



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ALIMENTI,  
RISORSE NATURALI, ANIMALI E AMBIENTE – DAFNAE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE  
IN SCIENZE E CULTURA DELLA GASTRONOMIA E DELLA  
RISTORAZIONE

RELAZIONE FINALE DI LAUREA  
**Le schiume di latte: fattori chimico-fisici  
e applicazioni in gastronomia**

RELATRICE

Prof.ssa Antonella Crapisi

LAUREANDO

Filippo Marchioro  
Matricola 1224194

Anno Accademico 2022/2023



## Sommario

Sommario .....	3
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>PRIMO CAPITOLO .....</b>	<b>7</b>
<b>IL LATTE.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Composizione chimica del latte .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Glucidi del latte .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 I lipidi del latte .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Le proteine del latte.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1 Le proteine del siero .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.2 Proprietà funzionali delle proteine del latte.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 I componenti minori del latte.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Effetti dei trattamenti termici sulla composizione del latte .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Cambiamenti nelle proteine .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Cambiamenti nei lipidi.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Cambiamenti nei glucidi .....</b>	<b>17</b>
<b>SECONDO CAPITOLO .....</b>	<b>18</b>
<b>LA SCHIUMA DI LATTE.....</b>	<b>18</b>
<b>1. Le schiume alimentari.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 La maturazione di Ostwald .....</b>	<b>18</b>
<b>2. La stabilità delle schiume.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 La stabilità della schiuma e proprietà interfacciali delle proteine del latte: caseinato di sodio e proteine del siero.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Influenza di macromolecole non proteiche sulla stabilità della schiuma .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 L'effetto della temperatura sulla stabilità delle schiume e correlazione con il contenuto lipidico del latte .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 L'effetto della temperatura su alcuni tipi di latte: latte crudo, intero omogeneizzato pastorizzato, scremato pastorizzato, intero omogeneizzato trattato UHT e scremato trattato UHT.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Effetto della temperatura sulla distribuzione delle dimensioni delle bolle della schiuma di latte....</b>	<b>26</b>
<b>TERZO CAPITOLO .....</b>	<b>28</b>
<b>LE SCHIUME DI LATTE IN GASTRONOMIA .....</b>	<b>28</b>
<b>1. Le proteine vegetali .....</b>	<b>28</b>
<b>1.1 Le proprietà schiumogene delle proteine vegetali .....</b>	<b>28</b>
<b>1.2 Le principali proteine di origine vegetale e le loro proprietà schiumogene .....</b>	<b>31</b>
<b>2. Il cappuccino .....</b>	<b>35</b>
<b>3. La latte art .....</b>	<b>39</b>

<b>CONCLUSIONI GENERALI</b> .....	42
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	44
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	45

## INTRODUZIONE

Questa relazione ha lo scopo di approfondire la composizione delle schiume di latte vaccino e individuare le loro applicazioni in gastronomia.

Il primo capitolo tratterà la composizione chimica del latte vaccino: saranno presentati tutti i macronutrienti e micronutrienti, con particolare interesse per le proteine e le loro proprietà tecnologiche utili alla produzione schiume. Nell'ultimo paragrafo si è voluto fare un breve focus sugli effetti delle alte temperature sui principali macro e micro nutrienti.

Per quanto riguarda i glucidi si prenderà in esame il lattosio, lo zucchero principale presente nel latte; si analizzerà la sua composizione chimica e gli effetti delle alte temperature. Questo perché le schiume di latte si formano principalmente attraverso l'uso di calore. Si cercherà di capire cosa accade al lattosio e quali composti si formano se portato a temperature superiori di 180 °C.

Si passerà poi all'approfondimento dei lipidi del latte. Verranno studiati i globuli di grasso, in particolare la loro struttura e composizione. Vi sarà anche un breve approfondimento sui trigliceridi, sugli acidi grassi del latte e sui composti responsabili in parte dell'aroma del latte e dei prodotti lattiero caseari.

Verranno trattate poi le proteine del latte. Le proteine svolgono un ruolo chiave nella formazione di schiuma, grazie alla loro struttura e composizione presentano notevoli proprietà schiumogene che verranno trattate nel secondo capitolo. Gli amminoacidi sono le unità base delle proteine. Dall'unione di più amminoacidi si formano le strutture proteiche: struttura primaria, secondaria, terziaria e quaternaria. La denaturazione impatta solo sulla struttura terziaria e quaternaria.

Il 70-80% delle proteine del latte è rappresentato dalle caseine, mentre il restante 20% dalle sieroproteine. Le principali caseine conosciute e che risultano essere interessanti dal punto di vista tecnologico sono:  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$  e K. Verrà presentato il modello di Schmidt, che spiega la composizione delle sub-micelle, e che prevede nella fascia esterna della struttura sub-micellare una zona ove prevale la parte polare della K-caseina.

Le proteine del siero sono presenti all'interno del siero residuo dalla precipitazione delle proteine. Sono la  $\beta$ -lattoglobulina, l' $\alpha$ -lattoalbumina, la sieroalbumina, le immunoglobuline e i componenti della frazione dei proteoso-peptoni.

Inoltre, dopo l'analisi delle principali proteine del latte si passerà allo studio delle loro proprietà tecnologiche: solubilità, viscosità, idratazione, gelificazione, proprietà emulsionanti, proprietà schiumogene e ritenzione di aromi. Per quanto riguarda le schiume di latte, le proprietà di maggiore interesse sono la solubilità e le capacità schiumogene. Queste due proprietà sono molto correlate tra loro. La solubilità delle proteine influenza la capacità schiumogena. Una solubilità bassa delle proteine diminuisce il rapporto molecole/unità di superficie all'interfaccia durante l'aumento di volume conseguente alla formazione di schiuma; la schiuma che si otterrà sarà quindi instabile. Se invece la solubilità della proteina è alta, la schiuma risulterà più compatta e con bolle di diametro minore. Si capirà che le proteine del siero sono quelle che hanno le migliori proprietà schiumogene; producono schiume stabili sia per resa (aumento percentuale del volume iniziale), che per la stabilità (tempo di durata del volume massimo ottenuto). Per spiegare la capacità schiumogena si utilizzerà la relazione:  $W$  (lavoro richiesto) =  $J$  (tensione superficiale) x  $A$  (superficie totale bolle), l'abbassamento della tensione superficiale facilita la formazione di schiuma in quanto riduce il lavoro richiesto per produrla.

Si tratteranno poi i componenti minori del latte e gli effetti delle alte temperature su lipidi, glucidi e proteine.

Il secondo capitolo definirà che cos'è una schiuma e quali sono i modelli teorici per produrla. Nello specifico, verrà approfondita la maturazione di Ostwall. Si discuterà poi, la stabilità delle schiume e le proprietà interfacciali delle proteine del latte, con particolare interesse per il caseinato di sodio e proteine del siero. Successivamente si cercherà di capire come i componenti non proteici influenzino la stabilità della schiuma. Le macromolecole studiate saranno i lipidi, fosfolipidi, peptidi a basso peso molecolare e zuccheri. La temperatura è uno dei fattori che impatta maggiormente nella stabilità delle schiume. Verrà fatta prima un'analisi sulla schiumabilità correlata alla temperatura e al contenuto lipidico e poi in che modo la temperatura impatta sulla tipologia di latte utilizzato. I latti presi in esame saranno: latte crudo, intero omogeneizzato pastorizzato, scremato pastorizzato, intero omogeneizzato trattato UHT e scremato trattato UHT. Il confronto tra latte intero e scremato permetterà di capire qual è il più indicato per la produzione di schiume stabili e con una corretta schiumabilità. Alla fine del capitolo poi ci sarà un breve approfondimento sull'effetto della temperatura sulla distribuzione delle dimensioni delle bolle della schiuma di latte. Il terzo e ultimo capitolo di questo elaborato porrà l'attenzione sulle proteine vegetali come alternativa alle proteine del latte e sulle varie applicazioni delle schiume di latte in gastronomia. Si approfondiranno le proteine della soia, dell'avena, del riso, dei ceci e loro proprietà schiumogene. In tutte le proteine vegetali studiate si risconterà come i trattamenti chimici ed enzimatici agiscono in maniera negativa o positiva sulle capacità di creare schiume. È stato possibile apprendere come le proprietà schiumogene delle proteine derivate da legumi e semi oleosi possono spesso essere considerevolmente aumentate perfezionando le condizioni di estrazione e/o applicando trattamenti fisici (ad es. omogeneizzazione, microfluidizzazione, alta pressione o ultrasuoni) favorendo la rottura di grandi aggregati globulinici in particelle più piccole e stabili. Le proteine della soia risulteranno essere la miglior alternativa alle proteine animali; grazie anche al fatto che presentano un profilo amminoacidico simile a quello delle proteine del latte. Nell'ultima parte del capitolo si espongono le principali applicazioni delle schiume di latte in gastronomia. La gastronomia può essere definita come quella scienza multidisciplinare che coinvolge e interseca tutte le conoscenze relative al cibo in quanto elemento materiale - in ogni sua fase - e in quanto elemento culturale, trasformato, secondo tradizione o no, scambiato in maniera equa oppure no, raccontato o analizzato in maniera più o meno scientifica, scelto. La prima applicazione citata delle schiume di latte è il cappuccino. Il cappuccino è una bevanda a base di caffè espresso e latte, il quale viene fatto schiumare tramite l'utilizzo di vapore ad alta pressione. Nel corso del paragrafo vengono analizzati i principali fattori che permettono di ottenere un corretto cappuccino. Per aiutarmi nell'argomentazione di questi aspetti mi sono affidato al testo di Chiara Bergonzi: "Latte art"<sup>1</sup>. L'autrice specifica come la tipologia di latte, la macchina espresso e la lattiera agiscono in maniera attiva sulla buona riuscita del cappuccino. Ci si focalizzerà anche sulla chimica del cappuccino e come deve avvenire una corretta montatura del latte. Con riferimento alla solubilità dei gas si parlerà delle varie fasi di montatura e in particolare nello specifico: la fase volume e la fase emulsione. Un altro impiego delle schiume di latte è la latte art; insieme di tecniche prevede l'utilizzo della schiuma di latte per la realizzazione di disegni che galleggiano sulla superficie di una calda tazzina di caffè. Il processo di montatura del latte è identico a quello del cappuccino. Ciò che cambia è la tecnica con cui il latte si versa nella tazza. Nel corso del paragrafo sono state elencate le tecniche di decorazioni più comuni: il Pouring, l'Etching, il Metodo 3D, il Painting e il topping. Si parlerà anche della Latte art Grading System. Sistema che certifica, a livello mondiale, le capacità dei baristi valutandone tecnica e creatività nella decorazione delle bevande di caffetteria con la tecnica della Latte art, attraverso sei livelli.

---

<sup>1</sup> C. Bergonzi, Latte Art, hoepli, 2016, pp. 44-45-61

## PRIMO CAPITOLO

### IL LATTE

Il primo capitolo esamina la composizione chimica del latte vaccino. Nella prima parte del capitolo verranno approfonditi i principali macronutrienti e micronutrienti del latte. Nello specifico glucidi, lipidi e proteine. Maggiore interesse è stato rivolto alle proteine e alle loro proprietà funzionali ai fini tecnologici. Negli ultimi paragrafi si è voluto fare un breve focus sugli effetti delle alte temperature sui principali macro e micronutrienti del latte.

#### 1. Composizione chimica del latte

Il latte è un'emulsione di sostanza grassa sotto forma globulare in un liquido. Questo liquido è a sua volta una sospensione di materie proteiche in un siero.<sup>2</sup> I componenti del latte si trovano nella soluzione in diverse fasi:

*-fase di emulsione (il grasso del latte)*

*-fase di soluzione: i sali minerali, le proteine e il lattosio*

*-fase di sospensione detta colloidale (la caseina)*

#### 1.1 Glucidi del latte

La totalità degli zuccheri del latte è rappresentata dal lattosio, presente con una concentrazione compresa tra 4,5 e 5,0 g/100 ml. Il lattosio è uno zucchero disaccaride costituito da glucosio e galattosio. Il gruppo carbonilico del galattosio è impegnato nel legame, mentre quello del glucosio è libero e conferisce al lattosio la sua proprietà riducente. Il lattosio è presente nel latte nella forma  $\alpha$ -idrata e nella forma  $\beta$ -anidra, in equilibrio tra loro in funzione della temperatura. Il lattosio è uno zucchero poco solubile.

Il lattosio può venire scisso tramite idrolisi nei suoi due monomeri glucosio e galattosio tramite l'enzima lattasi o, più propriamente, beta-galattosidasi. Questo enzima scinde, in presenza di acqua, il legame tra i monosaccaridi. L'enzima è utile anche per l'assorbimento del lattosio a livello digestivo. In mancanza dell'enzima l'assorbimento del lattosio risulta essere difficile. Dall'idrolisi si ottengono prodotti "delattosati" utili per i soggetti "lattosio-intolleranti".

Dal punto di vista tecnologico il lattosio è coinvolto nelle reazioni sollecitate dal calore. A temperature comprese tra i 110°C e i 140°C (latte UHT o sterilizzato), il lattosio perde acqua di cristallizzazione producendo composti come acido levulonic e acido formico, utili per la formazione dello yogurt. Sopra i 150°C ingiallisce e oltre i 180°C caramellizza. La reazione di Maillard, detta anche imbrunimento non enzimatico, avviene a temperature superiori a 80°C ed è responsabile del colore bruno del latte UHT; porta alla formazione di composti detti "basi di schiff" e aldeidi, chetoni e ossimetilfurforolo che altera il colore, le caratteristiche

---

<sup>2</sup> C. Alais, *Scienza del latte*, Edizioni tecniche nuove, Milano 1994, p. 4

organolettiche e nutritive del latte. Nel latte pastorizzato la reazione di Maillard è praticamente assente, mentre il suo effetto diventa maggiore nei latti UHT e sterilizzati.

Nel latte sono presenti anche zuccherini minori. È il caso, per esempio, delle glicoproteine in cui i glucidi sono combinati nelle sequenze amminoacidiche provocando solvatazione delle molecole a cui appartengono. La K-caseina svolge un'azione di stabilizzazione della dispersione colloidale delle micelle caseiniche grazie all'elevata idratazione del suo peptide acido; legati alla K-caseina vi sono residui di glucidi neutri, glucosio e galattosio, e di residui acidi.

Vi sono, nel latte anche piccole quantità di glucosio e galattosio che derivano da lisi acida o enzimatica del lattosio.

## 1.2 I lipidi del latte

I lipidi nel latte costituiscono circa il 3-5% del contenuto totale. La materia grassa del latte è organizzata in globuli. I globuli di grasso sono caratterizzati da una associazione tra gliceridi e sostanze di membrana. Questa associazione influisce sulle proprietà di individualità, stabilità e possibilità di formare aggregati della fase grassa del latte; queste proprietà hanno influenza in alcuni processi tecnologici.

