

LAVORO DI MATURITÀ  
CHIMICA E FISICA  
Liceo Cantonale di Locarno

Adele Allievi

STRAVOLGIMENTI  
NELLA RICETTA  
DELLA MERINGA



Anno scolastico 2022-2023

Docenti responsabili:  
Julia Bernasconi  
Giosiana Codoni  
Claudio Manzato



# Indice

<b>1</b>	<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>La meringa</b>	<b>5</b>
2.1	Storia della meringa . . . . .	5
2.2	I diversi tipi di meringa . . . . .	6
2.3	La meringa francese, motivi per cui è stata scelta . . . . .	6
<b>3</b>	<b>I legami intermolecolari</b>	<b>7</b>
3.1	Forze dispersione di London . . . . .	7
3.2	Forze dipolo-dipolo . . . . .	8
3.3	Legame a idrogeno . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Le proteine</b>	<b>9</b>
4.1	Gli amminoacidi . . . . .	9
4.2	Il legame peptidico . . . . .	11
4.3	Denaturazione delle proteine . . . . .	13
4.4	Ruolo delle proteine nella formazione di schiume . . . . .	14
4.5	Schiumabilità e capacità schiumogena delle proteine . . . . .	15
4.6	Proteine adatte alla formazione di schiume . . . . .	15
<b>5</b>	<b>I saccaridi</b>	<b>17</b>
5.0.1	Proiezioni di Fischer . . . . .	17
5.1	I monosaccaridi . . . . .	18
5.1.1	Proiezioni di Haworth . . . . .	21
5.2	I disaccardi . . . . .	22
5.3	Ruolo dei saccaridi e della cottura nella formazione di schiume . . . . .	24
5.3.1	Stabilizzazione . . . . .	24
5.3.2	Cristallizzazione . . . . .	24
5.4	Gli anticristallizzanti e l'igroscopicità . . . . .	25

<b>6</b>	<b>Le schiume</b>	<b>26</b>
6.1	Formazione della schiuma - destrutturazione meccanica delle proteine . . . . .	26
6.2	Collasso della schiuma . . . . .	27
6.3	Cottura e cristallizzazione . . . . .	28
6.4	Fattori che influenzano la formazione della schiuma . . . . .	29
6.4.1	Temperatura iniziale . . . . .	29
6.4.2	Aggiunta di acidi . . . . .	30
6.4.3	Aggiunta di NaCl . . . . .	30
6.4.4	Aggiunta di zucchero . . . . .	30
6.4.5	Aggiunta di acqua . . . . .	31
6.4.6	Invecchiamento delle uova . . . . .	31
6.4.7	Aggiunta di grassi . . . . .	32
6.4.8	Montatura in contenitore di rame . . . . .	32
<b>7</b>	<b>L'albume d'uovo di gallina</b>	<b>33</b>
7.1	Proteine presenti nell'albume . . . . .	33
7.1.1	Ovoalbumina . . . . .	34
7.1.2	Ovotransferrina . . . . .	34
7.1.3	Ovomucoide . . . . .	34
7.1.4	Ovomucina . . . . .	34
7.1.5	Lisozima . . . . .	35
7.1.6	Ovoglobulina . . . . .	35
<b>8</b>	<b>Altre fonti proteiche utilizzate</b>	<b>36</b>
8.1	Aquafaba . . . . .	36
8.1.1	Storia della scoperta dell'aquafaba . . . . .	36
8.1.2	Composizione dell'aquafaba . . . . .	37
8.1.3	Composizione delle proteine dei semi di ceci . . . . .	38
8.1.4	Azione delle componenti dell'aquafaba . . . . .	38
8.1.5	Proprietà schiumogene dell'aquafaba . . . . .	39
8.2	Whey Protein- le proteine del siero del latte . . . . .	39
8.2.1	Il latte . . . . .	39
8.2.2	Caseine . . . . .	40
8.2.3	Proteine del siero . . . . .	41
8.2.4	Proteine in polvere . . . . .	41
<b>9</b>	<b>I dolcificanti utilizzati</b>	<b>43</b>
9.1	Gli edulcoranti . . . . .	43
9.2	Saccarosio . . . . .	44
9.3	Glucosio . . . . .	45

<i>INDICE</i>	3
9.4 Fruttosio . . . . .	46
9.5 Lattosio . . . . .	47
9.6 Xilitolo . . . . .	48
9.7 Eritritolo . . . . .	49
9.8 Stevia . . . . .	50
<b>10 Metodologia</b>	<b>52</b>
10.1 Variabili . . . . .	53
10.2 Ricetta base . . . . .	54
10.3 Misurazioni . . . . .	55
10.4 Materiali . . . . .	55
<b>11 Risultati</b>	<b>56</b>
<b>12 Discussione</b>	<b>61</b>
12.1 Prima parte sperimentale . . . . .	61
12.2 Seconda parte sperimentale . . . . .	63
12.2.1 Densità . . . . .	63
12.2.2 Variazione della massa . . . . .	65
12.2.3 Friabilità . . . . .	66
12.2.4 Volume della schiuma . . . . .	67
12.2.5 Ariosità . . . . .	69
12.2.6 Effetto cooling . . . . .	69
12.2.7 Eritritolo e stevioside . . . . .	70
<b>13 Conclusioni</b>	<b>71</b>
<b>14 Futuri sviluppi</b>	<b>72</b>
<b>15 Ringraziamenti</b>	<b>73</b>

# Capitolo 1

## Abstract

Considerando la meringa come una schiuma stabilizzata attraverso l'aggiunta di un saccaride e successivamente con la cottura, sono stati condotti degli esperimenti con l'obiettivo di stravolgere la ricetta della meringa francese al fine di utilizzare altri ingredienti ed ottenere un risultato simile.

Inanzitutto si sono realizzate le meringhe con albume e zucchero a velo, cotte in seguito per periodi differenti al fine di determinare il tempo di cottura ideale per ottenere delle meringhe sufficientemente friabili. Da questo esperimento si è potuto determinare come la friabilità non dipenda dalla quantità di acqua evaporata. Si è inoltre scoperta la funzione

$$m(t) = 1 - 0.30(1 - e^{-0.0186t}) \quad (1.1)$$

in grado di descrivere la variazione di massa in funzione del tempo di cottura. Successivamente l'albume è stato sostituito con altre fonti proteiche, verificando se fosse possibile ottenere un prodotto pressoché identico alle meringhe realizzate con la ricetta originale.

Dopodiché nella seconda parte dell'esperimento il saccarosio a velo è stato sostituito con un altro dolcificante. In un terzo momento sono stati utilizzati sia una fonte proteica che un dolcificante differenti.

Dagli esperimenti si è inoltre potuto dedurre come ogni variabile considerata sia dipendente o dal saccaride o dalla fonte proteica. Per ogni sostituto utilizzato sono scaturite proprietà differenti che non permettono quindi di ottenere una meringa esattamente uguale all'originale, ma con caratteristiche particolarmente interessanti.

## Capitolo 2

# La meringa

La meringa è una preparazione base della pasticceria. Si tratta di una schiuma ottenuta montando l’albume d’uovo con lo zucchero a velo, che viene poi successivamente stabilizzata attraverso la cottura [24],[25],[42],[43].

### 2.1 Storia della meringa

Esistono diverse versioni ancora dibattute riguardo alle origini della meringa. [40],[2][27],[28]La più diffusa concerne il pasticcere italiano Gasparini, al quale ne si attribuisce l’invenzione attorno al 1700 a Meiringen, una cittadina svizzera nell’Oberland bernese. È proprio in onore di questa località che al dolce è stato attribuito il nome di “meringa”. Gasparini avrebbe realizzato le meringhe per fare colpo sulla figlia del re di Polonia Stanislao Leszczynski, per il quale aveva prestato servizio dal momento in cui egli si era rifugiato in Alsazia. La figlia, Maria Leszczynska, avrebbe poi sposato il re di Francia Luigi XV, diffondendo la ricetta alla corte di Versailles.

Secondo altri storici gastronomici però l’origine della meringa potrebbe risalire a un secolo prima in Inghilterra. È infatti stata trovata una ricetta datata 1604 e firmata Elinor Fettiplace, riguardo ad un dolce realizzato sbattendo l’albume d’uovo con lo zucchero. Ciò che è certo è che le meringhe vennero successivamente molto apprezzate e diffuse in tutte le corti reali d’Europa.

Inizialmente le meringhe venivano formate col cucchiaino, solo agli inizi del XIX secolo lo chef francese Marie Antoine Carême decise di realizzarle per la prima volta con la sac à poche, ottenendo il prodotto comune al giorno d’oggi.

Un ultimo aneddoto riguarda il comune di Meiringen nel quale, nel 1985, è stato stabilito un record iscritto nel Guinness dei primati: utilizzando oltre 2000 uova e 120 chili di zucchero a velo, è stata prodotta la meringa più grande del

mondo, la quale misurava due metri e mezzo in lunghezza, un metro e mezzo in larghezza e settanta centimetri in altezza.

## 2.2 I diversi tipi di meringa

La meringa può essere preparata in 4 diverse modalità, le quali sostanzialmente differiscono per momento e temperatura con le quali lo zucchero viene incorporato all'albume.[44],[45][36],[37].

La *meringa francese* è quella più conosciuta: gli albumi vengono montati a temperatura ambiente con graduale aggiunta di zucchero freddo fino ad ottenere una schiuma lucida, che viene successivamente stabilizzata grazie alla cottura in forno. Di *meringhe francesi* se ne distinguono 3, in base al rapporto tra zucchero e albume: leggera (rapporto 1:1), media (2:1) e pesante (3:1). Il risultato è un prodotto friabile e secco, al contrario della meringa italiana e di quella svizzera, che diversamente da quella francese non necessitano di venir cotte in forno in quanto già stabili, risultando però schiume liquide.

La preparazione della *meringa italiana* prevede infatti l'aggiunta dello zucchero sotto forma di sciroppo scaldato a 121°C, una volta montati gli albumi a freddo. Si termina poi l'incorporazione con un'ultima montatura fino al completo raffreddamento. Questa preparazione è la più laboriosa e viene solitamente realizzata per la decorazione di torte come la “tarte au citron meringuée” oppure per rendere più leggere e voluminose mousse o semifreddi.

La *meringa svizzera* segue invece una preparazione completamente a caldo: qui l'albume e lo zucchero vengono scaldati a bagnomaria e mantenuti ad una temperatura leggermente inferiore a quella di coagulazione dell'ovotransferrina ossia 62 °C, venendo successivamente montati.

Vi è poi un quarto tipo di meringa, chiamata *giapponese* oppure *sarda*, al cui impasto base vengono addizionate delle mandorle macinate.

## 2.3 La meringa francese, motivi per cui è stata scelta

Per raggiungere gli obiettivi di questa ricerca, ossia la realizzazione di meringhe con ingredienti e metodi di cottura differenti dall'originale, si è deciso di seguire la ricetta della meringa francese, quella più comune e meno elaborata. Questo affinché non ci potessero essere ulteriori fattori dovuti alla difficile preparazione del prodotto, come sarebbe stato nel caso della produzione della meringa italiana o di quella svizzera, ad influire inavvertitamente sui risultati degli esperimenti.

## Capitolo 3

# I legami intermolecolari

Grazie alle forze di attrazione di tipo elettrostatico presenti tra gli atomi, è possibile che le molecole instaurino dei legami le une con le altre. Questi legami vengono chiamati intermolecolari e sono più deboli di quelli intramolecolari, che si instaurano invece tra gli atomi all'interno di una molecola. [17][31],[46] Fondamentalmente si distinguono tre tipi di legami intermolecolari: *forze dispersione di London*, *legami dipolo-dipolo*, *legami a idrogeno*.

### 3.1 Forze dispersione di London

Nelle molecole apolari il continuo movimento degli elettroni può portare alla formazione di dipoli positivi o negativi temporanei, dovuti all'eterogenea distribuzione delle cariche. L'instaurarsi di questi dipoli temporanei influenza la ripartizione degli elettroni nelle molecole vicine, causando in esse la formazione di dipoli indotti. Tra le estremità positive e negative dei dipoli indotti formati in precedenza si instaurano quindi dei legami molto deboli che si intensificano all'aumentare della massa molecolare, ossia del numero di elettroni. Questi legami sono noti come *forze dispersione di London* oppure *forze di Van der Waals*, e concernono tutte le molecole, sia polari che apolari. Questo fattore si ripercuote sulla temperatura di ebollizione, essa è infatti proporzionale al numero di legami si instaurano tra due molecole: maggiore è il numero di legami, più energia sarà necessario fornire per romperli tutti. Il numero di legami è a sua volta dipendente dalla massa molecolare: più atomi possiede la molecola, più legami sarà possibile formare con altre molecole.

## 3.2 Forze dipolo-dipolo

A differenza delle molecole apolari, le molecole polari presentano dei dipoli permanenti. I legami che si instaurano tra le loro estremità sono quindi più intensi perché sempre presenti e vengono chiamati *legami dipolo-dipolo*. Questi sono inoltre dipendenti dall'elettronegatività degli atomi coinvolti nel legame: se la differenza di elettronegatività è maggiore, il legame è più forte.

## 3.3 Legame a idrogeno

Si tratta di una speciale interazione che si instaura tra l'atomo di H coinvolto in un legame covalente polare con O, N o F che si lega a un altro atomo di ossigeno, azoto o fluoro con elettroni liberi. È il legame intermolecolare di maggior intensità, siccome la differenza di elettronegatività tra H e l'altra specie atomica è molto elevata. A differenza delle altre forze di tipo elettrostatico, il legame a idrogeno possiede anche una componente direzionale dovuta alla partecipazione al legame di coppie di elettroni non condivisi. Per questo motivo, nel legame a idrogeno entrambi gli atomi elettronegativi devono restare allineati ad H. Nei processi di solidificazione le molecole legate da legami ponte H sono quindi costrette a orientarsi e distanziarsi per rispettare la geometria del legame. Nel ghiaccio ad esempio, in cui le molecole d'acqua si trovano allo stato solido, si osserva una struttura cristallina. Questa risulta più voluminosa rispetto all'acqua allo stato liquido, proprio perché le molecole devono trovarsi abbastanza lontane per poter legare tra loro.

## Capitolo 4

# Le proteine

Le proteine sono una classe di polimeri costituiti dagli elementi carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto e zolfo. Si tratta di catene di amminoacidi (monomeri) legati tra di loro attraverso legami peptidici, ossia ammidici. [17],[23],[31],[46].

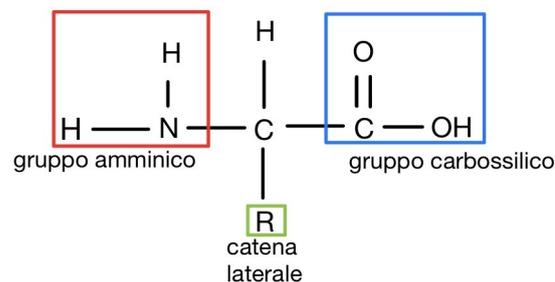


Figura 4.1: Struttura generica di un amminoacido. L'atomo di carbonio centrale, chiamato carbonio  $\alpha$ , è legato a quattro gruppi differenti: un atomo di idrogeno, un gruppo amminico, un gruppo carbossilico e un gruppo R differente per ogni tipo di amminoacido.

### 4.1 Gli amminoacidi

Gli amminoacidi sono molecole costituite da un atomo centrale di carbonio, chiamata carbonio  $\alpha$ , alla quale si legano un atomo di idrogeno, un gruppo amminico  $-\text{NH}_2$ , un gruppo carbossilico  $-\text{COOH}$  e una catena laterale ( $-\text{R}$ ) che lo contraddistingue in quanto diversa per ogni tipo di amminoacido.

Proprio in base alla natura della catena R è possibile classificare i 20 amminoacidi esistenti, i cui nomi sono abbreviati in simboli a tre lettere ossia le

prime tre del nome in inglese, in due differenti gruppi con rispettivamente tre e due sottogruppi:

#### **Amminoacidi con R privo di carica**

1. Amminoacidi con R *apolare alifatico*: Si tratta di amminoacidi la cui catena laterale (alifatica) non contiene gruppi polari ed è perciò idrofoba. A questo sottogruppo appartengono 5 amminoacidi: alanina, leucina, isoleucina, valina e prolina. Inoltre rientrano in questa categoria anche la metionina, che contiene un gruppo tioetere apolare, e la glicina, sebbene non possieda una catena laterale e non può quindi formare interazioni idrofobiche come gli altri amminoacidi.
2. Amminoacidi con R *apolare aromatico*: A questa categoria appartengono 3 amminoacidi con la catena laterale apolare e contenente anelli aromatici: fenilalanina, tirosina, triptofano. La solubilità in acqua di questi due sottogruppi diminuisce all'allungarsi della catena
3. Amminoacidi con R *polare*: Le catene laterali degli amminoacidi appartenenti a questa categoria contengono gruppi funzionali polari, alcuni dei quali sono in grado di instaurare legami a idrogeno, rendendo le molecole in questione solubili in acqua. Serina e treonina possono formare legami ponte idrogeno tra atomi di O e H. Tra le molecole di cisteina si instaurano invece legami dipolo-dipolo tra gruppi SH, mentre in asparagina e glutammina tra gruppi CO e NH<sub>2</sub>.

#### **Amminoacidi con R dotato di carica**

1. Amminoacidi con R caricato *positivamente*: Sono conosciuti anche come amminoacidi basici e si tratta di lisina, arginina e istidina. La carica positiva su di esse si trova sul gruppo amminico nella prima, rispettivamente sul gruppo guanidinico nella seconda e sul gruppo imidazolico nella terza.
2. Amminoacidi con R caricato *negativamente*: Si tratta di glutammato e aspartato che sono invece noti come amminoacidi acidi

Un secondo metodo per classificare gli amminoacidi é la presenza o meno di una catena ramificata (in valina, leucina e isoleucina) oppure di zolfo (nella metionina e nella cisteina).

Il carbonio centrale, legandosi a 4 gruppi differenti, costituisce un centro stereogeno e i singoli amminoacidi risultano quindi otticamente attivi. Ogni amminoacido esiste quindi sotto forma di coppia di enantiomeri D ed L a dipendenza della disposizione degli atomi attorno al carbonio alfa. L'amminoacido

glicina fa però eccezione in quanto la catena laterale R è costituita soltanto da un atomo di idrogeno ed il carbonio alfa risulta quindi simmetrico. Nelle proteine si osserva però solo la presenza di L-amminoacidi.

Gli amminoacidi sono sostanze anfotere, siccome possiedono sia un gruppo acido COOH sia un gruppo basico  $\text{NH}_2$ , e possono comportarsi di conseguenza. In soluzione acquosa essi si trovano principalmente come ioni dipolari con il gruppo amminico protonato  $\text{NH}_3^+$  e quello carbossilico dissociato in  $\text{COO}^-$ . Sono acidi più forti degli acidi carbossilici grazie alla presenza di  $\text{NH}_3^+$  (elettron-attrattore). Sono invece, per questo motivo, delle basi più deboli rispetto alle ammine. A un determinato valore di pH, diverso e caratteristico per ogni amminoacido, che varia da un minimo di 5.02 per Cys a un massimo 10.76 per Arg, esso si trova in forma di ione dipolare (sia acido che basico) facendo risultare la carica complessiva pari a zero. Tale pH è detto punto isoelettrico (pI) ed il suo valore dipende dalle costanti di ionizzazione acide e basiche dei gruppi presenti nella molecola. Per quanto riguarda le proteine, la carica complessiva netta data dalla somma delle cariche delle catene laterali degli amminoacidi che la compongono, è pari a zero nel punto isoelettrico caratteristico per ogni proteina. A questo valore la solubilità della proteina è anche minima, perciò essa tende a precipitare.

