchiletere solfato sono le sostanze utilizzate principalmente nelle formulazioni di shampoo, ma malgrado le loro buone caratteristiche schiumogene di lavaggio, possono portare alla perdita dei capelli o provocare irritazioni degli occhi e della pelle.

Per questo motivo l'utilizzo di un prodotto naturale come il siero di latte nello shampoo può ovviare a questo problema. Le proteine e i minerali del siero funzionano anche come efficace addensante, aumentando la viscosità del prodotto. L'utilizzo del siero di latte come ingrediente cosmetico richiede ricerche più intense e dettagliate perché in questo modo emerge anche la questione dell'utilizzazione dei rifiuti e perché permette l'uso di una materia prima naturale nei prodotti cosmetici.

### ***Nella produzione di energia:***

Il riciclaggio dei rifiuti dell'industria alimentare attraverso il degrado in ambiente privo di ossigeno (anaerobico) offre un'importante opportunità per le energie rinnovabili. La degradazione anaerobica è una tecnologia applicata non solo come processo di depurazione ma anche per la produzione di energia termica ed elettrica. Il siero contiene un alto livello di materia organica e una bassa capacità tamponante. Grazie a queste caratteristiche il siero sottoposto direttamente al processo anaerobico sviluppa rapidamente l'acidità e produce pochi biogas. Pertanto, è noto che il siero di latte diventa ancora più efficace nella produzione di energia quando viene miscelato con altri tipi di rifiuti e/o fertilizzanti.

Ci sono diversi studi e ricerche fatte su questo argomento. In una di queste ricerche è stato prodotto del biogas come risultato della degradazione anaerobica, utilizzando siero ed escrementi di bestiame. In un altro studio sono stati prodotti nel processo anaerobico l'idrogeno e il metano, utilizzando miscela di miglio pretrattato immagazzinato (55 %), siero di latte (40 %) e letame liquido di vacche (5 %). Inoltre, il bioidrogeno è stato prodotto in un altro processo, mescolando il siero di latte con gli scarti dell'industria ortofrutticola.

### 3.2. Prodotti principali: la polvere di siero di latte

Un terzo del siero prodotto in tutto il mondo viene trasformato in polvere del siero. Secondo TS 11860, la polvere del siero è un prodotto ottenuto dal liquido proveniente dalla produzione del formaggio, durante la quale la caseina e i grassi sono separati come cagliata durante la caseificazione, utilizzando il caglio. Secondo TS 11860, la polvere di siero acida (agra) è un prodotto ottenuto dopo la polverizzazione del liquido proveniente dal latte, filtrato dopo la precipitazione, in conformità con le tecnologie.



**Foto 3.1.** Siero di latte in polvere

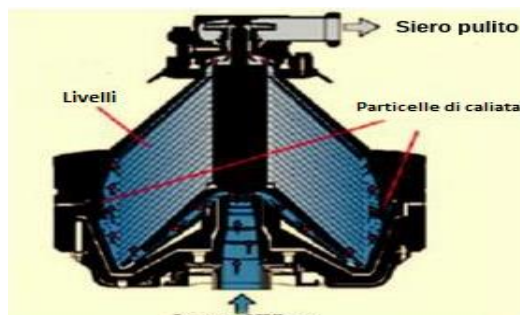
La polvere di siero è utilizzata in diversi settori dell'industria alimentare, per esempio per aromatizzare gli alimenti. Si usa soprattutto come rivestimento di chicchi di mais (pop-corn, nacho, tortilla), noci schiacciate, salse a base di formaggio, patatine fritte, salatini e biscotti salati. La polvere di siero viene usata nella produzione di prodotti speciali da forno come pizza, biscotti, maccheroni, soufflé e torte. Gli alimenti prodotti con l'aggiunta del siero di latte in polvere possono avere la stessa struttura, sapore e aspetto degli alimenti contenenti formaggio. Nel settore dei biscotti, la polvere di siero è più usata rispetto al latte in polvere per motivi economici e la convenienza di conservazione.



**Figura 3.1.** Schema di flusso per la produzione di polvere di siero.

### ***Pretrattamenti***

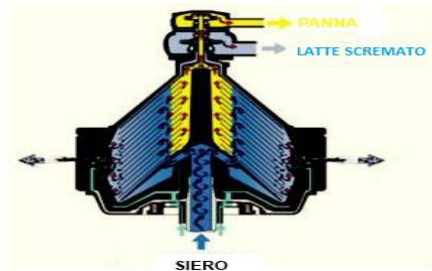
- **Chiarificazione:** le particelle di cagliata di siero vengono rimosse grazie alla forza centrifuga. Le particelle di cagliata non rimosse possono provocare ostruzioni nelle membrane polimeriche e negli scambiatori a piastre. Inoltre, influenzano negativamente il gusto e la solubilità del prodotto finale.



**Figura 3.2.** Chiarificatore



- **Separazione della panna:** le perdite di grasso nel siero sono inevitabili durante la produzione del formaggio; tranne nel formaggio magro. Per la stabilità del gusto e i fattori economici è necessario ottenere il siero dal latte scremato. Il grasso che rimane dopo la separazione è quasi lo 0,06%.



**Figura 3.3.** Separatore di panna

- **La pastorizzazione:** il siero deve essere pastorizzato subito dopo l'acquisizione, allo scopo di ottimizzare la qualità microbica. Il siero di latte va immagazzinato prima del trattamento termico, deve essere raffreddato sotto i 5°C il più presto possibile.
- **La concentrazione del siero:** la frazione secca del siero raggiungere il 40-60% grazie al processo di evaporazione.

### ***Trattamento finale***

- **processo di cristallizzazione e asciugatura del siero:** L'ultima fase per trasformare il siero di latte in polvere è la disidratazione (rimozione di acqua) del siero concentrato, tramite l'uso di atomizzatori. Le polveri ottenute grazie

all'uso di questi tipi di essiccatori hanno un'elevata solubilità e la polvere di siero viene ottenuta in questo modo. Se il siero concentrato viene essiccato direttamente, la polvere ottenuta è estremamente igroscopica e ciò può portare all'aggregazione durante l'immagazzinamento e anche nell'essiccatore. Una grande parte della forma  $\beta$  del lattosio è igroscopica e quindi deve essere cristallizzata in forma non igroscopica di  $\alpha$ -lattosio.

Una cristallizzazione controllata avviene quando il concentrato è stato raffreddato rapidamente fino a 30 °C e poi il lattosio prende forma in microscala.

### ***Il concentrato di siero-proteine:***

Il concentrato di siero-proteine (WPC) è definito da Food and Drug Administration (FDA) come un prodotto ottenuto dopo la rimozione dal siero del materiale non proteico, il prodotto finale deve contenere almeno il 25% di proteine. Il WPC si ottiene mediante le tecniche di separazione fisica come precipitazione, filtrazione e dialisi. Il WPC può essere utilizzato in forma liquida, concentrata e in polvere. Una gran parte del WPC presente sul mercato ha tra il 34-35% e l'80% di proteine. Il WPC che contiene il 35% di proteine viene utilizzato nello yogurt, nel formaggio fuso, negli alimenti per bambini e in alcuni prodotti da forno. Il WPC è usato anche nei prodotti a base di carne, per esempio la salsiccia, come supplemento nutrizionale. D'altra parte, il WPC non può contenere più dell'80% di proteine a causa della presenza del lattosio e del materiale minerale in grandi quantità. Le prestazioni del WPC con il 35% di proteine, aggiunto agli alimenti, si basano sugli effetti combinati di proteine, lattosio e minerali.

Un prodotto specifico come il WPC estruso contiene il 50% di proteine e viene generalmente utilizzato nell'industria della carne e

nella produzione di barrette proteiche. Il WPC contenente l'80% di proteine viene usato nei processi dove le proteine hanno un ruolo funzionale dominante. Essi sono: i processi di gelificazione, di emulsione e la formazione di schiuma. Grazie al basso contenuto di carboidrati, il WPC è un ingrediente ideale per la nutrizione sportiva e per i prodotti specifici per il controllo del peso. Questo tipo di ingrediente viene usato nei prodotti a base di carne, per la sua proprietà gelificante e la forte capacità di trattenere l'acqua.

**Ultrafiltrazione(UF):** l'UF è un processo di filtrazione eseguito sotto pressione, adopera le membrane e viene utilizzato per la separazione, per dimensione e forma, dei componenti di qualsiasi miscela solido-liquido. Le proteine (macromolecole) non passano attraverso le membrane utilizzate in ultrafiltrazione del siero, al contrario della micromolecole idrosolubili quali lattosio e minerali. Il WPC, un ingrediente proteico in polvere che contiene tra il 35% e l'85% di proteine, può essere prodotto mediante UF.



**Figura 3.4.** Ultrafiltrazione

Il termine **permeato** definisce la parte che passa attraverso la membrana durante il processo di ultrafiltrazione, invece il **retentato**

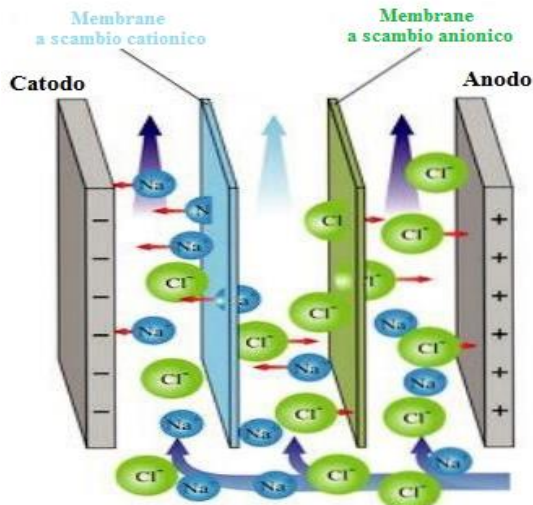
rappresenta il prodotto trattenuto dalla membrana stessa.