I globuli di grasso hanno dimensioni variabili dai 0.1 a 10  $\mu\text{m}$  e possono essere suddivisi in piccoli (3  $\mu\text{m}$ ), medi (da 4 a 3  $\mu\text{m}$ ) e grossi (da 10 a 22  $\mu\text{m}$ ). Circa il 94% dei globuli di grasso è costituito da globuli medi e questa distribuzione influisce sulla stabilità dell'emulsione del latte.

Nel globulo di grasso si distinguono tre parti:

- la parte esterna detta membrana. Essa è costituita da proteine, fosfolipidi e colesterolo. Permette ai globuli di conservare lo stato di emulsione;
- la parte intermedia, costituita da lipidi ad alto punto di fusione;
- la parte interna, costituita da lipidi a basso punto di fusione;<sup>3</sup>

La membrana in cui sono racchiusi i globuli di grasso ha una funzione di stabilità e protezione. Trattamenti meccanici violenti provocano totale o parziale distruzione della membrana con conseguente destabilizzazione del grasso. Il grasso è poco sensibile ai trattamenti termici (per esempio la bollitura non altera le caratteristiche del grasso); ma se al trattamento termico è unito un trattamento meccanico (omogeneizzazione, centrifuga) si possono avere delle alterazioni.

I composti lipidici maggiormente presenti nel latte sono i trigliceridi. I trigliceridi sono esteri del glicerolo e di acidi grassi alifatici.

Il grasso del latte presenta una grande varietà di acidi grassi; 2/3 sono acidi grassi saturi ed 1/3 sono acidi grassi insaturi. Quasi tutti gli acidi grassi saturi hanno numero pari di atomi di carbonio. Tra i principali acidi grassi saturi troviamo l'acido caprilico, caprico, palmitico, stearico e laurico.

Gli acidi grassi insaturi contengono all'interno della catena uno o più doppi legami. Possono presentare l'isomeria CIS o TRANS.

---

<sup>3</sup> C. Corradini, *Chimica e tecnologia del latte*, Edizioni nuove 1995, p. 47

Quello più presente è l'acido oleico che ha la forma CIS e il doppio legame sul carbonio 9. Sono presenti anche piccole quantità di acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi. Questi ultimi vengono definiti essenziali per l'alimentazione umana. Sono l'acido linoleico e linolenico.

Il grasso del latte contiene anche una modesta parte di cheto ed ossi-acidi e da lattoni derivati da ossiacidi. Questi composti sono responsabili in parte dell'aroma del latte e dei prodotti lattiero caseari (il riscaldamento aumenta il contenuto di lattoni).

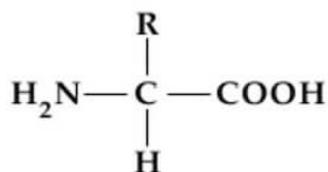
Altri composti associati ai lipidi sono i carotenoidi, tocoferoli, xantofille e squalene, i quali agiscono come principi nutritivi, come antiossidanti e come pigmenti.

Sostanze azotate nel latte. Le sostanze azotate presenti nel latte sono le proteine che costituiscono il 95%, e sostanze non proteiche come ammoniaca, creatina, amminoacidi liberi, nucleotidi.

### 1.3 Le proteine del latte

Le proteine sono composti azotati formati da carbonio, idrogeno, con l'aggiunta di azoto. Le unità base delle proteine sono gli amminoacidi. Gli amminoacidi sono caratterizzati dalla presenza di un gruppo amminico  $\text{NH}_2$  e di un gruppo acido  $\text{COOH}$ . Il legame che unisce i due gruppi è definito legame peptidico.

La formula strutturale di base:



"R" è il radicale libero e conferisce all'amminoacido caratteristiche chimico-fisiche specifiche.

Gli amminoacidi vengono definiti elettroliti "anfoteri". La presenza del gruppo amminico e del gruppo basico, fa sì che gli amminoacidi possano comportarsi sia da acidi che da basici, in funzione dell'acidità del mezzo. Quando le cariche, di basicità e acidità, di un amminoacido si equivalgono (punto "isoelettrico"), l'amminoacido precipita (come nel latte).

Le strutture con cui sono organizzate le proteine sono:

-struttura primaria, data dalla semplice sequenza di amminoacidi uniti da legame covalente peptidico

-struttura secondaria è rappresentata da un'organizzazione spaziale della proteina. Vi sono due tipi di strutture: la struttura  $\alpha$  in cui gli amminoacidi sono disposti secondo una conformazione ad elica e la struttura  $\beta$  a fogli ripiegati. Queste strutture sono stabili grazie a legami idrogeno.

-struttura terziaria caratterizzata data dalla sequenza casuale degli amminoacidi e dai loro legami come ponti di solfuro S-S, legami H, legami covalenti e legami idrofobici e le forze di Van der Waars, quest'ultime sono tipiche delle proteine globulari.

-struttura quaternaria: è l'associazione di più catene tramite legami non covalenti, data perciò, da proteine diverse che si legano tra loro tramite legami H, ionici, ponti di solfuro, interazioni idrofobiche dando forma a interazioni inter-catene.

Le proteine se sottoposte alle alte temperature (nel latte >60-70°) subiscono una denaturazione. La denaturazione è un fenomeno irreversibile che interessa solo i legami della struttura terziaria e quaternaria. Le proteine perdono la loro stabilità e funzionalità biologica. Le proteine del latte una volta denaturate perdono le loro funzionalità e diventano meno solubili. Il latte bollito, per esempio, come il latte UHT, non vengono più coagulati dal caglio e non possono trasformarsi in formaggio.<sup>4</sup>

Il 70-80% delle proteine del latte è rappresentato dalle caseine, mentre il restante 20% dalle sieroproteine. Le caseine sono sostanze azotate che a pH 4.6 precipitano per acidificazione. Sono costituite da aggregati etero-proteici fosforilati presenti nel latte allo stato micellare colloidale che può essere separato per acidificazione o coagulazione enzimatica.<sup>5</sup> Le caseine presentano principalmente strutture lineari semplici, infatti, vengono definite proteine a struttura aperta.

Le principali caseine conosciute e che risultano essere interessanti dal punto di vista tecnologico sono:  $\alpha$ 1,  $\alpha$ 2,  $\beta$  e K.

La caseina  $\alpha$ 1 è data dall'unione di due proteine, le caseine  $\alpha$ 0 e  $\alpha$ 1. Contiene circa 199 amminoacidi. Questa caseina è molto sensibile al calcio a tutte le temperature ed è idrofoba. Presenta una catena peptidica semplice

La caseina  $\alpha$ 2 è composta da 207 amminoacidi con due residui cisteinici. Questa caseina presenta una bassa idrofobicità.

La caseina  $\beta$  ha una composizione simile alla  $\alpha$ 1 caseina. Non è sensibile al calcio e risulta essere molto idrofoba; presenta infatti molte catene laterali non polari.

La K-caseina è una fosfo-glicoproteina. Risulta essere solubile in presenza di calcio a tutte le temperature. Ha il ruolo di "colloide protettore" permettendo la formazione di micelle stabili in presenza di calcio. È la caseina che permette la coagulazione del latte avendo un legame della catena particolarmente sensibile all'azione della chimosina.

Le caseine sono degli aggregati colloidali uniti dalla presenza o meno di calcio. Le associazioni di natura micellare delle caseine derivano direttamente dalle loro proprietà molecolari, dovute alla particolare distribuzione delle cariche e dei carboidrati, eventualmente presenti nella struttura primaria, che determinano zone idrofobiche e zone idrofiliche. In particolare, è stato individuato un peptide acido con cariche negative, per la presenza di gruppi fosforici e carbossilici, che orienta nel suo interno molecole d'acqua che funzionano come dipoli e vengono così a creare uno strato di idratazione.<sup>6</sup> Le caseine allo stato

---

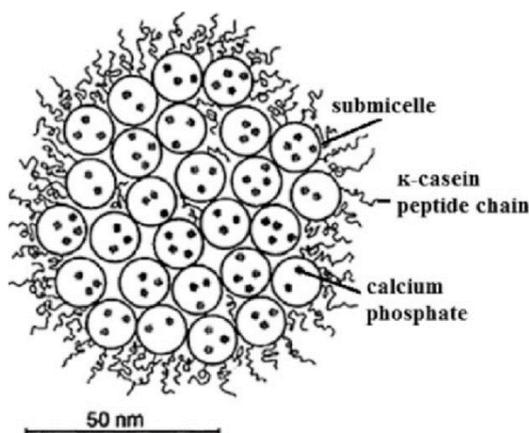
<sup>4</sup> O. Salvadori Dal Prato, *Tecnologie del latte*, Edizioni agricole 2005, p. 17

<sup>5</sup> O. Salvadori Dal Prato, *Tecnologie del latte*, Edizioni agricole 2005, p. 18

<sup>6</sup> P. Cabras, A. Martelli, *Chimica degli alimenti*, Edizioni Piccin 2004, p. 415

colloidale si incontrano ed entrano in contatto con le parti idrofobiche non caratterizzate da una carica omogenea prevalente. Non si allontanano grazie a legami idrogeno o dalla presenza dello strato idrato nella parte non a contatto che funge da protettore dell'associazione tra colli.

Le micelle di caseina sono un insieme di monomeri caseinici (sub-micelle) uniti tramite ponti chimici. Il componente minerale principale è il calcio fosfato.



7

Le proprietà delle micelle dipendono dal fatto che sulla superficie micellare prevalga la K-caseina. Questo perché la parte polare di questa caseina raggiunge il massimo livello di solvatazione per la presenza della componente glucidica.

Il modello di Schmidt, che spiega la composizione delle sub-micelle, prevede nella fascia esterna della struttura sub-micellare una zona ove prevale la parte polare della K-caseina.<sup>8</sup>

Le sub-micelle nell'unirsi, dispongono le caseine con minor contenuto in K-caseina nella parte interna, le quali verranno circondate da quelle con una maggior presenza di questa caseina; il peptide acido della K-caseina, con le sue cariche negative, si oppone ad ulteriori aggregazioni tra le micelle. La K-caseina, dunque, ha la funzione di "protettore" dello stato colloidale. Nella formazione del coagulo, la destabilizzazione colloidale consiste nell'andare ad allontanare il peptide che conferisce alla K-caseina carica negativa e solvabilità elevate. L'enzima proteolitico chimasi agisce rompendo il legame 105 e 106 della K-caseina con conseguente riduzione della carica superficiale e delle forze repulsive. Le micelle iniziano ad aggregarsi tra loro.

### 1.3.1 Le proteine del siero

Le proteine del siero sono presenti all'interno del siero residuo dalla precipitazione delle proteine. Sono la  $\beta$ -lattoglobulina, l' $\alpha$ -lattoalbumina, la sieralbumina, le immunoglobuline e i componenti della frazione dei proteosio peptoni.

La  $\beta$ -lattoglobulina è una proteina del siero costituita da una sola catena peptidica di 152 residui di amminoacidi; nella catena vi sono anche 5 residui cisteinici.

<sup>7</sup> Fig. 1 Modello schematico della micella di caseina.

[https://www.researchgate.net/publication/257780836\\_Better\\_Nutrients\\_and\\_Therapeutics\\_Delivery\\_in\\_Food\\_Through\\_Nanotechnology/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/257780836_Better_Nutrients_and_Therapeutics_Delivery_in_Food_Through_Nanotechnology/figures?lo=1)

<sup>8</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, p. 89

La struttura terziaria è stabilizzata da due ponti S-S; resta un gruppo solfidrile libero. Se il latte subisce riscaldamento la  $\beta$ -lattoglobulina forma un complesso con la K-caseina legato da ponti disolfuro. Il tipo gusto di "cotto" del latte è dato infatti dalla presenza di gruppi solfidrici (all'interno della  $\beta$ -lattoglobulina) modificati nel corso di denaturazioni troppo spinte o ad alte temperature.

La  $\alpha$ -lattoalbumina è la proteina più presente nel siero. Nella catena peptidica sono presenti 123 amminoacidi; vi sono 8 residui cisteinici, tutti collegati da legami disolfurici intramolecolari. Questa proteina ha difficoltà a legarsi con altre proteine tramite ponti disolfuro perché non presenta gruppi -SH liberi. Per quanto riguarda la sua struttura molecolare presenta una configurazione  $\alpha$ -elicoidale.

La sieroalbumina ha 35 residui cisteinici che danno luogo a 17 legami disolfurici lasciando un gruppo solfidrico libero. La catena presenta 542 residui amminoacidici. La struttura di questa albumina non è ancora del tutto definita; si pensa che sia formata da un'unica catena peptidica con numerosi ripiegamenti stabilizzati da ponti disolfuro.

Le immunoglobuline sono proteine del latte che presenta molte analogie con le immunoglobuline (Ig) del siero sanguigno. Le quattro differenti classi di immunoglobuline presenti nel latte sono: le IgG1 e IgG2, la IgA e la IgM. Le immunoglobuline sono costituite da monomeri (IgG1 e IgG2) e da polimeri (IgA e IgM) di una struttura formata da quattro catene polipeptidiche.<sup>9</sup>

Queste proteine hanno una funzione di difesa del vitello, infatti, si trovano principalmente nel colostro della vacca.

I proteoso-peptoni sono un gruppo di composti azotati eterogenei che si distinguono dalle altre proteine per il fatto che non precipitano dal siero con riscaldamento a 95-100° e successiva acidificazione a pH 4,7. Precipitano solo per addizione di acido tri-cloro-acetico. Possono essere riuniti in due gruppi: nel primo gruppo (PP5, PP8v, PP81) sono riuniti i peptidi derivati dalla lisi post-secretoria della  $\beta$ -caseina ad opera delle proteasi endogene del latte. Nel secondo gruppo (PP3) è costituito da componenti non derivanti dalle caseine.<sup>10</sup> La proteina solubile della membrana dei globuli di grasso può essere collegata ai proteoso-peptoni. Si ritiene infatti che i PP3 hanno interessanti proprietà emulsionanti.

### 1.3.2 Proprietà funzionali delle proteine del latte

Le proteine del latte presentano notevoli proprietà funzionali di interesse tecnologico. Le proprietà funzionali dipendono dalla natura e dalla conformazione strutturale della proteina. Le proprietà vengono suddivise in otto classi: organolettiche, di "texture", cinetiche, di idratazione, superficiali, strutturali e reologiche.

Solubilità, viscosità, idratazione, gelificazione, proprietà emulsionanti, proprietà schiumogene e ritenzione di aromi sono tra le principali proprietà delle caseine e delle proteine del siero del latte.

---

<sup>9</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, p. 93

<sup>10</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, p. 95

- *Solubilità*

Questa proprietà è correlata ad altre proprietà, tra cui la viscosità, l'attitudine alla gelificazione e l'emulsionabilità. Le caseine ottenute per precipitazione, sia acida che presamica, sono insolubili mentre sono solubili a pH superiore a 5,5 i caseinati alcalini.

Le proteine del siero sono invece molto solubili a valori di pH di 4,5-5,5; sono però insolubili con le alte temperature.