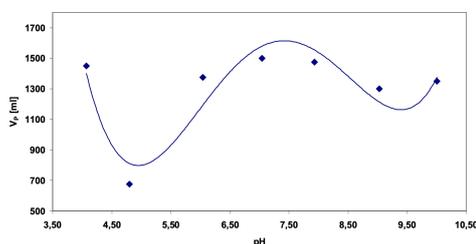


Figura 4.2: Grafico estratto dall'articolo [30] che mostra il volume di schiuma ottenuto in funzione del pH dell'albume.

Nelle schiume, il punto isoelettrico ha quindi un'influenza per quanto riguarda la formazione della schiuma: dagli esperimenti descritti nell'articolo [30] il volume di schiuma più alto è stato registrato a pH 4, 6,5 e 7. La peggiore qualità di montatura dell'albume d'uovo si è avuta invece a pH 5 e a pH compresi tra 7,5 e 8,5, che corrispondono al pH comune dell'albume.

## 4.2 Il legame peptidico

Il *legame peptidico* lega assieme il gruppo carbossilico di un amminoacido col gruppo amminico di quello successivo. Si tratta di un ibrido tra un legame dop-

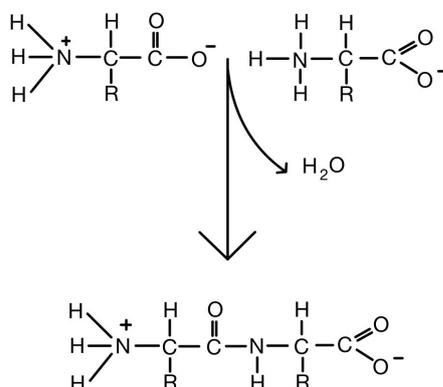


Figura 4.3: Formazione legame peptidico. Il gruppo carbossilico di un amminoacido si lega al gruppo amminico di un altro amminoacido, liberando una molecola di acqua.

pio e un legame singolo, più corto del semplice legame singolo. Tutti gli atomi di carbonio e azoto che formano il legame peptidico, ossia il gruppo ammidico in generale, giacciono sullo stesso piano in quanto non possono ruotare. Questo piano viene chiamato *piano del legame ammidico*. Con la formazione di questo legame si libera una molecola d'acqua secondo la reazione:

La catena di amminoacidi costituita da due atomi di carbonio e uno di azoto in sequenza, rappresenta l'ossatura della proteina e non è mai ramificata, vi possono però essere delle interazioni tra gli amminoacidi che ne determinano la struttura più sofisticata. Queste interazioni sono essenzialmente legami a ponte idrogeno o legami a ponte solfuro.

I *legami ponte idrogeno* sono dei legami intermolecolari tra il gruppo NH di un amminoacido e il gruppo  $\text{COO}^-$  di un altro, e determinano essenzialmente la struttura secondaria della proteina: se si instaurano tra atomi di H della stessa catena otterremo una struttura a spirale denominata  $\alpha$  elica, se si instaurano tra atomi di idrogeno che si trovano in porzioni molto distanti della stessa molecola il peptide assume la cosiddetta struttura a  $\beta$  foglietto. Entrambe queste strutture sono disposizioni naturali della proteina: in una struttura a  $\beta$  foglietto due catene sono affiancate e si possono sviluppare in direzioni opposte oppure nello stesso senso. Questa struttura si osserva in catene in cui la maggioranza dei gruppi R è piccola, perché trovandosi una volta sopra e una volta sotto il piano se questi sono ingombranti la forza di repulsione sterica tra di essi sarebbe più forte di quella relativamente debole dei legami a ponte idrogeno che li tiene assieme. Nella struttura ad  $\alpha$  elica tutti i gruppi  $\text{COO}^-$  sono legati a NH attraverso legami a idrogeno e i gruppi R sono rivolti verso l'esterno. Così facendo

essi non interferiscono con i numerosi legami ad idrogeno e la struttura a spirale appare destreggiata e molto rigida.

Il legame disolfuro è invece il solo altro legame covalente presente in una proteina e che permette di collegare due unità di cisteina presenti su catene differenti o sulla stessa catena. In questo secondo caso la catena assume quindi una forma ad anello o si crea un'ansa. Il numero di legami disolfuro è uno dei fattori responsabili della *struttura terziaria delle proteine*. Questa infatti è determinata dal tipo di amminoacidi che compongono la catena, in particolare dalla loro capacità di formare legami a ponte idrogeno o disolfuro e dalla polarità, o rispettivamente apolarità dei gruppi R. Se ne contraddistinguono due classi principali: le proteine fibrose e le proteine globulari:

1. Le proteine fibrose sono quelle in cui la maggior parte dei gruppi R è apolare e vi è una gran presenza di legami disolfuro. Risultano quindi insolubili in acqua e con una struttura molto robusta e rigida. Sono distinguibili a loro volta in tre categorie: cheratine e collagene, che costituiscono rispettivamente i tessuti protettivi e connettivi e hanno una struttura secondaria ad  $\alpha$  elica; e le setole che hanno invece una struttura secondaria a  $\beta$  foglietto.
2. Le proteine globulari invece sono solubili in acqua grazie alla maggioranza di gruppi R polari o ionici. Queste assumono una forma sferica dal momento in cui i gruppi idrofobi apolari si dispongono all'interno lontano dall'acqua mentre i gruppi ionici o polari verso l'esterno, a contatto con l'acqua.

Le proteine coinvolte nella formazione di schiume sono disciolte in acqua, si tratta quindi principalmente di proteine globulari. In alcuni peptidi si evidenzia anche una struttura quaternaria, questo perché sono costituiti da più subunità di proteine identiche come nel caso dell'emoglobina. Questo aspetto però non riguarda particolarmente il soggetto di questo lavoro di maturità e verrà tralasciato.

### 4.3 Denaturazione delle proteine

Denaturare una proteina significa romperne i legami intermolecolari tramite la somministrazione di energia oppure attraverso l'aggiunta di sostanze in grado di denaturare una proteina. Così facendo si assiste ad una modifica delle strutture secondaria, terziaria e quaternaria del peptide, sebbene la struttura primaria, ossia la sequenza degli amminoacidi, determinata dal legame peptidico che non si rompe, non cambia. Con la denaturazione, le catene laterali di alcuni amminoacidi, altrimenti orientate in modo da instaurare legami intermolecolari all'interno della struttura secondaria e terziaria della proteina, si

espongono all'esterno facendo sì che possano ionizzare e instaurare nuovi legami intermolecolari con altri amminoacidi ionizzati di proteine denaturate. Questo fenomeno può provocare l'aggregazione di molecole proteiche. Inoltre si riduce la tensione superficiale dell'interfaccia liquido-aria ed è possibile incorporare un maggior numero di bolle d'aria al liquido. È importante sottolineare che, una volta denaturate, *non è più possibile che le proteine si riorganizzino nella struttura iniziale*. Si possono però formare nuove interazioni che causano fenomeni come precipitazione, solidificazione o formazione di gel. I metodi di denaturazione sono essenzialmente tre:

1. Denaturazione chimica: attraverso l'aggiunta di sali o acidi
2. Denaturazione meccanica: tramite l'agitazione meccanica, come nel caso di questo esperimento in cui, incorporando all'albume dell'aria, le proteine globulari denaturano e si srotolano disponendosi attorno alle bolle d'aria, intrappolandole.
3. Denaturazione termica: mediante calore o raffreddamento. Un altro esempio collegato alle schiume è quello dell'ovotransferrina, una proteina presente nell'albume d'uovo che denatura attorno ai 62°C, principio che viene utilizzato per la preparazione delle meringhe svizzere.

#### 4.4 Ruolo delle proteine nella formazione di schiume

Le proteine sono particolarmente importanti nei fenomeni di schiume ed emulsioni in quanto ne facilitano la formazione: separano la fase dispersa dalla fase continua agendo come tensioattivi<sup>1</sup>. Di fatto le proteine stabilizzano schiume ed emulsioni costituendo un film di molecole elastico che si oppone alla rottura delle bolle d'aria o alla coalescenza (6.1) dei globuli di grasso rispettivamente nelle schiume e nelle emulsioni. Per questo motivo le più efficaci sono le proteine non globulari, ossia quelle fibrose o prive di una struttura secondaria e terziaria, perché non necessitano di venir denaturate in precedenza. [12]. A garantire i fenomeni di schiume ed emulsioni vi sono tre proprietà fondamentali delle proteine:

1. L'idratazione, ossia al capacità delle proteine di stabilire legami con l'acqua (interazione proteina-acqua).
2. Interazione proteina-proteina, che permette di formare i film molecolari che intrappolano l'aria.

---

<sup>1</sup>sostanza in grado di diminuire la tensione interfacciale tra un liquido e un gas, ma anche tra due liquidi o tra un liquido e un solido, favorendo la formazione di schiume ed emulsioni

3. Proprietà di superficie, ossia la presenza di resti idrofili o idrofobi.

## 4.5 Schiumabilità e capacità schiumogena delle proteine

Per ottenere una schiuma i processi fondamentali sono due: innanzitutto si deve formare la schiuma e poi essa deve poi mantenersi stabile quando viene sottoposta a una serie di processi meccanici e termici, come ad esempio miscelazione, taglio e riscaldamento. Ogni proteina può essere più idonea o meno all'ottenimento di una schiuma, questa caratteristica è misurabile attraverso la *schiumabilità* e la *capacità schiumogena* [31].

Per *schiumabilità* di una proteina ci si riferisce a quanto facilmente è possibile generare una schiuma con essa, e si misura attraverso la rapidità con cui il processo avviene. È legata alla conformazione molecolare della proteina e alla sua denaturazione. Per *capacità schiumogena* si intende invece quanto è stabile la schiuma ottenuta e si calcola tramite il tasso di perdita della struttura della schiuma con il passare del tempo. Quest'ultima dipende invece dalla forza e flessibilità dei nuovi legami intermolecolari che la proteina è in grado di instaurare dopo la denaturazione, affinché costituiscano una barriera abbastanza forte contro la coalescenza. Le proteine con una buona schiumabilità non hanno necessariamente una buona capacità schiumogena e viceversa. Infatti se per una buona schiumabilità è importante che ci siano delle forti interazioni competitive tra le molecole, per la capacità schiumogena sono necessarie delle interazioni cooperative tra le molecole. Un buon esempio a questo proposito è dato dalla beta caseina presente nel latte vaccino, che offre una buona schiumabilità, ma dà una schiuma instabile. È una molecola flessibile, idrofoba e relativamente piccola (24 kDa). Di conseguenza, le molecole di  $\beta$ -caseina diffondono rapidamente all'interfaccia aria-acqua, abbassando la tensione della superficie. Ciononostante i legami che si instaurano tra le molecole di beta caseina non sono abbastanza forti e il film molecolare che dovrebbe separare le bolle d'aria non ha sufficiente resistenza meccanica, perciò si spacca e non è possibile mantenere la schiuma per un lungo periodo.

## 4.6 Proteine adatte alla formazione di schiume

Ricapitolando, non tutte le proteine sono in grado di portare alla formazione di schiume stabili. Le caratteristiche essenziali che esse devono possedere a tale scopo sono una buona schiumabilità, legata alla capacità di denaturare e alla conformazione della proteina, e una buona capacità schiumogena, legata invece

alla struttura della catena peptidica e dei siti di legame degli amminoacidi che la compongono. Devono inoltre essere dotate di flessibilità nei loro legami, in quanto permettono di incorporare quanta più aria possibile senza che si spezzino, mettendo in contatto fase dispersa con fase continua.

# Capitolo 5

## I saccaridi

Anche noti come carboidrati, si tratta di catene di atomi di carbonio alle quali sono principalmente legati atomi di idrogeno e ossigeno [17], [46]. Vengono chiamati *idrati del carbonio* siccome la formula generale della maggior parte dei carboidrati è  $C_y(H_2O)_x$ , fatta eccezione per alcune molecole contenenti altri atomi come azoto e zolfo. Si dividono in *monosaccaridi*, *oligosaccaridi* e *polisaccaridi*. I *monosaccaridi* sono composti da una singola unità di monomeri ed è possibile aggiungerne altri ad essi attraverso reazioni di *condensazione*, ottenendo degli oligosaccaridi. Inversamente, è possibile riottenere i più semplici attraverso l'idrolisi. Gli oligosaccaridi sono infatti costituiti da poche unità (3-10) di monosaccaride e i polisaccaridi invece da molti monomeri di quest'ultimo. I monomeri sono legati assieme attraverso un *legame glicosidico*<sup>1</sup>, che unisce il carbonio anomero<sup>2</sup> di un'unità all'ossidrile dell'altra. Le reazioni chimiche che coinvolgono i carboidrati riguardano in particolare quelle tra due gruppi funzionali: quello ossidrilico e quello carbonilico.

### 5.0.1 Proiezioni di Fischer

Per quanto riguarda la rappresentazione delle strutture dei carboidrati, il chimico tedesco Emil Fischer (1852-1919) ha ideato delle proiezioni note come proiezioni di Fischer, volte a rappresentare molecole tridimensionali in due dimensioni. Fischer pone gli atomi di carbonio tetrasostituiti all'incrocio di due linee, evidenziando così gli stereocentri della catena. La catena carboniosa più lunga è rappresentata dalla linea verticale orientata verso l'interno del piano,

---

<sup>1</sup> *Glicoside* : Molecola in cui il gruppo OH legato a un carbonio anomero viene sostituito da un gruppo OR. Il legame tra il gruppo OR e il carbonio anomero viene chiamato *legame glicosidico*.

<sup>2</sup> *Carbonio anomero*: emiacetalico dei monosaccaridi; un *emiacetale* è un composto nel quale allo stesso atomo di carbonio sono legati sia un alcol che un etere. Solitamente gli alcoli legano facilmente al carbonile di aldeidi e chetoni per formare emiacetali



doppio legame e che costituisce il gruppo carbonile. Ogni carbonio, eccetto l'ultimo della catena, è inoltre asimmetrico dal momento in cui lega a 4 gruppi diversi, i monosaccaridi risultano quindi otticamente attivi. Il suffisso “-oso” dei monosaccaridi indica proprio la presenza di questo carbonile. Questo gruppo funzionale è molto caratteristico per i monosaccaridi. In primo luogo ne determina le proprietà riducenti. Con la riduzione del carbonile di aldosi e chetosi a ossidrile, ossia attraverso l'idrogenazione, è possibile ottenere *alditoli* a partire dai monosaccaridi [14]. I monosaccaridi idrogenati costituiscono un'importante classe di dolcificanti tra cui lo *xilitolo*, *sorbitolo*, *mannitolo*, *lattitolo* e *maltitolo*. Qui di seguito sono elencati i prodotti che si ottengono dalla riduzione dei monosaccaridi:

1. Glucosio  $\rightarrow$  sorbitolo
2. Mannosio  $\rightarrow$  mannitolo
3. Fruttosio  $\rightarrow$  sorbitolo e mannitolo
4. Galattosio  $\rightarrow$  galattitolo
5. Ribosio  $\rightarrow$  ribitolo

Secondariamente permette di classificare i monosaccaridi in base al gruppo carbonile che possiedono, ossia se si tratta di un aldeide o di un chetone. Nel primo caso si parla di monosaccaridi *aldosi*, nel secondo invece di *chetosi*. Per distinguere questi ultimi si usa il suffisso “-ulosio” anziché “-osio”. Negli aldosi il carbonile si situa sul primo carbonio della catena, nei chetosi invece il carbonile è invece legato al carbonio numero 2. La loro catena viene infatti numerata affinché l'atomo di carbonio legato al carbonile abbia il numero più basso. L'aldoso più semplice è la *gliceraldeide*, con una catena formata da tre atomi di carbonio. I suoi isomeri possibili sono quindi unicamente la coppia di enantiomeri R-S. Per quanto riguarda i chetosi invece il più semplice è chiamato *diidrossiacetone*.

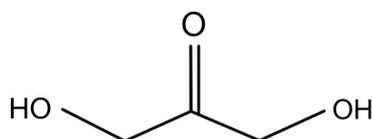


Figura 5.3: Il diidrossiacetone è il monosaccaride chetoso più semplice.

Aggiungendo alla gliceraldeide e al diidrossiacetone atomi di carbonio, ciascuno dei quali legati a un ossidrile, si ottengono gli aldosi e i chetosi superiori.

Essi vengono proprio distinti in base al numero di atomi di carbonio che costituiscono lo scheletro della molecola. Per la loro nomenclatura ci si avvale quindi del numero di atomi di carbonio da cui sono formati ai quali viene aggiunto il suffisso *-oso*: trioso, tetroso, pentoso, ecc. In natura i monosaccaridi sono reperibili principalmente sotto forma di emiacetali ciclici.

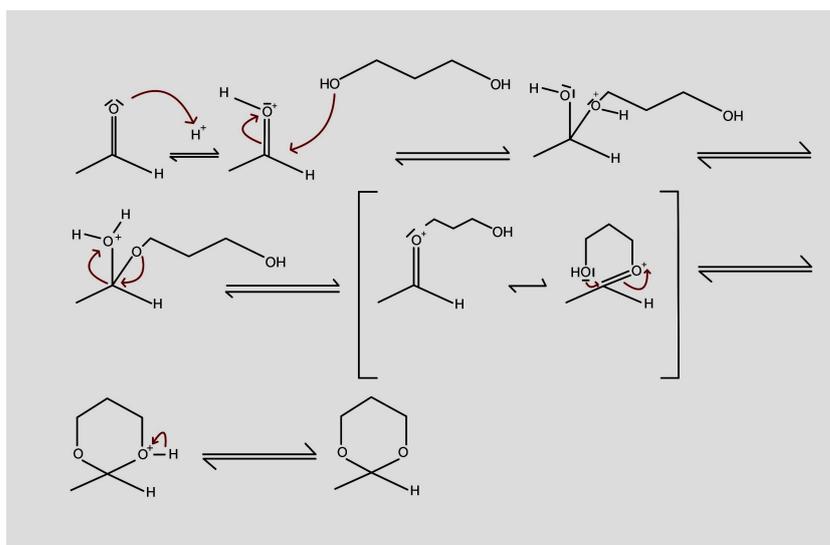


Figura 5.4: Meccanismo di formazione dell'emiacetale ciclico. All'ossigeno del carbonile viene addizionato uno ione  $\text{H}^+$ , si forma quindi un carbocatione. Al carbonio caricato positivamente si lega poi il nucleofilo, costituito da una molecola contenente due gruppi alcol. Di seguito avviene l'eliminazione di  $\text{H}^+$  e acqua, con conseguente formazione di un doppio legame tra l'ex carbonio carbonilico e l'O che costituiva l'alcol. Il secondo gruppo alcol si lega successivamente anch'esso al carbonio carbonilico, ne consegue l'eliminazione dello ione  $\text{H}^+$  legato all'alcol e si ottiene l'emiacetale ciclico.

Questo perché lo scheletro dei monosaccaridi è molto flessibile in soluzione acquosa e permette ai gruppi ossidrilico e carbonilico di trovarsi sufficientemente vicini per poter legare fra loro. La struttura eterociclica che si ottiene, in cui un atomo di ossigeno è incluso nell'anello, è più stabile rispetto alla struttura aciclica. Inoltre così facendo il carbonio legato al carbonile diventa anch'esso tetrasostituito e di conseguenza un ulteriore centro chirale. Gli emiacetali ciclici sono a loro volta suddivisi in furanosi e piranosi, a dipendenza del numero di atomi di carbonio che compongono l'anello. Nel primo caso si tratta di cicli formati da cinque atomi, nel secondo da sei.