**Permeato del siero:** le proteine del siero vengono tenute dalla membrana durante ultrafiltrazione e diafiltrazione.

I componenti come lattosio e minerali, avendo peso molecolare inferiore, passano attraverso il filtro. Il materiale rimanente, raccolto dopo l'eliminazione delle proteine, viene chiamato "permeato di siero di latte" o "siero di latte deproteinizzato".

La cristallizzazione del lattosio va eseguita non appena la soluzione viene demineralizzata. Il composto di permeato di siero varia a seconda del tipo di latte o formaggio e delle condizioni di elaborazione. Tuttavia, il suo componente di base è lattosio. I tipici componenti del permeato sono: lattosio – 65-85%, proteine – 3-8%, ceneri - 8-20%, grasso <1,5% e il tasso di umidità è del 3-5%. Il permeato di siero può essere usato per sviluppare la brunitura del prodotto finale e durante la shelf – life (la vita commerciale) di vari alimenti e prodotti da forno.

**Demineralizzazione (rimozione dei minerali):** "lo scambio ionico" o "l'elettrodialisi" sono comunemente usati per eseguire la demineralizzazione. La demineralizzazione del siero deproteinizzato (da UF) è un pretrattamento obbligatorio. Questo processo viene eseguito per ottenere il siero totalmente o parzialmente demineralizzato. Il siero demineralizzato viene comunemente usato nella produzione degli alimenti per l'infanzia.



**Figura 3.5.** Apparecchio per elettrodialisi.

### ***Tecniche di demineralizzazione***

**Scambio ionico:** In questa tecnica vengono usate le resine a scambio ionico. I gruppi carichi disponibili per lo scambio ionico sono fissati sulla superficie interna della colonna. I minerali del siero, che passa attraverso questa colonna, vengono trattenuti dalla resina.

**Elettrodialisi:** È un processo che implica il trasferimento di composti ionici in una soluzione, grazie alla corrente elettrica.

Il trasferimento degli ioni, secondo le loro cariche, viene eseguito da una membrana permeabile agli ioni.



**Figura 3.6.** Schema di flusso per la produzione di lattosio e WPC

**Tabella 3.1.** Componenti del siero e dei prodotti proteici derivati dal siero, prima di concentrazione ed essiccazione (%) (Harper, 2011).

	Proteine	Lattosio	Grassi	Minerali	Acqua
Siero	0.9	4.8	0.05	0.5	93.0
WPC - 35	3.3	4.8	0.2	0.7	91
WPC - 60	11.5	5.2	1.0	0.8	71.5
WPC - 80	20.0	1.0	2.0	1.0	76.0
WPI	19.0	0.2	0.2	0.6	80.0

### ***Proteine del siero isolate***

Le proteine del siero isolate (WPI) sono un altro tipo di prodotti proteici derivati dal siero. Il WPI contiene più del 90% di proteine e il 4-6% di acqua. Nella parte restante (4-6%) sono inclusi: grassi, lattosio e ceneri. A causa dell'elevata purezza delle proteine, il WPI è intensamente utilizzato nella nutrizione come supplemento delle bevande sportive arricchite di proteine. La cromatografia a scambio ionico è uno dei metodi utilizzati per la produzione del WPI. Grazie ad un'elevata quantità di proteine, il WPI può essere usato per formare la schiuma, legare l'acqua, o come agente gelificante ed emulsionante.

**Tabella 3.2.** Valore medio dei componenti di alcuni WPC e WPI (%) (Foegeding e Luck, 2011)

Ingredienti	Proteine	Umidità	Lattosio	Grassi	Cenere
WPC 35	35.3	3.7	52.3	3.3	5.8
WPC 80	78.7	4.3	04.09.00	6.4	4.0
WPI	90.9	4.8	1.5	0.9	2.7

### ***Proteine del siero idrolizzate:***

Uno dei metodi utilizzati per modificare le proprietà nutrizionali e funzionali delle sieroproteine è l'idrolisi enzimatica. I peptidi vengono assorbiti più rapidamente e in modo migliore, rispetto agli amminoacidi e le proteine. Le proteine del siero idrolizzate hanno una migliore proprietà nutrizionale e provocano meno reazioni allergiche, sono utilizzati per migliorare le prestazioni dei prodotti e per la produzione degli alimenti per l'infanzia.

### **Lattosio:**

Il lattosio ottenuto dal processo d'ispessimento e di cristallizzazione del liquido residuo, subito dopo deproteizzazione, demineralizzazione e rimozione dei grassi dal siero (Figura 3.6), viene utilizzato nella preparazione delle diete specifiche, nella produzione degli alimenti per l'infanzia, nell'industria farmaceutica, nella produzione di penicillina, nella produzione di colorante per caramello, nella preparazione degli sciroppi a base di lattosio idrolizzato e nella produzione di acido lattico. Il lattosio recuperato dal siero in quantità sufficiente, riduce dell'87% il valore di BOD (Biological Oxygen Demand - Richiesta biochimica di ossigeno). Il lattosio è un componente fondamentale della sostanza secca di siero, e lo trasforma in una potenziale materia prima nella produzione di vari biopolimeri. In questo senso, rende possibile la realizzazione di nuovi prodotti derivati dal siero, dove il lattosio viene trasformato da microrganismi. Questi prodotti spaziano da: alcool etilico, bevande fermentate come kefir, acido lattico e acido citrico, lievito di pane, proteine unicellulari, colture starter probiotic, biogas, bioplastica e lattato di etile.

Il glucosio e il galattosio si ottengono grazie all'idrolisi del lattosio. L'indice glicemico di lattosio è più basso rispetto ad altri carboidrati ed è un vantaggio importante. Le membrane UF vengono usate per la separazione di proteine. L'osmosi inversa aumenta la concentrazione di lattosio durante la produzione. Le fasi di essiccazione sono: evaporazione, che serve per disidratare la struttura, cristallizzazione, e infine essiccazione a spruzzo. Il lattosio più comunemente usato nell'industria è  $\alpha$ -lattosio monoidrato. Componenti quali lattulosio, lattitolo e acido lattobionico, prodotti dal lattosio, non vengono assorbiti nell'intestino. Hanno un potenziale potere probiotico all'interno dell'intestino, perché incentivano lo sviluppo della flora batterica. Inoltre, il lattitolo, che è



un alditolo, può essere utilizzato come dolcificante e può sostituire il saccarosio nei prodotti dietetici.

### ***Lattoalbumina:***

Per prima cosa, nei metodi tradizionali di acquisizione di lattoalbumina il valore pH del siero deve essere tra 4,5 e 5,2. Quindi viene applicato il trattamento termico, grazie al quale l'80% delle proteine viene precipitato. Il prodotto ottenuto ha poca solubilità, ma il suo valore nutrizionale e la capacità di legare l'acqua sono alti. Viene utilizzato nei prodotti da forno, nei prodotti a base di carne, nel formaggio fuso e nei dolci.

Nell'altro metodo di acquisizione di lattoalbumina, il pH del siero deve essere 6.0. Per denaturare e separare le proteine, il siero viene riscaldato fino a 120°C utilizzando il vapore. La lattoalbumina ottenuta in questo modo contiene il 20-25 % di cenere. Per ridurre la cenere del 2-5%, il pH del siero riscaldato è fissato a 4.6. Viene utilizzata nei prodotti da forno come biscotti, maccheroni o simili per quanto è poco solubile. Usando un altro modo ancora di acquisizione si può ottenere una lattoalbumina molto solubile. Il pH del siero parte da 2.5-3.5 e viene riscaldato fino a 90°C. Le sieroproteine denaturate precipitano dopo il raffreddamento. Il prodotto ottenuto in questo modo contiene il 40% di proteine.

### ***Demineralizzazione totale e parziale del siero.***

Quasi il 10% della sostanza secca del siero è costituita da minerali. Tale quantità è considerata inappropriata nell'alimentazione animale e nei prodotti alimentari per l'infanzia. Per questo motivo, l'importanza dei prodotti di siero demineralizzato (demineralizzato al 30-90%) è in aumento. Lo "scambio ionico" e "l'elettrodialisi" sono dei metodi comunemente usati nei processi di

demineralizzazione (rimozione dei minerali). Suddetti processi vengono impiegati per ottenere il siero totalmente o parzialmente demineralizzato. Il siero demineralizzato è solitamente usato nei prodotti alimentari per l'infanzia.

**Scambio ionico:** In questo metodo vengono usate le resine a scambio ionico. Una resina contenente gruppi carichi realizza tale scambio sulla superficie interna della colonna. I minerali del siero che passano attraverso questa colonna vengono attratti dalla resina.

**Elettrodialisi:** È il processo di rimozione dei composti ionici da una soluzione grazie alla corrente elettrica. Gli ioni oltrepassano una membrana permeabile agli ioni, secondo le loro cariche. In questo modo, gli anioni presenti nel siero si muovono verso il catodo e i cationi si muovono verso l'anodo, quindi viene eseguita la demineralizzazione. (Guarda la Figura 3.5)

### ***Siero con basso contenuto di lattosio.***

L'intolleranza al lattosio è una malattia congenita. L'assenza o la mancanza di lattasi ( $\beta$  - galattosidasi) può essere il risultato di qualsiasi infezione o alimentazione insufficiente. Il siero può essere totalmente o parzialmente delattosato così come il latte. Viene usato nei prodotti lattiero-caseari per le persone che soffrono di questo disturbo. Il siero con un ridotto livello di lattosio si può ottenere grazie ai metodi di filtrazione come l'ultrafiltrazione (UF). Un altro metodo usato per la rimozione del lattosio dal siero implica la cristallizzazione parziale del lattosio e quindi il recupero mediante la separazione centrifuga. I prodotti ottenuti con questo metodo contengono il 60% o meno di lattosio. Anche i metodi cromatografici vengono usati per la rimozione del lattosio. I prodotti del siero

totalmente o parzialmente delattosato non sono dolci come i prodotti del siero contenente il lattosio idrolizzato.