- *Stabilità al calore*

Le micelle caseiniche sono termicamente molto stabili; resistono infatti a temperature oltre i 140°C per 20 min senza che avvengano fenomeni di coagulazione. Questa stabilità aumenta con l'aumentare della K-caseina e con la diminuzione del fosfato di calcio colloidale. Quando le micelle subiscono trattamenti termici avvengono fenomeni di defosforilizzazione e rottura dei legami peptidici. Si formano legami disolfurici dall'interazione tra le caseine  $\alpha_2$  e K con la  $\beta$ -lattoglobulina. Si hanno anche delle inter-reazioni di natura idrofobica che portano alle formazioni di fosfocaseinato di calcio/sieroproteine denaturate, che modificano sensibilmente le proprietà gelificanti e reologiche della fase colloidale del latte; questo perché le micelle complesse danno nella coagulazione presamica tempi di coagulazione più lunghi e coaguli più fiacchi, mentre i gel lattici (ad esempio lo yogurt) prodotti con latte previamente riscaldato a più di 90°C sono meno compatti. Le sieroproteine sono più instabili al calore data la presenza dei residui cisteinici nelle loro molecole. Col calore si rompono i legami disolfurici, si attivano dei gruppi -SH, si libera H<sub>2</sub>S e si formano legami disolfurici intermolecolari: avviene quindi la precipitazione.

È bene ricordare che la  $\beta$ -lattoglobulina è la proteina del siero più termolabile; questo dovuto alla presenza del gruppo tiolo libero e al fatto che la sua denaturazione inizia già a temperature sui 70°C.<sup>11</sup>

Con il calore si formano anche dei composti che derivano dalla reazione di Maillard dati dall'interazione tra proteine e zuccheri.

- *Gelificabilità e coagulabilità*

Le proteine del latte hanno la capacità di formare gel e coaguli. La coagulazione è fondamentale per la produzione del formaggio. La coagulazione del latte per la produzione di formaggio può avvenire in due modi: per mezzo di enzimi coagulanti, ad esempio la chimosina (coagulazione presamica) oppure tramite acidificazione del latte (coagulazione acida).

Nella coagulazione presamica inizialmente le micelle si destabilizzano per allontanamento del peptide acido della K-caseina con conseguente diminuzione del loro potenziale superficiale; successivamente, la K-caseina è stata totalmente idrolizzata e si ha la formazione del coagulo per azione degli ioni calcio a temperatura superiore ai 15°C.

---

<sup>11</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, pp. 99-100

La gelificazione avviene grazie alla presenza dell'alcol etilico. Più basso è il pH e più alta è la concentrazione di ioni calcio, minore sarà la stabilità all'alcol.

Le proteasi sono enzimi che possono provocare la rottura del legame peptidico tra il gruppo amminico e il gruppo carbossilico di un amminoacido. Le proteasi possono far gelificare il latte UHT; queste, specialmente quelle di origine microbica, provocano una destabilizzazione della caseina micellare con conseguente aggregazione delle micelle in un meccanismo analogo a quello della coagulazione presamica.

Coagulazioni del latte si verificano con meccanismi di natura chimico-fisica in cui le caseine coagulano al punto isoelettrico. I gel che si ottengono però sono tendenti a fenomeni di sineresi, soprattutto a caldo. Un esempio di sineresi è la raccolta del siero di latte sulla superficie dello yogurt.

- *Proprietà emulsionanti*

Le proprietà emulsionanti sono dovute alla facoltà di ridurre la tensione interfacciale tra i componenti idrofili e idrofobici di un sistema.<sup>12</sup>

Nel latte i caseinati di sodio sono i componenti con le migliori proprietà emulsionanti a valori di pH relativamente alti.

Altri componenti emulsionanti sono la  $\beta$ -caseina, l' $\alpha$ s1 caseina e i proteoso-peptoni.

- *Proprietà a dare schiume stabili*

La schiuma è costituita da un sistema a due fasi, nel quale una fase costituita da bolle di un gas è circondata da una fase continua lamellare liquida.<sup>13</sup>

La capacità schiumogena è data dalla presenza o meno di agenti. Le proteine sono molecole anfiprotiche. Si distribuiscono in film all'interfaccia soluzione/aria e stabilizzano la schiuma.

Secondo la relazione  $W$  (lavoro richiesto) =  $J$  (tensione superficiale)  $\times$   $A$  (superficie totale bolle), l'abbassamento della tensione superficiale facilita la formazione di schiuma in quanto riduce il lavoro richiesto per produrla. I componenti proteici riescono a creare, nelle bolle d'aria, dei film continui e coesivi grazie a legami di idrogeno e interazioni idrofobiche ed elettrostatiche, trattenendo aria e formando la matrice strutturale della schiuma.

La solubilità delle proteine e il pH sono i parametri chimico-fisici influenzano maggiormente la capacità schiumogena.

Una solubilità bassa delle proteine diminuisce il rapporto molecole/unità di superficie all'interfaccia durante l'aumento di volume conseguente alla formazione di schiuma; la schiuma che si otterrà sarà quindi instabile.

Se invece la solubilità della proteina è alta, la schiuma risulterà più compatta e con bolle di diametro minore.

La massima capacità schiumogena si ottiene a valori di pH vicini al punto isoelettrico delle proteine in causa, in cui corrisponde un aumento dell'attrazione elettrostatica intermolecolare proteina-proteina.<sup>14</sup>

---

<sup>12</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, p. 101

<sup>13</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, p. 102

<sup>14</sup> C. Corradini, Chimica e tecnologia del latte, Edizioni nuove 1995, p. 102

Le proteine del siero hanno buone capacità “montanti” e schiumogene, analoghe a quelle dell’albume d’uovo. Producono schiume stabili sia per resa (aumento percentuale del volume iniziale), che per la stabilità (tempo di durata del volume massimo ottenuto). Le proteine del siero vengono però influenzate da diversi fattori, tra cui la denaturazione termica, il pH e il contenuto di calcio. Si formano diversi gradi di denaturazione delle singole proteine durante i trattamenti termici che subisce il latte alimentare; le proteine si diffondono con più facilità sullo strato interfacciale per formare associazioni molecolari. I valori ottimali di pH delle proteine del siero sono di 4 e 5, cioè in prossimità del punto isoelettrico. Alti contenuti di calcio favoriscono la formazione la compattezza del film proteico attorno alle bolle.

Le caseine invece hanno scarse proprietà schiumogene. La schiuma che si crea è instabile per le ridotte interazioni proteina-proteina e, per l’assenza di una struttura terziaria, collassa facilmente. Il pH ottimale per le caseine è 4, cioè vicino al punto isoelettrico ove si ha massima elasticità superficiale e una minima repulsione elettrostatica.

#### 1.4 I componenti minori del latte

I componenti minori del latte sono rappresentati da sali minerali tra i quali prevalgono calcio, potassio, fosforo e acido citrico. I minerali nel latte possono essere legati ad altri componenti come le proteine o i grassi, e trovarsi quindi in sospensione colloidale o in soluzione vera. Le due forme sono in equilibrio mobile nel senso che, se si verifica una diminuzione dei sali solubili, una parte dei sali colloidali tende a passare in soluzione e viceversa. Questa distinzione riguarda soprattutto i sali e gli elementi che prendono parte alla costituzione delle micelle caseiniche.<sup>15</sup>

Calcio e fosforo sono gli elementi minerali presenti maggiormente nel latte. Si possono trovare in diverse forme:

-Ca in forma solubile (40%) + in forma colloidale legato alla caseina (60%) -> FORMA 1

-P in forma solubile (60%) + in forma colloidale legato alla caseina (40%) -> FORMA 2

Queste forme sono in equilibrio tra loro.

Temperatura e pH possono influenzare l’equilibrio minerale di calcio e fosforo.

Aumentando temperatura e pH l’equilibrio si sposta verso la parte colloidale dei due minerali e inversamente verso la parte solubile con il raffreddamento del latte e la diminuzione dei valori di pH. Con le alte temperature diminuisce la parte solubile (forma 1) e aumenta la parte colloidale (forma 2) causando anche la precipitazione del fosfato di calcio se il trattamento è severo. Trattamenti a temperature moderate, ad esempio la pastorizzazione, spostano l’equilibrio a vantaggio della forma 2, migliorando la stabilità delle proteine. Il raffreddamento, invece, sposta l’equilibrio a vantaggio della forma 1 provocando una demineralizzazione della caseina (a causa della diminuzione del Ca e P colloidali). L’acidità provoca un passaggio del Ca e P nella forma 1 (in soluzione). I lattici quindi che subiscono un riscaldamento prolungato, che vengono fortemente acidificati o che sono stati refrigerati a lungo, non sono idonei ad essere trattati

---

<sup>15</sup> O. Salvadori Dal Prato, Tecnologie del latte, Edizioni agricole 2005, p. 19

termicamente. Il mantenimento degli equilibri salini del latte ha una certa importanza nelle operazioni tecnologiche di trattamento del latte.

## 2. Effetti dei trattamenti termici sulla composizione del latte

I trattamenti termici provocano delle alterazioni, più o meno intense, su quelli che sono i macro e micro componenti del latte. Alcuni subiscono delle denaturazioni parziali o totali, altri vengono completamente distrutti.

La durata e l'intensità del trattamento termico influiscono sui cambiamenti. Ad esempio, il latte bollito, il latte UHT e sterilizzato non coagulano più.

### 2.1 Cambiamenti nelle proteine

Le proteine sono tra le sostanze che subiscono maggiori modificazioni. Il riscaldamento provoca una destabilizzazione delle proteine in soluzione (come le sieroproteine); se avviene a temperatura superiore a 70° C il tenore delle proteine solubili del latte a pH 4.6 diviene inferiore a quello del latte crudo. Le cause principali per cui si verifica questo cambiamento sono:

-denaturazione parziale della  $\beta$ -lattoglobulina

-reazione di Maillard

-formazione della "pelle" nel latte bollito

-interazioni tra proteine del siero e caseina

Il gusto di "cotto" tipico del latte trattato termicamente è dato dalla presenza di gruppi solforati che si attivano dalle proteine del siero sottoposte a calore. Le sieroproteine una volta che perdono la loro struttura globulare e attivano i gruppi solforati formano dei legami di-solfurici intermolecolari; in ambiente acido, infine tendono ad aggregarsi e/o precipitare alle micelle di caseina.

Le caseine se sottoposte a calore cambiano le loro proprietà superficiali e di diametro delle micelle disperse, dovuto anche ad uno squilibrio del calcio e fosforo che si spostano verso la fase colloidale associata alle micelle di caseina.

Le interazioni che si creano tra caseina e sieroproteine sono date dalla fissazione delle  $\beta$ -lattoglobulina sulla K-caseina.

La formazione di complessi tra la caseina e le sieroproteine dipende dalla durata e dall'intensità del trattamento.

### 2.2 Cambiamenti nei lipidi

I trattamenti termici non modificano in maniera sostanziale la composizione lipidica del latte. Se però prima o dopo il trattamento termico, il latte ha subito delle sollecitazioni meccaniche come omogeneizzazione o centrifuga, la parte grassa del latte può avere delle alterazioni. Il trattamento termico per iniezione di vapore risulta esercitare sulla distribuzione dei globuli di grasso un effetto simile a quello di un trattamento di

omogeneizzazione con minore effetto protettivo della membrana dei globuli di grasso verso i processi alternativi.<sup>16</sup>

Si formano degli aggregati che portano ad una separazione delle fasi di emulsione.

Infine, i trattamenti termici possono isolare dei "lattoni", composti che derivano dalla disgregazione del grasso e che possono influire sul gusto del prodotto.

### 2.3 Cambiamenti nei glucidi

Il componente glucidico maggiormente presente nel latte è il lattosio. Il lattosio se sottoposto a forte riscaldamento sopra i 110°C perde acqua di cristallizzazione; sopra i 150°C ingiallisce, verso i 175°C caramellizza e imbrunisce.<sup>17</sup>

I trattamenti termici sul lattosio influiscono sul sapore del latte. Infatti, riscaldamenti tra i 90-110°C producono idrossimetilfurfurolo dalla reazione di condensazione del lattosio con perdita di 3 molecole d'acqua. Idrossimetilfurfurolo viene trasformato in acido formico e acido levulonic. Questi due acidi danno un sapore anomalo al latte.

Il lattosio, infine, tramite la sua funzione aldeidica, reagisce con le sostanze azotate promuovendo la reazione di Maillard.

---

<sup>16</sup> O. Salvadori Dal Prato, Tecnologie del latte, Edizioni agricole 2005, p. 43

<sup>17</sup> O. Salvadori Dal Prato, Tecnologie del latte, Edizioni agricole 2005, p. 44

## SECONDO CAPITOLO

### LA SCHIUMA DI LATTE

Il secondo capitolo approfondisce la schiuma di latte. Nei primi paragrafi del capitolo si analizza cosa sono e come si formano le schiume dal punto di vista chimico. Successivamente si è analizzata in modo più specifico la stabilità delle schiume in generale e la stabilità delle schiume ottenute da proteine del latte. Attraverso il supporto di articoli scientifici maggiore interesse è stato rivolto all'effetto della temperatura sulla stabilità e sulla schiumabilità delle schiume di latte.

#### 1. Le schiume alimentari

Nei prodotti alimentari a schiuma ed emulsione, le proteine agiscono come tensioattivi macromolecolari stabilizzando così i sistemi dispersi.

Le dispersioni alimentari si suddividono in tre categorie: emulsioni *olio-in-acqua* e *acqua-in-olio* in cui una fase liquida viene dispersa in un'altra fase liquida, **schiuma**, in cui le bolle d'aria (gas) sono disperse in un mezzo acquoso e sol, che è delle piccole particelle solide disperse in un mezzo liquido.<sup>18</sup>

La schiuma è un sistema colloidale che contiene minuscole bolle d'aria disperse in una fase acquosa continua. La panna montata, la schiuma del cappuccino, il gelato, le mousse e i marshmallow sono delle schiume alimentari. Le bolle che si formano possono avere dimensioni sferiche o poliedriche; questo dipende dalla frazione volumetrica delle bolle di gas.

##### 1.1 La maturazione di Ostwald

Esistono due modelli teorici a partire da una singola proteina per fare una schiuma. Il modello di adsorbimento all'interfaccia aria-acqua, una proteina di tipo globulare semplice si srotola e si dirige verso il filo ideale andando ad avvolgersi in mezzo tra aria con la parte idrofobica e in acqua con la parte idrofoba. L'altro modello è il "loop-treno", la proteina resta sul filo della separazione delle due fasi, con il loop immerso nella fase acquosa; i loop rappresentano la parte di elasticità della proteina.

Le schiume a livello industriale vengono prodotte tramite insufflazione diretta di gas ad alta pressione o sfruttando agenti schiumogeni. Questi agenti abbassano la tensione superficiale. In fisica la tensione superficiale di un fluido è la tensione meccanica di coesione delle particelle sulla sua superficie esterna.<sup>19</sup> Corrisponde alla densità di energia di legame all'interfaccia tra un corpo e un materiale solido, liquido o gassoso; nel caso delle schiume il gas.