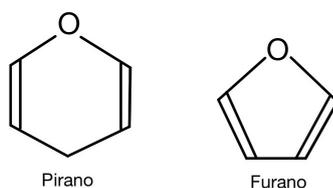


Figura 5.5: Pirano, emiacetale ciclico a sei atomi di carbonio, e furano, emiacetale ciclico a cinque atomi di carbonio.

### 5.1.1 Proiezioni di Haworth

Oltre a Fischer anche il chimico inglese Walter Norman Haworth (1883-1950) propose una diversa rappresentazione dei carboidrati, per evidenziarne la forma ciclica. Nelle sue proiezioni l'anello viene rappresentato come se fosse piano e con l'ossigeno situato sempre in alto a sinistra. I carbonii vengono numerati in senso orario a partire dall'atomo che viene subito dopo. Per passare da una rappresentazione all'altra è sufficiente tenere presente che gli ossidrili che nelle proiezioni di Fischer si trovano a destra vanno posti sotto al piano dell'anello, mentre quelli a sinistra sopra. Il gruppo terminale  $\text{CH}_2\text{OH}$  va invece posto sopra, per i saccaridi classificati nella serie D, e sotto per quelli appartenenti alla serie L.

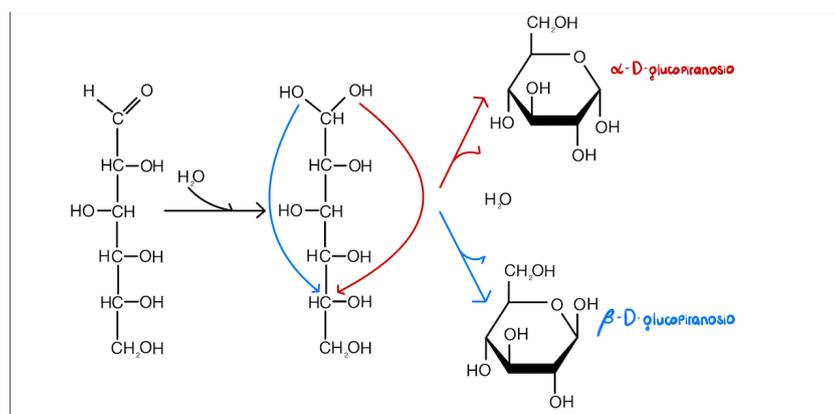


Figura 5.6: Come ottenere la proiezione di Haworth da quella di Fischer: gli ossidrili che nelle proiezioni di Fischer si trovano a destra vanno posti sotto al piano dell'anello, quelli a sinistra sopra. Il gruppo terminale  $\text{CH}_2\text{OH}$  va messo sopra, per i saccaridi appartenenti alla serie D, e sotto per quelli della serie L.

Le proiezioni di Haworth permettono di ricavare alcune importanti differenze sulla struttura ciclica dei carboidrati rispetto a quella aciclica. Innanzitutto uno dei carbonii della catena non entra a far parte del ciclo, bensì diventa un sostit-

tuate. Inoltre, come anticipato in precedenza, pure il carbonio emiacetalico 1 diventa tetrasostituito costituendo un ulteriore centro stereogeno. La configurazione di questo nuovo centro, che può assumere la forma R o S, permette la formazione di due isomeri ottici chiamati  $\alpha$  e  $\beta$ . Nell'isomero  $\alpha$  il gruppo OH è rivolto verso il basso, nell'isomero  $\beta$  verso l'alto. Se questi isomeri differiscono soltanto per la configurazione del carbonio anomero, vengono chiamati anomeri<sup>3</sup>, una classe di diastereomeri. Essi differiscono tra loro nel senso di rotazione del piano di luce polarizzata. In soluzione acquosa i due anomeri  $\alpha$  e  $\beta$  sono soggetti a *mutarotazione*. Si tratta di un fenomeno di variazione della rotazione ottica per cui le due forme si interconvertono: l'anomero  $\alpha$  assume la conformazione dell'anomero  $\beta$  e viceversa. Questo è reso possibile dal fatto che la reazione di formazione dell'emiacetale è una reazione di equilibrio, ed è quindi reversibile. Di conseguenza è possibile che l'anello di una determinata configurazione  $\alpha$  o  $\beta$  si apra e si richiuda nell'altra forma ciclica. In soluzione acquosa si osserva perciò una miscela delle due conformazioni del monosaccaride. Questo assume un ruolo importante nella stabilizzazione delle schiume perché la presenza di due anomeri diversi permette ad essi di legare in maniera più coesa tra di loro e con il reticolo proteico.

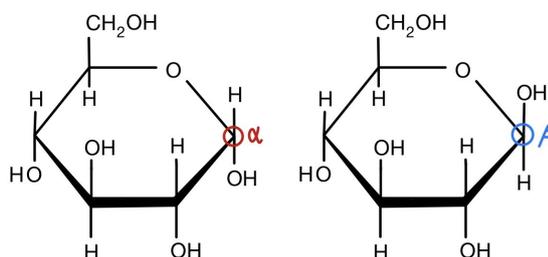


Figura 5.7: Carbonio anomero  $\alpha$ , in cui il gruppo OH è rivolto verso il basso, e  $\beta$  dove è rivolto verso l'alto

## 5.2 I disaccardi

Sono costituiti da due monosaccaridi uniti tra loro attraverso un legame glicosidico.

Oltre ai differenti monosaccaridi da cui sono costituiti, i disaccaridi vengono classificati in base ai gruppi OH che partecipano alla formazione del legame. Questo può infatti verificarsi tra il gruppo emiacetalico di un monosaccaride e l'alcol dell'altro, oppure tra i due gruppi emiacetalici. Nel primo caso si parla di

<sup>3</sup>sono inoltre *epimeri* ossia dei diastereomeri che differiscono tra loro per la configurazione di un solo centro stereogeno

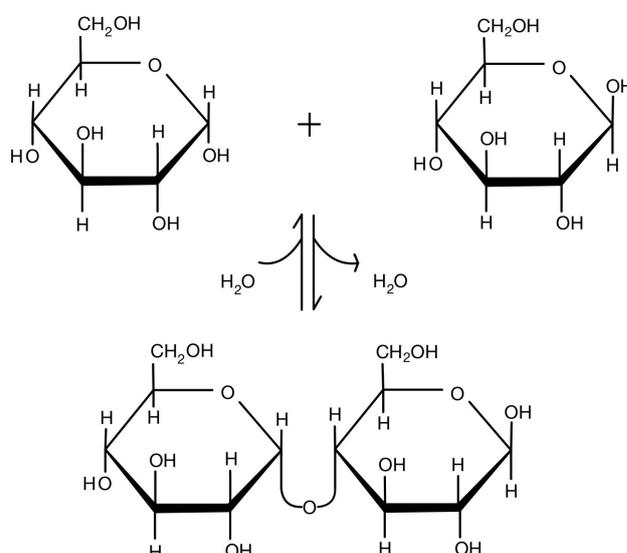


Figura 5.8: Reazione di formazione del legame glicosidico: i gruppi OH dei carboni anomeric si legano fra di loro liberando una molecola di acqua. La reazione è reversibile.

legame monoglicosidico, il secondo invece è un legame diglicosidico. Tra i disaccaridi appartenenti alla prima categoria spiccano il maltosio, il cellobiosio e il lattosio. Il saccarosio è invece costituito da un monomero di glucosio e uno di fruttosio uniti da un legame diglicosidico. Il tipo di legame glicosidico determina le proprietà riducenti e mutarotatorie (5.1.1) del disaccaride. Infatti, grazie al gruppo emiacetalico libero presente nel secondo monosio (quello che possiede l'alcol coinvolto nel legame glicosidico), tutti i disaccaridi con legame monoglicosidico sono riducenti e monorotatori. Al contrario, non possedendo un emiacetale libero, il saccarosio non ha proprietà riducenti e non è soggetto a mutarotazione. In ogni caso, il legame glicosidico è il risultato della reazione tra il carbonio anomero di un emiacetale con un ossidrile, dalla quale si ottiene un acetale.<sup>4</sup>

La reazione in questione, proposta da Emil Fischer nel 1893, è la seguente:  

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_6\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$$

Quest'ultima avviene attraverso il seguente meccanismo: un acido forte, che solitamente funge da catalizzatore, fornisce un protone all'ossidrile del carbonio anomero. Da esso si stacca in seguito una molecola d'acqua, si forma quindi un carbocatione che può venir stabilizzato per risonanza. Al carbocatione lega poi un doppietto di elettroni liberi dell'ossigeno appartenente all'ossidrile dell'altra molecola. Il carbocatione subisce poi una deprotonazione, che termina quindi la

<sup>4</sup>acetale = atomo di carbonio legato a due eteri

formazione del legame glicosidico. Questo legame garantisce un'elevata stabilità alla molecola dal momento in cui al carbonio acetale viene impedita la mutarotazione e il monomero non può più quindi cambiare configurazione. Il compito del nucleofilo, che attacca al carbocatione, può essere assunto anche da altri atomi che non siano l'ossigeno, questo caratterizza ancora maggiormente le differenti classi di legami glicosidici. Nei disaccaridi la maggior parte dei legami è di tipo O-glicosidico, ma esistono anche legami S-glicosidici (nucleofili allo zolfo) dai quali si ottengono i tioglicosidi, N-glicosidici (nucleofili all'azoto) e C-glicosidici (nucleofili al carbonio). Una terza caratteristica permette di distinguere i legami glicosidici, si tratta della configurazione del carbonio anomero. Esso può assumere infatti configurazione  $\alpha$ , se l'ossidrile si trova sotto al piano equatoriale, rispettivamente  $\beta$  se si trova sopra. I legami glicosidici formati grazie a questo ossidrile assumono il nome di legame  $\alpha$ - oppure  $\beta$ -glicosidico.

### 5.3 Ruolo dei saccaridi e della cottura nella formazione di schiume

#### 5.3.1 Stabilizzazione

Instaurando ulteriori legami con il reticolo proteico creatosi attorno alle bolle d'aria, i saccaridi rendono più spesso e stabile questo complesso contro la coalescenza (6.1) [10], [23], [31]

#### 5.3.2 Cristallizzazione

La cristallizzazione è un processo fisico in cui molecole o ioni di soluto di una miscela si aggregano tra di loro formando strutture solide molto organizzate dette cristalli [8],[31],[41]. Questo fenomeno è reso possibile grazie alla solubilità, proprietà che limita la quantità di soluto che si può disciogliere in un determinato solvente. In cucina, la cristallizzazione è in grado di determinare stabilità, consistenza e aspetto di un alimento e il caso di cristallizzazione più comune è quello del saccarosio disciolto in acqua. Il saccarosio granulato è composto da molecole di saccarosio legato fra loro attraverso legami intermolecolari. Quando viene aggiunto all'acqua, le molecole di quest'ultima si legano a quelle del saccarosio, rompendo le forze intermolecolari che le tenevano assieme e allontanando quindi le molecole di saccarosio, portandole in soluzione. Questo perché le forze intermolecolari tra acqua e saccarosio sono simili a quelle tra due molecole di saccarosio. Al contempo però, molecole di saccarosio che si incontrano muovendosi nella soluzione, possono rilegarsi tra di loro riformando un cristallo. Ciononostante la velocità di dissoluzione dello zucchero in acqua

è maggiore rispetto alla velocità di ricristallizzazione perciò, sino a quando la soluzione non è satura, la maggior parte dello zucchero si trova disciolta e legata alle molecole di acqua. Quando l'acqua evapora o la soluzione raffredda<sup>5</sup>, si ottiene una soluzione soprasatura. Ciò significa che la quantità di molecole d'acqua risulta insufficiente a mantenere separate tutte le molecole di zucchero, le quali legano fra loro formando cristalli solidi.

## 5.4 Gli anticristallizzanti e l'igroscopicità

L'igroscopicità è una proprietà caratteristica della sostanza definita come la capacità di assorbire l'umidità, ossia trattenere l'acqua presente nell'ambiente circostante[19],[31],[35]. Si definiscono igroscopiche le sostanze che legano alla loro struttura più del 5% in massa di acqua. Spesso il concetto di igroscopia viene confuso con il concetto di *idrofilia*. Quest'ultima riguarda però la capacità di assorbire acqua in forma liquida. Solitamente le sostanze igroscopiche sono anche idrofile, esistono però delle eccezioni idrofobe come la lana ad esempio, la quale non si bagna nonostante sia in grado di assorbire grandi quantità di umidità. Per quanto riguarda gli zuccheri, alcuni di essi sono fortemente igroscopici. *Glucosio* e *fruttosio* ne sono due esempi, i loro effetti verranno approfonditi nella discussione sulla parte sperimentale. I saccaridi igroscopici, come fruttosio e glucosio appunto, vengono chiamati *anticristallizzanti* non e non sono quindi ideali per essere impiegati nella preparazione delle meringhe. Trattenendo l'acqua legata all'interno della schiuma, impediscono ad essa di evaporare e alle meringhe di seccare. I saccaridi igroscopici non sono neppure adatti alla stabilizzazione delle schiume siccome legandosi con l'acqua destabilizzano il reticolo che si è venuto a creare attorno alle bolle d'aria.

---

<sup>5</sup>la temperatura influenza la solubilità, con il raffreddamento essa diminuisce

## Capitolo 6

# Le schiume

Per poter contestualizzare e comprendere gli esperimenti descritti in questo lavoro di maturità è necessario prima di tutto definire la meringa da un punto di vista chimico e fisico.

La meringa è infatti una schiuma, un fenomeno (colloide)<sup>1</sup> in cui le bolle d'aria, che rappresentano la fase dispersa, si trovano sospese in un liquido o in un solido, detto fase continua[31],[37],[42],[43].

Spesso il concetto di schiuma viene confuso con quello di emulsione. Entrambe sono dispersioni<sup>2</sup> e colloidali. A differenza delle schiume le emulsioni si definiscono però come piccole gocce di liquido (fase dispersa), solitamente di natura lipidica, sparse in un altro liquido (fase continua), generalmente di natura acquosa. Può anche avvenire il contrario come nel caso del burro ad esempio, in cui gocce di acqua sono intrappolate in una fase continua lipidica.

### 6.1 Formazione della schiuma - destrutturazione meccanica delle proteine

Tramite l'agitazione meccanica l'aria viene incorporata sotto forma di piccole bolle all'interno di un liquido. [6],[23],[31] Se non viene stabilizzato ulteriormente, questo miscuglio è altamente instabile in quanto le bolle tendono a ricongiungersi rapidamente, fondendosi assieme quando entrano in contatto per formare una bolla più grande. Questo fenomeno fisico è noto come coalescenza. Esso accade spontaneamente in quanto favorisce una diminuzione dell'energia legata alla tensione superficiale e un conseguente abbassamento dell'energia totale del

---

<sup>1</sup>Sistema in cui una sostanza solida, liquida o gassosa si trova dispersa in un'altra (fase dispersa), anch'essa allo stato solido, liquido o gassoso (fase disperdente o continua)

<sup>2</sup>Sistema eterogeneo, formato da due (o più) fasi solide, liquide o gassose, nel quale una delle fasi (fase disperdente) è continua e disperde l'altra, o le altre (fasi disperse), Enciclopedia Treccani

sistema. Per tensione superficiale si intende la tensione meccanica che si genera sulla superficie esterna delle particelle quando esse entrano in contatto. Essa è dovuta alla densità energetica dei legami intermolecolari che si formano tra le particelle. Quando due bolle si fondono in una sola, la superficie di contatto totale che separa le due specie chimiche diminuisce. Il volume della bolla risultante corrisponde infatti alla somma dei volumi delle due bolle precedenti, mentre l'area della nuova superficie è minore rispetto a quella delle bolle separate. La tensione superficiale diminuisce alla diminuzione della superficie di contatto, questo accade quindi quando due bolle si fondono assieme.

La stabilità della schiuma è quindi determinata dalle molecole coinvolte e dai legami intermolecolari che esse instaurano tra di loro.

Per evitare che le bolle coalizzino è quindi necessario stabilizzare la schiuma. È possibile stabilizzare le bolle contro la coalescenza creando delle pellicole di molecole che, aderendo alla superficie delle bolle, creano una barriera tra le bolle vicine. Le molecole in grado di formare queste pellicole sono dette superficialmente attive o anfifiliche. Gli anfifilici che troviamo negli alimenti sono perlopiù proteine, oppure dei derivati da oli e grassi. Una molecola, per essere anfifilica deve caratteristicamente possedere sia regioni molecolari idrofile e altre idrofobe affinché possa orientarsi.

Nelle schiume le proteine fungono da molecole anfifiliche: con l'agitazione meccanica esse denaturano parzialmente e, respingendosi a vicenda a causa della loro carica negativa, si dispongono simultaneamente attorno alle bolle d'aria incorporate nella soluzione: i gruppi idrofobici a contatto con l'aria mentre quelli idrofili verso l'acqua. Legandosi fra di loro le proteine formano un reticolo che permette di mantenere acqua e aria separate e stabilizzare la schiuma.

La presenza di grassi permette a questi ultimi di interferire nella formazione dei legami intermolecolari che stabilizzano le bolle, ossia il posizionamento delle proteine, facendo collassare le schiume. Da qui l'importanza di usare un recipiente ben pulito, non unto, per ottenere una schiuma stabile.

Per quanto riguarda la meringa l'azione tensioattiva delle proteine non è però un fenomeno che garantisce una barriera alla coalescenza a lungo termine. Bisogna perciò stabilizzare la schiuma con l'aggiunta di uno zucchero e la cottura.

## 6.2 Collasso della schiuma

I meccanismi responsabili del collasso di una schiuma sono fondamentalmente tre:

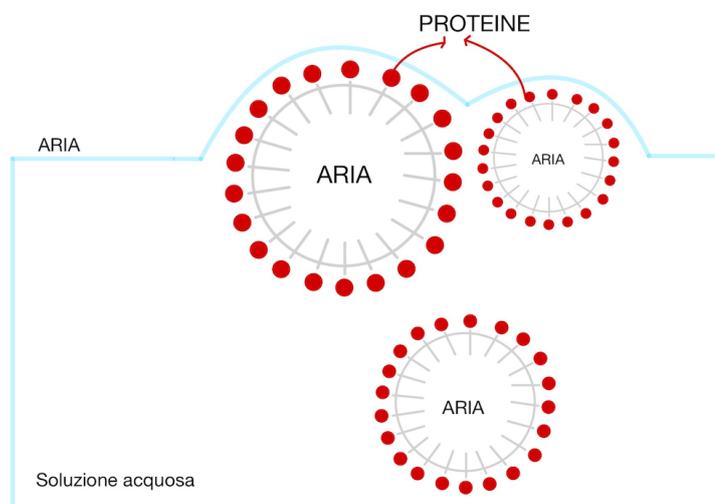


Figura 6.1: Azione tensioattiva delle proteine nella schiuma: legandosi fra loro formano un reticolo che mantiene l'acqua separata dall'aria. La porzione idrofila di queste ultime, rappresentata in rosso, si posiziona a contatto con l'acqua, quella idrofoba invece a contatto con l'aria.