### ***Lattosio idrolizzato del siero in polvere:***

Il lattosio viene idrolizzato al glucosio e al galattosio con un metodo enzimatico. Per l'idrolisi del lattosio viene utilizzato un enzima –  $\beta$ -galattosidasi. La dolcezza del lattosio idrolizzato (miscela di glucosio e galattosio) è pari a quasi il 70% di quella del saccarosio, conosciuto come lo zucchero del tè. Per questo motivo, il siero contenente il lattosio idrolizzato è appropriato per i prodotti lattiero-caseari dolci come yogurt di frutta, gelato e bevande a base di siero.

### ***Proteine idrolizzate del siero in polvere:***

Per modificare le proprietà nutrizionali e funzionali, le sieroproteine vengono idrolizzate con i metodi enzimatici. Durante l'idrolisi, le proteine liberano i peptidi e gli aminoacidi. Questi vengono assorbiti più rapidamente rispetto alle proteine. I prodotti del siero contenente le sieroproteine idrolizzate hanno una migliore qualità nutrizionale, sono meno allergenici e vengono utilizzati per migliorare le prestazioni degli alimenti per l'infanzia.

### ***Prodotti lattiero-caseari minerali:***

Il latte è un alimento che contiene notevoli quantità di minerali come calcio, magnesio e fosfato. I minerali appartengono ai componenti idrosolubili e quindi passano nel siero. Si sta verificando un graduale aumento di attenzione verso gli alimenti arricchiti con minerali e vitamine. I prodotti lattiero-caseari minerali ricchi di calcio e fosfato sono integratori alimentari di grande valore, soprattutto al giorno d'oggi, quando disturbi come l'osteoporosi sono molto comuni.

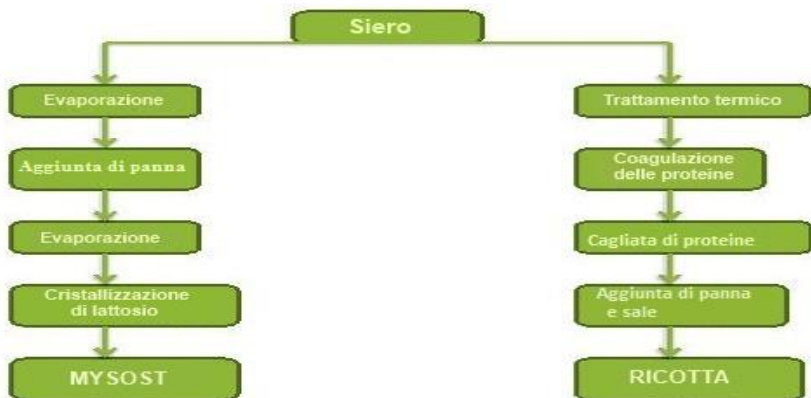
Questi prodotti si ottengono dal siero permeato, grazie alla precipitazione e alla separazione del fosfato di calcio, eseguite in adeguate condizioni, concentrazione, pH, temperatura e durata. I processi di filtrazione centrifuga vengono eseguiti solo dopo il processo di precipitazione. I minerali del latte sono utilizzati sempre di più, come integratori naturali di calcio, in prodotti come latte alimentare, yogurt, latte in polvere e prodotti dolciari.

### ***Formaggi di siero:***

Ci sono due tipi di formaggi di siero, definiti dalla International Dairy Federation (IDF) - ricotta e Mysost. La differenza fondamentale tra questi due tipi di formaggio è nella tecnica di produzione (Figura 3.7). Un tipo formaggio italiano di siero di latte è la ricotta prodotta anche in Turchia, in Portogallo e in altri paesi. La realizzazione di questi prodotti consiste nel trattamento termico e nella coagulazione acida delle proteine. La ricotta comunemente consumata nel nostro paese si ottiene grazie alla bollitura del siero, avviene poi la precipitazione e la filtrazione delle proteine.

La ricotta è un tipo di latticino ottenuto grazie alla precipitazione di proteine del siero riscaldato a 90°C in presenza di un acido. Il mysost contiene tutti i componenti del siero di latte diversamente dagli altri tipi di formaggio e rilascia il vapore acqueo esclusivamente durante la produzione. Il Mysost è ottenuto in seguito ad un riscaldamento e un ispessimento del siero e una cristallizzazione del lattosio. Le proteine costituiscono la parte coagulata mediante il trattamento termico nella produzione della cagliata e della ricotta. La  $\alpha$ -lattoalbumina e la  $\beta$ -lattoglobulina non reagiscono con la renina, e passano quindi nel siero. Per denaturare completamente le proteine è sufficiente sottoporre il siero ad un trattamento termico a 77,5°C per 1 ora, a 80°C per 30 minuti e infine a 90°C per 5 minuti.

**Figura 3.7.** Diagrammi di flusso per la produzione di formaggi di siero di latte.



Durante la produzione di formaggio dal siero di latte vaccino, non appena compaiono le prime particelle di cagliata, per regolare il tasso dell'acidità, si può aggiungere acido fosforico, acido tartarico, acido lattico, acido citrico o acido acetico. Le aziende casearie usano per lo stesso scopo anche la polvere acida di siero o la polvere acida di siero ultrafiltrata. Queste variazioni del pH influenzano la denaturazione di  $\alpha$  - lattalbumina e  $\beta$  - lattoglobulina a 78-100°C e anche la combinazione di proteine denaturate, ciò a sua volta influisce sulla resa e sulla qualità della ricotta. Il pH di siero ottenuto durante la produzione dei vari tipi di formaggio a base di latte vaccino deve essere compreso tra 4.5 e 5.2. Tuttavia, l'acidità del siero di latte ovino non è regolabile. Gli altri elementi utilizzati come supplementi per migliorare il gusto del formaggio durante la fabbricazione di cagliata sono  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{NaCl}$ . Lo 0,1-1,5 % di  $\text{NaCl}$  aggiunto a 70-75°C aumenta la denaturazione delle sieroproteine. La

parte precipitata al termine del trattamento termico, dopo che si è sufficientemente raffreddata, viene messa su stoffe per far scolare il liquido in eccesso. La ricotta non è salata e va consumata fresca. Se il prodotto deve essere immagazzinato è necessario aggiungere il sale.

### ***Bevande a base del siero di latte:***

La produzione delle bevande dal siero è iniziata nel 1970. Una delle prime è Rivella, prodotta in Svizzera. Al giorno d'oggi, la produzione di diversi tipi di bevande naturali a base di siero (dolci o acide, deproteizzate, diluite, fermentate ed essiccate) è ampiamente sviluppata. Le bevande a base di siero hanno un ampio gruppo di consumatori, dai bambini agli anziani. In Antica Grecia queste bevande venivano usate nei trattamenti di alcune malattie come tubercolosi, malattie della pelle e disturbi della digestione.

Nel XVII secolo, sono state fatte diverse ricerche dettagliate sulle caratteristiche nutrizionali e terapeutiche per il trattamento delle malattie. Le bevande a base di siero sono state impiegate con successo nel trattamento di diarrea, malattie biliari, malattie della pelle, problemi dell'apparato urinario ed alcune intossicazioni. Queste bevande sono anche fonti energetiche ideali per gli atleti, a causa del loro elevato valore nutrizionale derivato da grandi quantità di proteine.

Tra le siero-proteine ci sono anche: lattoferrina che è una ferro-trasportatrice, glicomacropeptide (GMP) rilasciata dopo l'uso di caglio durante la produzione del formaggio, fenilalanina in forma libera,  $\alpha$ -lattoalbumina che lega il calcio. A causa della presenza di lattoferrina, il siero di latte può essere considerato come un alimento funzionale perché aiuta l'assorbimento del ferro dagli alimenti e/o impedisce agli agenti patogeni l'attacco delle pareti intestinali.



**Foto 3.2.** Bevande prodotte dal siero di latte

### ***Bevande analcoliche a base di siero:***

Un metodo brevettato per la produzione delle bevande a base di siero negli ultimi 10 anni, prevede l'aggiunta di concentrato di frutta tra il 5 e 20%. Ci sono le bevande al gusto di agrumi o frutta tropicale come mango, banana, papaia. Questi aromi mascherano il sapore indesiderabile del latte e il sapore salato-acido del siero. Oltre a ciò, sono state fatte delle ricerche sull'utilizzo dei concentrati di frutta come mela, pera, pesca, albicocca e ciliegia. Il gelso, una buona fonte di ferro e antiossidanti, è stato utilizzato con successo in questi prodotti. Oltre alla frutta, alcuni ricercatori hanno applicato anche l'uso di altri sapori come cioccolato, coca, vaniglia, cereali (per lo più riso, avena e orzo) e miele. L'aggiunta dei cereali (avena), in particolare di crusca, è stata fatta per produrre bevande arricchite di fibra alimentare, acidi grassi di base.