Parlando di schiume è bene definire che cos'è la maturazione di Ostwald. La maturazione di Ostwald è un processo fisico in cui il gas si diffonde dalle piccole bolle alle grandi bolle. Le bolle di gas nelle schiume sono disperse. La pressione di Laplace del gas è la differenza di pressione tra l'interno e l'esterno di una superficie

---

<sup>18</sup> Srinivasan Damodaran, *Protein Stabilization of Emulsions and Foams*, Giornale di scienze alimentari, 2005, p. 5

<sup>19</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Tensione\\_superficiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Tensione_superficiale)

curva che forma il confine tra due regioni fluide.<sup>20</sup> È maggiore nelle piccole bolle rispetto a quelle più grandi. Questo perché la solubilità del gas nella fase continua è influenzata dalla pressione, il gas nelle piccole bolle è più solubile di quello nelle grandi bolle.<sup>21</sup> Le bolle più grandi si nutrono di quelle più piccole, e quelle più grandi diventano via via più grandi. L'equilibrio di pressione viene chiamato **maturazione di Ostwald**. Le proprietà elastiche del tensioattivo possono controllare il collasso o il ritiro delle bolle più piccole. Per esempio, se la molecola di tensioattivo nel film viene disciolta o spostata nella fase di massa mentre la schiuma si restringe, allora la sproporzione avviene senza alcun cambiamento della tensione interfacciale. Ciò avviene nelle schiume realizzate con tensioattivi di piccole molecole. Tuttavia, quando la velocità di desorbimento del tensioattivo è estremamente lenta, come nel caso delle proteine, l'aumento della concentrazione di tensioattivo nello strato adsorbito man mano che la bolla si restringe aumenta le sue proprietà reologiche superficiali, in particolare il modulo dilatatorio superficiale dello strato adsorbito. Ciò ritarda notevolmente il tasso di sproporzione.<sup>22</sup> Se un tensioattivo è molto elastico e ha una forte pressione di disgiunzione ed è una buona barriera ai gas e ha un'alta barriera di ingresso, potrebbe non riuscire a formare una schiuma perché ci vuole troppo tempo per raggiungere l'interfaccia liquido/aria e formare un film resistente, quindi la schiuma è già crollata. D'altra parte, un tensioattivo che raggiunge rapidamente la superficie per creare un'adeguata elasticità e pressione disgiungente produrrà grandi volumi di schiuma, anche se la schiuma crollerà rapidamente. Gli acidi grassi, per esempio, hanno una buona elasticità ma rallentano anche la crescita delle bolle (maturazione di Ostwald), quindi la schiuma rimane piccola.

## 2. La stabilità delle schiume

I principali fattori che influenzano la stabilità delle schiume alimentari sono la pressione di disgiunzione, la viscoelasticità del film tensioattivo e la tensione interfacciale.

Le bolle presentano delle forme esagonali irregolari. Tra una bolla e l'altra è presente una lamella, un canalino in cui al suo interno percola l'acqua di drenaggio.

Il drenaggio dei liquidi e la sproporzione dei gas sono due processi che contribuiscono all'instabilità delle schiume.

La coalescenza delle bolle è quel fenomeno fisico attraverso il quale le gocce di un liquido, le bollicine di un aeriforme, o le particelle di un solido si uniscono per formare delle entità di dimensioni maggiori. Nel caso delle schiume la coalescenza è data dal drenaggio del liquido dal film lamellare quando due bolle di gas si avvicinano l'una all'altra, portando all'assottigliamento e alla rottura del film. Il drenaggio del film è inevitabile. Tuttavia, si può ridurre la velocità del drenaggio aumentando la pressione di disgiunzione e la viscosità del fluido.

---

<sup>20</sup> Butt, Hans-Jürgen; Graf, Karlheinz; Kappl, Michael (2006). "Fisica e chimica delle interfacce": 9.

<sup>21</sup> Srinivasan Damodaran, *Protein Stabilization of Emulsions and Foams*, Giornale di scienze alimentari, 2005, p. 6

<sup>22</sup> Srinivasan Damodaran, *Protein Stabilization of Emulsions and Foams*, Giornale di scienze alimentari, 2005, p. 6

Questo concetto è spiegato anche attraverso la seguente formula matematica:

$$V = 2h^3(\Delta P) / 3\mu R^2$$

$h$  è lo spessore del film lamellare,  $\mu$  è la viscosità dinamica,  $R$  è il raggio della bolla e  $P$  è la differenza tra la pressione idrostatica capillare e la pressione di disgiunzione tra le interfacce del film lamellare.<sup>23</sup> Quando si verifica il drenaggio del liquido, in un film di lamella, si esercita una sollecitazione di taglio sullo strato di tensioattivo e si crea un gradiente di tensione interfacciale sulle superfici del film lamellare. I tensioattivi hanno la capacità di allungarsi verso la regione lamellare con più tensione. Questo comporta una forte elasticità dilatatoria superficiale. Quelli a basso peso molecolare presentano una scarsa elasticità dilatatoria superficiale rispetto alle proteine; infatti, le schiume stabilizzate con piccoli tensioattivi sono soggette a rotture e l'assottigliamento dei film lamellari si verificano più comunemente e con una certa rapidità. Si capisce, dunque, il motivo per il quale le schiume sono stabilizzate da proteine o emulsionanti ad alto peso molecolare.

### **2.1 La stabilità della schiuma e proprietà interfacciali delle proteine del latte: caseinato di sodio e proteine del siero**

Le proteine del latte sono ampiamente utilizzate per stabilizzare schiume ed emulsioni. Contengono al loro interno sia regioni polari che non polari e questo permette loro di avere proprietà tensioattive. Esse si dispiegano all'interfaccia con i gruppi idrofili e idrofobi verso la fase liquida e quella aerea rispettivamente; creano così un film interfacciale viscoelastico. Durante la schiumatura le proteine si adsorbono rapidamente e si pongono sulla superficie delle bolle d'aria; il sistema è così stabilizzato.

Le proteine del latte possono essere suddivise in due gruppi in base alla loro struttura:

-Globulari: sono le proteine del siero; queste proteine contengono ponti disolfuro, struttura terziaria e mantengono la loro forma globulare anche dopo l'adsorbimento.

-Flessibili: sono le caseine; non hanno struttura terziaria e comprendono  $\alpha$  S1 e  $\alpha$  S2,  $\beta$  e  $\kappa$  caseina.

Alcuni studi hanno evidenziato come la struttura delle proteine influenza in maniera notevole il comportamento interfacciale.

Le molecole flessibili e disordinate, come le caseine, formano dei film con una viscoelasticità molto bassa rispetto alle proteine del siero (proteine globulari) che creano pellicole con rigidità considerevolmente elevata.<sup>24</sup> L'elevata viscoelasticità delle proteine globulari è data dalla presenza di interazioni intermolecolari (legami a idrogeno, interazioni elettrostatiche e idrofobiche) e all'elevata densità di impaccamento. Il film è meno coeso per le proteine flessibili.

Dalle proteine dipendono anche le dimensioni delle bolle. Le proteine del siero permettono la formazione di

---

<sup>23</sup> Srinivasan Damodaran, Protein Stabilization of Emulsions and Foams, Giornale di scienze alimentari, 2005, p. 6

<sup>24</sup> S. Rouimi, C. Schorsch, C. Valentini, S. Vaslin, *Foam stability and interfacial properties of milk protein-surfactant systems*, Science direct, May 2005.

bolle d'aria più piccole che non evolvono in modo significativo. La dimensione invece delle bolle di schiume stabilizzate con caseinato di sodio cresce molto velocemente e le schiume collassano poco tempo dopo; con scomparsa delle bolle e tutto il liquido drenato. Da queste osservazioni si può capire come vi sia una stretta correlazione tra elasticità superficiale e stabilità della schiuma. L'elevata elasticità superficiale migliora la stabilità della schiuma, creando film interfacciali più resistenti e una rete proteica che funge da barriera meccanica contro la rottura delle bolle e la coalescenza.

## 2.2 Influenza di macromolecole non proteiche sulla stabilità della schiuma

Macromolecole diverse dalle proteine possono influenzare in maniera positiva o negativa le proprietà schiumogene delle proteine e la loro stabilità di schiuma. Queste molecole non proteiche sono i lipidi, fosfolipidi, peptidi a basso peso molecolare e zuccheri.

Alcuni studi hanno analizzato la relazione tra la tensione superficiale delle proteine, la concentrazione di acidi grassi liberi e le proprietà schiumogene del latte. Sono state determinate le proprietà schiumogene del latte in funzione della concentrazione di acidi grassi liberi.<sup>25</sup>

I lipidi sono tensioattivi polari. Gli acidi grassi liberi (FFA) sono macromolecole che ostacolano l'adsorbimento aria-acqua delle schiume di latte. Competono con le proteine, spostandole dall'interfaccia. Le interazioni proteina-proteina si interrompono a causa dell'adsorbimento di FFA, le proteine sono più grado di formare un film viscoelastico stabile attorno alle bolle d'aria. Questo porta alla coalescenza delle bolle e quindi alla destabilizzazione della schiuma. Gli FFA sono più attivi in superficie delle proteine del latte, a concentrazioni più elevate dominano l'interfaccia aria-acqua. Da queste affermazioni si può concludere come le schiume prodotte da latti con alte concentrazioni di acidi grassi liberi siano più instabili e si ingrossano più rapidamente.

Anche peptidi a basso peso molecolare e idrolizzati proteici influiscono negativamente sulla stabilità della schiuma. L'aumento della forza ionica di questi additivi diminuisce sia la stabilità che la capacità schiumogena delle proteine. Le proteine sono molecole cariche negativamente e quindi si respingono, l'aggiunta di alcune sostanze come NaCl, provoca una neutralizzazione della carica, permettendo alle proteine di avvicinarsi. Tuttavia, lo ione sodio risulta essere piuttosto ingombrante e quindi impedisce al reticolo proteico di formarsi completamente; si formano quindi dei buchi nel film proteico e vi è una accelerazione della maturazione di Ostwald. Nel caso, per esempio, del latte scremato in polvere, l'aumento del contenuto di NaCl migliora le proprietà schiumogene. Questo perché gli ioni calcio permettono una migliore dissociazione delle micelle di caseina del latte scremato; le caseine dissociate possono essere più attive in superficie rispetto alle micelle intatte.<sup>26</sup>

Gli zuccheri migliorano la stabilità della schiuma ma non la schiumabilità. L'aumento della viscosità specifica

---

<sup>25</sup> S. Kamath, A. Wulandewi, H. Death, *Relationship between surface tension, free fatty acid concentration and foaming properties of milk*, Science direct, July 2008.

<sup>26</sup> Srinivasan Damodaran, *Protein Stabilization of Emulsions and Foams*, Giornale di scienze alimentari, 2005, p. 11

in soluzione migliora la stabilità della schiuma. Le schiume quindi, ottenute con latti contenenti alte concentrazioni di lattosio tendono ad avere una maggiore viscosità specifica e stabilità.

### 2.3 L'effetto della temperatura sulla stabilità delle schiume e correlazione con il contenuto lipidico del latte

La temperatura è uno dei parametri più importanti che influenza il comportamento schiumogeno dei latti.

La temperatura condiziona la stabilità, la dimensione delle bolle e la schiumabilità.

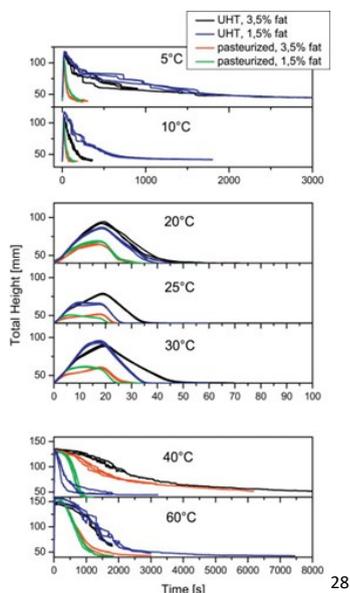
La tipologia di latte incide in maniera significativa sulla temperatura. Il latte, come detto, nei precedenti paragrafi contiene due tipi di emulsionanti che aiutano la stabilizzazione della schiuma: le proteine ad alto peso molecolare e tensioattivi a basso peso molecolare come lipidi polari, mono-gliceridi o acidi grassi liberi. Il contenuto della parte lipidica può avere degli effetti positivi o negativi sulle proprietà schiumose del latte.

Alcune indagini pubblicate su riviste scientifiche hanno analizzato le proprietà schiumose di quattro diversi tipi di latte: pastorizzato 1,5% di grassi, pastorizzato 3,5% di grassi, UHT 1,5% di grassi e UHT 3,5% di grassi.

I principali latti vaccini trattati con trattamenti termici sono: latte pastorizzato a bassa temperatura, latte pastorizzato ad alta temperatura (HTST), latte sterilizzato UHT.

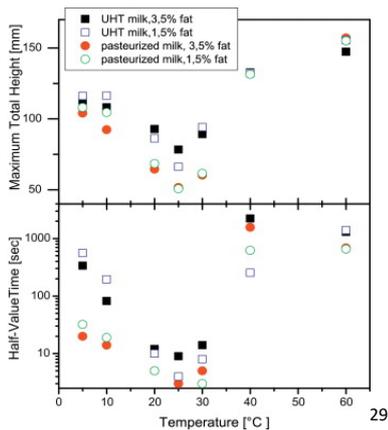
La schiuma è stata generata facendo gorgogliare il latte per 18 s con un flusso d'aria costante di 0,3 l/min.

Gli studi condotti hanno dimostrato come per tutti i tipi di latti analizzati, le schiume molto instabili intorno ai 25 °C decadono quasi linearmente nel tempo, le schiume a temperature sempre più basse non possono essere descritte da una funzione di decadimento lineare.<sup>27</sup>



<sup>27</sup> K. Oetjen, C. Bilke-Krause, M. Madani, T. Willers, *Temperature effect on foamability, foam stability, and foam structure of milk*, Science direct, October 2014.

<sup>28</sup> Fig. 2 K. Oetjen, C. Bilke-Krause, M. Madani, T. Willers, *Temperature effect on foamability, foam stability, and foam structure of milk*, Science direct, October 2014.



La figura 1 mostra dipendenza dal tempo dell'altezza totale (liquido più schiuma) a varie temperature per 1,5 e 3,5% di grassi UHT e latte pastorizzato. Le curve prese a diverse temperature sono raggruppate in tre diversi pannelli (superiore, centrale e inferiore) con diverse scale dell'asse x e dell'asse y che riflettono rispettivamente le diverse scale temporali del decadimento della schiuma e la diversa schiumabilità a diversi intervalli di temperatura.