1. Rottura dei legami intermolecolari tra le proteine che separano le bolle d'aria dovuta dalla coalescenza
2. Variazione della dimensione delle bolle in funzione del tempo: Data la tensione superficiale e la coalescenza, le bolle si uniscono diventando sempre più grandi, rendendo così la schiuma più instabile. Questo perché l'elasticità delle bolle diminuisce a causa di un'eccessiva insolubilizzazione delle proteine che compongono il reticolo che separa l'aria dall'acqua.
3. Drenaggio: l'acqua intorno alle bolle tende ad unificarsi inglobando le proteine in essa disciolte rimuovendole dallo strato che separa l'aria dall'acqua. Questo strato diventa troppo sottile e la forza dei legami intermolecolari troppo debole rispetto all'attrazione dell'acqua, di conseguenza esso si spacca.

### 6.3 Cottura e cristallizzazione

Con la cottura in forno l'acqua evapora e aumentano di conseguenza le concentrazioni di proteine e zucchero nella schiuma, a dispetto di quella della fase liquida. A causa del calore, il volume occupato dalle bolle d'aria aumenta e le proteine denaturano completamente formando nuovi legami per creare un reticolo ancora più fitto affinché non venga distrutto dalla tensione dell'aria. La

#### 6.4. FATTORI CHE INFLUENZANO LA FORMAZIONE DELLA SCHIUMA<sup>29</sup>

disidratazione permette quindi la transizione dallo stato liquido a uno vetroso che intrappola e stabilizza ulteriormente le bolle incorporate. La temperatura di cottura minima delle meringhe corrisponde a quella di denaturazione dell'ovo-transferrina, ossia 61.5 °C. Per ottenere delle meringhe stabili è però necessario che anche l'ovoalbumina denaturi completamente, la temperatura di cottura ideale si aggira quindi attorno agli 85 °C. È importante che la temperatura di cottura non sia troppo elevata affinché lo zucchero presente non caramellizzi, privando le meringhe del loro aspetto bianco lucente e modificandone il sapore.

### 6.4 Fattori che influenzano la formazione della schiuma

Temperatura iniziale degli albumi	Tempo di montatura minore se temperatura maggiore
Aggiunta acidi	Facilitano la montatura, permettono di ottenere meringhe lucide
Aggiunta NaCl	Facilita la prima fase della montatura ma destabilizza la struttura finale della schiuma
Aggiunta zucchero	Stabilizza la struttura della schiuma, blocca l'incorporazione di ulteriore aria, diminuisce quindi il volume
Aggiunta acqua	Diminuisce la densità della schiuma, permette di ottenere un volume maggiore di schiuma ma destabilizza la sua struttura
Invecchiamento uova	Albume monta meno facilmente, la struttura della schiuma è meno stabile
Aggiunta grassi	Destabilizzano la struttura della schiuma, competono con le proteine nell'incorporazione dell'aria
Montatura in contenitore di rame	Stabilizza la schiuma

Figura 6.2: Tabella riassuntiva dei fattori influenzanti la montatura dell'albume. [21],[25],[37]

#### 6.4.1 Temperatura iniziale

Se la temperatura iniziale degli albumi è elevata, significa che una parte delle proteine presenti potrebbe già trovarsi in forma parzialmente denaturata. Ciò influenza il tempo montatura che sarà quindi minore ma non il volume, né la stabilità della schiuma.

### 6.4.2 Aggiunta di acidi

Gli ioni acidi di carica positiva permettono alle proteine, i cui amminoacidi hanno carica negativa, di avvicinarsi, urtarsi e denaturarsi più facilmente. Facilitano quindi la montatura, ossia la prima fase del processo. Inoltre l'aggiunta di un acido, ossia di ioni idronio, permette di protonare ulteriormente i gruppi basici presenti nelle catene laterali degli amminoacidi che costituiscono le proteine. Solitamente la preparazione base delle meringhe infatti avviene in fatti a pH neutro, valore in cui i gruppi basici delle catene laterali sono già prevalentemente protonati. Questi gruppi basici rappresentano i siti di legame delle proteine, se essi vengono protonati viene loro privata la facoltà di legare ad altre proteine. L'aggiunta di ioni idronio rallenta quindi la coagulazione delle proteine denaturate evitando il collasso delle bolle d'aria. Sono quindi positivi per l'aumento del volume e la stabilità della schiuma.

L'aggiunta di acidi non favorisce soltanto la montatura bensì anche il colore: gli ioni acidi con carica positiva sono in grado di legare a ioni metallici che potrebbero colorare, se liberi, la soluzione[11]. Nel nostro caso permettono quindi di ottenere meringhe molto bianche e lucide.

### 6.4.3 Aggiunta di NaCl

Nella fase iniziale di montatura l'aggiunta di NaCl, che viene disciolto nell'albume, è d'aiuto siccome lo ione  $\text{Na}^+$  è in grado di legarsi alle proteine cariche negativamente facendo sì che esse entrino in contatto e si denaturino con l'urto. Una volta formatasi la schiuma però  $\text{Na}^+$  ha la capacità di interferire con i complessi proteici formati dal lisozima, una proteina dell'albume approfondita nel *sottocapitolo 7.1.5* che grazie alla formazione di questi complessi con altre proteine è in grado di stabilizzare la schiuma.  $\text{Na}^+$  destabilizza quindi la struttura della schiuma.

Inoltre si tratta di una sostanza igroscopica e causa quindi perdite d'acqua che destrutturano ulteriormente la schiuma.

### 6.4.4 Aggiunta di zucchero

L'aggiunta di zucchero permette innanzitutto di stabilizzare la schiuma in quanto stabilisce ulteriori legami intermolecolari con il film di proteine che separa le bolle, rendendolo più spesso, rigido e stabile. Secondariamente la sua aggiunta causa un aumento del volume della fase liquida che non permette di incorporare ulteriore aria alla soluzione e la distanza media tra le bolle aumenta. Di conseguenza, quanto prima lo zucchero viene aggiunto, tanto più il volume finale della schiuma sarà minore e la densità maggiore.

#### 6.4. FATTORI CHE INFLUENZANO LA FORMAZIONE DELLA SCHIUMA<sup>31</sup>

Lo zucchero conferisce inoltre viscosità alla schiuma. Questo impedisce alle proteine di coagulare e ritarda l'eventuale fuoriuscita di liquido dalla schiuma (drenaggio), stabilizzando ulteriormente la schiuma. A tal proposito, per quanto riguarda la meringa, lo zucchero svolge un ruolo essenziale durante la cottura in quanto permette di ottenere un risultato più solido e friabile. Se non si aggiunge lo zucchero la schiuma cotta acquisisce una consistenza gommosa dovuta al drenaggio dell'acqua al suo interno.

##### 6.4.5 Aggiunta di acqua

Gli esperimenti descritti nel libro [6] hanno determinato che, quando la quantità di liquido presente nella soluzione è pari alla quantità necessaria per tener separate tutte le bolle una dall'altra, non è più possibile incorporare aria nella schiuma. Esiste quindi, per ciascun rapporto di concentrazioni tra liquido e proteine, una quantità minima di liquido necessaria affinché le bolle rimangano separate una dall'altra ed evitare il collasso. Questi esperimenti hanno inoltre dimostrato come sia necessario che la fase liquida contenga un minimo del 5% di proteine affinché la struttura della schiuma non collassi durante la cottura. Attraverso la diluizione inoltre, aggiungendo quindi fino al 40% in più di acqua mantenendo costante la quantità di proteine, è possibile ottenere un volume di schiuma maggiore. Da ciò è possibile affermare che il volume di una schiuma dipende direttamente dalla quantità di solvente presente nella soluzione.

Sebbene con la diluizione la densità della schiuma diminuisca considerevolmente e sia quindi possibile ottenerne una dalla consistenza più leggera, essa risulta al contempo più instabile (c'è più aria incorporata a pari quantità di proteine) e difficile da asciugare (c'è una maggiore quantità d'acqua che deve evaporare con la cottura).

In sintesi, per creare più schiuma è sufficiente aggiungere più liquido assicurandosi però che la quantità di proteine non scenda sotto al 5%. La giusta combinazione di proteine e zucchero permette infine di ottenere la meringa più stabile e al contempo con la miglior consistenza.

##### 6.4.6 Invecchiamento delle uova

Con il passare del tempo l'albumine diventa più alcalino siccome l'anidride carbonica disciolta nell'albumine fuoriesce dai pori del guscio. L'albumine diventa quindi più basico (pH da 7.6-8.5 a 9.7) e monta meno facilmente siccome le proteine con carica negativa si respingono tra loro e non denaturano per formare il reticolo che intrappola le bolle d'aria incorporate. In aggiunta, invecchiando l'ovoalbumina si trasforma in S-ovoalbumina. Essa differisce dalla prima in quanto gli amminoacidi serina dell'albumina vengono modificati in cisteina,

di conseguenza alcuni legami covalenti che prima coinvolgevano gli atomi di S, coinvolgono ora gli atomi di O attraverso legami ponte H, rendendo la molecola meno idrofobica. Ciò causa perdite d'acqua che destabilizzano la schiuma. Perciò è meglio utilizzare le uova fresche, per ottenere una schiuma con stabilità maggiore. Ciononostante surgelando gli albumi essi perdono minimamente la capacità di montare, in quanto le proteine dell'albume non denaturano con l'abbassamento della temperatura.

#### **6.4.7 Aggiunta di grassi**

I lipidi si inseriscono nell'interfaccia tra bolle e parte idrofobica delle proteine, interferendo e competendo con la stabilità del film proteico che racchiude le bolle d'aria. Il volume diminuisce quindi notevolmente se la schiuma entra in contatto con qualsiasi sostanza lipidica prima, durante o dopo la montatura.

#### **6.4.8 Montatura in contenitore di rame**

Montando l'albume in una ciotola di rame si ottiene una schiuma più stabile grazie alla capacità dell'ovotransferrina di legarsi agli ioni  $\text{Cu}^{2+}$  divenendo quindi più resistente alla denaturazione.

## Capitolo 7

# L'albumine d'uovo di gallina

L'albumine è una soluzione acquosa contenente un 11-13% di proteine. Questa soluzione si presenta in 4 differenti strati, due dei quali più densi a causa della maggiore concentrazione di ovomucina, una proteina, che ne determina la viscosità.[31],[31],[46].

### 7.1 Proteine presenti nell'albumine

PROTEINA	PERCENTUALE	T DENATURAZIONE IN C	PROPRIETÀ CULINARIE
Ovoalbumina	54	84.5	denatura e coagula per battitura, relativamente resistente al calore
S-Ovoalbumina	-	92.5	Meno resistente al calore ma più resistente alla battitura
Ovotransferrina	12	61.5	Prima proteina a coagulare, legata a ioni metallici diventa più stabile
Ovomucoide	11	79	Stabile al calore, denatura ma non coagula
Globuline G2 e G3	8	92.5	Montano facilmente
Lisozima	3.4	75	Stabilizza la schiuma formando complessi con le altre proteine
Ovomucina	3.5	-	Stabilizza la schiuma, stabile al calore

Figura 7.1: Tabella riassuntiva delle proteine presenti nell'albumine.

### 7.1.1 Ovoalbumina

Rappresenta il 54% delle proteine presenti nell'albume.[1] Si tratta di una glicofosfoproteina<sup>1</sup> in cui l'amminoacido serina è legato a due gruppi fosforici mentre l'asparagina ad un carboidrato formato da unità di N-acetilglucosammina legate a monomeri di mannosio. È una molecola globulare molto sensibile alla denaturazione tra interfacce aria-acqua e denatura quindi molto facilmente all'aumentare della temperatura. È composta da 385 amminoacidi e ha un punto isoelettrico di 4.5.

### 7.1.2 Ovotransferrina

Costituisce il 12% delle proteine totali ed è conosciuta anche come conalbumina. È una glicoproteina monomerica con 686 amminoacidi che si comporta in maniera simile all'ovoalbumina ma denatura già parzialmente a temperature più basse (53 °C), ha un punto isoelettrico di 6 ed è anche una metalloproteina<sup>2</sup>. Questa caratteristica le permette di legare con ioni  $\text{Cu}^{2+}$ , rendendola più resistente alla denaturazione rispetto all'ovoalbumina. È per questo motivo che se si utilizza una ciotola di rame per montare gli albumi la schiuma risulterà più stabile. È quindi possibile incorporare più aria senza che l'ovotransferrina denaturi per azione meccanica. Tuttavia l'ovotransferrina denatura più facilmente attraverso l'innalzamento della temperatura: a 61.5 °C è la prima proteina costituente l'albume a coagulare quando esso viene scaldato.

### 7.1.3 Ovomucoide

L'11% delle proteine totali è costituito da questa glicoproteina che è in grado di conferire viscosità all'albume, soprattutto quando questo è freddo. È molto stabile al calore, denatura infatti a 79 °C e non coagula. Ha un punto isoelettrico di 4.1.

### 7.1.4 Ovomucina

Costituita da due subunità  $\alpha$  e  $\beta$ , rappresenta il 3.5% delle proteine totali e rispetto alle altre che sono proteine globulari, l'ovomucina è una proteina a fibra. Queste fibre sono responsabili della viscosità dell'albume e precipitano sulle bolle d'aria formando un film insolubile che conferisce ulteriore stabilità alla schiuma. Il suo punto isoelettrico è 4.5.

---

<sup>1</sup>Proteina alla cui catena peptidica è legata una catena oligosaccaridica, e nella quale è presente dell'acido fosforico esterificato con gli amminoacidi serina e treonina

<sup>2</sup>proteina in grado di legare ad atomi metallici

### **7.1.5 Lisozima**

Costituisce il 3.4% delle proteine dell'albume ed è in grado di stabilizzare la schiuma formando dei complessi proteici con altre proteine a cui lega. Il cloruro di sodio interferisce con il lisozima impedendo ad esso di legare con altre proteine, è per questo motivo che non bisogna aggiungere sale da cucina: destabilizza la schiuma. È una proteina fortemente basica con un punto isoelettrico di 10.7.

### **7.1.6 Ovoglobulina**

Ve ne sono di due tipi, G2 e G3, che costituiscono l' 8% delle proteine totali. Nonostante denaturino come la S-ovoalbumina a temperature molto elevate (92.5 °C) sono molto utili per la formazione iniziale della schiuma in quanto permettono di diminuire la tensione della superficie garantendo una buona schiumabilità.

## Capitolo 8

# Altre fonti proteiche utilizzate

### 8.1 Aquafaba

L'acqua di cottura dei legumi, chiamata aquafaba, viene utilizzato come valido sostituto dell'albume d'uovo nelle ricette vegane.[]

#### 8.1.1 Storia della scoperta dell'aquafaba

In passato, come sostituti all'uovo nelle ricette, venivano spesso usate banane, purea di prugne o mele, zucca cotta, semi di lino o di chia [4],[18]. Questi ingredienti naturali non erano però adatti a sostituire l'albume montato a neve nella preparazione delle meringhe. A tale scopo furono creati in laboratorio agli inizi degli anni 2000 dei possibili ingredienti alternativi che, essendo però spesso ricchi di amidi processati, glutine e proteine della soia concentrate non erano adatte a soddisfare le esigenze alimentari di tutti. Nel 2014, sperimentando con le schiume vegetali atte sostituire l'albume d'uovo, il tenore francese Joël Roessel, scoprì che montando a neve l'acqua di cottura dei legumi era possibile ottenere una schiuma, sebbene non fosse stabile. Per poterla utilizzare nella preparazione delle meringhe egli aggiunse quindi ad essi amido e gomma come stabilizzanti. Così facendo le meringhe vegane assumevano ancora una volta una texture molto meno delicata rispetto a quella delle originali. Ciò nonostante egli pubblicò i risultati raccolti sul suo blog *revolutionvegetale.com*, fornendo un contributo fondamentale alla scoperta dell'aquafaba. Venuto a conoscenza degli esperimenti francesi infatti, un ingegnere elettronico statunitense di nome Goose Wohlt che stava effettuando delle ricerche con albumi vegetali costituiti da idro-colloidi, decise di investigare e risolvere il problema della stabilizzazione

della schiuma dell'acqua di cottura di legumi nella preparazione delle meringhe. Egli scoprì nel 2015, che utilizzando unicamente le normali tecniche di lavorazione dell'albume, è possibile creare delle meringhe perfettamente stabili utilizzando solamente l'acqua di cottura dei legumi, alla quale attribuì il nome di *aquafaba*. A tale scopo gli unici requisiti necessari sono dello zucchero e il liquido di fagioli opportunamente filtrato. Questa scoperta è stata determinante in particolare per la sua accessibilità, grazie alla pubblicazione sul web dei suoi risultati infatti, l'aquafaba è diventato un ingrediente di uso comune in quanto facilmente reperibile ed economico.

### 8.1.2 Composizione dell'aquafaba

L'aquafaba è composta principalmente da amidi e proteine, disciolti in acqua.[18],[38]. La quantità di lipidi e di carboidrati semplici presenti è minima, per questo motivo si è escluso che essi possano giocare un ruolo sulle proprietà e i comportamenti fisico-chimici dell'aquafaba. Inizialmente si pensava che fossero le saponine <sup>1</sup> ad essere le principali responsabili dell'azione schiumogena dell'aquafaba, ma si è scoperto in seguito che quest'ultima contiene meno del 0.03% di saponine e non possono quindi influenzare in maniera determinante la formazione della schiuma. Ciò nonostante il miglior potere schiumogeno ed emulsionante è detenuto dai ceci, legumi che contengono una quantità di saponine superiore rispetto agli altri legumi. L'esatta composizione dell'aquafaba differisce molto da qualità a qualità di legume, questo perché dipendente essenzialmente da tre fattori:

1. Dalle condizioni in cui è stata estratta, come il rapporto tra tempo di ammollo e di cottura dei legumi, il rapporto tra quantità di acqua e legumi, la temperatura, il pH, oppure tempo e pressione durante l'estrazione.
2. Dalla specie di legumi coltivata e dal suo genotipo, dei ceci ad esempio, si distinguono principalmente due qualità. I ceci *desi*, che contengono dal 16.1% al 26.7% in massa di proteine, e quelli *kabuli*, contenenti dal 19.9% fino a un buon 25.5% di proteine.
3. Composizione della parete cellulare del seme del legume, determina infatti che sostanze traspirano e in che quantità. Durante l'ammollo e la cottura, il 0.6-0.8% del materiale solido del legume viene trasferito all'acqua in cui si trova. Il contenuto proteico dell'aquafaba si aggira attorno al 23-26%, in

---

<sup>1</sup>Le saponine sono una classe di sostanze chimiche presenti nelle piante, compresi i fagioli come i ceci. Il nome deriva dalla pianta della saponaria, *Saponaria*, che contiene la radice latina del sapone. Come gli aminoacidi delle proteine, le molecole di saponina contengono una parte idrofoba e una idrofila che permette loro di interagire sia con l'aria che con l'acqua. Un composto ricco di saponine propende a fare schiuma quando viene agitato in acqua

quella. in lattina può raggiungere il 40%, mentre il contenuto di carbonio attorno al 40%.