È noto da tempo che le bevande a base di siero sono dei prodotti probiotici, ottenuti grazie alla fermentazione del siero. Contengono batteri lattici che hanno effetti positivi sulla salute umana, per

esempio diminuiscono il livello di colesterolo nel sangue, regolano il metabolismo del lattosio, diminuiscono la pressione sanguigna, sviluppano le funzionalità anti-cancerogene del sistema immunitario. Le bevande dietetiche fanno parte della categoria di bevande a base di siero non alcoliche, come le bevande con lattosio idrolizzato, il latte e le bevande in polvere. Grazie ai suoi componenti e alle proprietà relative, il siero di latte è una buona materia prima per la produzione di semplici bevande dietetiche in cui vengono aggiunti alcuni tipi di agenti dolcificanti (saccarina e ciclamato), mela o alcuni tipi di frutti tropicali. Queste bevande hanno un basso valore energetico (104-103 kJ/100 ml) e ciò le rende adatte ad una vasta gamma di consumatori. Le bevande Milky sono prodotte da una miscela di siero liquido o in polvere con latte scremato o latte intero, latticello, alcuni tipi di oli vegetali, idrocolloidi ed emulgatori. Il latte viene aggiunto per sviluppare la concentrazione e la stabilità della bevanda. Way - Mil, uno dei prodotti più noti di questa categoria, è lattiginoso, ha un suo sapore e può includere cioccolato e frutta. Il prodotto contiene circa il 2-4% di materia grassa, l'1-1,5 % di proteine, il 4-5% di lattosio, lo 0,7% di minerali e vitamine idrosolubili. Questi prodotti possono essere arricchiti di vitamine e minerali. Rispetto alle altre bevande liquide, questi prodotti possono essere trasportati e immagazzinati più facilmente, e per questo sono utili in circostanze dove le fonti di proteine sono limitate e le condizioni di vita sono difficili. La produzione delle bevande a base di siero generalmente include una miscela di siero con soia, polvere di frutta, succhi di frutta concentrati o concentrati di sieroproteine.

### ***Bevande alcoliche a base di siero:***

Il siero è un'ottima materia prima per la produzione di bevande alcoliche grazie al lattosio - componente principale della sostanza



secca del siero (circa il 70 %). Le bevande a base di siero sono considerate poco alcoliche ( $\leq 1.5$  %). Vengono prodotte attraverso: fermentazione diretta del lattosio (generalmente con lieviti quali *Kluyveromyces fragilis* e *Saccharomyces lactis*), aggiunta di saccarosio, per ottenere il desiderato livello di alcol (il 0,5-1,0 %), aromatizzazione, dolcificazione e imballaggio. Il sapore acido del prodotto finale proviene dalla trasformazione del lattosio in acido lattico e dei rimanenti fermenti in alcol. A questa categoria appartiene “Serwowit”, una bevanda alcolica prodotta in Polonia, che veniva ottenuta da una miscela di kefir e spumante.

La birra di siero può essere prodotta con l'aggiunta di malto. Può essere arricchita da minerali, contenere amido idrolizzato e vitamine. Il vino di siero è relativamente poco alcolico e viene insaporito con aromi di frutta. La produzione di vino di siero comprende le seguenti fasi: chiarimento, deproteinizzazione, idrolisi di  $\beta$  - galattosidasi e di lattosio, trasferimento e raffreddamento dopo decantazione, aggiunta di lieviti per la fermentazione, trasferimento, maturazione, filtrazione e imbottigliamento. Per ottenere uno spumante, al siero acido deproteinizzato viene aggiunto saccarosio e zucchero caramellato, lievito di birra, aroma di frutta e acqua. La miscela viene imbottigliata, lasciata in fermentazione per 8-12 ore a 18°C. È stata condotta una ricerca sulla produzione di bevande a base di siero utilizzando il WPC (contenente il 35% di proteine) ed alcuni batteri lattici selezionati. È stato dimostrato che grazie alla fermentazione del WPC si può ottenere una bevanda con un basso livello di  $\beta$  - lattoglobulina – componente allergenico del latte, e una grande quantità di aminoacidi ramificati.

## 4. PRODOTTI INNOVATIVI A BASE DI SIERO DI LATTE

**Autori:** Dr. Zerrin Yüksel Önür, Dr. Kemal Çelik, Dr. Harun Baytekin Dr. Ahmet Uzatici

### 4.1 Acido lattico

Per ottenere l'acido lattico, il siero viene sottoposto ad un trattamento termico, quindi vengono introdotti i batteri omofermentanti. Sono ampiamente utilizzati: Lactobacillus, Lactococcus, Streptococcus, Leuconostoc e Pediococcus. L'acido lattico è usato nell'industria alimentare, farmaceutica, tessile e nell'industria della pelliccia principalmente come conservante e "acidificante". L'utilizzo dell'acido lattico come materia prima per ottenere gli acidi polilattici ha causato l'aumento dell'interesse per la sua produzione. Gli acidi polilattici dei polimeri vengono utilizzati per la produzione dei farmaci specifici e delle plastiche biodegradabili. Per la produzione dell'acido lattico è importante progettare i bioreattori adeguati. L'uso innovativo di siero di latte nelle più recenti tecniche biotecnologiche ha lo scopo di risolvere il problema di fondo d'inquinamento ambientale nel settore caseario.

### 4.2 Alcol etilico - etanolo

Le prime ricerche sulla produzione di etanolo durante la fermentazione del siero sono state fatte nel 1940. Le tecniche per trasformare il lattosio in etanolo sono state ampiamente utilizzate fino ad oggi. La produzione di etanolo è un tema che richiama una grande attenzione. Per produrre l'acido etilico si usa: siero oppure

soluzione di siero in polvere, permeato di siero ottenuto da UF oppure siero deproteinizzato e anche un gruppo specifico di microrganismi. Durante la biotrasformazione del lattosio in etanolo, da 1 kg di lattosio si ottiene teoricamente al massimo 0,538 kg di etanolo. Tuttavia, la trasformazione del lattosio del siero in etanolo liquido è un'operazione difficile e costosa rispetto alla trasformazione delle altre materie prime come amido di mais o zucchero di canna. L'etanolo ottenuto dal siero può essere utilizzato nei prodotti alimentari, chimici, farmaceutici, cosmetici e anche come carburante alternativo.

### **4.3 Proteine da cellule singole (SCP)**

L'aumento vertiginoso della popolazione mondiale, in particolare nel terzo mondo, porta all'aumento della produzione alimentare e con ciò alle ricerche sulle fonti degli alimentari innovativi e alternativi. La produzione delle proteine da cellule singole (SCP) è uno dei passi fondamentali. Le SCP sono delle proteine estratte dalla biomassa microbica coltivata. Possono essere usate in alternativa agli altri prodotti convenzionali costosi come farina di soia e farina di pesce. Inoltre, la trasformazione biologica di scarti agricoli e industriali in alimenti ricchi di proteine fornisce un vantaggio economico del prodotto finale. Poiché il lattosio del siero è un elemento importante di BOD, utilizzandolo come il substrato per la produzione di proteine da cellule singole (SCP) si riduce anche un potenziale inquinamento, ed è un valore aggiunto al prodotto. La produzione della biomassa microbica dal siero di latte è stata introdotta nel commercio dal 1940. La produzione delle SCP dal siero su scala industriale, per l'uso nei prodotti alimentari, è iniziata in Francia nel 1958. Durante la lavorazione del permeato di siero vengono utilizzati tre diversi tipi di muffe. Sono in grado di riprodursi nel pH = 3,5 a 38°C per più di un anno. Una temperatura elevata e

un basso pH sono raccomandati per ridurre il rischio di contaminazione. Per prevenire la formazione di etanolo, nelle vasche di fermentazione viene introdotto l'ossigeno. La biomassa di muffe viene recuperata grazie a centrifuga, trattamento termico a 85°C ed essiccazione in atomizzatori. Le SCP ottenute contengono il 48-52% di proteine. Contengono gli aminoacidi essenziali, tra cui grandi quantità di lisina, e anche vitamine del gruppo B. Commercialmente viene chiamato "lievito Protibel". La biomassa è utilizzata soprattutto nell'alimentazione animale, ma anche nella nutrizione umana. L'industria francese produce quasi 2500 tonnellate di SCP in un anno. Questo prodotto è stato utilizzato nella nutrizione umana per quasi 30 anni. Da 100 tonnellate di siero di latte si ottengono 2,5 tonnellate di SCP e 100 kg di aminoacidi.

#### **4.4 Biogas**

L'idrogeno è un gas, fonte dell'energia pulita, che non viene rilasciato dai gas serra e dalle piogge acide. Può essere idrolizzato e purificato facilmente a causa della sua bassa soluzione. Questo gas ha un'alta efficienza energetica. Inoltre, l'idrogeno può essere utilizzato direttamente nelle celle a combustione per produrre elettricità. Per questi motivi, c'è un notevole aumento d'attenzione verso la produzione e l'uso dell'idrogeno. L'utilizzo di rifiuti ricchi di carboidrati come il siero di latte è un'opzione economicamente interessante per la produzione di idrogeno. Per ottenere l'idrogeno, il siero di latte, il siero diluito, la soluzione di siero in polvere e il permeato di siero vengono sottoposti alla fermentazione anaerobica. Durante questo processo, teoricamente, da 1 mole di lattosio si formano 8 moli di idrogeno. Inoltre questa miscela di biogas contiene anche metano e anidride carbonica. Diversi problemi significativi sono stati riscontrati nel processo anaerobico del siero crudo (biodegradazione in ambiente anaerobico) nonostante il fatto che esso contenga una grande quantità di carboidrati (lattosio) e sia considerato una buona materia prima per

i processi biologici. Il siero ha una bassa alcalinità grazie ad una grande quantità di sostanza organica.

Per alzare l'alcalinità del siero al livello appropriato, si applica il processo di diluizione e fermentazione. Per sviluppare efficienza di conversione energetica e stabilità del prodotto, il periodo della formazione di metano è separato dal periodo della formazione di acidi. In questo processo a due fasi, la prima può essere ottimizzata per la produzione biologica di idrogeno gassoso. Nelle ricerche fatte sulla produzione di biogas da una miscela di siero ed escrementi dei volatili, è stato stabilito che la produzione può essere eseguita senza l'aggiunta di sostanze chimiche. Sono state inoltre condotte altre ricerche sulla produzione di biogas base da una miscela di siero di latte ed escrementi di bovini. Guardando il processo da un punto di vista ambientale, si nota una diminuzione del valore di COD (domanda chimica di ossigeno) di quasi l'80-90% e una riduzione dei consumi di zucchero tra l'86 e il 97%. L'idrogeno liquido ottenuto dal processo deve essere elaborato.