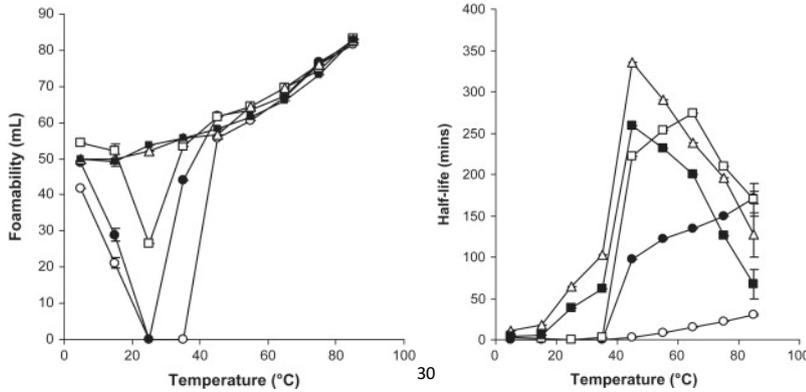
La figura 2 invece mostra la dipendenza dalla temperatura della schiumabilità (pannello superiore) e della stabilità della schiuma (pannello inferiore) per vari tipi di latte. Si nota che, quando la temperatura viene aumentata da 5 a 25°C, i campioni di latte pastorizzato mostrano il più grande cambiamento nella schiumosità. Mentre tra 25 e 30°C i vari tipi di latte differiscono fortemente nell'altezza totale della schiuma osservata, sopra i 40°C mostrano proprietà schiumogene comparabili. Sia la stabilità che la schiumabilità, dunque mostrano un aumento quando la temperatura supera i 40°C.

Per quanto riguarda la schiumabilità, abbiamo osservato che la schiumosità minima si è verificata a 25°C dovuto al fatto che lo stato parzialmente cristallino dei globuli di grasso del latte a 10–30 °C è responsabile degli effetti dannosi sul processo di generazione della schiuma. I globuli di grasso semicristallini del latte sono particolarmente suscettibili alla coalescenza delle bolle. A 25°C i cristalli di grasso perforano la pellicola che si crea tra i globuli di grasso e l'interfaccia aria-siero, rilasciando grasso liquido che sposta le proteine all'interfaccia aria-siero; la rimozione delle proteine all'interfaccia provoca una destabilizzazione della schiuma. L'omogeneizzazione è un trattamento che consente di frantumare i globuli di grasso del latte, disperdendo il grasso in modo uniforme nella massa liquida; la dimensione ridotta e la composizione diversa dei globuli di grasso aumenta la resistenza dei globuli alla rottura indotta dal taglio. Inoltre, abbiamo constatato che la stabilità della schiuma presenta un minimo paragonabile alla stessa temperatura di 25°C. Ciò suggerisce che gli stessi effetti dannosi influenzano anche la stabilità della schiuma. Nell'intervallo di

<sup>29</sup> Fig. 3 K. Oetjen, C. Bilke-Krause, M. Madani, T. Willers, *Temperature effect on foamability, foam stability, and foam structure of milk*, Science direct, October 2014.

temperatura da 5 a 30 °C, la schiumosità dei campioni di latte pastorizzato è notevolmente inferiore a quella dei campioni di latte UHT.

#### 2.4 L'effetto della temperatura su alcuni tipi di latte: latte crudo, intero omogeneizzato pastorizzato, scremato pastorizzato, intero omogeneizzato trattato UHT e scremato trattato UHT.



I due grafici provengono da uno studio condotto per analizzare la schiumosità e stabilità della schiuma del latte vaccino in funzione della temperatura.

Sono stati presi in esame campioni di latte crudo, intero omogeneizzato pastorizzato, scremato pastorizzato, intero omogeneizzato trattato UHT e scremato trattato UHT.

Nella figura 4 rappresenta la schiumabilità media del latte vaccino in funzione della temperatura (5–85 °C): (○) latte intero crudo, (●) latte intero omogeneizzato pastorizzato, (□) latte intero omogeneizzato UHT, (■) latte scremato UHT, (△) latte scremato pastorizzato.

Mentre la figura 5 rappresenta la stabilità media della schiuma del latte vaccino in funzione della temperatura (5–85 °C): (○) latte intero crudo, (●) latte intero omogeneizzato pastorizzato, (□) latte intero omogeneizzato UHT, (■) latte scremato UHT, (△) latte scremato pastorizzato.

Partendo dalla stabilità della schiuma si nota come il latte intero crudo forma della schiume estremamente instabili nell'intervallo di temperatura di 5–35 °C, rispetto invece alla stabilità della schiuma formata da latte intero omogeneizzato crudo o pastorizzato che aumenta nell'intervallo 35–85 °C, con aumenti in quest'ultimo maggiori rispetto al primo. La stabilità della schiuma ottenuta da latte intero omogeneizzato trattato con UHT era massima quando la schiumatura veniva eseguita a 65 °C. Per quanto riguarda invece il latte scremato UHT e latte scremato pastorizzato la stabilità aumenta con l'aumentare della temperatura di schiumatura fino a 45 °C, al di sopra della quale si formavano schiume progressivamente meno stabili. A tutte le temperature studiate, le schiume formate dal latte scremato pastorizzato erano più stabili di quelle formate dal latte scremato trattato con UHT.

Nello specifico, il latte crudo e il latte intero omogeneizzato pastorizzato producono delle schiume più stabili se schiumati ad una temperatura superiore ai 35 °C. Il grasso globulare del latte ricristallizza all'interno della

<sup>30</sup> Fig. 4; Fig. 5, S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, Science direct, October–November 2008.

lamella della schiuma stabilizzandola. È stato studiato inoltre che questi due tipi di latte, se schiumati a temperature di 38, 50 e 63 °C, le schiume avevano una temperatura, rispettivamente di 45, 65 e 85 °C. Si evince quindi che i cristalli di grasso si riformano più tardi nella schiume formate a 85 °C, con il risultato di schiume con la massima stabilità. I globuli di grasso del latte crudo contengono cristalli più grandi e una membrana più sottile rispetto al latte intero omogeneizzato pastorizzato, e sono quindi più soggetti a rotture in caso di deformazione della lamella di schiuma. Le grandi dimensioni dei globuli unite alla membrana sottile rendono la schiuma molto instabile. L'associazione indotta dal calore delle proteine del siero con le caseine sulla superficie dei globuli di grasso del latte, rafforza i globuli di grasso del latte contro la rottura sulla riformazione dei cristalli di grasso durante il raffreddamento delle schiume, rendendo quindi il latte intero omogeneizzato trattato UHT più stabile rispetto al latte intero crudo e al latte intero omogeneizzato pastorizzato. La viscosità maggiore del latte UHT rispetto al latte intero crudo e al latte intero omogeneizzato pastorizzato favorisce un drenaggio più lento con conseguente miglioramento della stabilità. Le schiume di latte scremato sono più stabili delle schiume formate da latte intero, specialmente se formate da latte a temperatura inferiore a 45 °C<sup>31</sup>. Questa caratteristica del latte scremato è relazionata alle caseine. A 45 °C quasi tutte le caseine sono presenti sotto forma di micelle; questo loro stato sembra che aiuti a mantenere nel latte scremato una buona stabilità della schiuma. Al di sopra invece dei 45 °C le caseine si dissociano quasi totalmente. Non sono più presenti allo stato micellare e la stabilità delle schiume tende a calare.

Anche per la schiumabilità diminuisce all'aumentare della temperatura fino a 25 °C (per latte intero pastorizzato e trattato UHT) o 35 °C (per latte intero crudo). Il latte scremato UHT e il latte scremato pastorizzato presentano una buona schiumabilità a temperature sopra i 40 °C.

Le differenze di schiumabilità tra latte intero e scremato sono evidenti soprattutto quando il latte veniva schiumato a una temperatura compresa tra 5 e 35 °C. Questo aspetto è correlato allo stato dei globuli di grasso. Fino ai 35 °C i globuli di grasso hanno nella loro struttura miscele di grassi liquidi e solidi e sono più suscettibili alla coalescenza parziale. Al di sopra dei 40 °C i globuli di grasso contengono solo grassi liquidi. Quando i globuli contenenti grassi solidi e liquidi si deformano vicino alla lamella di schiuma, i cristalli di grasso nei globuli possono perforare il film sottile tra il globulo di grasso e l'interfaccia aria-siero, con conseguente diffusione del materiale della membrana dei globuli di grasso del latte e del grasso liquido sopra l'interfaccia aria-siero (Mulder & Walstra, 1974).<sup>32</sup> Questo aspetto è dannoso per la formazione e la stabilità delle schiume perché i grassi non sono in grado di formare un film viscoelastico sufficientemente resistente a trattenere le bolle di schiuma; con la destabilizzazione della schiuma ne consegue un drenaggio del liquido nella pellicola dal grasso liquido che si sta diffondendo, portando all'assottigliamento e infine alla

---

<sup>31</sup> S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, Science direct, October–November 2008.

<sup>32</sup> S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, Science direct, October–November 2008.

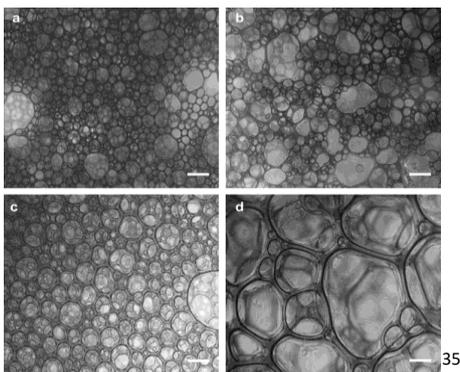
rottura della pellicola. L'omogeneizzazione, come accennato nel paragrafo 2.3, riduce la possibilità che si formino cristalli sufficientemente grandi da perforare la membrana del globulo di grasso e, inoltre comporta che le caseine di adsorbino in grandi quantità all'interfaccia aria-acqua aumentando quindi lo spessore e la resistenza della membrana. Il latte UHT presenta più schiumosità tra 5-35 °C rispetto al latte intero pastorizzato; questo potrebbe essere dovuto al fatto all'associazione delle proteine del siero indotta dal calore con la caseina che si trova sulla superficie del globulo di grasso del latte omogeneizzato, che stabilizza ulteriormente la membrana contro la rottura.

L'aumento della schiumabilità del latte scremato o del latte intero all'aumentare della temperatura nell'intervallo 5–85 °C o 35–85 °C, rispettivamente (Fig. 4), è dovuto almeno in parte alla diminuzione della viscosità del latte all'aumentare della temperatura.<sup>33</sup> Una minore viscosità consente alle molecole proteiche di migrare più velocemente all'interfaccia aria-siero della schiuma. Anche la tensione superficiale favorisce una migliore schiumabilità poiché anch'essa come la viscosità, diminuisce all'aumentare della temperatura.

## 2.5 Effetto della temperatura sulla distribuzione delle dimensioni delle bolle della schiuma di latte

Lo studio citato nel paragrafo precedente analizza anche l'effetto della temperatura sulle dimensioni delle bolle della schiuma.<sup>34</sup> I latti sono stati fatti schiumare e poi sono stata analizzata la superficie della schiuma al microscopio ottico. La distribuzione delle bolle delle schiume dei latti presi in esame dipende essenzialmente dalla viscosità del latte e dalla coalescenza delle bolle.

Il latte intero essendo particolarmente viscoso produce delle schiume con bolle di piccole dimensioni con una distribuzione media. Una maggiore viscosità favorisce una dimensione delle bolle più piccola, a causa della riduzione dei tassi di coalescenza (Laakkonen, Moilanen e Aittamaa, 2005).



L'immagine 6 mostra la schiuma formata a 45 °C da (a) latte intero omogeneizzato pastorizzato subito dopo la montatura (b) latte intero omogeneizzato pastorizzato (c) latte scremato pastorizzato subito dopo la

<sup>33</sup> S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, Science direct, October–November 2008.

<sup>34</sup> S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, Science direct, October–November 2008.

<sup>35</sup> Fig. 6 S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, Science direct, October–November 2008.

montatura (d) latte scremato pastorizzato.

Il fenomeno della coalescenza delle bolle è il fenomeno fisico attraverso il quale le gocce di un liquido, le bollicine di un aeriforme, o le particelle di un solido si uniscono per formare delle entità di dimensioni maggiori. Nel caso delle bolle delle schiume, le bolle più grandi presenti in quantità minore sono ricoperte da quelle più piccole presenti maggiormente. Questa discrepanza porta ad una rottura delle bolle più grandi con conseguente flusso di bolle più piccole verso l'aria di rottura. Nel latte intero si verifica questo fenomeno, attribuibile alla diffusione di grasso liquido sulla superficie delle bolle. Inoltre, la diffusione del grasso liquido potrebbe spostare le proteine adsorbite all'interfaccia aria-acqua delle bolle e portare a una maggiore sproporzione dove le bolle grandi crescono a discapito delle bolle più piccole.

Il latte scremato pastorizzato forma della schiume con bolle di ampie dimensioni e con una distribuzione ben estesa. Nelle schiume non si sono notate zone con liquido sulla superficie della schiuma. Le lamelle della schiuma sono rimaste intatte e definite. Nella figura 6 parte "d" è possibile notare questa caratteristica della bolle. Il grasso liquido non fluisce per drenaggio sulla superficie delle bolle, di conseguenza le proteine all'interfaccia adsorbite non vengono spostate. La schiuma, quindi, presenta un'elevata elasticità proteica superficiale. Si formano delle bolle più grandi con lamelle più rigide e consistenti che rendono la schiuma stabile. Queste osservazioni fanno capire come le schiume prodotte da latte scremato siano molto più stabili rispetto a quelle formate da latte intero.

## TERZO CAPITOLO

### LE SCHIUME DI LATTE IN GASTRONOMIA

Il terzo e ultimo capitolo di questo elaborato chiarisce le varie applicazioni delle schiume di latte in gastronomia. Nel primo paragrafo sono spiegate le proteine vegetali. Verranno introdotte e classificate; successivamente analizzate le loro proprietà schiumogene.

Nella seconda parte del capitolo invece si parlerà delle varie applicazioni delle schiume in gastronomia. In particolare, il cappuccino e la latte art.

#### 1. Le proteine vegetali

Le schiume possono essere prodotte anche da alimenti diversi dal latte vaccino. Tra questi vi sono le bevande vegetali. Le bevande vegetali sono alimenti ottenuti da estratti acquosi di materiali vegetali disciolti o disidratati come legumi, noci, semi oleosi e cereali. La più comune è la bevanda di soia, chiamata anche latte di soia.

Come detto, nei capitoli precedenti, la formazione e la stabilità delle schiume dipende da molecole tensioattive come le proteine, le quali abbassano la tensione superficiale mediante il loro adsorbimento interfacciale. Ricerche recenti hanno studiato le proprietà delle proteine vegetali nel produrre schiume e quali tipo di bevanda vegetale, tra quelle presenti in commercio è la più indicata a produrre alimenti come il cappuccino.<sup>36</sup>

Secondo uno studio effettuato da Osborne (1924), le proteine vegetali vengono classificate in quattro frazioni principali, cioè albumine, globuline, gluteline e prolamine.

Le albumine sono presenti prevalentemente nei legumi e nei semi oleosi. Hanno una buona solubilità in acqua.