### 8.1.3 Composizione delle proteine dei semi di ceci

Queste proteine vengono trasferite all'acqua durante le fasi di ammollo e cottura.[7]

1. Albumine: rappresentano l' 8-12% del totale e sono solubili in acqua. Proprio per quest'ultima proprietà contribuiscono alle proprietà schiumogene dei ceci e possono interagire facilmente con componenti dell'amido.
2. Globuline: costituiscono il 53-60% delle proteine totali e si tratta principalmente di legumina e vicilina. A causa della loro struttura globulare in cui non possono intrappolare aria, hanno una minore capacità schiumogena rispetto alle albumine. Al contrario, hanno invece buone capacità emulsionanti e gelificanti. La *legumina* è una proteina esamerica costituita da diverse subunità di acido glutamico, arginina e leucina legate tra loro attraverso ponti disolfuro. Le catene acide sono poste sulla superficie della molecola, mentre la parte idrofobica all'interno, affinché il contatto con l'acqua sia limitato. Le subunità di *vicilina* non sono invece legate tra loro attraverso legami disolfuro siccome contengono una quantità inferiore di amminoacidi zolfo.
3. Prolamine: Solubili in alcol, sono presenti in piccole quantità (3-7%) nell'aquafaba. Contengono molti amminoacidi prolina e glutamina, i quali sono ritenuti responsabili della scarsa capacità emulsionante e schiumogena delle farine di cereali rispetto a quelle di legumi, che sono ricche di albumine e globuline. Queste proteine non sono però ancora state ben ricercate e studiate.
4. Gluteline: Rappresentanti il 19-25% delle proteine dell'aquafaba, sono solubili in detergenti acidi o alcalini. Come le prolamine anche questa categoria di proteine non è ancora stata ben studiata.

### 8.1.4 Azione delle componenti dell'aquafaba

Da ciò è possibile dedurre che la funzione delle proteine presenti nell'aquafaba nella preparazione della meringa è simile a quella delle proteine presenti nell'albume: le proteine dell'aquafaba denaturano con le sollecitazioni meccaniche dovute alla sua rigorosa battitura, esponendo gli amminoacidi all'ambiente in rapida aerazione e permettendo a quelli idrofili di formare legami a idrogeno con l'acqua presente nell'aquafaba, intrappolando l'aria in un reticolo [3],[18].

Nonostante l'azione simile, l'albume ha una schiumabilità maggiore rispetto all'aquafaba, questo è essenzialmente dovuto alla differente composizione proteica. I carboidrati potrebbero servire invece come stabilizzatore aggiuntivo, aumentando la viscosità della parte acquosa della schiuma.

### 8.1.5 Proprietà schiumogene dell'aquafaba

Le capacità schiumogene e schiumabilità dell'aquafaba sono simili a quelle dell'albume, sebbene leggermente più deboli[18]. È ad esempio necessario montare per almeno 10 minuti, il doppio del tempo, l'aquafaba per ottenere un risultato comparabile a quello dell'albume. Queste proprietà dipendono inoltre moltissimo dalle condizioni in cui l'aquafaba viene estratta, come il tempo o la temperatura di ammollo e cottura dei legumi. Cuocere per troppo tempo i legumi potrebbe infatti portare ad una rottura della parete cellulare dei legumi portando ad un trasferimento di componenti lipidiche nell'acqua, che di conseguenza monterà meno. Studi dimostrano che condizioni quali un basso rapporto tra la massa di ceci e la quantità d'acqua (1:1.72), un ambiente acido (pH 3.5), e una cottura di 190 minuti permettono di aumentare le proprietà schiumogene dell'aquafaba. È importante sottolineare che il cambiamento di pH non ha direttamente effetto sulla capacità schiumogena dell'aquafaba bensì sulla stabilità della sua schiuma, la quale è migliore se il pH è simile al punto isoelettrico. Gli additivi come il sale riducono la viscosità e la stabilità della schiuma. Se l'aggiunta di sale avviene prima della cottura potrebbe inoltre limitare il rigonfiamento di amido e proteine. L'aquafaba di legumi ottenuta da campioni cotti con l'aggiunta di sale presenta infatti un'umidità più elevata e un contenuto di carbonio inferiore rispetto all'aquafaba di ceci inscatolati con sale.

## 8.2 Whey Protein- le proteine del siero del latte

### 8.2.1 Il latte

È anch'esso una soluzione acquosa contenente oltre alle proteine anche lattosio, minerali, vitamine e globuli di grasso. Questi ultimi si trovano emulsionati nella soluzione grazie all'azione tensioattiva delle molecole di caseina, che si dispongono attorno alle gocce di grasso formando delle micelle [29]. Le proprietà chimico-fisiche del latte possono dipendere da tutti i suoi costituenti, come nel caso della densità, della viscosità e della tensione superficiale, oppure solo dalle sostanze in soluzione. Queste ultime sono dette *proprietà colligative*. Le proteine presenti nel latte vaccino si dividono in due grandi famiglie: le *caseine* e le *proteine del siero*.

### 8.2.2 Caseine

Si differenziano in  $\alpha$  s1 e  $\alpha$  s2 (80%),  $\beta$  (31-45%),  $\kappa$  (24-34%) e  $\gamma$  (3-5%) caseina. In soluzione, come nel caso del latte, si dispongono attorno ai lipidi formando delle micelle, nelle quali inglobano i sali minerali. Il calcio presente nelle micelle ad esempio, costituisce un terzo del calcio totale presente nel latte. Le micelle hanno un diametro di circa 600 nm e sono formate da 20000 molecole di caseina. Le molecole di caseina si dispongono attorno ai lipidi formando degli aggregati detti submicelle che, legandosi fra loro, formano la micella. Ogni submicella è composta da 25-30 molecole di  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\kappa$ -caseina, le quali si dispongono in un determinato modo a causa delle caratteristiche polari delle loro catene polipeptidiche. Le estremità delle catene polipeptidiche di alfa e beta caseina sono inoltre

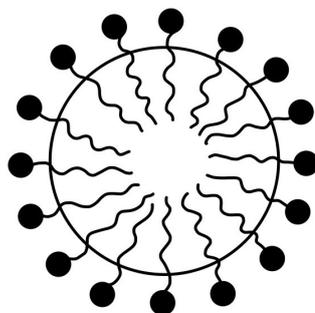


Figura 8.1: Le caseine si dispongono attorno ai lipidi formando delle submicelle.

ricche di fosferina<sup>2</sup>, la quale è in grado di legarsi a ioni calcio. Gli aggregati di fosfato di calcio che si formano permettono di unire tra le differenti submicelle formando la micella. L'estremità della  $\kappa$ -caseina non ha invece residui fosfato, bensì di treonina e non lega quindi agli ioni calcio. Nelle submicella essa si dispone quindi al centro della micella affinché la sua catena idrofila formi una calotta polare che non sia legata a nessun'altra submicella. La crescita delle dimensioni della micella è limitata proprio dalle porzioni di  $\kappa$ -caseina. Le micelle riflettono la luce conferendo al latte il suo colore bianco. Le caseine non possiedono una struttura secondaria e terziaria, hanno quindi struttura simile alle proteine denaturate. La formazione di legami più complessi che determinano la struttura secondaria sono impediti dalla quantità elevata di gruppi ingombranti, come la prolina. Nelle micelle di caseina sono quindi assenti i legami disolfuro. L'assenza di una struttura terziaria fa sì che i residui idrofobici siano esposti all'acqua rendendo le caseine insolubili e accentuando la loro forza d'attrazione reciproca. Le caseine differiscono quindi tra loro unicamente nella struttura

<sup>2</sup>estere formato dall'unione dell'amminoacido serina con una molecola di acido fosforico

primaria, in particolar modo nel tipo di catene laterali. Esse possono infatti contenere un numero diverso di gruppi fosforilici ed essere o meno idrofobiche. Trovandosi sotto forma di micelle, le caseine si possono isolare facilmente dal latte scremato tramite processi di centrifugazione e filtrazione oppure attraverso precipitazione. Quest'ultima avviene aggiungendo un acido, siccome le caseine hanno solitamente un punto isoelettrico basso dovuto a una quantità elevata di amminoacidi dicarbossilici.

### 8.2.3 Proteine del siero

Sono proteine più stabili rispetto alle caseine e si trovano disperse in soluzione. Non sedimentano se sottoposte a centrifugazione o precipitazione, coagulano invece con l'aumento della temperatura. Si tratta principalmente di  $\alpha$ -lattoalbumina (20%)  $\beta$ -lattoglobulina (3.3-5%), in questa categoria rientrano però anche sieroalbumina (5%), lattoferrina<sup>3</sup>, immunoglobuline, proteosopeptoni<sup>4</sup> ed enzimi. La composizione amminoacidica delle proteine del siero si differenzia molto da quella delle caseine dal momento in cui presenta meno acido glutammico e prolina e più amminoacidi solforati.

La  $\beta$ -lattoglobulina rappresenta circa la metà delle proteine del siero nel latte vaccino e svolge un importante ruolo nelle meringhe di latte siccome ha buone proprietà schiumogene.[32] L' $\alpha$ -lattoalbumina è indispensabile per la sintesi del lattosio nella ghiandola mammaria e rappresenta il 3,4% delle proteine del latte vaccino. Si tratta di una proteina globulare, simile al lisozima presente nell'albume d'uovo.

### 8.2.4 Proteine in polvere

Sono un integratore proteico costituito essenzialmente da proteine del siero del latte, in inglese *Whey Protein*. In commercio se ne distinguono 4 tipologie differenti:

1. Whey concentrate: si tratta di proteine del siero con il grado di purezza inferiore. La concentrazione proteica si aggira infatti attorno al 80%. Il restante 20% è costituito da sali minerali come sodio e calcio, nonché piccole quantità di lattosio e grassi.
2. Whey native: si differenziano da quelle concentrate per il processo attraverso le quali si ottengono. Sono infatti create tramite la filtrazione del latte a crudo, che determina quindi una concentrazione di leucina più alta rispetto alle proteine concentrate.

---

<sup>3</sup>Glicoproteina fosforilata la cui funzione è il trasporto del ferro

<sup>4</sup>emulsionanti

3. Whey isolate: sono quelle con il grado di purezza maggiore, che si aggira attorno al 90-95%. Il restante 5% è costituito anche in questo caso, sebbene in quantità molto minori, da lattosio, grassi e sali minerali
4. Whey idrolizzate: si tratta di proteine del siero che vengono sottoposte a processi di digestione, ritrovandosi frazionate in peptidi più piccoli.

Per gli esperimenti effettuati nella parte sperimentale di questo lavoro sono state utilizzate delle Whey isolate.

## Capitolo 9

# I dolcificanti utilizzati

### 9.1 Gli edulcoranti

Si definisce edulcorante la sostanza responsabile del sapore dolce degli alimenti, che può essere di origine naturale oppure sintetica, ed appartenere o meno alla classe molecolare degli zuccheri [14],[23][33]. Non è possibile stabilire una precisa caratteristica nella struttura chimica comune a tutti gli edulcoranti, che sia quindi responsabile del sapore dolce. Al momento ci si affida a un modello molecolare che appare comune a tutte le molecole dolci. Esse possiedono un gruppo AH e uno B. A e B sono solitamente ossigeno o altri atomi elettronegativi. AH funge da donatore di idrogeno, mentre B da accettore. Tra i due si instaura un legame, la cui distanza deve essere circa di 0.3 nm[31]. Inoltre la

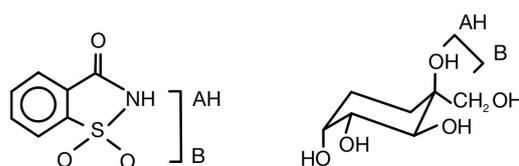


Figura 9.1: Esempio della struttura AH-B di saccarina e fruttosio. A e B sono costituiti da ossigeno o altri atomi elettronegativi.

molecola dolce possiede un gruppo lipofilo definito con la lettera greca  $\lambda$  ( $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5$ ). Il complesso che si forma tra AH, B e  $\lambda$  è poi complementare al recettore, che attraverso modifiche di membrana provoca il sapore dolce.

Il grado di dolcezza è legato alla facilità di formare legami con il sito attivo del recettore. Gli edulcoranti vengono classificati principalmente in base alla loro origine, ossia se sono di carattere naturale o sintetico. Con edulcoranti

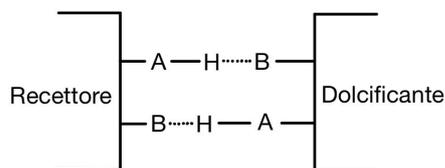


Figura 9.2: Azione degli edulcoranti. AH dona l' idrogeno, B lo accetta.

naturali si allude certamente ai monosaccaridi e disaccaridi, ma rientrano in questa categoria anche i glicosidi steviolici ricavati dalla *Stevia rebaudiana* e le sostanze proteiche note come *sweet protein*.

Qui di seguito sono elencati in una tabella i principali dolcificanti, sintetici e naturali, con il rispettivo tasso di potere edulcorante.

Saccarosio	1
Glucosio	0.740
Fruttosio	1.5
Lattosio	0.200
Xilitolo	1
Eritritolo	0.70
Stevioside	300

Figura 9.3: Potere dolcificante degli edulcoranti utilizzati.

Per potere edulcorante si intende il rapporto che si instaura tra le concentrazioni di una soluzione acquosa al 5/15% di saccarosio e di una soluzione contenente il dolcificante in quantità tali da conferire la stessa intensità di sapore dolce. Per misurare la dolcezza non esistono strumenti scientifici in quanto si tratta di una percezione personale. Ci si avvale quindi di una media ponderata tra le differenti percezioni provenienti da un elevato numero di persone.

## 9.2 Saccarosio

È un disaccaride composto da un monomero di D-glucosio legato attraverso legame O-glicosidico a un monomero di D-fruttosio. Da esso tramite idrolisi si ottiene una miscela chiamata zucchero invertito. La sua formula chimica è quindi  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . [22] Contiene otto gruppi ossidrilici che lo rendono una molecola fortemente polare, è perciò molto solubile in acqua (2 g/mL a 20°C). La sua massa molare è di 342.32 g/mol.

Viene ricavato dai succhi di canna e barbabietola, in cui è presente fino al 14-20%, attraverso un macchinario chiamato evaporatore ad effetto triplo (inventato da Norbert Rillieux nel 1844). [16] Si trova in tutte le piante fotosintetiche dove viene sintetizzato attraverso la reazione di condensazione tra fruttosio e glucosio catalizzata dall'enzima saccarosio-fosfato sintetasi, e dove viene successivamente accumulato come fonte energetica di riserva. Nella reazione di condensazione il fruttosio reagisce unicamente se nella forma ciclica D-fruttofuranosio, mentre il glucosio deve trovarsi sotto forma di anello piranosico, in uno dei suoi anomeri  $\alpha$  o  $\beta$ . Il legame O-glicosidico si forma tra il C-1 del glucosio e il C-2 del fruttosio, assumendo il nome di legame  $\alpha$ -1, $\beta$ -2-glicosidico. A differenza degli altri disaccaridi, nel saccarosio i carboni anomerici di entrambi i monomeri sono coinvolti nel legame glicosidico. Ciò significa che essi non contengono nessun gruppo emiacetalico e in forma aciclica non è possibile che essi siano in equilibrio. I carboni anomerici possono esistere quindi solo in forma ciclica. Il fatto di non poter sciogliere il ciclo sta alla base della giustificazione per cui, rispetto agli altri disaccaridi, il saccarosio è stabile, non può venir ossidato e non può effettuare mutarotazione.

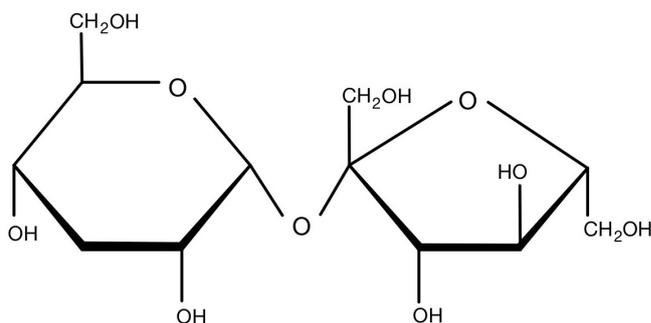


Figura 9.4: Saccarosio.

### 9.3 Glucosio

Il glucosio è il monosaccaride più presente in natura, avente formula chimica  $C_6H_{12}O_6$  e massa molare di 180.156 g/mol.[22] Con la catena a 6 atomi di carbonio, possiede il gruppo carbonile legato al C-1 ed è perciò definito un aldoso. L'enantiomero D-glucosio è più diffuso rispetto al L-glucosio, e in natura essi si presentano sotto forma di emiacetali ciclici. Il C-1 reagisce infatti con il C-4 o il C-5 per formare il glucofuranosio, rispettivamente il glucopiranosio. La struttura furanosica, come pure l'L-glucosio, è meno comune in natura in quanto più instabile. Questa stabilità è riconducibile alla struttura a sedia assunta dagli

anelli piranosici in cui ogni atomo di C appartenente al ciclo, lega ad un gruppo OH che si trova in posizione equatoriale e che stabilizza così facendo il ciclo. Il D-glucosio ha un potere dolcificante pari al 70-80% del saccarosio e fu isolato per la prima volta dal chimico tedesco Andreas Marggraf già nel 1747. È molto presente infatti in frutta, miele e sciroppo di mais, dal quale viene estratto. È molto solubile in acqua grazie alla presenza di ben sei atomi di ossigeno, mentre la sua densità è pari a  $1.5620\text{g/cm}^3$ .

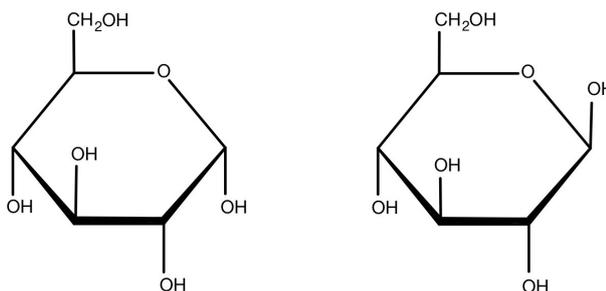


Figura 9.5: Glucosio.

## 9.4 Fruttosio

Il fruttosio è un monosaccaride chetoso, isomero strutturale del glucosio.[5], [9],[15],[20],[22]. Ciò significa che entrambi hanno formula chimica  $C_6H_{12}O_6$  e stessa massa molare, ma differiscono tra loro per quanto riguarda la disposizione degli atomi all'interno molecola. Il fruttosio è infatti un 2-chetoesoso, mentre il glucosio ha il carbonile sul C-1 ed è quindi un aldoso. In soluzione lo troviamo prevalentemente in forma ciclica emiacetalica, in quanto il chetone sul C-2 reagisce chimicamente con l'ossidrile del C-5, oppure con il C-6, per dare anelli a 5 (furanosi), rispettivamente a 6 atomi di carbonio (piranos) formando un legame glicosidico. La forma ciclica furanosica è però meno stabile di quella piranosica e, in soluzione, solo quest'ultima, in particolare il beta- D- fruttopiranosio, è responsabile del sapore dolce. Aumentando la temperatura l'equilibrio chimico favorisce la formazione del fruttosio in forma furanosica, il sapore dolce diminuisce quindi con l'innalzamento della temperatura. È stato provato infatti che il fruttosio cristallino, 40 volte più dolce del saccarosio, è presente esclusivamente in cicli a 6 atomi di carbonio, mentre a  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , il fruttosio ha un potere dolcificante fino al 20% inferiore rispetto al saccarosio. Ad  $80\text{ }^\circ\text{C}$  invece solo il 50% delle molecole di fruttosio è presente in forma piranosica. La percentuale di ogni forma presente è quindi dipendente dalla temperatura. Viene chiamato

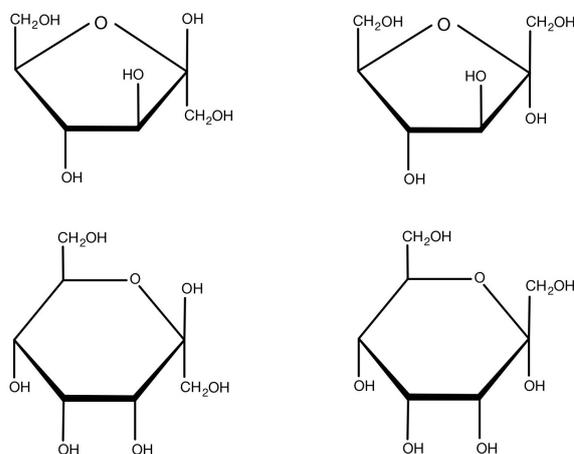


Figura 9.6: 4 isomeri del fruttosio, da sinistra a destra:  $\beta$ -fruttofuranosio,  $\alpha$ -fruttofuranosio,  $\beta$ -fruttopiranosio,  $\alpha$ -fruttopiranosio.

zucchero della frutta in quanto è molto diffuso nel regno vegetale, ma nell'industria non viene ricavato da quest'ultima bensì dall'amido di mais attraverso una reazione enzimatica detta isomerizzazione nella quale si assiste alla conversione chimica del glucosio in esso presente e dalla quale si ottiene lo sciroppo di mais ricco di fruttosio. Il fruttosio presente in natura appartiene alla serie di carboidrati D, è otticamente attivo e levogiro (fa ruotare il piano di luce polarizzata verso sinistra). È per questo motivo che il fruttosio è anche conosciuto come levulosio. Un'altra caratteristica fondamentale del fruttosio è quella di essere molto solubile in acqua (3760 g /L a 20 °C ) e di essere fortemente igroscopico, trattiene quindi molta acqua ed è molto difficile che esso cristallizzi.