## **4.5 Bioplastiche**

Le bioplastiche, in particolare i poliidrossialcanoati (PHA), sono ampiamente impiegate come materiali biodegradabili per la sostituzione dei polimeri derivati dal petrolio. Tuttavia, non hanno avuto un ampio utilizzo soprattutto a causa dei costi di produzione, che sono nettamente superiori a quelli della produzione di plastiche tradizionali. I costi della produzione si possono ridurre grazie alla ricerca di nuovi substrati a basso costo, di nuove strategie fermentative e di nuove fasi di recupero e di purificazione oppure utilizzando microrganismi capaci di sintetizzare e accumulare alte concentrazioni di PHA.

È stato confermato che i componenti del siero di latte sono adeguati per la produzione di PHA. In molte ricerche svolte sulla produzione di PHA da siero, sono stati usati diversi tipi di microrganismi.



**Foto 4.1.** Materiale bioplastico prodotto dal siero.

Le pellicole e gli altri materiali di rivestimento prodotti da biopolimeri come proteine, amido e lipidi, oltre a PHA, attraggono un grande interesse a causa dei benefici ambientali e della sostenibilità che offrono. Tra i biopolimeri, le macromolecole proteiche sono i materiali con la più alta e la più grande variabilità in termini di componenti e proprietà chimiche. Gli aminoacidi presenti all'interno in queste molecole hanno prevalentemente strutture sequenziate. Nella produzione di bioplastica vengono usate le sieroproteine composte da proteine globulari.

Le sieroproteine vengono usate come materiale di confezionamento grazie al fatto che riescono a creare una perfetta barriera all'ossigeno e anche perché il siero viene prodotto in grandi quantità. Tuttavia, per utilizzare queste proteine nell'industria della plastica come per esempio per produrre imballaggi bisogna ridurre la loro fratturabilità strutturale. A tale proposito le sieroproteine sono state miscelate con lattice naturale, albumina dell'uovo e due biopolimeri già utilizzati ampiamente. Hanno aumentato del 10% la resistenza delle bioplastiche, senza cambiare la loro durezza.

Le pellicole e i materiali di rivestimento derivati dalle sieroproteine hanno caratteristiche antiossidanti utili ai pesci congelati e prevengono anche l'amarezza delle arachidi tostate che

può essere causata dallo stampaggio. Inoltre, i rivestimenti fatti dalla miscela di sieroproteine e monogliceridi sono utilizzati per ridurre l'umidità nei cereali e la viscosità delle uve secche.

#### **4.6 Colture starter**

Il lattosio e gli altri ingredienti nutrizionali inclusi nel siero del latte sono necessari per lo sviluppo microbico e anche per trasformare il siero in una potenziale materia prima per la produzione di vari prodotti biologici. I prodotti del siero vengono utilizzati nelle tecnologie ecocompatibili, nella produzione su larga scala di varie sostanze chimiche (come alcol etilico) e vari alimenti di alto valore nutritivo (lievito di birra, alimenti per animali arricchiti di proteine, bevande di siero come kefir, colture starter per la maturazione del formaggio o come gli additivi alimentari probiotici). Le colture starter vengono prodotte mediante la riproduzione di *Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus bulgaricus* e la cultura kefir mista nel siero. Vengono usate nei processi di conversione del lattosio su scala industriale, grazie ad un basso costo della produzione e ad una conservazione facile (come ad esempio l'essiccazione). L'uso della bassa temperatura riduce i costi dell'essiccamento termico delle colture starter. Le colture starter liofilizzate ed essiccate termicamente possono essere utilizzate nella maturazione del formaggio.

#### **4.7. Altri prodotti biologici**

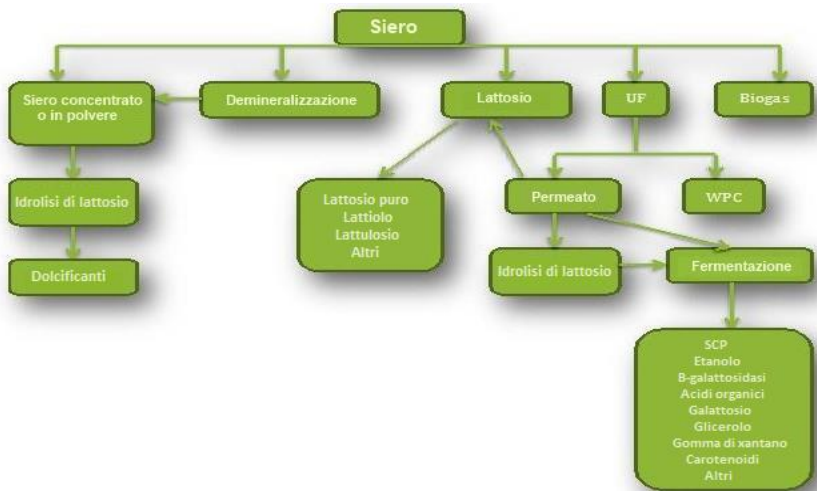
I vari acidi organici (acetico, propionico, lattico, citrico e gluconico) e gli amminoacidi (acido glutammico, lisina e treonina) utilizzati negli alimenti, vengono prodotti dal siero utilizzando diversi microrganismi in diversi processi.

Il 2,3-butandiolo, che è un materiale base per l'industria chimica e viene usato come fonte di energia alternativa, può essere ottenuto grazie ad una fermentazione del siero. Sono state fatte ricerche sulla produzione di glicerolo durante la fermentazione del lievito, in alternativa alla sintesi organica. La produzione della gomma di xantano dal siero di latte è stata eseguita con successo. Questo polisaccaride viene utilizzato nella trivellazione petrolifera, nel settore tessile e anche nell'industria alimentare come addensante, emulgatore e stabilizzatore. Tramite una fermentazione anaerobica del siero si può ottenere l'acetato di calcio e di magnesio.

Questo materiale può essere utilizzato sulle strade come antigelo, nella produzione del fruttosio difosfato e degli altri sali utilizzati in farmacia. Viene ottenuto attraverso biotrasformazione del siero utilizzando ***Saccharomyces cerevisiae***.

I composti aromatici volatili sono prodotti utilizzando *Kluyveromyces lactis*. Il siero è un potenziale materiale per la produzione di poligalatturonasi e altri enzimi che fanno parte di questi composti. La betaina di glicina e il trealosio sono ingredienti ampiamente utilizzati nel cibo, nell'industria tessile, nella medicina, nell'agricoltura, nell'ingegneria genetica e nell'alimentazione animale. Per questo motivo, la produzione industriale di questi prodotti è molto importante. La betaina di glicina e il trealosio vengono ottenuti da siero acido attraverso una fermentazione.





**Figura 4.1.** Metodi di lavorazione del siero di latte ancora studiati e applicati al commercio (Siso, 1996).

## 5. PROPRIETÀ NUTRIZIONALI DEL SIERO E DEI SUOI DERIVATI.

**Autore:** Dr. Imre Mucsi - Foundation of Knowledge -Ungheria

### 5.1 Metodi di misura dei parametri di siero.

La ragione principale per cui il siero di latte, che è un sottoprodotto della produzione del formaggio, della cagliata e della caseina, ha bisogno di essere gestito in modo appropriato, è un'alta qualità e una grande quantità della sua sostanza secca. Da 100 litri di latte vengono prodotti 80-90 litri di siero. Circa il 50% della sostanza secca del latte passa nel siero. Il totale della sostanza secca del siero dipende dal tipo di latte e dai prodotti caseari, ed è compresa tra il 5,4 % e il 6,7%. Il lattosio è il componente principale disciolto nel siero, ma ci sono anche le proteine, i minerali, una piccola quantità di grassi, i composti azotati non proteici e le vitamine. Le proteine indotte dal siero grazie ad un trattamento termico (e acidificazione) possono essere utilizzate nella produzione di formaggio (ad esempio: Urda, ricotta, brunost e Ziger). La riduzione del contenuto di acqua prolunga notevolmente i tempi della conservazione. Il condensato di siero ottenuto grazie ad una evaporazione multifase, effettuata sottovuoto, contiene fino al 48-62% di sostanza secca.

Il lattosio, il componente principale del siero, ha bisogno di essere cristallizzato in alfa lattosio monoidrato per non essere appiccicoso e igroscopico. La polvere di siero contiene il 4-5% di acqua, viene prodotta mediante il processo di polverizzazione e asciugatura. La polvere di siero, soprattutto di siero acido, prima di essere utilizzata negli alimenti per l'infanzia o in un'alimentazione terapeutica, deve

essere demineralizzata a causa dell'alto contenuto di minerali.

Prima della polverizzazione, la quantità di sale può essere ridotta dalle resine a scambio ionico, dall'elettrodialisi o dalla nanofiltrazione. Usando diverse tecniche di separazione, come la disidratazione, è possibile frazionare il contenuto di sostanza secca del siero. Le proteine del siero vengono separate dal lattosio e dai minerali mediante un processo a membrana chiamato ultrafiltrazione. Sono utilizzate per produrre diversi concentrati o isolati di proteine. Il numero sull'etichetta dei concentrati di sieroproteine presenti in commercio (ad esempio: WPC - 35, WPC - 80) mostra la percentuale proteica.

La quantità di proteine nel prodotto aumenta proporzionalmente alla diminuzione del lattosio. Le sieroproteine isolate (WPI) sono le più pure tra gli altri concentrati; contengono almeno il 90% di proteine nella sostanza secca. Se la simmetria rotazionale delle proteine è superiore al 70%, l'ultrafiltrazione deve essere associata alla diafiltrazione, al fine di ottenere la purezza desiderata. Le sieroproteine possono essere idrolizzate (WPH) in peptidi e amminoacidi, in modo che diventino facilmente digeribili e quindi possano essere consumate dalle persone che soffrono di allergia al latte vaccino. Il frazionamento delle proteine e dei peptidi del siero può essere effettuato ad esempio con la precipitazione selettiva, i metodi cromatografici e i processi di separazione a membrana. Il lattosio può essere trasformato in galattosio e glucosio tramite idrolisi enzimatica o acida. Lo sciroppo ottenuto da questo processo può essere usato per la produzione dei prodotti caseari dolci o di altri prodotti alimentari. Il suo vantaggio è che i prodotti che ne derivano possono essere consumati da persone intolleranti al lattosio. Il lattulosio è uno zucchero artificiale, prodotto durante l'isomerizzazione del lattosio, in cui la molecola di glucosio viene sostituita da una molecola di fruttosio. Il lattulosio non agisce con la

lattasi, viene fermentato dai batteri intestinali, viene impiegato nel trattamento della stitichezza, come lassativo e come probiotico.