Le globuline sono una classe di proteine globulari ad alto peso molecolare. Esempi di globuline di origine vegetale sono l'edestina dei semi di canapa, la faseolina dei fagioli, la glicinina della soia.

Le gluteline sono proteine presenti nel riso, nell'orzo e nel grano. Presentano struttura primaria e si possono unire tra loro e ad altre proteine tramite legame a ponte di solfuro.

Le prolamine sono proteine che si trovano in tutti i cereali, ad eccezione dell'avena e del riso.

#### 1.1 Le proprietà schiumogene delle proteine vegetali

Le proprietà schiumogene delle proteine vegetali dipendono da diversi fattori tra cui: solubilità, flessibilità molecolare, carica superficiale e idrofobicità.<sup>37</sup> Anche il metodo di estrazione delle proteine vegetali influenza in maniera significativa le proprietà stabilizzanti nelle schiume. La parte proteica della materia prima vegetale viene separata dall'olio, nel caso di semi oleosi, dall'amido nel caso di cereali e dalle frazioni

---

<sup>36</sup> L. Amagliani, J. Silva, M. Saffon, J. Dombrowski, *On the foaming properties of plant proteins: Current status and future opportunities*, Trends in Food Science & Technology, Science direct, Part A, December 2021, Pages 261-272

<sup>37</sup> L. Amagliani, J. Silva, M. Saffon, J. Dombrowski, *On the foaming properties of plant proteins: Current status and future opportunities*, Trends in Food Science & Technology, Science direct, Part A, December 2021, Pages 261-272

di fibre attraverso trattamenti a secco o a umido a seconda della matrice proteica della pianta iniziale. Questo aspetto cambia lo stato colloidale e di aggregazione delle proteine. Le proteine all'interno della pianta possono essere classificate in base al loro ruolo: le proteine "metaboliche" coinvolte nel processo di crescita della pianta e le proteine "di riserva" che rappresentano l'aminoacido vitale (di serbatoio) della pianta. Di interesse tecnologico sono quelle metaboliche, le quali formano delle aggregazioni intermolecolari tenute insieme da legami idrogeno e attrazioni elettrostatiche.

La *solubilità* delle proteine vegetali dipende dal metodo di estrazione. Nel metodo a secco la configurazione nativa delle proteine non cambia rispetto all'estrazione a umido in cui le proteine native perdono la loro struttura e tendono a non riarrangiarsi, comportando quindi una minore solubilità. Le proteine vegetali hanno dunque una bassa solubilità, dovuta anche al fatto che provengono da matrici solide, rispetto invece alla proteine del latte, le quali sono molto solubili in ambiente acquoso.

Le migliori proprietà schiumogene sono legate alla loro capacità di formare film superficiali più spessi con maggiore stabilità meccanica.<sup>38</sup> Le proteine vegetali dopo l'estrazione comprendono una quantità abbastanza rilevante di specie aggregate con scarsa solubilità, responsabili di una ridotta schiumatura. Il rapporto, quindi tra aggregati solubili e aggregati non solubili nelle proteine vegetali risulta importante. Gli aggregati non solubili di grandi dimensioni rimangono nella fase acquosa di massa, essendo essi in quantità maggiore. Gli aggregati invece solubili si adsorbono all'interfaccia gas/liquido.

Si può fare riferimento alla *flessibilità molecolare*, cioè alla capacità della proteina di cambiare rapidamente la sua conformazione al momento del trasferimento da un ambiente ad un altro (ad esempio dalla fase liquida di massa all'interfaccia aria/acqua); essa è determinata dal grado e dalla forza della reticolazione intra e intermolecolare. Aumentando quindi la proporzione degli aggregati solubili tensioattivi, si creano più interazioni idrofobiche e quindi una maggiore flessibilità molecolare. I trattamenti ad ultrasuoni ad alta intensità o la microfluidizzazione aiutano questo processo.

La *carica superficiale* delle proteine è un parametro fisico che influenza notevolmente la stabilità. La diminuzione della carica netta superficiale della proteina comporta un aumento del tasso di adsorbimento dovuto alla ridotta barriera di adsorbimento. La stabilità della schiuma dipende dalla repulsione elettrostatica che si crea tra le molecole proteiche. Una bassa repulsione consente la formazione di strati fissi e spessi all'interfaccia aria/acqua (Engelhardt et al. 2012). Le bolle non si rompono, stabilizzando così il film schiumogeno. Viceversa, un alto grado di repulsione elettrostatica impedisce il contatto tra le bolle vicine attraverso il fenomeno della coalescenza delle bolle (Dombrowski et al. 2018). Le bolle più piccole si uniscono fino a formare grandi bolle contrastando così la destabilizzazione della schiuma. Le proteine vegetali presentano la stessa carica superficiale delle proteine di origine animale.

Anche l'*idrofobicità* influenza notevolmente le proprietà delle proteine vegetali. Si distingue l'idrofobicità

---

<sup>38</sup> C. Schmitt, L. Bovetto, J. Buczkowski, G. De Oliveira Reis, P. Pibarot, L. Amagliani, J. Dombrowski, *Plant proteins and their colloidal state*, Current Opinion in Colloid & Interface Science, Science direct, December 2021.

media e superficiale. Quella media dipende dalla sequenza amminoacidica mentre quella superficiale dipende dal ripiegamento proteico e quindi dalla conformazione proteica. Gli amminoacidi non polari si trovano principalmente nel nucleo idrofobico mentre quelli idrofili sono principalmente orientati verso la superficie della molecola proteica; questo rende stabile la proteina in ambiente acquoso.

In alcuni studi pubblicati su articoli scientifici è stato studiato come i trattamenti fisici e chimici indotti alle proteine vegetali possono andare a migliorare le loro proprietà schiumogene. I trattamenti possono essere di tipo fisico, chimico ed enzimatico.

I *trattamenti fisici* che vengono applicati alle proteine vegetali sono principalmente omogeneizzazione, microfluidizzazione, alta pressione, ultrasuoni e termici. Lo scopo del trattamento fisico è quello di andare a rompere i grossi aggregati proteici tipici delle proteine vegetali. Si ottengono delle particelle più piccole e colloidalmente stabili che conferiscono una maggiore solubilità e capacità di adsorbire all'interfaccia aria/acqua. Come detto precedentemente, è bene considerare il rapporto tra aggregati solubili e non solubili. Gli aggregati solubili si adsorbono attivamente all'interfaccia aria/gas mentre gli aggregati non solubili non riescono a diffondersi all'interfaccia. Gli aggregati solubili possono essere ottenuti mediante trattamento termico controllato o microfluidizzazione. La microfluidizzazione è una delle tecniche di omogeneizzazione all'avanguardia e utilizza un'alta pressione per forzare il fluido in microcanali di una configurazione speciale e avvia l'emulsificazione tramite un meccanismo combinato di cavitazione, taglio e impatto, esibendo così un'eccellente efficienza di emulsione. Questa tecnologia, quindi, riesce a modulare la struttura degli aggregati solubili migliorando così le interazioni idrofobiche e quindi portando ad una maggiore flessibilità superficiale. Ne comporta una migliore stabilità della schiuma.

Il *trattamento termico* migliora significativamente la stabilità della schiuma e il tempo di emivita della schiuma stessa. Potenzialmente, il miglioramento della stabilità della schiuma potrebbe essere dovuto alla presenza di aggregati solubili che riducono il drenaggio del liquido come menzionato sopra.

Il trattamento chimico invece agisce sulla struttura secondaria, terziaria e quaternaria della proteina inducendo cambiamenti strutturali alternando l'equilibrio idrofilo e idrofobico della proteina.

La *glicazione* è il prodotto della reazione tra uno zucchero (fruttosio o glucosio) e una proteina o lipide senza l'azione catalitica di un enzima<sup>39</sup>. Questa coniugazione avviene nelle prime fasi della reazione di Maillard. I cambiamenti strutturali principali promuovono un aumento della solubilità e della mobilità della proteina con conseguente miglioramento dell'adsorbimento all'interfaccia aria/acqua. Sono presenti pochi studi relativi agli effetti positivi della glicazione sulle proteine vegetali. Si denota però che gli effetti di questa reazione possono rendere le proteine vegetali molto più solubili in acqua migliorando poi la stabilità della schiuma.

---

<sup>39</sup> C. Schmitt, L. Bovetto, J. Buczkowski, G. De Oliveira Reis, P. Pibarot, L. Amagliani, J. Dombrowski, *Plant proteins and their colloidal state*, Science direct, December 2021.

Anche l'*idrolisi enzimatica* permette di migliorare la solubilità e le proprietà strutturali delle proteine di origine vegetale, comprese quelle schiumogene. I cambiamenti strutturali della proteina sono una diminuzione del peso molecolare medio, aumento del numero di gruppi ionizzabili e l'esposizione di parti idrofobiche.

## 1.2 Le principali proteine di origine vegetale e le loro proprietà schiumogene

In questo paragrafo verranno messe a confronto alcune proteine di origine vegetale e i trattamenti che possono essere applicati al fine di migliorare le loro proprietà schiumogene. Con il supporto di alcuni lavori scientifici verranno analizzate le proteine della soia, dell'avena, del riso e dei ceci da cui si ottengono le bevande vegetali più utilizzate in gastronomia.

La soia rappresenta la materia prima più utilizzata per l'estrazione delle proteine utili poi per la creazione di prodotti funzionali, soprattutto in gastronomia. Le **proteine della soia** presentano un'alta concentrazione proteica (circa 40% su base secca), un profilo amminoacidico equilibrato e una qualità della proteina simile a quella della proteina animale. Le classi di proteine presenti sono le globuline che costituiscono circa l'85-90%.

Come detto in precedenza i trattamenti enzimatici aiutano a migliorare le capacità di schiuma e È stato studiato<sup>40</sup> come il trattamento di idrolisi enzimatica con pepsina sulla soia possa avere degli effetti positivi sulle proprietà schiumogene. Per aiutare l'idrolisi, le proteine della soia subiscono prima un preriscaldamento a circa 55 °C per 30 min. Le alte temperature promuovono l'idrolisi delle subunità idrofile della proteina migliorando le proprietà interfacciali e capacità di schiuma; temperature però superiori ai 55-60 °C possono però creare una maggiore concentrazione di grandi aggregati proteici deteriorando la capacità di formazione di schiuma e stabilità. Senza trattamento di preriscaldamento, la proteina di soia non ripiegata non forniva siti accessibili sufficienti per l'idrolisi della pepsina. Di conseguenza, la capacità di schiuma e la stabilità dell'idrolizzato trattato senza preriscaldamento erano inferiori a quelle dell'idrolizzato trattato con preriscaldamento a 55 °C.

La glicazione applicata sulle proteine di soia migliora la flessibilità molecolare, la quale è collegata all'idrofobicità superficiale.

Il recupero della frazione proteica solubile potrebbe rappresentare un modo per migliorare le proprietà schiumogene della soia. Le cosiddette acque reflue di soia hanno una bassa idrofobicità, nonostante ciò, a livelli di pH hanno delle buone capacità di schiuma. Tuttavia, va detto che il recupero delle proteine dalle acque reflue di soia è piuttosto costoso in quanto richiede fasi di estrazione aggiuntive o il frazionamento della schiuma.

---

<sup>40</sup> G. Lian, W.Chen, X. Qie, M. Zeng, Z. He, J. Chen, *Modification of soy protein isolates using combined pre-heat treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improving foaming properties*, *Idrocolloidi alimentari*, Science direct, August 2020.

L'avena è caratterizzata da una concentrazione proteica abbastanza alta (circa il 12-17% su base secca). La maggior parte della frazione proteica è costituita dalle globuline (50-80%); vi sono poi le prolamine dell'avena che comprendono il 4-15% delle proteine totali. Le **proteine dell'avena** hanno delle regioni ricche di glutammina sulla superficie delle globuline che le rende molto idrofile rispetto alle globuline.

Guan et al. (2007)<sup>41</sup> hanno studiato le proprietà schiumose dei concentrati proteici di avena idrolizzati con tripsina. La tripsina è un enzima della classe delle idrolasi che scinde i peptidi come le proteine in polipeptidi di dimensioni più piccole. Il pH influenza l'effetto della tripsina sulle proteine perché migliora e quindi aumenta la solubilità sulla formazione di schiuma. A pH 9 la capacità schiumogena è più alta, rispetto invece a valori di pH di 5 in cui è bassa. Questa differenza è data dal fatto che attorno al punto isoelettrico delle proteine dell'avena (pH 5) non ci sono repulsioni elettrostatiche, le quali favoriscono le interazioni proteina-proteina e quindi la formazione di un film viscoelastico.

A differenza Brückner-Gühmann et al. (2018)<sup>42</sup> hanno studiato l'effetto dell'idrolisi parziale (tripsina) sulle proprietà schiumogene delle proteine d'avena in funzione del pH. A pH 7, è stata osservata un'elevata velocità di schiumatura e una buona dispersione delle bolle di gas, nonché la formazione di un forte film proteico viscoelastico per i campioni non modificati. Il meccanismo di stabilizzazione era dominato dalla formazione di uno spesso strato proteico sterico. A pH 4 invece sono state riscontrate scarse proprietà schiumogene. Con l'effetto dell'idrolisi triptica migliorava le proprietà schiumogene a pH 4 e le risultanti proprietà interfacciali erano paragonabili a quelle del campione non modificato a pH 7. La stabilizzazione della schiuma era dominata dalla formazione di forti interazioni idrofobiche tra le particelle proteiche nel film interfacciale.

Le **proteine del riso** sono presenti per circa il 6-8% su base secca. Sono considerate tra le più digeribili e con un alto valore biologico tra tutti i cereali. Le gluteline rappresentano circa l'80% delle proteine totali mentre le prolamine, le principali proteine di stoccaggio dell'endosperma in tutti gli altri cereali ad eccezione dell'avena, rappresentano una frazione proteica minore nel riso.

Come per le altre proteine, anche per quelle del riso, il trattamento enzimatico migliora le proprietà di formare schiuma. Come analizzato da Souza et al. (2017)<sup>43</sup>, se le proteine del riso vengono idrolizzate con endo-proteasi alcalina, si verifica un aumento della solubilità. È stato inoltre scoperto che gli idrolizzati proteici dell'endosperma di riso hanno una capacità schiumogena più elevata e generano schiume più umide rispetto agli ingredienti proteici del latte selezionati (ad es. latte scremato in polvere, proteine del

---

<sup>41</sup> X. Guan, H. Yao, Z. Chen, L. Shan, M. Zhang, *Some functional properties of oat bran protein concentrate modified by trypsin*, Science direct, 2007.

<sup>42</sup> B. Gühmann, H. Hecht, T. Sözer, N. et al. *Foaming characteristics of oat protein and modification by partial hydrolysis*, Science direct, 2018.

<sup>43</sup> D. De Souza, A. Francisco Sbardelotto, D. Dumoncel Righetto Ziegler, L. Massochin Nunes Pinto, R. de Souza Ramos, L. Damasceno Ferreira Marczak, I. Tessaro, *Obtaining and purification of a highly soluble hydrolyzed rice endosperm protein*, Science direct, 7 August 2017.

siero di latte isolate e idrolizzate).