## 9.5 Lattosio

È un'isomero del saccarosio, con formula chimica  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , con massa molare di 342.32 g/mol, e si tratta dell'unico disaccaride di origine animale. Viene infatti prodotto, in presenza di  $\alpha$ -lattoalbumina, dall'apparato di Golgi delle ghiandole mammarie dei mammiferi, grazie alla catalisi dell'enzima galattosiltransferasi. Costituisce il 5% del latte vaccino, conferendogli il gusto dolciastro. È formato da una monomero di D-galattosio legato attraverso un legame  $\beta$ -glicosidico a una molecola di D-glucosio. Il carbonio anomero (C-1) del

galattosio ha infatti configurazione  $\beta$  e lega al gruppo ossidrilico legato al C-4 dell'unità di glucosio, il quale ha configurazione  $\alpha$  in C-1 se il lattosio si trova in forma cristallina. Si tratta quindi di un legame O-glicosidico. Possiede un'elevata solubilità in acqua, fonde a 202.8°C e non è igroscopico.

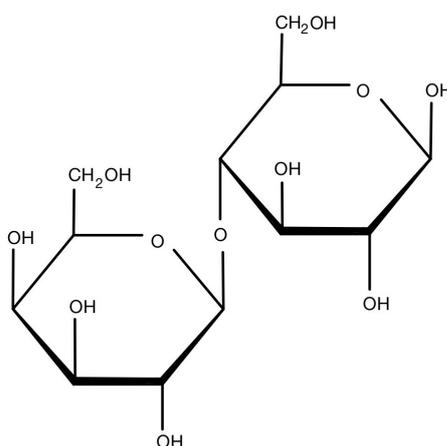


Figura 9.7: Lattosio.

## 9.6 Xilitolo

Lo xilitolo è un alditolo/poliolo <sup>1</sup>, la cui catena carboniosa è formata da 5 atomi di carbonio [26], [34]. Ha formula chimica  $C_5H_{12}O_5$ , massa molare di 152.14 g/mol ed è una molecola achirale, con un piano di simmetria e quindi otticamente inattiva. Si tratta quindi di un ibrido tra una molecola zuccherina e una alcolica, con un potere dolcificante pari a quello del saccarosio ma contenente circa il 40% in meno di calorie. Trattandosi di un edulcorante è conosciuto in industria con la sigla E967. È sintetizzato industrialmente per conversione chimica partendo dallo xilano estratto dalle fibre vegetali. Le principali fonti di xilano sono le cortecce di legni duri, in particolare la betulla. È per questo motivo che il nome dello xilitolo deriva dal greco xyl[on] 'legno' e viene comunemente chiamato zucchero del legno. Altre fonti di xilano sono il guscio delle mandorle, il mais, alcuni frutti e verdure. La sintesi dello xilitolo si compone di 4 fasi. Come prima cosa le fibre ricche di xilano vengono disintegrate e lo xilano contenuto in esse idrolizzato in xilosio. Lo xilosio viene successivamente isolato tramite cromatografia e poi idrogenato in xilitolo con l'aiuto di un catalizzatore al nickel. Infine lo xilitolo viene cristallizzato. Il prodotto finale appare quindi come una polvere cristallina bianca e inodore.

<sup>1</sup>poliolo = polialcol = glucide con un gruppo ossidrilico al posto dell'aldeide o del chetone

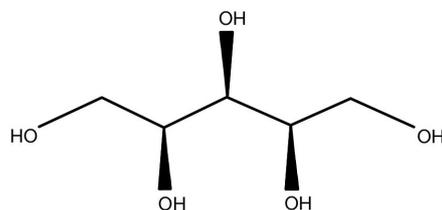


Figura 9.8: Xilitolo.

I suoi punti di fusione ed ebollizione sono rispettivamente 92-96 °C e 216 °C, la sua solubilità in acqua a 20°C è invece pari a 168g/100 mL. Sempre in una soluzione 100g/L in H<sub>2</sub>O i valori di pH si aggirano attorno a 6. Si tratta di una molecola molto stabile anche a temperature elevate, infatti non caramellizza se non dopo essere stata riscaldata fino alla sua temperatura d'ebollizione per alcuni minuti. È quindi un sostituto adatto per ottenere delle meringhe lucide come le originali. La dissoluzione di polioli in acqua è però un processo endotermico dove lo xilitolo assorbe calore dal solvente portando ad una soluzione più fredda rispetto a quella ottenuta col saccarosio. Questa proprietà organolettica provoca una sensazione di freschezza nota come *effetto cooling*, con un intensità tipica per ogni polialcololo.

## 9.7 Eritritolo

L'eritritolo è un poliolo monosaccaride come lo xilitolo, il sorbitolo e il mannitolo, ma con la catena carboniosa composta solo da 4 atomi di C, ognuno dei quali è legato a un gruppo ossidrilico [14],[13]. La sua formula chimica è C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>, in particolare lo stereoisomero utilizzato in industria è il (2R,3S)-butan-1,2,3,4-tetraolo. È una molecola simmetrica che esiste solo nella sua mesoforma. Come edulcorante è conosciuto con la sigla E968 ed ha un potere dolcificante pari al 60% rispetto al saccarosio. Si presenta in cristalli fini ed è privo di cattivi retrogusti o odori. Ha un pKa di 13.903 a 18 °C, fonde a 122 °C e le sue proprietà chimiche sono fondamentalmente le stesse degli altri polialcoli: è quindi molto stabile all'aumento di temperatura e all'aggiunta di acidi. Rispetto agli altri polioli ha però una bassa solubilità (37-43 g per 100 g di acqua a 25°C, solo mannitolo e isomalto ce li hanno più bassi) e una bassa massa molare peso molecolare (122.114 g/mol). Inoltre non è igroscopico, ciò significa che ritarda l'assorbimento di acqua. Viene ricavato da substrati di zuccheri vegetali successivamente fermentati nel modo seguente. Inizialmente si idrolizza con degli enzimi l'amido di mais al fine di ottenere glucosio. Successivamente il glucosio

viene sottoposto a fermentazione microbica con gli lieviti *Zygosaccharomyces*, *Debaryomyces*, *Hansenula* e *Pichia*, dalla quale si ottiene l'eritritolo. Si tratta dell'unico polialcololo ad essere sintetizzato tramite fermentazione. Essendo un polialcololo anch'esso genera uno dei più forti effetti cooling quando viene disciolto in acqua. Questo assorbimento di calore che genera freschezza si verifica soltanto quando l'eritritolo cristallizzato viene aggiunto ad un solvente e non quando esso è già disciolto in acqua.

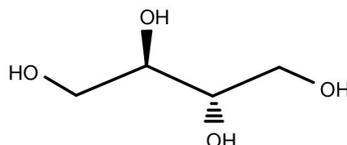


Figura 9.9: Eritritolo.

## 9.8 Stevia

La *Stevia rebaudiana* è una pianta proveniente dal Sud America, in particolare dal Brasile e dal Paraguay, le cui foglie contengono delle sostanze edulcoranti responsabili del loro sapore molto dolce [47]. Si tratta di glucosidi dello steviolo, meglio noti come stevioside (5-10%), rebaudioside A (2-4%), rebaudioside C (1-2%) e dulcoside A (0.5-1%). Essi vengono estratti dalle foglie di *Stevia rebaudiana* essiccate e disidratate, ed hanno un sapore leggermente amaro. In commercio il dolcificante cristallino a base di stevia è solitamente composto da un 97% di stevioside o rebaudioside A mescolato a 3% di eritritolo o fruttosio che ne riducono il retrogusto amaro. Lo *stevioside*, anche noto come zucchero della stevia, ha un potere dolcificante 300 volte più forte rispetto al saccarosio ed è composto da una molecola di steviolo legata a tre molecole di glucosio. Ha formula chimica  $C_{38}H_{60}O_{18}$ , una massa molare 804.84 g/mol ed è scarsamente solubile in acqua. Il *rebaudioside A* è molto igroscopico, ha formula chimica  $C_{44}H_{70}O_{23}$ , massa molare 967 g/mol ed è composto da quattro molecole di glucosio unite ad una di steviolo [39].

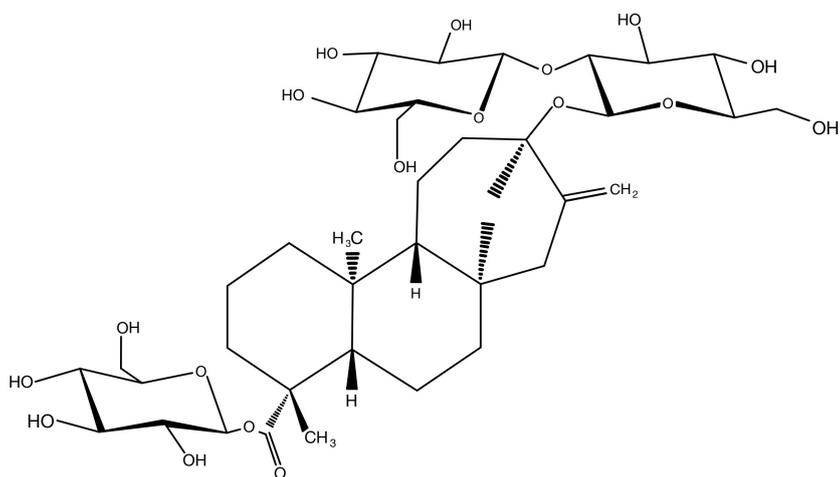


Figura 9.10: Stevioside.

## Capitolo 10

# Metodologia

Nei capitoli precedenti sono stati approfonditi in dettaglio gli aspetti teorici riguardanti la chimica e la fisica che si celano dietro al prodotto culinario della meringa. Ora è possibile applicare queste conoscenze ai fini di comprendere gli esperimenti che sono stati effettuati e descritti in questo capitolo. L'obiettivo della ricerca è quello di ottenere una meringa realizzata con ingredienti diversi dalla ricetta classica, ma con proprietà simili affinché si possa ancora definire tale. A tale scopo l'intera parte sperimentale è stata divisa in due parti, la seconda delle quali è stata ulteriormente suddivisa in tre fasi.

1. *Parte 1:* sono state preparate delle meringhe con la ricetta base, cotte successivamente con differenti tempi di cottura per determinare l'influenza di questa variabile.
2. *Parte 2:* è stato in primo luogo sostituito l'albume con un altro ingrediente liquido. Le fonti proteiche considerate sono state cinque, elencate qui di seguito:
  - (a) albume pastorizzato in cartone
  - (b) proteine del siero del latte
  - (c) aquafaba di ceci, lattina
  - (d) aquafaba di fagioli, lattina
  - (e) aquafaba di ceci, acqua di cottura

Dapprima le meringhe sono state realizzate montando a neve le differenti fonti proteiche ed unendole poi al saccarosio a velo, seguendo la ricetta base. Ne sono state analizzate tramite misurazione le caratteristiche descritte nel prossimo paragrafo, comparandole con quelle della meringa originale. Successivamente le meringhe sono state realizzate di nuovo

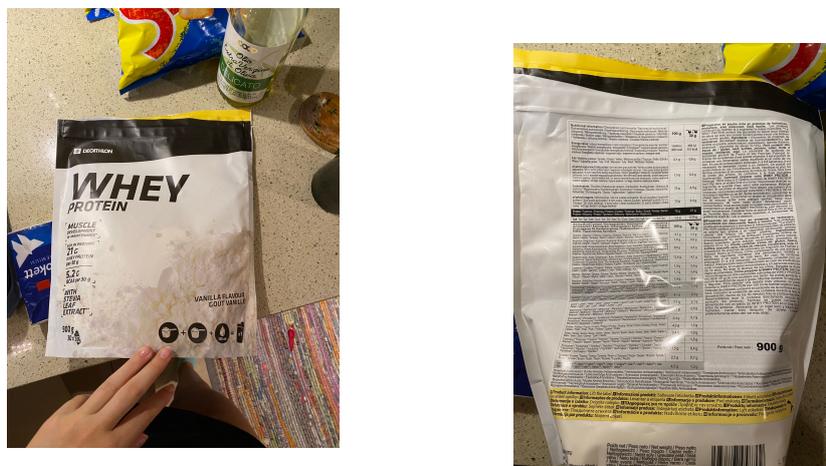


Figura 10.1: Proteine in polvere utilizzate.

adottando delle modifiche rispetto alla ricetta base per cercare di ottenere un prodotto con dei valori analizzati che corrispondessero il più possibile a quelli della meringa con l'albume fresco.

Di seguito, analogamente a quanto fatto nella parte della seconda fase, è stato sostituito il saccarosio a velo con un altro dolcificante, comparando i valori con la ricetta base ed apportandone di seguito eventuali modifiche. I dolcificanti scelti:

- (a) glucosio
- (b) fruttosio
- (c) lattosio
- (d) eritritolo
- (e) xilitolo
- (f) stevia

Infine sono state combinate le prime due fasi sostituendo sia la fonte proteica che il cristallizzante alla ricetta originale

## 10.1 Variabili

I valori che si vogliono mantenere il più simili possibile alla ricetta originale della meringa, e che quindi sono stati utilizzati per comparare i prodotti, sono i seguenti.

Prima della cottura:

1. volume di schiuma in rapporto alla massa proteica iniziale

2. pH

3. massa della meringa cruda

Dopo la cottura:

1. friabilità

2. presenza e grandezza delle bolle d'aria all'interno

3. massa della meringa cotta

4. volume della meringa cotta

5. densità

6. ariosità

7. proprietà organolettiche, colore

Le variabili apportate sono state invece la fonte proteica, il cristallizzante e il tempo di cottura.

Il rapporto tra gli ingredienti è rimasto sempre lo stesso della ricetta base.

Quando, per ottenere un prodotto con caratteristiche più simili all'originale, le meringhe con un determinato ingrediente sono state ricreate, è stato a volte necessario apportare ulteriori modifiche come aggiungere degli stabilizzatori, cambiare il tempo di cottura o cambiare il rapporto tra la fonte proteica e il cristallizzante.

## 10.2 Ricetta base

### **Ingredienti:**

100 g albume

200 g zucchero a velo (proporzioni 1:2)

### **Procedimento:**

Gli albumi sono stati montati a velocità massima con un terzo dello zucchero per 3 minuti, dopo i quali è stato già possibile osservare una leggera schiuma.

A questo punto è stato aggiunto un altro terzo di zucchero, montato successivamente per altri 5 minuti fino all'ottenimento del massimo volume di schiuma.

In seguito è stato incorporato con una spatola, con movimenti circolari iniziando dall'alto verso il basso, l'ultimo terzo di zucchero.

Il composto è poi stato trasferito in una sac à poche con bocchetta riccia e sono state formate delle meringhe di massa 7 g.

Esse sono state infornate a 75 °C in modalità ventilata per 150 minuti.

Dopodiché il forno è stato spento per poi lasciar raffreddare completamente le meringhe con lo sportello chiuso.

## 10.3 Misurazioni

1. *Volume schiuma*: una volta montata a neve e incorporato lo zucchero, la massa viene posta in un cilindro graduato da 250 ml
2. *Massa meringa cruda*: bilancia di precisione fornita dalla scuola, la meringa viene posta su un pezzetto di carta da forno ritagliato
3. *Massa meringa cotta*: bilancia da precisione fornita dalla scuola, la meringa viene posta su un pezzetto di carta da forno ritagliato
4. *Volume meringa cotta*: La meringa viene immersa in un cilindro graduato colmo di zucchero cristallino e ne si osserva la variazione di volume
5. *Densità meringa cotta*: rapporto massa/volume
6. *PH*: immergendo nella meringa una cartina di tornasole, osservando il risultato dopo 30 secondi
7. *Friabilità*: una meringa cotta viene frullata con un frullatore ad immersione per 10 secondi, i frammenti vengono poi fatti passare attraverso un setaccio con maglia 1 mm. Si compara quindi la massa delle diverse meringhe che passa il setaccio.
8. *Ariosità*: la meringa viene tagliata con un seghetto per osservare in seguito il profilo delle bolle e misurarne eventualmente l'ampiezza con un righello.
9. *Proprietà organolettiche e colore*: si tratta di dati soggettivi, che si basano sull'assaggio delle meringhe da parte di diversi individui, determinato dalla maggioranza dei soggetti che lo condividono

## 10.4 Materiali

Per la realizzazione delle meringhe ci si è avvalsi di una planetaria in acciaio e di una sac à pôche riutilizzabile (è sempre stata la stessa, con lo stesso beccuccio a bocchetta riccia). Per le misurazioni si sono invece utilizzati una bilancia da precisione, un cilindro graduato da 250 mL, un setaccio con maglia 1 mm, un frullatore ad immersione e delle cartine di tornasole.

# Capitolo 11

## Risultati

Qui di seguito sono riportati nelle tabelle A e B i risultati della prima parte dell'esperimento. La tabella A riporta unicamente sulla variazione di massa nel corso dei primi 75 minuti. La seconda tabella correla invece tutti i valori presi in considerazione. Nelle tabelle C e D sono riportati invece i risultati della seconda parte dell'esperimento. Nella tabella C sono elencati tutti i parametri analizzati, sia per la meringa cruda che per la meringa cotta. La tabella D riporta invece su variazione di massa, di volume e di densità, ricavate in percentuali. Per quanto riguarda l'ariosità delle meringhe, vengono invece riportate le foto delle sezioni delle meringhe ottenute dai vari esperimenti.

Nella seconda parte sperimentale si è inoltre osservato come nelle meringhe contenenti xilitolo, eritritolo e stevia, avvenga un raffreddamento della schiuma, riscontrabile attraverso una sensazione di freschezza nel cavo orale. Eritritolo e stevia provocano inoltre una sgradevole sensazione di pizzicore e si sbriciolano anche al più leggero contatto, sono dunque estremamente friabili. Appena montata la schiuma si dissolve inoltre rapidamente.