Un alcool di zucchero chiamato lattitolo è prodotto durante la riduzione del lattosio. Il lattitolo viene solitamente usato per sostituire lo zucchero nei prodotti alimentari, a causa del suo sapore dolce e del basso valore energetico ( $\sim 9$  kJ/g). Il suo impiego nel corpo umano è indipendente dall'insulina e quindi può essere utilizzato negli alimenti per i diabetici. L'acido lattobionico è prodotto dall'ossidazione del lattosio e ha delle forti proprietà chelanti. Il bromuro lattobionato di calcio può essere utilizzato negli alimenti come stabilizzante, ma è anche usato nei farmaci che aumentano il livello di calcio nel corpo umano. I galatto-oligosaccaridi (GOS) appartengono ad un importante gruppo di prebiotici. I GOS non sono carboidrati digeribili, sono costituiti da 3-8 monomeri. Si trovano nella loro forma naturale nel latte, ma possono anche essere prodotti dal lattosio con l'aiuto di enzimi microbici. A seconda della lunghezza della catena molecolare e del tipo di monomeri, si sviluppano i diversi tipi di molecole GOS. Il monosaccaride D-tagatosio, utilizzato come dolcificante, può essere ottenuto grazie all'isomerizzazione enzimatica o alcalina della molecola di D-galattosio. Il suo potere dolcificante è pari al 92% rispetto a quello del saccarosio, ma solo una piccola quantità di esso viene assorbita nell'intestino tenue. La maggior parte del D-tagatosio ingerito viene fermentato nel colon, dalla microflora intestinale autoctona. Pertanto il D-tagatosio ha un valore calorico più basso rispetto al saccarosio. Inoltre il siero può essere utilizzato in tanti altri campi. Grazie alla presenza di lattosio, il siero può essere fermentato con il lievito per ottenere l'alcol etilico.

Il metano, utilizzato come biogas, si ottiene grazie al trattamento anaerobico del siero di latte. Il lattosio (come fonte di carbonio) è utilizzato dai lieviti come substrato per costruire le proprie cellule.

L'acido lattico prodotto dal lattosio dai batteri lattici è una fonte dell'acido polilattico (PLA). Il PLA viene usato per la produzione dei materiali biodegradabili. Dalla fermentazione del siero si possono ottenere diversi tipi di acidi organici, vitamine, amminoacidi, gomma di xantano e altri prodotti. I derivati del siero di latte sono utilizzati anche nell'industria farmaceutica e cosmetica. Ogni anno in tutto il mondo vengono prodotte 185-190 milioni di tonnellate di siero di latte e questa cifra è destinata ad aumentare. Grazie al suo elevato contenuto di sostanza secca, il siero di latte ha una notevole richiesta biochimica di ossigeno e quindi viene considerato un sottoprodotto dell'industria alimentare altamente inquinante. Al di là delle questioni ambientali, la necessità dell'utilizzo del siero è essenziale, grazie ai suoi diversi componenti benefici per l'organismo umano. Una delle fasi del trattamento di siero è la disidratazione. Al fine di aumentare la qualità del prodotto è necessario ridurre la quantità di minerali, in particolare NaCl. Se il siero viene concentrato mediante i filtri, queste due operazioni possono essere eseguite contemporaneamente. Le palline di grasso e le cellule batteriche possono essere rimosse dal latte attraverso la microfiltrazione. A causa delle loro dimensioni non possono attraversare la membrana e così si concentrano nel retinato, mentre le altre componenti del latte passano. Grazie alla microfiltrazione si può effettuare una sterilizzazione a freddo. Al fine di ottenere un'elevata purezza dei concentrati di proteine del siero (WPC) e degli isolati di proteine del siero (WPI), è molto importante separare le suddette particelle dalle proteine. Le molecole del lattosio e delle proteine possono essere separate tra loro da una membrana di ultrafiltrazione. La dimensione dei pori (circa 0,01 micron - 0,1 micron) e la ritenzione della membrana di ultrafiltrazione, cambiano in modo da poter effettuare un frazionamento delle proteine di diverse dimensioni. L'ultrafiltrazione è ampiamente utilizzata per la produzione di concentrati ad alto contenuto proteico. Il retentato ha una

considerevole quantità di calcio che lega le molecole proteiche. Il permeato contiene: lattosio, azoto non proteico (NPN) e piccole molecole e ioni di acidi organici. Per la realizzazione di prodotti con un contenuto proteico maggiore del 70% della sostanza secca, viene utilizzata la diafiltrazione. L'aggiunta dell'acqua fresca al concentrato aiuta a rimuovere il lattosio e i sali. L'osmosi inversa e l'ultrafiltrazione sono utilizzate per la preconcentrazione del permeato di latte e di siero, al fine di aumentare il contenuto della sostanza secca. Le membrane utilizzate trattengono gli ioni monovalenti ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ) con un'efficienza del 95%, quindi il filtrato è praticamente un'acqua contenente gli ioni liberi e la sua richiesta biochimica e chimica di ossigeno diminuisce fino a 100 ppm. L'osmosi inversa è utilizzata per al massimo il 25% dei concentrati. La produzione dei concentrati con una elevata quantità della sostanza secca è limitata dalla crescita continua della pressione del retentato. Se la concentrazione viene effettuata tramite l'osmosi inversa e l'evaporazione sotto vuoto, si può ottenere un risparmio energetico. Per la dissalazione parziale dei concentrati di siero viene effettuata l'elettrodialisi. In questo modo, dal concentrato viene rimosso più del 90% di NaCl. Durante lo scambio ionico, le membrane cationiche e anioniche non porose vengono poste alternativamente tra un catodo e un anodo e formano delle coppie cellulari. Il liquido viene condotto nelle cellule "dispari", dove i cationi si sposteranno verso il catodo con carica negativa e gli anioni si sposteranno verso il catodo con carica positiva. Le membrane a scambio anionico con la carica positiva impediscono la migrazione di cationi, e viceversa, gli anioni non saranno in grado di attraversare le membrane a scambio cationico. Gli ioni si concentreranno nelle cellule "pari", mentre il liquido parzialmente dissalato viene condotto dalle cellule "dispari".

## 5.2 I componenti del siero

Il siero di latte è stato scoperto 3000 anni fa. I nostri antenati conservavano e trasportavano il latte nello stomaco di vitello e conoscevano già un processo naturale: la coagulazione. Successivamente, è stato identificato l'enzima che causa questo processo. Durante la cagliatura si ottengono due prodotti diversi: la cagliata e il siero. Il siero di latte è il sottoprodotto della produzione della cagliata (in Ungheria), del formaggio e della caseina. Il siero è ricco di proteine, minerali e vitamine. Il suo alto valore nutritivo è stato scoperto in questo secolo, però il suo effetto curativo era già conosciuto in Svizzera, Austria e Germania nel XVIII e XIX secolo. L'uso di polvere di siero è limitato solo a causa del suo alto contenuto di lattosio, tuttavia, ci sono molti tipi di alimenti in cui esso può essere ampiamente utilizzato. Il siero acido si ottiene durante la coagulazione acida e viene utilizzato nella produzione di ricotta e di formaggi a pasta molle. Il siero dolce è un prodotto della coagulazione mista (produzione dei formaggi).

Componenti di siero dolce e siero acido:

Componenti	Siero dolce	Siero acido
Totale sostanza secca [%]	5,40 - 6,35	5,60 - 6,70
Lattosio [%]	4,1 - 5,0	3,8 - 4,6
Totale di proteine [%]	0,8 - 1.0	0,8 - 1.0
Proteine del siero [%]	0,6 - 0,7	0,6 - 0,7
Grassi del latte [%]	0,2	0,2

Minerali [%]	0,50 - 0,60	0,50 - 0,85
Cl [ppm]	1000 - 1640	1000
Na [ppm]	300 - 460	450 - 600
K [ppm]	1050 - 1700	1200 - 1800
Ca [ppm]	250 - 500	800 - 1100
Mg [ppm]	40 - 100	80 – 120
P [ppm]	350 - 550	500 – 700
Vitamine		
Tiamina [ppm]	0,4	0,4
Riboflavina [ppm]	1,4	1,4
Piridossina [ppm]	0,5	0,5
Cobalamina [ppm]	0,002	0,002
Acido nicotinico [ppm]	0,85	0,85
Acido follico [ppm]	0,05	0,05
Acido pantotenico [ppm]	3,4	3,4
Acido ascorbico [ppm]	2,2	2,2
Siero [%]	Tracce, massimo 0,1	Massimo 0,8
pH	5,60 - 6,50	4,35 - 5,10
Conducibilità [mS/cm]	4,7 - 6,4	8,4



La seguente tabella mostra la distribuzione percentuale dei componenti di latte e di siero.

Componenti di latte	Quantità in 100 componenti di formaggio	Quantità in 100 componenti di siero
Grassi	87,7	12,3
Proteine	72,0	28,0
Lattosio	5,3	94,7
Cenere	18,8	81,2
Totale sostanza secca	46,4	53,6

Durante la lavorazione tradizionale, il 46,4% di materia secca del materiale base entra nel prodotto principale. La maggior parte della preziosa sostanza secca è sprecata. La produzione del formaggio non ha un metodo di lavorazione efficiente, poiché i componenti naturali del latte, quali carboidrati (il 94,7 %), minerali (l'81,2%), proteine (il 12,3%) e una parte delle vitamine idrosolubili, vengono sprecati e quindi diventano inaccessibili per i consumatori.