Come già detto negli scorsi paragrafi, i metodi di essiccazione, ad esempio liofilizzazione migliorano le proprietà funzionali degli isolati proteici del riso. È interessante notare che Wang et al. (2016)<sup>44</sup> hanno dimostrato che la liofilizzazione in condizioni alcaline (pH 12,5), promuoveva il dispiegamento proteico, determinando così un marcato aumento della sua solubilità, in particolare nell'intervallo di pH 7,0-10; se al trattamento di liofilizzazione viene applicato anche un trattamento termico (100 °C per 60 min) a pH 12,0, l'idrofobicità superficiale e la flessibilità molecolare aumentano e vi è una parziale rottura degli aggregati di glutelina.

Il cece ha una concentrazione proteica di circa il 24–28% su base secca. Le **proteine dei ceci** sono composte principalmente da globuline (53-60%) e gluteline (19-24%), mentre contengono solo quantità minori di albumine (8-12%) e prolamine (3-7%).

Come per le proteine del riso, la liofilizzazione e l'essiccazione impattano sulle capacità di schiuma delle proteine dei ceci. Tontul et al. (2018)<sup>45</sup>, nel loro studio mettono a confronto gli effetti della liofilizzazione ed essiccazione sulle proprietà funzionali degli isolati proteici di ceci. La solubilità, la stabilità della schiuma degli isolati proteici liofilizzati sono risultate superiori rispetto ai campioni essiccati. La capacità di schiuma degli isolati proteici liofilizzati era superiore all'8% e statisticamente simile a pH 2, 8 e 10. D'altra parte, per gli isolati proteici essiccati, i campioni avevano solo un'elevata stabilità a pH 10. La minore stabilità delle schiume preparate con l'uso di isolati proteici essiccati potrebbe essere correlato alla minore solubilità di questi campioni. Inoltre, la minore flessibilità molecolare degli isolati proteici essiccati può anche diminuire la stabilità alla formazione di schiuma.

Anche il trattamento enzimatico influisce sulle proprietà schiumose delle proteine dei ceci. Se queste vengono idrolizzate con alcalasi, enzima che permette di idrolizzare le proteine, mostrano una migliore capacità di schiuma. L'idrolisi produce dei peptidi che hanno un peso molecolare minore e una struttura flessibile; questi due aspetti consentono un adsorbimento più rapido all'interfaccia aria/acqua.

In conclusione, questa recensione evidenzia il potenziale di diversi approcci per migliorare le proprietà fisico-chimiche necessarie affinché le proteine vegetali fungano da agenti schiumogeni nei prodotti alimentari. La loro influenza è principalmente dettata dal profilo proteico, che è specifico per ogni fonte vegetale. A questo proposito, l'idrolisi enzimatica rappresenta l'opzione più praticabile per migliorare la funzionalità delle proteine dei cereali, grazie alla loro concentrazione relativamente elevata di gluteline e prolamine insolubili in acqua. D'altra parte, le proprietà schiumose delle proteine derivate da legumi e semi

---

<sup>44</sup>T. Wang, L. Wang, R. Wang, Zhengxing Chen, *Effects of freeze-milling on the physicochemical properties of rice protein isolates*, Science direct, gennaio 2016.

<sup>45</sup>I. Tontul, Z. Kasimoglu, S. Asik, T. Atbakan, A. Topuz, *Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying*, Science direct, April 2018.

oleosi possono spesso essere considerevolmente aumentate semplicemente perfezionando le condizioni di estrazione e/o applicando trattamenti fisici (ad es. omogeneizzazione, microfluidizzazione, alta pressione o ultrasuoni) favorendo la rottura di grandi aggregati globulinici in particelle più piccole e colloidalmente stabili. I trattamenti fisici sono solitamente preferiti a quelli chimici o enzimatici in quanto sono generalmente più economici e più facili da implementare nell'industria.

Nel corso degli ultimi anni, il numero di individui che consuma bevande a base vegetale è in costante aumento. Questa scelta è dettata da motivi salutistici, etici e di intolleranza al lattosio.

La Alpro è una società belga specializzata nella produzione di bevande vegetali a base di soia, mandorle, nocciole, anacardi, riso, avena o cocco, le quali vengono utilizzate da baristi, ristoratori e professionisti del settore per la realizzazione di prodotti in stile cappuccino (questi prodotti verranno approfonditi nel corso dell'ultimo paragrafo di questo capitolo). Di seguito qualche immagine dei loro prodotti.



46



47

<sup>46</sup> Fig. 7 [https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw\\_aemBhBLEiwAT98FMiJm\\_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQAvD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw_aemBhBLEiwAT98FMiJm_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)

<sup>47</sup> Fig. 8 [https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw\\_aemBhBLEiwAT98FMiJm\\_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQAvD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw_aemBhBLEiwAT98FMiJm_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)

## 2. Il cappuccino

Una delle principali applicazioni delle schiume di latte in gastronomia è sicuramente il **cappuccino**.

Il cappuccino è una bevanda di origine italiana composta da caffè e latte montato a vapore.<sup>48</sup>

Questa bevanda si pensa sia nata in Austria nella seconda metà del XV secolo. Nel 1683 la capitale austriaca venne presa d'assedio dai turchi. L'esercito riuscì a sventare l'attacco e gli aggressori vennero messi in fuga. Tra le cose che i turchi abbandonarono nella ritirata, vi furono anche quintali di caffè che finirono tutti nelle mani del popolo viennese. Si dice poi che il frate cappuccino Marco Da Aviano, giunto a Vienna nel 1683 per cementare l'alleanza tra Roma e gli altri stati cristiani, entrò in un locale e chiese un caffè. Contrariato dal sapore amaro, chiese del latte per renderlo più dolce. Il gestore apprezzò l'idea e cominciò a proporre al resto della clientela questa bevanda dal nome "Kapuziner", a ricordo del frate.

I principali fattori che permettono di ottenere il corretto cappuccino sono la *scelta del latte giusto*, le *attrezzature giuste* e la *montatura del latte*.

Il latte intero fresco è sicuramente quello più indicato per il cappuccino. Come accennato nel secondo capitolo di questo elaborato la composizione del latte influenza notevolmente la stabilità della schiuma. Il latte intero fresco avendo dei cristalli dei globuli di grasso più grandi tende a formare della schiume instabili nel tempo rispetto invece al latte scremato, il quale avendo dei globuli di grasso più piccoli, la possibilità che all'aumentare della temperatura si formino dei globuli di grasso talmente grandi da perforare la membrana del globulo di grasso è molto bassa. Il cappuccino però, si sa è gradito dal cliente con una buona quantità di schiuma e con una consistenza corposa e consistente; inoltre, un cappuccino viene consumato praticamente subito dalla sua preparazione. Ecco, dunque, che il latte intero fresco è quello più corretto da utilizzare. Meglio ancora se il latte utilizzato dal barista ha subito il trattamento di omogeneizzazione; procedimento che serve a ridurre i globuli di grasso.

La macchina espresso e la lattiera sono i due strumenti necessari per creare il cappuccino.

Le macchine da caffè moderne hanno la regolazione fine della temperatura e una caldaia per ogni gruppo di estrazione del caffè, per poter lavorare blend o singole dalle caratteristiche completamente diverse. Hanno anche una caldaia dedicata, chiamata multi-bolier, per la lancia vapore, per disporre di elevata pressione, vapore secco e costanza di erogazione, necessari ad ottenere una crema di latte della texture finissima e lucida.<sup>49</sup> La lancia a vapore è una cannuccia in acciaio con degli ugelli dai quali esce il vapore. Una volta immersa nel latte lo scopo della lancia è duplice: nella prima fase il latte inizia a scaldarsi e il vapore lo fa espandere; il latte cresce di volume e si genera la crema. Nella seconda fase il calore si distribuisce su tutta la massa del liquido. Il vapore deve essere secco per non diluire il latte.<sup>50</sup> Infatti prima di introdurre la lancia

---

<sup>48</sup> Definizione cappuccino: [https://it.wikipedia.org/wiki/Cappuccino\\_\(bevanda\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Cappuccino_(bevanda))

<sup>49</sup> C. Bergonzi, *Latte Art*, hoepli, 2016, p. 44-45

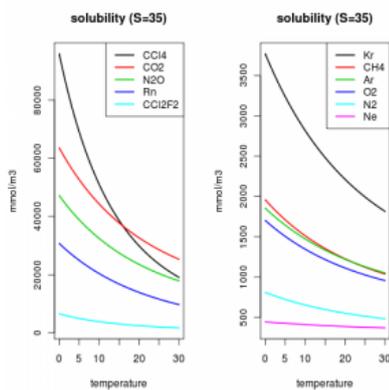
<sup>50</sup> C. Bergonzi, *Latte Art*, hoepli, 2016, p. 61

nel latte occorre farla sfiatare con forza per espellere la condensa presente all'interno. La pressione di erogazione è un aspetto fondamentale. Troppa pressione rende difficile il controllo della montatura. Al contrario un pressione bassa non permette il corretto riscaldamento ed emulsione del latte. La forma della lancia inoltre è progettata in modo tale che il suo orientamento faciliti l'operatore della montatura del latte. Solitamente ha un doppio gomito a mezza altezza ed è collegata alla macchina da caffè con uno snodo molto ampio e versatile.



51

La montatura del latte è un'operazione che richiede molta attenzione e tecnica. La crema che si deve ottenere deve essere lucida e setosa. Nella montatura agiscono sia fattori chimici e fisici. Dal punto di vista chimico possiamo fare riferimento alla solubilità dei gas. La solubilità dei gas in un liquido dipende sia dalla pressione esercitata dal gas sulla superficie del liquido che dalla temperatura.<sup>52</sup> Più alta è la pressione del gas sulla superficie del liquido, maggiore è la quantità di gas disciolta. Se la temperatura aumenta la quantità di liquido diminuisce. Come si può notare dal grafico sottostante la solubilità del gas è totalmente dipendente dalla temperatura. Si evince quindi che per ottenere una buona schiuma bisogna sciogliere quanto più gas possibile all'interno del latte, in un tempo abbastanza limitato. Il latte agisce come surfattante intrappolando l'aria. I parametri della montatura sono molto semplici: latte intero freddo, di circa 4-5 °C.



53

Durante la montatura si attraversano le seguenti fasi:

- *Fase volume*: è il momento in cui si sta inglobando l'aria e la bevanda aumenta di volume. La punta della lancia deve rimanere sulla superficie del latte; in questo modo si ingloberà più aria e il latte diventerà più

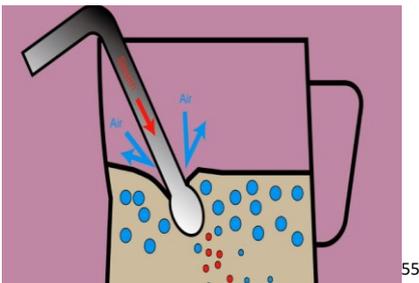
<sup>51</sup> Fig. 9 La macchina espresso

<sup>52</sup> Solubilità dei gas: <http://www.pellegrinoconte.com/2017/12/10/la-chimica-del-cappuccino/>

<sup>53</sup> Fig. 10 <http://www.pellegrinoconte.com/2017/12/10/la-chimica-del-cappuccino/>

cremoso. Questa fase termina appena il latte arriva a 37 °C<sup>54</sup>. Dopo questo range il latte stesso smette di inglobare aria, ma finisce solo di arrivare in temperatura. Per questo motivo il latte a inizio montatura deve per forza essere freddo: se partissimo da un latte a 20°C avremmo troppo poco tempo per inglobare l'aria necessaria.

- *Fase di Emulsione*: in questa il latte è aumentato del tutto di volume. Da qui fino ai 60-65 °C avremo la cosiddetta fase di raffinamento in cui la texture della crema è compatta e liscia e non vi sono bolle in superficie. Questa texture si ottiene attraverso la rotazione del latte montato all'interno della lattiera.



Dal punto di vista pratico il barista deve seguire le seguenti fasi per montare correttamente il latte.

-Si inizia riempiendo per un terzo la lattiera con il latte o la bevanda vegetale scelta. La quantità di liquido deve essere corretta; se vi è poco liquido c'è il rischio di non riuscire a montare il latte, se invece il liquido è troppo la schiuma straborderà dalla lattiera quando aumenta di volume.

-Posizionate il bricco sotto la lancia. È fondamentale che la lancia, sia immerso nel latte ma non tocchi il fondo del bricco, e che quest'ultimo sia posizionato leggermente inclinato. La lattiera deve essere riempita all'incirca per la metà di latte. Così, si produrrà un vortice ottimale. La lancia deve essere inclinata leggermente verso la parte sinistra della lattiera e immersa per circa 3-4 cm.

-Ruotate la manopola vapore posta sul lato della vostra macchina, in senso antiorario.

-Appena la lancia rilascia il vapore, bisogna rimanere fermi. Il vapore produrrà un suono stridulo che man mano che il latte monta diminuirà. Appena la lattiera inizia a scaldarsi e questo lo si percepisce dal calore che rilascia sulle mani, chiudere la manopola di acqua calda/vapore in senso orario e rimuovere la lattiera.

-Non appena l'espresso è pronto, con dei leggeri movimenti rotatori, ruotare la lattiera per ravvivare l'emulsione. Questa operazione è molto importante perché permette di ottenere una schiuma omogenea e lucida. In quei pochi secondi in cui si attende l'estrazione dell'espresso l'emulsione del latte tende a slegarsi,

<sup>54</sup> <https://www.caffeernani.com/come-preparare-il-caffe/la-montatura-del-latte-al-bar-5-passaggi-foto/>

<sup>55</sup> Fig. 11 <https://www.ilcaffeespressoitaliano.com/2018/come-montare-il-latte-per-il-cappuccino-perfetto-in-15-passaggi/>

con le parti più pesanti che si sedimentano in superficie e le parti liquide nel fondo. Se invece si emulsiona il tutto, la superficie si compatterà meglio; una volta che si andrà a versare il latte in tazza la schiuma si distribuisce in maniera adeguata su tutta la tazza.

-L'ultima fase è il versaggio in tazza. Avvicinare la punta della lattiera alla superficie della tazza e versare con cure e dosando bene. Come si nota dalla foto sottostante se il versaggio del latte avviene nella maniera corretta, la schiuma si sedimenta al centro e permette al caffè di creare quell'anello sul bordo.



<sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> Fig. 12 [https://www.marmiton.org/recettes/recette\\_cappuccino\\_19650.aspx](https://www.marmiton.org/recettes/recette_cappuccino_19650.aspx)

### 3. La latte art

Oltre al cappuccino, la latte art è un altro tipo di applicazione che possono avere le schiume di latte in gastronomia.

La latte art è un insieme di tecniche che prevede l'utilizzo della schiuma di latte per la realizzazione di disegni che galleggiano sulla superficie di una calda tazzina di caffè. Le più comuni sono il cuore, il fiore e la foglia.