Massa cruda (g)	Massa cotta (g)	Variazione massa %	Tempo di cottura (min)
12.16	11.86	-0.025	5
12.41	11.71	-0.056	10
12.61	11.67	-0.075	15
13.48	12.32	-0.086	20
11.12	9.84	-0.115	25
12.98	11.27	-0.132	30
10.35	8.9	-0.140	35
11.85	10.26	-0.134	40
12.35	10.42	-0.156	45
12.43	10.36	-0.167	50
11.52	9.27	-0.188	55
12.03	9.35	-0.195	60
12.37	9.61	-0.223	65
11.49	8.9	-0.225	70
13.01	10.03	-0.229	75

Figura 11.1: Tabella A. Esperimento in cui le meringhe con albume e zucchero sono state cotte per periodi differenti.

Massa cruda (g)	Massa cotta (g)	Variazione massa %	Volume meringa (mL)	Densità	Tempo di cottura	Massa che passa il setaccio	Friabilità in %
11.76	8.88	-0.245	50	0.1776	60	2.01	0.23
11.79	8.82	-0.252	50	0.1764	70	2.52	0.29
9.13	6.72	-0.264	30	0.2240	80	2.82	0.42
11.27	8.28	-0.265	40	0.2070	90	3.5	0.42
10.88	8.30	-0.237	50	0.1660	100	3.32	0.40
6.95	4.88	-0.298	35	0.1394	110	2.22	0.45
9.22	6.66	-0.278	30	0.2220	120	3.53	0.53
9.03	6.48	-0.282	30	0.2160	130	3.69	0.57
10.67	7.95	-0.255	48	0.1656	140	4.10	0.52
10.78	7.97	-0.261	50	0.1594	150	3.63	0.46
10.20	7.40	-0.275	40	0.1850	160	4.23	0.57
10.24	7.45	-0.272	40	0.1863	170	4.30	0.58
9.50	6.61	-0.304	40	0.1653	180	4.10	0.62

Figura 11.2: Tabella B. Esperimento in cui le meringhe con albume e zucchero sono state cotte per periodi differenti.

data	ingredienti					cruda					cotta								
	proteine	[g]	H <sub>2</sub> O [g]	[ml]	CT [g]	zuccheri	[g]	$m_{hot}$ [g]	$V_{soluz}$ [dl]	$m_{muc}$ [g]	dens [g/l]	$t_{cort}$ [min]	massa mer [g]	$V_{mer}$ [ml]	dens [g/l]	colore	friabilità	arrosità	pH
17/06/22	albume	77		78.5		saccarosio	154	231	6	7	385.0	150	5	30	166.7	Bianco lucidissimo	41.5%	Grande bolla 2.5 x 2.5 cm Alcune bolle uniformi	9
15/08/22	albume	102		105		xyilitolo	204	306	9	6	340.0	150	4	30	133.3	Bianco cristallino	70%		9-10
16/08/22	albume	74		75		eritritolo	148	222	6	6	370.0	150	5	32	156.3	giallino	100%	Tante bolle mini	10
19/08/22	albume	74		75		stevia	148	222	6	7	370.0	150	5.5	33	166.7	Giallino trasp	100%	Tante bolle mini	9
25/08/22	albume	69.3		70.8		fruttosio	138.6	207.9	6.5	7	319.8	150	7	35	200.0	Bianco lucidissimo	0%	Completamente piene	8-9
31/08/22	albume	64		65		lattosio	127.8	191.8	3	12	639.3	150	10	30	333.3	Bianco cristallino	16.67%	Completamente piene	10
31/08/22	albume	75		75		glucosio	150	225	7	7	321.4	150	5.5	30	183.3	Bianco lucido tendente al giallo	10%	Grande bolla e alcune piccoline	9
12/07/22	Aquafaba ceci in lattina	171		174.5	3	saccarosio	340	511	12	7	425.8	150	5	30	166.7	Bianco legg opaco	41.2%	Bolla grande	4-5*
10/09/22	Aquafaba ceci in lattina	150		152	4.29	xyilitolo	300	450	15	9	300.0	150	6	50	120.0	Bianco legg lucido	67%	Completamente piene	4*
30/06/22	Aquafaba fagioli in lattina	170		173	3	saccarosio	340	510	11.6	7	439.7	150	5	30	166.7	Bianco lucido	41.3%	Bolla grande	4-5*
15/10/22	Aquafaba fagioli in lattina	75		77	2.16	fruttosio	150	225	6.5	10	346.2	180	9	30	300.0	Bianco lucidissimo	0%	Completamente piene	5*
15/10/22	Aquafaba fagioli in lattina	67.5		70	2.06	glucosio	135	202.5	4.5	10	450.0	150	9	30	300.0	Bianco lucido	2%	Completamente piene	5*
11/09/22	proteine in polvere alla vaniglia	12	100	105		saccarosio	198	310	12	8	258.3	150	6	30	200.0	Bianco lucido	41%	Dentro vuote, bolla enorme	5
13/09/22	proteine in polvere alla vaniglia	12	100	105		xyilitolo	198	310	12	9	258.3	150	7	70	100.0	Bianco	69%	Tante bolle piccoline	5
27/09/22	proteine in polvere al cioccolato	12	100	105	5.63	xyilitolo	198	310	12	7	258.3	150	5	50	100.0	Bianco opaco non tanto marrone	70%	Tante bolle piccoline	5
23/10/22	proteine in polvere al cioccolato	12	100	105		fruttosio	198	310	12	8	258.3	240	-	-	-	Lucido	0%	Completamente piene	5

Figura 11.3: Tabella C. Dati di tutti gli esperimenti riguardanti la sostituzione della fonte proteica e del cristallizzante elencati in base alla fonte proteica.

proteine	Ingredienti				cruda						cotta				V mer pre	ΔV [%]	Adens [%]				
	[g]	H2O [g]	[ml]	CT [g]	zuccheri [g]	$m_{tot}$ [g]	$V_{cristall}$ [dl]	$m_{crist}$ [g]	dens [g/l]	$t_{crist}$ [min]	massa mer [g]	$V_{mer}$ [ml]	dens [g/l]	% prot				% H2O	% zucc	Am [%]	
albume	77		78,5		saccarosio	154	231	6	7	385,0	150	5	30	166,7	3,0%	30,0%	66,7%	28,6%	18,2	65,0%	56,7%
albume	102		105		xylitolo	204	306	9	6	340,0	150	4	30	133,3	3,0%	30,0%	66,7%	33,3%	17,6	70,0%	60,8%
albume	74		75		eritritolo	148	222	6	6	370,0	150	5	32	156,3	3,0%	30,0%	66,7%	16,7%	16,2	97,3%	57,8%
albume	74		75		Stevia	148	222	6	7	370,0	150	5,5	33	166,7	3,0%	30,0%	66,7%	21,4%	18,9	74,4%	55,0%
albume	69,3		70,8		Fruttosio	138,6	207,9	6,5	7	319,8	150	7	35	200,0	3,0%	30,0%	66,7%	0,0%	21,9	59,9%	37,5%
albume	64		65		Lattosio	127,8	191,8	3	12	639,3	150	10	30	333,3	3,0%	30,0%	66,6%	16,7%	18,8	59,8%	47,9%
albume	75		75		Glucosio	150	225	7	7	321,4	150	5,5	30	183,3	3,0%	30,0%	66,7%	21,4%	21,8	37,8%	43,0%
Aquafaba ceci in lattina	171		174,5	3	saccarosio	340	511	12	7	425,8	150	5	30	166,7	0,5%	31,8%	66,5%	28,6%	16,4	82,5%	60,9%
Aquafaba ceci in lattina	150		152	4,29	xylitolo	300	450	15	9	300,0	150	6	50	120,0	0,5%	31,7%	66,7%	33,3%	30,0	66,7%	60,0%
Aquafaba fagoli in lattina	170		173	3	saccarosio	340	510	11,6	7	439,7	150	5	30	166,7	0,5%	31,7%	66,7%	28,6%	15,9	88,4%	62,1%
Aquafaba fagoli in lattina	75		77	2,16	fruttosio	150	225	6,5	10	346,2	180	9	30	300,0	0,5%	31,7%	66,7%	10,0%	28,9	3,8%	13,3%
Aquafaba fagoli in lattina	67,5		70	2,06	glucosio	135	202,5	4,5	10	450,0	150	9	30	300,0	0,5%	31,7%	66,7%	10,0%	22,2	35,0%	33,3%
proteine in polvere in alla vaniglia	12	100	105		saccarosio	198	310	12	8	258,3	150	6	30	200,0	3,9%	32,3%	63,9%	25,0%	31,0	-3,1%	22,6%
proteine in polvere in alla vaniglia	12	100	105		xylitolo	198	310	12	9	258,3	150	7	70	100,0	3,9%	32,3%	63,9%	22,2%	34,8	100,9 %	61,3%
proteine in polvere in al cioccolato	12	100	105	5,63	xylitolo	198	310	12	7	258,3	150	5	50	100,0	3,9%	32,3%	63,9%	28,6%	27,1	84,5%	61,3%
proteine in polvere in al cioccolato	12	100	105		fruttosio	198	310	12	8	258,3	240	-	-	-	3,9%	32,3%	63,9%	-	31,0	-	-

Figura 11.4: Tabella D. Dati di tutti gli esperimenti riguardanti la sostituzione della fonte proteica e del cristallizzante elencati in base alla fonte proteica. In aggiunta rispetto alla tabella 11.3, sono riportate in percentuale anche la composizione di proteine, acqua e zucchero, come pure le variazioni di massa, volume e densità.



Figura 11.5: Meringhe base.



Figura 11.6: Meringhe con xilitolo.



Figura 11.7: Meringhe con eritritolo.



Figura 11.8: Meringhe con aquafaba.



Figura 11.9: Meringhe con glucosio.



Figura 11.10: Meringhe con proteine in polvere e fruttosio.

# Capitolo 12

## Discussione

### 12.1 Prima parte sperimentale

Dall'esperimento iniziale, riguardante il tempo di cottura delle meringhe realizzate con albume e zucchero a velo, è possibile fare delle considerazioni interessanti. Analizzando il grafico 12.1 con i dati relativi alla perdita di massa d'acqua in rapporto con i tempi di cottura, si vede come essi decrescano esponenzialmente. L'andamento in questione è dato dalla funzione

$$m(t) = 1 - 0.30(1 - e^{-0.0186t}) \quad (12.1)$$

Calcolandone il limite, la massa tende a 0.7, valore che rappresenta la frazione di massa che rimane alla fine della cottura:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} m(t) = 0.7 + 0.3 \left( \lim_{x \rightarrow \infty} e^{-kt} \right) = 0.7 = L \quad (12.2)$$

Ciò significa che generalmente le meringhe non possono perdere più del 30% di massa attraverso l'evaporazione. È importante sottolineare però che, visto che la perdita d'acqua avviene attraverso la superficie, questa funzione è valida soltanto per meringhe di massa compresa tra 10 g e 13 g. Per meringhe di dimensioni differenti l'esponente -0.00186 sarà diverso.

Da questo primo esperimento si osserva inoltre come la friabilità non dipenda unicamente dalla massa d'acqua persa: dopo all'incirca un'ora non si osserva più una diminuzione della massa, ma la friabilità è addirittura in grado di raddoppiare nell'arco dell'ora successiva. La friabilità potrebbe però essere correlata in qualche modo alla quantità di acqua contenuta nella meringa. Per spiegare tale fenomeno è perciò necessario considerare come nella meringa sia possibile trovare l'acqua sia in forma libera, sia in forma vincolata. Quest'ultima si lega

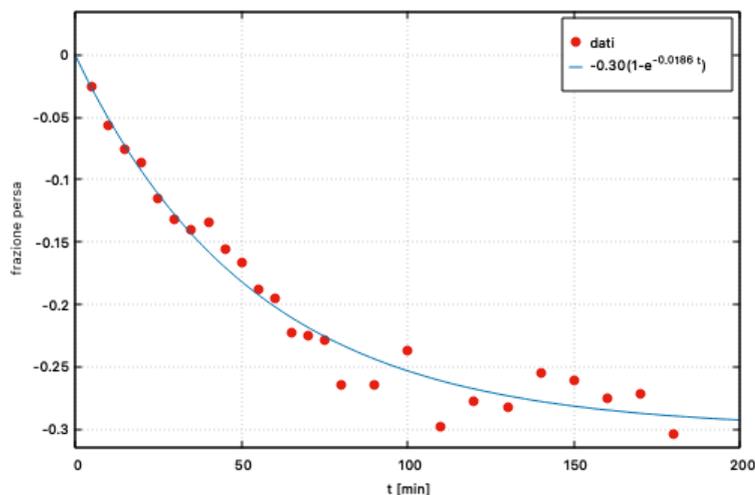


Figura 12.1: Variazione della massa in funzione del tempo di cottura. La massa decresce esponenzialmente, l'andamento della funzione è dato dalla funzione  $m(t) = 1 - 0.30(1 - e^{-0.0186t})$ .

tramite legami intermolecolari alla maglia proteica, e non è quindi responsabile dell'umidità e gommosità della meringa, fattori determinati invece dall'acqua libera. Ciò che si ipotizza è che, dopo un'ora, quando la perdita di massa d'acqua si stabilizza, l'acqua che è restata nella meringa reagisca ulteriormente con il reticolo di proteine trovandosi sempre più nello stato vincolato, facendo così aumentare la friabilità. È inoltre utile considerare che più il rapporto tra massa e volume è basso, maggiore è la friabilità. Ciò significa che quest'ultima è dipendente anche dalla densità della meringa.

Appare inoltre esserci una correlazione inversa tra perdita di acqua e massa iniziale: le meringhe più leggere perdono in percentuale una quantità maggiore di acqua. Questo fenomeno è dovuto alla superficie, che decresce meno rapidamente del volume (Ad esempio in una sfera se dimezziamo il volume, la superficie cala del 37%). La perdita d'acqua avviene attraverso la superficie, quindi se le meringhe sono più piccole hanno più superficie a disposizione per perdere acqua. Dopo un'ora di cottura le meringhe smettono però di perdere acqua, la quale si lega con il passare del tempo con la maglia proteica. Dopo un'ora accade quindi qualcosa che blocca l'evaporazione, e questo deve avvenire quasi contemporaneamente per tutte le meringhe, perché altrimenti le meringhe piccole perderebbero acqua più velocemente, ma quelle grosse poi recupererebbero col tempo. Deve trattarsi di un qualche fenomeno in superficie per cui dopo un certo tempo, raggiunta una certa temperatura, la parte esterna della meringa subisce trasformazioni che impediscono ogni ulteriore evaporazione. Da ciò si può concludere che la cottura della superficie esterna non dipende dal volume

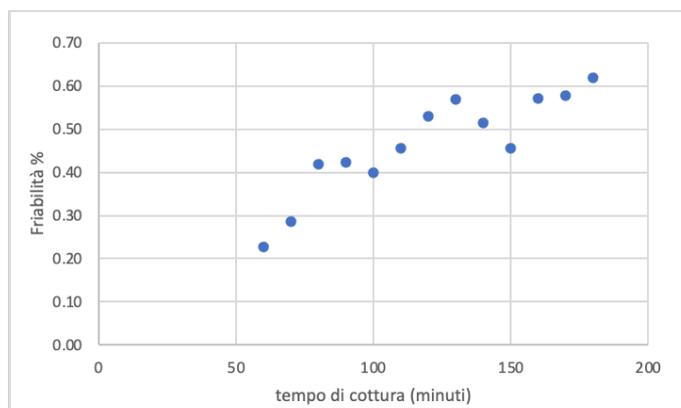


Figura 12.2: Friabilità in funzione del tempo di cottura. La friabilità aumenta con l'aumento del tempo di cottura. Con l'aumento del tempo di cottura, l'acqua presente nella meringa reagisce con il reticolo di proteine e resta vincolata al suo interno. In forma vincolata l'acqua non è responsabile dell'umidità della meringa.

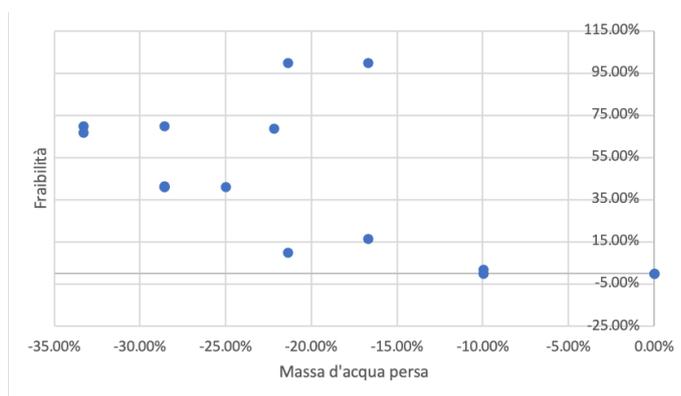


Figura 12.3: Friabilità in funzione della massa d'acqua persa. La friabilità non dipende unicamente dalla massa d'acqua persa, ma da come l'acqua lega al reticolo di proteine. Se si lega al reticolo al reticolo l'acqua non è responsabile dell'umidità della meringa.

della meringa.

## 12.2 Seconda parte sperimentale

### 12.2.1 Densità

Dalla seconda parte sperimentale, in cui si sono utilizzati una fonte proteica e/o uno zucchero diverso, si è potuto confermare come le considerazioni espres-

Colore	Zucchero
ROSSO	Saccarosio
GIALLO	Xilitolo
BLU	Glucosio
VIOLA	Eritritolo
VERDE	Fruttosio
NERO	Lattosio

Colore	Proteina
BLU	Albume
NERO	Aquafaba di ceci
ROSSO	Aquafab di fagioli
GIALLO	Proteine in polvere

Figura 12.4: Legenda dei colori utilizzati nei grafici successivi.

se precedentemente sulla densità e friabilità si verificano anche variando gli ingredienti.

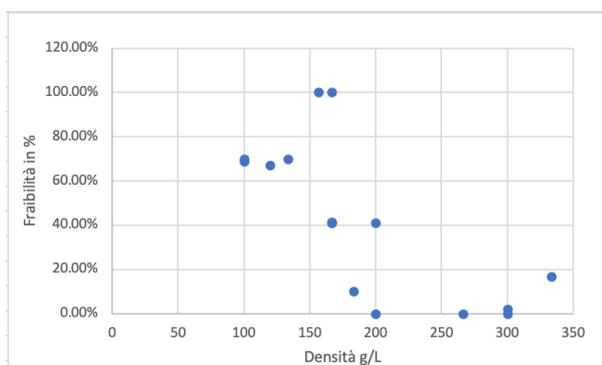


Figura 12.5: Friabilità in funzione della densità. Le meringhe con densità minore hanno friabilità maggiore rispetto alle meringhe più dense. Questo perché, se le meringhe sono più dense, significa che contengono più acqua e di conseguenza anche più acqua in forma libera, la quale rende umida la meringa.

Nel grafico 12.5 si osserva infatti come nelle meringhe con una densità minore, la friabilità sia nettamente maggiore rispetto alle meringhe più dense.

Per quanto riguarda la densità si vede inoltre come essa vari a seconda dello zucchero utilizzato, e come sia invece indipendente dalla fonte proteica. Lo zucchero, responsabile come si vedrà in seguito della riduzione di massa, determina quindi anche la densità.