Componenti del siero	Siero (in 100 ml)	Siero (in 1000 g)
Sostanza secca (g)	61	956
Lattosio (g)	48/59*	740/660*
Proteine (g)	8	125
Grassi (g)	2	10
Acido lattico (g)	1/5*	2/42*
Minerali (g)	5/7*	80/105*
Ca (g)	0,5/1*	7/20*
P (g)	0,5	8
K (g)	1,4	20
Na (g)	0,45	9
Cl (g)	1	16
Mg (g)	0,04/0,8*	1/2*
Zn (mg)	0,3/2,3*	10/60
Fe (mg)	0,9	
Cu (mg)	0,2	3
Mn (mg)	6/26	120/470

<b>Vitamine</b>		
Tiamina (mg)	0,4	5
Riboflavina (mg)	1,4	25
Adermina (mg)	0,5	
Cobalamina (mg)	1,5	25
Acido nicotinico (mg)	2,0	8
Acido follico (mg)	50	220
Acido Pantotenico	115	
Acido Ascorbico	9	45

\* valore per siero dolce e siero acido

La seguente tabella mostra la distribuzione di aminoacidi in siero dolce, siero acido, polvere di siero e latte.

<b><i>Amminoacidi (g/100g)</i></b>	<b><i>Siero dolce</i></b>	<b><i>Siero Acido</i></b>	<b><i>Polvere di siero dolce</i></b>	<b><i>Polvere di siero acido</i></b>	<b><i>Latte</i></b>	<b><i>Fabbisogno giornaliero</i></b>
Triptofano	0,013	0,016	0,205	0,251	0,017	0,25
Treonina	0,054	0,038	0,817	0,59	0,046	0,5
Isoleucina	0,047	0,038	0,719	0,581	0,056	0,7

Leucina	0,078	0,072	1,186	1,116	0,095	1,1
Lisina	0,064	0,065	1,03	1,008	0,068	0,8
Metionina	0,016	0,014	0,241	0,221	0,021	1,1
Cistina	0,017	0,014	0,253	0,211	0,019	1,1
Fenilalanina	0,027	0,025	0,407	0,386	0,046	1,1
Tirosina	0,024	0,019	0,363	0,300	0,053	1,1
Valina	0,046	0,038	0,697	0,579	0,063	0,8
Arginina	0,025	0,021	0,375	0,327	0,043	
Istidina	0,016	0,015	0,237	0,23	0,023	
Alanina	0,039	0,033	0,598	0,506	0,036	
Acido aspartico	0,083	0,074	1,269	1,149	0,082	
Acido glutammico	0,148	0,136	2,248	2,096	0,168	
Glicina	0,018	0,014	0,28	0,211	0,026	
Prolina	0,052	0,045	0,786	0,699	0,082	
Serina	0,041	0,035	0,622	0,541	0,043	

Il siero di latte è ricco di minerali poiché la maggior parte di essi è presente in acqua nella loro forma dissociata.

La seguente tabella mostra la distribuzione di minerali nel siero, nella polvere di siero e nel latte materno.

<i>Minerali (mg/100g)</i>	<i>Siero dolce</i>	<i>Siero acido</i>	<i>Polvere di Siero dolce</i>	<i>Polvere di Siero acido</i>	<i>Latte</i>	<i>Fabbisogno giornaliero</i>
Ca	47	103	769	2054	32,2	800
Fe	0,06	0,08	0,88	1,24	0,03	12-18
Mg	8	10	176	199	3,4	200
P	46	78	932	1349	13,7	800
K	161	143	2080	2289	51,2	2000
Na	54	48	1079	968	16,9	2000
Zn	0,13	0,43	1,97	6,31	0,17	12
Cu	0,004	0,003	0,07	0,05	0,052	2
Mn	0,001	0,002	0,009	0,015	0,026	4
Se (µg/100g)	1,9	1,8	27,2	27,3	1,8	

Il siero contiene solo piccole quantità di vitamine liposolubili grazie al basso contenuto di grassi.

<i>Vitamine (mg/100g)</i>	<i>Siero dolce</i>	<i>Siero acido</i>	<i>Polvere di Siero dolce</i>	<i>Polvere di Siero acido</i>	<i>Latte</i>	<i>RDA mas.</i>	<i>RDA fem.</i>
Acido ascorbico	0,1	0,1	1,5	0,9	5,0	60	60
Tiamina (B1)	0,036	0,042	0,51	0,622	0,014	1,4	1,2
Riboflavina (B2)	0,158	1,14	2,208	2,06	0,036	1,7	1,6
Niacina	0,074	0,079	1,258	1,16	0,177	16	14
Acido pantotenico	0,383	0,381	5,62	5,632	0,223	8	8
Vitamina B6	0,031	0,042	0,584	0,62	0,011	2	19
Vitamina B12	0,28	0,18	2,37	2,5	0,045	0,0004	0,0004
Vitamina A (IU)	12	7	30	59	241		
Retinolo	3	2	8	17			

Il lattosio è un disaccaride ed è formato da galattosio e da glucosio. Il suo nome ha origini latine, il suffisso "ose" significa zucchero. Il  $\beta$  - D - galattosio e il D - glucosio sono collegati insieme da un legame  $\beta$  1-4 glicosidico. Entrambi i monosaccaridi si presentano nel siero in una forma piranosica. Il lattosio rappresenta

la maggior parte (circa il 70 %) della sostanza secca del siero. È una quantità di lattosio pari al 2-8 % della sostanza secca del latte. Il lattosio non può essere elaborato dal corpo umano nella sua forma originale. Tuttavia, la lattasi presente nell'intestino tenue aiuta il suo assorbimento, grazie alla degradazione della doppia molecola, e quindi il lattosio diventa una fonte di energia utile. Dopo la trasformazione della doppia molecola in singoli zuccheri, il glucosio entra nel flusso sanguigno e può essere utilizzato immediatamente, mentre il galattosio viene lavorato nel fegato. Uno degli effetti benefici del lattosio è il suo medio indice glicemico. Il lattosio è utilizzato dai batteri intestinali come fonte di nutrimento. Essi producono l'acido lattico e gli acidi grassi a catena corta (SFCA), impediscono la riproduzione dei batteri nocivi (proteolitici e marciumi) diminuendo il valore di pH dell'intestino crasso. Il basso valore di pH aumenta la solubilità di alcuni minerali (per esempio: calcio e magnesio), viene associato con l'aumento della pressione osmotica del contenuto intestinale proveniente dall'attività dei batteri. Questi processi migliorano l'efficacia dell'assorbimento di minerali. L'intolleranza al lattosio si verifica a causa della totale o parziale mancanza della lattasi. Tale mancanza provoca sintomi quali gonfiore, spasmi e diarrea. Il siero è un'importante fonte di calcio, un minerale ampiamente presente nel corpo umano, che insieme al fosforo e al magnesio svolge un ruolo importante nella costruzione delle ossa e dei denti. La quantità di potassio che si trova nel siero è 3-4 volte più alta della quantità di sodio. Un'eccessiva quantità di sodio può causare ipertensione, ma il potassio presente nel siero può controbilanciare l'esagerata assunzione di sodio. Le vitamine idrosolubili, soprattutto vitamine del gruppo B, costituiscono la maggior parte delle vitamine presenti nel siero di latte. All'interno delle vitamine del gruppo B, troviamo la riboflavina (B2) che dà il colore giallo-verdastro al siero e la cobalamina (B12).

### 5.3. Struttura e funzionalità delle sieroproteine.

Nel siero non si trovano solo le proteine vere e proprie, ma anche i composti azotati non proteici (NPN) come, ad esempio, peptidi, aminoacidi liberi, carbamide, creatina, orotico e sali di ammonio. Le sieroproteine formano un gruppo piuttosto eterogeneo. Le diverse frazioni proteiche del siero hanno ben poche caratteristiche in comune. Una di queste è il fatto che rimangono solubili quando la caseina precipita dalla soluzione. La digeribilità delle sieroproteine è compresa tra il 94 e il 100%. I valori delle diverse frazioni proteiche del siero di latte vaccino sono:

- beta- lattoglobulina, il 44-58 %
- alfa – lattoalbumina, il 13-22 %
- glicomacropetidi, il 12-20 %
- albumina sierica, il 4-8 %
- immunoglobuline, l'8-15 %
- lattoferrina, il 2-3 %
- lactoperoxidase, lo 0,5 %

Le sieroproteine sono complete, di alta qualità e con un ricco profilo amminoacidico. Contengono l'intero spettro di amminoacidi (AA), dagli amminoacidi essenziali (EAA) agli acidi a catena ramificata (BCAA), che giocano un ruolo chiave nella crescita e nella correzione dei tessuti. È stato scoperto di recente che la leucina, che è un BCAA importante, ha un ruolo chiave nel metabolismo di glucosio e insulina. Le sieroproteine contengono grandi quantità di EAA e BCAA rispetto ad altre fonti di proteine (soia, mais, frumento), che il corpo umano è in grado di assorbire e utilizzare in modo



efficiente. Grazie all'elevata concentrazione di CEA e di BCAA, il siero aiuta il corpo umano a proteggere il tessuto muscolare. È utile soprattutto per gli anziani, per coloro che conducono una vita attiva, per chi vuole perdere o mantenere il peso corporeo effettivo. Se gli anziani mantenessero il loro basso peso corporeo o potessero aumentarlo, potrebbero evitare i cambiamenti indesiderati dell'invecchiamento all'interno del loro corpo, ma anche prevenire cardiopatie, ictus, diabete ecc. Le sieroproteine riducono al minimo le probabilità d'insorgenza della sarcopenia, perché stimolano la sintesi proteica dopo i pasti e limitano la perdita di proteine dell'organismo. Il consumo di siero dà una spinta in più alla sintesi delle proteine muscolari, è utile alle persone che fanno attività fisica per mantenere la propria forma fisica. Se gli anziani consumassero 10-20 grammi di siero dopo l'esercizio fisico, esso aumenterebbe la sintesi proteica grazie all'alto contenuto di EAA e della leucina. Quindi, si può dire che il siero svolge un ruolo importante nello sviluppo del peso corporeo. Secondo i risultati delle ricerche, l'assunzione appropriata di calcio può impedire l'obesità e può aiutare a perdere peso. Secondo gli studi epidemiologici, il basso apporto di calcio aumenta altamente il rischio di obesità.