Le principali tecniche di decorazione dei disegni sono:

-Il **Pouring** ovvero "versaggio libero". Prevede la realizzazione dei disegni con la sola lattiera. Il tulipano e foglia sono i disegni più comuni che si possono ottenere con questa tecnica. La rapidità di esecuzione è uno dei fattori che permette il successo del disegno.

-L' **Etching**. Mediante questa tecnica si possono ottenere forme geometriche, scritte, animali. Si utilizzano speciali penne dalla punta sottile e per alcuni disegni anche del topping al cacao che verrà poi modellato proprio con l'aiuto di questi strumenti.

-Il **metodo 3 D** consente di ottenere dei decori a rilievo, utilizzando dei cucchiari (oggi giorno sostituiti da apposite pistole). Si tratta di una tecnica molto lenta ma scenografica, sviluppatasi soprattutto in Asia.

-Il **Painting**: in questa tecnica si usano pennellini e coloranti alimentari si realizzano vere e proprie "opere pittoriche", come se la schiuma del cappuccino fosse una tela su cui dipingere.

-Il **Topping**, ossia la creazione di diversi decori con coperture aromatizzate al cioccolato o caramello, versate sulla superficie della schiuma del cappuccino.

È bene però ricordare che le ultime tre tecniche modificano il gusto della bevanda. La bevanda in molti casi non risulta commestibile e infatti vengono utilizzate solo nelle competizioni di latte art. Esistono livello mondiale molte gare in cui professionisti del settore competono per la creazione del cappuccino con il disegno più preciso.

Oltre alle competizioni, la latte art può essere utilizzata da esperti del settore come baristi o ristoratori per migliorare la loro offerta alla clientela. Il servizio di un cappuccino ben fatto tecnicamente e con un disegno accattivante è sicuramente una nota di pregio per l'azienda.

La "Latte Art Grading System" è un sistema che certifica, a livello mondiale, le capacità dei baristi valutandone tecnica e creatività nella decorazione delle bevande di caffetteria con la tecnica della Latte art.<sup>57</sup>

Il sistema è strutturato in sei livelli detti "Grading". Ogni livello ha un colore diverso: Bianco, Arancio, Verde, Rosso, Nero e Oro. Ogni livello corrisponde a delle abilità specifiche del barista che durante l'esame di grading dovrà dimostrare creando in tazza figure sempre più complesse. Per ogni livello si deve sostenere un esame. Al superamento dell'esame si ottiene un certificato "Latte Art Grading Certificate" che riporta il livello ottenuto. Il nome del barista verrà inserito nell'albo del Latte Art Grading, all'interno di una pagina

---

<sup>57</sup> <https://espressoacademy.it/vivi-la-scuola/il-latte-art-grading-system/>

del sito ufficiale e verrà consegnata una lattiera di colore corrispondente con impresso il logo del Latte Art Grading System. In Veneto l'azienda Caffè Diemme è un Latte Art Grading System Point autorizzato ad organizzare corsi, dedicati a chi ha già alcune competenze in latte art, che hanno la finalità di sostenere gli esami dei vari livelli di grading che si svolgono al termine del corso.



58

#### Il Grading *Bianco*

- un tulip con minimo 3 elementi e un cuore
- tempo: 6 minuti

#### Il Grading *Arancio*

- due tulip con minimo 4 elementi
- una foglia (rosetta) con minimo 8 elementi
- un tulip con minimo 3 elementi
- tempo: 9 min

#### Il Grading *Verde*

- un tulip con minimo 6 elementi
- una foglia con rosetta con almeno 10 elementi
- due foglie con rosetta con almeno 4 elementi
- tempo: 12 min

---

<sup>58</sup> Fig. 13 <https://discover.hubpages.com/food/Awesome-Coffee-Art>

### Il Grading Rosso

- un tulip con minimo 8 elementi
- due rosette in linea
- due rosette con tulip a 6 elementi
- tempo: 15 min

### Il Grading Nero

- un cappuccino con vortex a 15 elementi
- un tulip a 9 elementi
- quattro rosette in linea
- tempo: 15 min.

### Il Grading Gold

- una rosetta con tulip centrale a 6 elementi
- una rosetta con minimo 22 elementi
- un cigno con 4 rosette e rosa in testa
- cinque rosette, tre verticali e due oblique
- otto rosette a stella di nave
- un tulip coreano con minimo 6 elementi con due rosette oblique



59



60

<sup>59</sup> Fig. 14 Il Grading Gold <https://espressoacademy.it/vivi-la-scuola/il-latte-art-grading-system/>

<sup>60</sup> Fig. 15 Le lattiera della latte art Grading System <http://www.latteartgrading.com/intro.php>

## CONCLUSIONI GENERALI

Le schiume di latte hanno una grande importanza in campo tecnologico e gastronomico. Esse permettono di immobilizzare grandi quantità di gas e migliorare la presentazione e la qualità di bevande note in gastronomia come il cappuccino.

La schiuma è un sistema colloidale che contiene minuscole bolle d'aria disperse in una fase acquosa continua.

Questa relazione tratta nell'insieme tutti i principali fattori chimico-fisici che impattano nella formazione di una schiuma di latte e le loro applicate poi in gastronomia.

Le proteine del latte presentano notevoli proprietà schiumogene, contengono al loro interno sia regioni polari che non polari e questo permette loro di avere proprietà tensioattive. Esse si dispiegano all'interfaccia con i gruppi idrofili e idrofobi verso la fase liquida e quella aerea rispettivamente creando così nell'interfaccia viscoelastico un film viscoelastico. Durante la formazione di schiuma le proteine vengono adsorbite sulla superficie delle bolle d'aria rendendo il sistema stabilizzato. Le caseine e proteine del siero sono quelle di maggiore interesse. Le caseine formano dei film con una viscoelasticità molto bassa rispetto alle proteine del siero (proteine globulari), che creano pellicole con rigidità considerevolmente elevata. L'elevata viscoelasticità delle proteine globulari è data dalla presenza di interazioni intermolecolari (legami a idrogeno, interazioni elettrostatiche e idrofobiche) e all'elevata densità di impaccamento. Il film è meno coeso per le proteine flessibili. Dalle proteine dipendono anche le dimensioni delle bolle della schiuma. Le proteine del siero permettono la formazione di bolle d'aria più piccole che non evolvono in modo significativo. La dimensione invece delle bolle delle schiume stabilizzate con caseinato di sodio cresce molto velocemente e le schiume collassano poco tempo dopo.

Anche la tipologia di latte è un aspetto da prendere in considerazione. Nel corso del secondo capitolo sono stati presi in esame tendenzialmente latte intero e scremato. Si è giunti alla conclusione che a seconda della conformazione del grasso del latte, le schiume che si ottengono possono essere più o meno stabili. I globuli di grasso del latte intero crudo essendo cristalli più grandi, sono quindi più soggetti a rotture in caso di deformazione della lamella di schiuma dovuta ad un aumento della temperatura rendendo la schiuma quindi sarà più instabile. Il latte scremato invece avendo dei globuli di grasso più piccoli, riduce la possibilità che all'aumentare della temperatura si formino dei globuli di grasso talmente grandi da perforare la membrana del globulo di grasso è molto bassa.

Nell'ultimi anni molti consumatori preferiscono consumare bevande vegetali, sostituendole a quelle animali, per motivi etici, di intolleranza o salutistici. Risulta quindi importante, a mio avviso, cercare di capire come si possano ottenere delle schiume di latte partendo da una base vegetale, che abbiano le stesse caratteristiche di struttura e reologia tipiche delle schiume di latte ottenute da proteine di origine animale. Nelle ultime parti dell'elaborato si è parlato delle proteine vegetali e delle loro proprietà schiumogene. Si è appreso che per migliorare le loro proprietà di creare schiume sono necessari trattamenti fisici ed enzimatici che vanno a destabilizzare la componente proteica, ottenendo degli aggregati globulinici più piccoli e stabili.

La relazione viene conclusa citando alcune delle principali applicazioni delle schiume in gastronomia, il cappuccino è sicuramente la più conosciuta. La creazione della sua schiuma richiede una certa tecnica, conoscenza e praticità. Si sono analizzate tutte le fasi che avvengono durante il processo di montatura del latte e quali sono i fattori che incidono maggiormente nella creazione di un corretto cappuccino.

Durante il mio percorso di tirocinio ho avuto modo di partecipare a dei corsi di Latte Art. La Latte Art può essere considerata un altro tipo di impiego delle schiume in gastronomia. Essa è un insieme di tecniche che prevede l'utilizzo della schiuma di latte per la realizzazione di disegni che galleggiano sulla superficie di una calda tazzina di caffè. Queste tecniche risultano essere molto efficaci e utili per bar e ristoranti perché permettono di offrire il cappuccino con una schiuma stabile ottenuta nella maniera più corretta e con una rifinitura precisa ed elegante, che trasmette al consumatore una sensazione di piacere e gusto creando un rapporto di fidelizzazione.

Gli operatori del settore, inoltre, possono costantemente migliorare le loro competenze attraverso la Latte Art Grading System: un sistema che certifica la loro creatività e tecnica nella decorazione delle bevande di caffetteria. Esistono sei livelli diversi, divisi per colore, dai quali poi si ottiene una certificazione.

*"La gastronomia è la conoscenza ragionata di tutto ciò che si riferisce all'uomo in quanto egli si nutre"<sup>61</sup>.*

Con queste parole dell'avvocato e politico francese, J.A. Brillat-Savarin autore di *Physiologie du goût* (La fisiologia del gusto), termino il mio elaborato. Ho voluto raccontare, da un punto di vista prettamente scientifico, cosa sono e come si formano le schiume di latte e come esse siano l'ingrediente base di una delle bevande italiane più consumate e conosciute: il cappuccino.

---

<sup>61</sup> J.A. Brillat-Savarin, *Physiologie du goût*, 1826

## RINGRAZIAMENTI

*“...Ognuno ha una favola dentro,  
che non riesce a leggere da solo.*

*Ha bisogno di qualcuno,  
che con la meraviglia e l’incanto negli occhi,  
la legga e gliela racconti...”*

*Pablo Neruda*

## BIBLIOGRAFIA

- C. Alais, *Scienza del latte*, Edizioni tecniche nuove, Milano, 1994.
- L. Amagliani, J. Silva, M. Saffon, J. Dombrowski, *On the foaming properties of plant proteins: Current status and future opportunities*, Trends in Food Science & Technology, Science direct, Part A, December 2021.
- C. Bergonzi, *Latte Art*, hoepli, 2016.
- H. Butt, Graf, Karlheinz, Kappl, Michael, *Fisica e chimica delle interfacce*, Mainz, 2003.
- P. Cabras, A. Martelli, *Chimica degli alimenti*, Edizioni Piccin, 2004.
- C. Corradini, *Chimica e tecnologia del latte*, Edizioni nuove, 1995.
- S. Damodaran, *Protein Stabilization of Emulsions and Foams*, Giornale di scienze alimentari, 2005.
- M. De Souza, A. Francisco Sbardelotto, D. Dumoncel Righetto Ziegler, L. Massochin Nunes Pinto, R. de Souza Ramos, L. Damasceno Ferreira Marczak, I. Tessaro, *Obtaining and purification of a highly soluble hydrolyzed rice endosperm protein*, Science direct, August 2017.
- X. Guan, H. Yao, Z. Chen, L. Shan, M. Zhang, *Some functional properties of oat bran protein concentrate modified by trypsin*, Food Chemistr, Science direct, 2007.
- B. Gühmann, H. Hecht, T. Sözer, N. et al. *Foaming characteristics of oat protein and modification by partial hydrolysis*, Science direct, 2018.
- S. Kamath, A. Wulandewi, H. Death, *Relationship between surface tension, free fatty acid concentration and foaming properties of milk*, Science direct, July 2008.
- S. Kamath, T. Huppertz, A. V. Houlihan, H. C. Deeth, *The influence of temperature on the foaming of milk*, International Dairy Journal, October–November 2008.
- G. Lian, W. Chen, X. Qie, M. Zeng, Z. He, J. Chen, *Modification of soy protein isolates using combined pre-heat treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improving foaming properties*, Idrocolloidi alimentari, Science direct, August 2020.
- K. Oetjen, C. Bilke-Krause, M. Madani, T. Willers, *Temperature effect on foamability, foam stability, and foam structure of milk*, Science direct, October 2014.
- S. Rouimi, C. Schorsch, C. Valentini, S. Vaslin, *Foam stability and interfacial properties of milk protein–surfactant systems*, Science direct, May 2005.
- C. Schmitt, L. Bovetto, J. Buczkowski, G. De Oliveira Reis, P. Pibarot, L. Amagliani, J. Dombrowski, *Plant proteins and their colloidal state*, Science direct, December 2021
- O. Salvadori Del Prato, *Tecnologie del latte*, Edizioni agricole, 2005.
- I. Tontul, Z. Kasimoglu, S. Asik, T. Atbakan, A. Topuz, *Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying*, Science direct, April 2018.
- T. Wang, L. Wang, R. Wang, Zhengxing Chen, *Effects of freeze-milling on the physicochemical properties of rice protein isolates*, Science direct, gennaio 2016.

[https://www.researchgate.net/publication/257780836\\_Better\\_Nutrients\\_and\\_Therapeutics\\_Delivery\\_in\\_Food\\_Through\\_Nanotechnology/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/257780836_Better_Nutrients_and_Therapeutics_Delivery_in_Food_Through_Nanotechnology/figures?lo=1)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Tensione\\_superficiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Tensione_superficiale)

[https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw\\_aemBhBLEiwAT98FMiJm\\_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQA vD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw_aemBhBLEiwAT98FMiJm_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQA vD_BwE&gclsrc=aw.ds)

[https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw\\_aemBhBLEiwAT98FMiJm\\_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQA vD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.alproshop.it/prodotto/alpro-bevanda-alla-soia-1l?idStoreSku=385143&gad=1&gclid=CjwKCAjw_aemBhBLEiwAT98FMiJm_Qm-mggCsyPqHZtxud7D6hkXVh8-AlgTdTWdADR6st59sUnb9xoC4fQQA vD_BwE&gclsrc=aw.ds)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Cappuccino\\_\(bevanda\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Cappuccino_(bevanda))

<http://www.pellegrinoconte.com/2017/12/10/la-chimica-del-cappuccino/>

<https://www.caffeernani.com/come-preparare-il-caffe/la-montatura-del-latte-al-bar-5-passaggi-foto/>

<https://www.ilcaffeespressoitaliano.com/2018/come-montare-il-latte-per-il-cappuccino-perfetto-in-15-passaggi/>

[https://www.marmiton.org/recettes/recette\\_cappuccino\\_19650.aspx](https://www.marmiton.org/recettes/recette_cappuccino_19650.aspx)

<https://espressoacademy.it/vivi-la-scuola/il-latte-art-grading-system/>

<https://discover.hubpages.com/food/Awesome-Coffee-Art>

<https://espressoacademy.it/vivi-la-scuola/il-latte-art-grading-system/>

<http://www.latteartgrading.com/intro.php>