Il lattosio è lo zucchero più importante tra i componenti di prodotti ottenuti dal siero. Ha un basso indice glicemico e di conseguenza potrebbe aiutare a perdere peso. Il lattosio influisce in minima parte sul livello di zucchero nel sangue e sulla risposta insulinica, quindi è ideale per coloro che sono affetti da diabete di tipo 2. Le proteine provocano senso di sazietà, possono ridurre il grasso corporeo e di conseguenza il peso corporeo, grazie alla modulazione di apporto energetico. Il siero di latte è in grado di ridurre l'assunzione di cibo meglio di altre fonti di proteine come soia, uova o carne. Ecco perché il siero di latte è ideale per coloro che vogliono consumare alimenti ricche di proteine e a basso

contenuto di carboidrati. Gli amminoacidi a catena ramificata e la leucina svolgono un ruolo unico nel controllo del metabolismo, aiutano la perdita di grasso e lo sviluppo dei tessuti muscolari dopo l'esercizio. Molti sportivi consumano le sieroproteine a causa del loro contenuto di amminoacidi a catena ramificata (BCAA). Durante l'esercizio fisico aumenta il bisogno di BCAA. Le sieroproteine sono ideali per integrare la mancanza di BCAA, perché aiutano la sintesi proteica e lo sviluppo muscolare durante il rilassamento. Le sieroproteine sono molto efficaci per aumentare la sintesi proteica dei muscoli perché i loro profili amminoacidici sono quasi uguali ai profili amminoacidici dei muscoli scheletrici. Inoltre, le sieroproteine, a causa della presenza di EAA, stimolano efficacemente la sintesi proteica nei muscoli delle persone adulte. Le sieroproteine hanno un'eccezionale capacità di ottimizzare, in diversi modi, il sistema immunitario. Prima di tutto aumentano il livello di glutathione (GSH) in diversi tessuti. Il GSH è un antiossidante protettore dell'organismo. Protegge le cellule dai danni da radicali liberi, dalla contaminazione, dai veleni, dalle infezioni e dalle radiazioni ultraviolette. Nel caso di HIV, cancro, sindrome da stanchezza cronica e altre malattie del sistema immunitario, diminuisce il livello di GSH. Tale livello continua a diminuire durante l'invecchiamento e questo può essere responsabile in parte dello sviluppo di Alzheimer, cataratta, morbo di Parkinson e arteriosclerosi. Per questo la dieta ricca di sieroproteine è essenziale non solo per le persone affette da alcune malattie, ma anche per le persone sane di ogni età.



I seguenti componenti del siero hanno effetti benefici sul sistema immunitario:

- Cisteina - un amminoacido, può essere trovato in grandi quantità tra le sieroproteine. È uno dei materiali responsabili della produzione di GHS all'interno delle cellule.
- Lattoferrina - ha un effetto modulante sul sistema immunitario, contro microbi e veleni, protegge contro alcuni virus, per esempio epatite, citomegalovirus e influenza.
- Immunoglobuline - aumentano l'immunità passiva e proteggono i bambini. Nel caso degli adulti, aumentano l'attività del sistema immunitario.
- BCAA (amminoacidi ramificati) - prodotti dai muscoli per sintetizzare la glutammina, che è uno dei precursori del GHS e degli altri importanti componenti immunitari.

Le sieroproteine contengono anche la glutammina che impedisce la stanchezza e il sovrallenamento, in quanto fornisce "carburante" per la divisione cellulare. La lattoferrina è una proteina che fa parte delle sieroproteine ed ha una capacità ferro legante. La lattoferrina appartiene alle transferrine, che permettono al ferro di legarsi ai globuli rossi. Di solito la forza muscolare, sia per gli uomini che per le donne, mostra una regressione del 20-40% all'età di 70-80 anni, ma anche oltre i 60 anni (circa 30%). La sarcopenia provoca non solo la debolezza della forza muscolare, ma anche una diminuzione della massa muscolare. Le ragioni principali dello sviluppo di sarcopenia sono: basso apporto di proteine, basso apporto calorico, cambiamento nella sintesi delle proteine e ridotta attività fisica. Nelle persone anziane sane, la sintesi proteica dopo i pasti è più bassa rispetto ai giovani sani. Il siero di latte stimola meglio la sintesi

delle proteine dopo i pasti rispetto alla caseina e così riduce la perdita di massa muscolare. Tra le sieroproteine ci sono:  $\beta$  - lattoglobulina,  $\alpha$  - lattoalbumina, immunoglobuline,  $\beta$  - globulina, lattoferrina, lattoperossidasi e glicomacropeptide che sono materiali biologicamente attivi. Le sieroproteine hanno le seguenti caratteristiche: antiossidanti, antitumorali, antibatteriche, antimicrobiche e antivirali. Inoltre, hanno effetti benefici contro la pressione alta e nella riduzione del colesterolo. Alcune sieroproteine stabilizzano le vitamine e i minerali, e perciò svolgono un importante ruolo nel metabolismo alimentare. Secondo i risultati scientifici, le sieroproteine e i peptidi aiutano la digestione e il funzionamento dell'intestino, inoltre aumentano la produzione di glutathione e il funzionamento del sistema immunitario. Di conseguenza, l'assunzione delle sieroproteine può migliorare in diversi modi lo stato generale di salute dell'organismo.

La seguente tabella riassume gli effetti biologici benefici delle sieroproteine:

$\beta$ - lattoglobulina	$\beta$ - Lattoglobulina rappresenta il 50% delle proteine presenti nel siero. Il suo ruolo biologico non è ancora del tutto chiaro, è sicuro che essa stabilizza i minerali (per esempio zinco e calcio), le vitamine liposolubili (per esempio vitamina A ed E) e i grassi. Inoltre contiene un'alta quantità di amminoacidi a catena ramificata.
$\alpha$ - lattoalbumina	$\alpha$ - lattoalbumina rappresenta il 50 % delle proteine presenti nel siero; ha effetti antitumorali, antimicrobici e

	immunostimolanti. Aumenta la produzione di serotonina che migliora l'umore. Riduce il livello di cortisolo (ormone dello stress).
Peptidi	Peptidi presenti nel siero riducono il livello di colesterolo, la pressione sanguigna e proteggono contro certi tipi di tumori.
Albumina	Le sieroproteine contengono il 5% di albumina, la quale ha un effetto antiossidante e antimutageno.
Immunoglobuline	Immunoglobuline (per esempio IgA, IgM, IgE e IgG) aiutano il sistema immunitario passivo.
Lattoferrina	Lattoferrina è una proteina che lega il ferro e che svolge un ruolo importante nel corpo umano. Ha effetti antitumorali, antimicrobici, antivirali, antibatterici, antiossidanti, antinfiammatori e immunostimolanti.
Lattoperossidasi	Lattoperossidasi è un enzima che degrada l'idrogeno perossido e ha un effetto antibatterico. È usato come conservante e nei dentifrici contro il decadimento dentale. Ha effetti antiossidanti e immunostimolanti.
Glicomacropeptidi	Glicomacropeptidi diminuiscono l'appetito e hanno effetti antivirali, anticancro e immunostimolanti; abbassano la coagulazione del sangue, proteggono contro l'alta pressione arteriosa e contro la carie.

Nel caso di persone sane, è ideale il consumo giornaliero di 20-25 grammi di proteine del siero isolate (WPI) o concentrate (WPC). La quantità può essere raddoppiata nel caso degli sportivi, in quanto richiedono più proteine per la rigenerazione dei tessuti muscolari. Ulteriori porzioni di proteine devono essere consumate dalle persone affette da morbo di Crohn, persone che fanno la terapia antitumorale, persone che sono affette da gravi ustioni e pazienti che hanno subito un intervento chirurgico. Le sieroproteine dovrebbero costituire il 20-30% del totale di consumo giornaliero di proteine.

La polvere di proteine del siero può essere facilmente miscelata con frullati, yogurt, formaggi, succhi di frutta, bevande sportive, puree di patate e fiocchi d'avena. Può anche essere utilizzata come integratore proteico nelle polpette di carne, nelle minestre, nelle salse e nel budino istantaneo. Nei paesi altamente sviluppati c'è una crescente richiesta di alimenti funzionali. Questi tipi di alimenti hanno alcuni effetti positivi aggiuntivi per l'organismo umano, al di là del loro valore alimentare di base. La polvere di siero dolce può essere utilizzata in gelati, budini, torte, biscotti, pane, prodotti da forno, cioccolato, caramelle, succhi di frutta, bibite, zuppe in polvere, salse, prodotti a base di carne, margarine.

La polvere di siero acido può essere usata in succhi di frutta, prodotti del latte fermentato, formaggi, condimenti, pane, cracker ed alcuni prodotti a base di carne. La polvere di siero, soprattutto quello acido, che contiene molti minerali, deve essere demineralizzata prima di essere utilizzata negli alimenti per l'infanzia o per la nutrizione terapeutica.

Dal siero di latte o dalla sua parti di esso si possono ottenere i fermentati o le bevande analcoliche. Il siero può essere aggiunto ad un succo o ad una polpa di frutta formando così una gustosa bevanda che abbina gli effetti benefici della frutta con quelli del siero.