I grafici 12.6 e 12.7 mettono in evidenza come con la cottura, sia lo zucchero a determinare la variazione della densità e non la fonte proteica utilizzata. Il

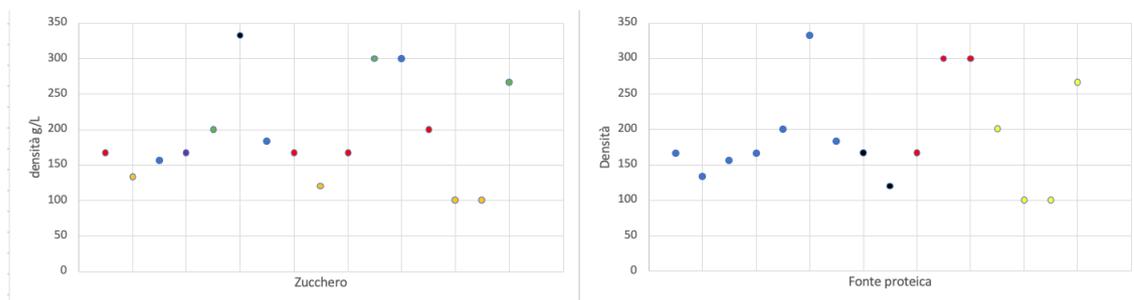


Figura 12.6: Densità in funzione dello zucchero e della fonte proteica. La densità dipende dallo zucchero e non dalla fonte proteica. Lo zucchero è infatti responsabile, come esplicito nel sottocapitolo seguente, della riduzione di massa e determina quindi anche la densità.

motivo di tale fenomeno verrà descritto in seguito quando si analizzerà l'aspetto riguardante la massa.

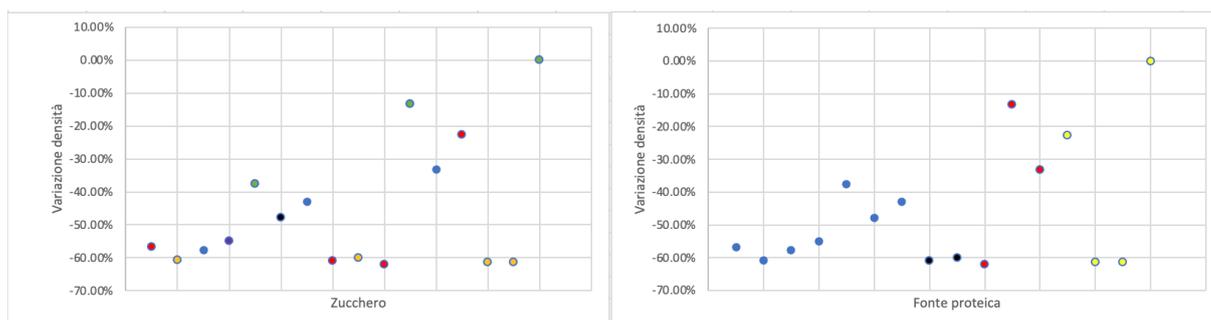


Figura 12.7: Variazione della densità in funzione dello zucchero e della fonte proteica. Lo zucchero, al contrario della fonte proteica, determina la variazione di densità. Quest'ultimo determina infatti la variazione della massa e di conseguenza anche quella della densità

### 12.2.2 Variazione della massa

Come anticipato precedentemente, lo zucchero è la componente che determina la riduzione di massa. Quest'ultima non è invece determinata dalla fonte proteica. Ciò è osservabile nei grafici 12.8 che illustrano la variazione di massa in funzione dello zucchero, rispettivamente della fonte proteica. Questo fatto è spiegabile con l'igroscopicità, una caratteristica degli zuccheri, i quali hanno la capacità di trattenere l'acqua e far sì che essa non evapori dalla schiuma. Ogni zucchero può possedere più o meno questa caratteristica, il fruttosio è ad esempio altamente igroscopico. Impiegando il fruttosio non si assiste perciò ad una rilevante diminuzione di massa. I polialcoli non sono invece igroscopici: osservando il

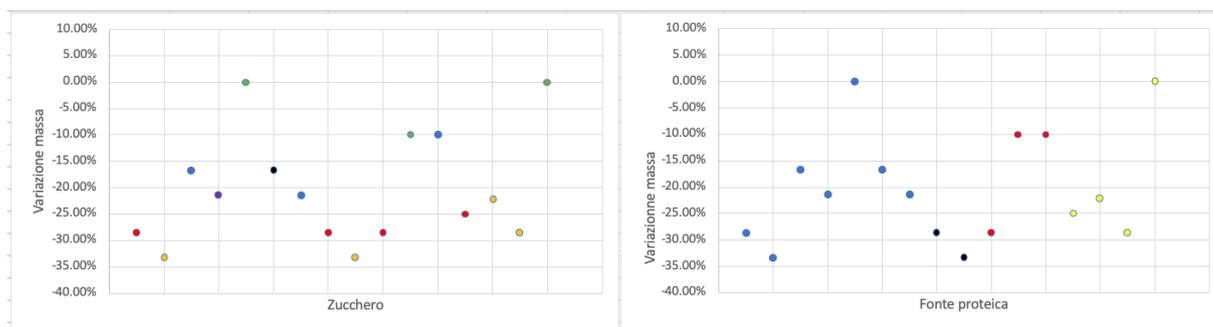


Figura 12.8: Variazione della massa in funzione dello zucchero e della fonte proteica. Lo zucchero determina la variazione di massa, grazie alla capacità di trattenere l'acqua nella schiuma. Ogni zucchero può possedere più o meno questa caratteristica. La variazione della massa non è invece influenzata dalla fonte proteica.

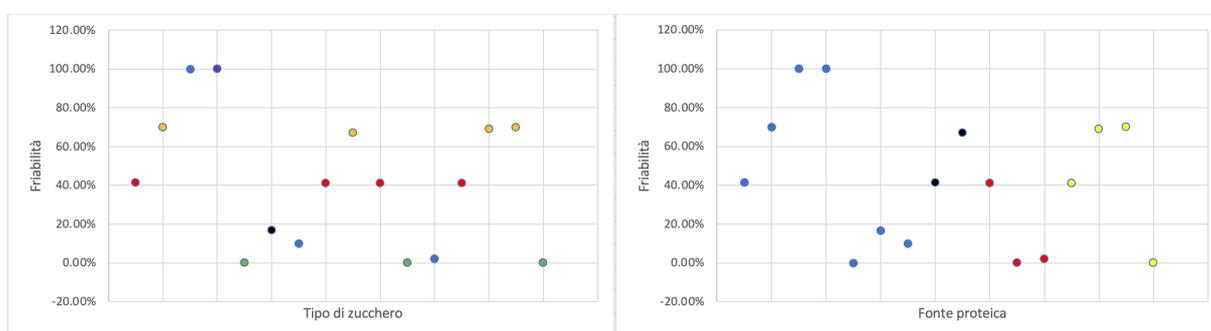
grafico si nota come con lo xilitolo vada perso il maggior quantitativo di acqua. Anche il glucosio è igroscopico, sebbene molto meno del fruttosio. La differenza di igroscopicità tra i due risale alla formazione di legami ponte idrogeno tra le molecole di zucchero quando esse cristallizzano. Con questo processo i gruppi ossidrilici perdono infatti la loro disponibilità a legarsi con l'acqua. Il glucosio, che è un aldoso<sup>1</sup>, forma più legami ponte H tra le sue molecole, è quindi meno solubile in acqua rispetto al fruttosio, che è un chetoso, e di conseguenza anche meno difficile da cristallizzare e meno igroscopico. Il fruttosio infatti avendo un maggior numero di gruppi ossidrilici liberi può legarsi alle molecole d'acqua trattenendole all'interno del proprio reticolo zuccherino.

### 12.2.3 Friabilità

Come visto precedentemente la friabilità non dipende unicamente dalla quantità di acqua persa, bensì da quanto quest'ultima sia in grado di legarsi alla maglia proteica. Maggiore è il tempo di cottura, maggiori sono i legami che l'acqua instaura con il reticolo di proteine e maggiore è quindi la friabilità. Detto ciò, dai grafici sottostanti si può osservare come la friabilità sia comunque determinata anche dal tipo di zucchero utilizzato. Con la fonte proteica non c'è invece alcuna correlazione. Questo aspetto è anch'esso riconducibile all'igroscopicità dello zucchero. Tanto più uno zucchero è igroscopico, tanto più l'acqua viene trattenuta da esso all'interno della schiuma senza che possa instaurare legami

<sup>1</sup>In soluzione acquosa, il fruttosio è presente in piccola parte in forma aciclica, per il restante si presenta in forma ciclica piranosica, un mix di configurazioni  $\alpha$  e  $\beta$  che si bilanciano per mutarotazione. Il gruppo chetonico presente solo nella forma aciclica a catena aperta del fruttosio subisce una sostituzione nucleofila durante la formazione dell'anello venendo rimpiazzato da un gruppo  $\text{OH}^-$ . Il gruppo chetonico non ha perciò alcuna influenza nel trattenimento d'acqua nella struttura cristallina del fruttosio.

con la maglia di proteine. Si noti infatti come con il fruttosio, la friabilità sia pressoché nulla. Esperimenti riguardanti quest'ultimo sono anche stati condotti su periodi di cottura differenti. Come negli altri casi ci si sarebbe aspettato che, con l'aumento del tempo di cottura, anche le meringhe con il fruttosio avrebbero acquisito friabilità. Non è stato però osservato: infatti se cotte per più tempo sono risultate ancor più gommose rispetto alle meringhe cotte per due ore e mezza. Ciò è probabilmente dovuto al comportamento del fruttosio con l'aumento di temperatura. Col calore esso potrebbe rompere alcuni legami con l'acqua a cui è legato, la quale si viene quindi a trovare in forma "libera", conferendo umidità alla meringa.



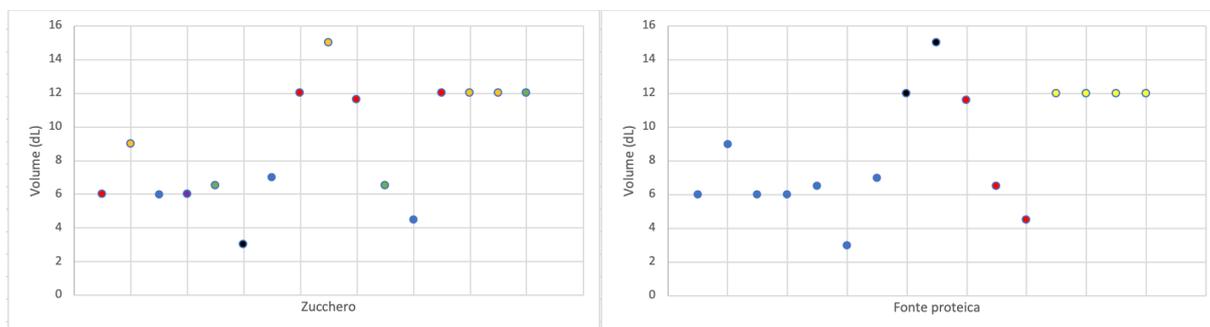


Figura 12.10: Volume della schiuma in funzione dello zucchero e della fonte proteica. La fonte proteica determina il volume della meringa formando una rete attorno alle bolle d'aria. Più le proteine che lo costituiscono legano tra di loro in modo stabile, maggiore è l'aria che si può inglobare senza che esso si spezzi. Il tipo di zucchero non ha invece alcuna influenza sul volume.

Durante l'esecuzione dell'esperimento si è inoltre constatato che:

1. L'aquafaba di ceci e quella di fagioli richiedono un paio di minuti in più per iniziare a montare a dovere, ma una volta montati raggiungono voluminosità più elevate.
2. La stabilità della schiuma è crescente nel seguente ordine: aquafaba di fagioli < aquafaba di ceci < albume = proteine in polvere
3. L'aquafaba fredda appena tolta dal frigorifero non monta e questo è riconducibile al fatto che, trovandosi a temperatura più bassa, le proteine in essa presenti sono maggiormente legate fra loro. È quindi necessaria un'energia maggiore a quella meccanica per destrutturarle.

Queste constatazioni permettono di giungere ad alcune considerazioni sulla composizione dell'aquafaba in correlazione con il comportamento schiumogeno. Nell'aquafaba sono presenti un 8-12% di albumine, il 3-7% sono prolamine, il 19-25% gluteline mentre il restante 53-60% è composto dalle globuline legumina e vicilina. A causa della loro struttura in cui non possono inglobare aria, quest'ultime non sono responsabili delle capacità schiumogene dell'aquafaba. Come le ovoglobuline potrebbero però avere un influsso sulla schiumabilità diminuendo la tensione superficiale dell'interfaccia aria-aquafaba. Costituendo inoltre la metà delle proteine totali, rispetto all'8% di globuline presenti nell'albume, ci si aspetterebbe che l'aquafaba monti molto più rapidamente rispetto all'albume. Ciò che si osserva è però il contrario. Questo fatto è spiegabile dalla presenza di una quantità nettamente inferiore rispetto al 66% dell'albume, di albumine. Senza queste proteine, che una volta denaturate permettono di costituire la maglia proteica, è impossibile intrappolare immediatamente una grande quantità

d'aria all'interno dell'aquafaba. Queste proteine determinano inoltre la stabilità della schiuma, e non è quindi sorprendente osservare come la schiuma dell'aquafaba sia molto meno stabile. Se il contenuto di albumine è così basso, com'è quindi possibile che la schiuma di aquafaba sia molto più voluminosa alla fine? Una possibile spiegazione potrebbe essere che le albumine delle proteine di ceci siano dotate di una maggiore flessibilità nei loro legami rispetto ad ovoalbumina e conalbumina, e che permettano quindi di incorporare una maggiore quantità d'aria senza che si spezzino. Trattandosi di proteine vegetali, nell'aquafaba non è inoltre contenuto il lisozima. Questa proteina dell'albuma ha forti proprietà stabilizzanti, in sua assenza è quindi ancora più logico che la schiuma originatasi dall'aquafaba sia meno stabile. Il lisozima possiede inoltre la capacità di legarsi con NaCl. Se esso viene aggiunto all'albuma si ottiene infatti una schiuma meno stabile. È proprio grazie all'assenza del lisozima che, nell'aquafaba in lattina contenente sale, non si osserva una stabilità differente rispetto all'aquafaba priva di NaCl. Per ovviare all'instabilità della schiuma di aquafaba è stato aggiunto del cremor tartaro, ossia il sale di potassio dell'acido tartarico. Come nell'albuma l'aggiunta di acidi evita infatti la coagulazione di gruppi già protonati e garantisce quindi maggiore stabilità alla schiuma. Il cremor tartaro può avere inoltre dei benefici nella prima fase di montatura della schiuma, in quanto facilita la denaturazione delle albumine.

### 12.2.5 Ariosità

Dalla tabella 12.11 si può notare come sia lo zucchero a determinare la distribuzione delle bolle all'interno della schiuma: con il saccarosio si ottiene ad esempio una grande bolla di  $(2.5 \times 2.5)$  cm al centro, con lo xilitolo invece alcune bolle uniformi un po' più piccole. Con glucosio e fruttosio non è possibile visionare invece le bolle ad occhio nudo, ciò significa che l'aria è intrappolata in tante bollicine microscopiche. Il saccarosio ha quindi un potere emulsionante minore rispetto allo xilitolo, il quale è meno emulsionante ancora di glucosio e del fruttosio. Utilizzando le proteine in polvere si ottengono però, indipendentemente dallo zucchero impiegato, delle meringhe piene di bolle piccoline. Questo è dovuto probabilmente dalla composizione delle proteine in polvere, che sebbene in minima parte, contengono dello stevioside come edulcorante, il quale è di conseguenza responsabile della dimensione delle bolle.

### 12.2.6 Effetto cooling

Nelle meringhe contenenti xilitolo, eritritolo e stevia, si è osservato un raffreddamento della schiuma, riscontrabile attraverso una sensazione di freschezza nel

ARIOSITÀ	ZUCCHERI	PROTEINE
Grande bolla 2.5x2.5 cm	Saccarosio	Albume
Alcune bolle uniformi	Xilitolo	Albume
Tante bolle minuscole	Eritritolo	Albume
Tante bolle minuscole	Stevia	Albume
Completamente piene	Fruttosio	Albume
Grande bolla e alcune piccoline	Lattosio	Albume
Completamente piene	Glucosio	Albume
Grande bolla 2.5x2.5 cm	Saccarosio	Aquafaba ceci in lattina
Alcune bolle uniformi	Xilitolo	Aquafaba ceci in lattina
Grande bolla 2.5x2.5 cm	Saccarosio	Aquafaba fagioli in lattina
Completamente piene	Fruttosio	Aquafaba fagioli in lattina
Completamente piene	Glucosio	Aquafaba fagioli in lattina
Tante bolle piccoline	Saccarosio	Proteine in polvere
Tante bolle piccoline	Xilitolo	Proteine in polvere
Tante bolle piccoline	Fruttosio	Proteine in polvere

Figura 12.11: Tabella in cui sono elencati i diversi tipi di bolle ottenute in base alla fonte proteica e allo zucchero utilizzati. Lo zucchero, che può essere più emulsionante o meno, determina la distribuzione delle bolle all'interno della schiuma.

cavo orale. Questo fenomeno, denominato effetto cooling, è tipico dei polialcoli che, quando vengono disciolti in acqua, assorbono calore dal solvente.

### 12.2.7 Eritritolo e stevioside

Eritritolo e stevia provocano inoltre una sgradevole sensazione di pizzicore e si sbriciolano anche al più leggero contatto, sono dunque estremamente friabili. Appena montata la schiuma si dissolve inoltre rapidamente. È ipotizzabile che questo aspetto sia riconducibile alla struttura di entrambe le molecole. Quella dell'eritritolo possiede, rispetto agli altri saccaridi, un numero minore di gruppi OH. Può quindi instaurare meno legami ponte H e stabilizzare di meno il reticolo proteico. Al contrario, la molecola di stevioside è molto voluminosa. Si ipotizza quindi che essa non sia in grado di inserirsi nella maglia proteica e non possa quindi stabilizzarla.

## Capitolo 13

# Conclusioni

Da questo lavoro sperimentale si può concludere come non sia possibile ottenere una meringa esattamente uguale all'originale utilizzando una fonte proteica e/o un saccaride differente. La stabilità e il volume della schiuma sono principalmente determinati dalla fonte proteica; mentre variazione di massa, friabilità, densità e ariosità sono stabilite dal saccaride. Lo xilitolo è il sostituto che permette di ottenere una perdita di massa, friabilità e densità più simili al saccarosio, sebbene con esso si assista al fenomeno dell'effetto cooling. Le proteine in polvere sono un valido sostituto dell'albume nonostante con esse si ottenga una schiuma con tante bollicine piuttosto che un'unica bolla grande. Aquafaba di ceci e fagioli sono molto più che adatte alla sostituzione dell'albume per quanto riguarda la resa in volume, ma da esse si ottiene una schiuma molto meno stabile. È possibile ovviare a quest'ultimo aspetto con l'aggiunta di cremor tartaro.

Da questo lavoro di maturità si è emerso inoltre che la friabilità non è determinata unicamente dalla perdita di massa d'acqua, bensì anche da quanto quest'ultima è in grado di legare con la maglia proteica. La perdita di massa d'acqua con la cottura è descrivibile dalla funzione

$$m(t) = 1 - 0.30(1 - e^{-0.0186t}) \quad (13.1)$$

dalla quale si vede, che il massimo d'acqua che la meringa può perdere corrisponde al 30% della massa iniziale. La cottura della superficie esterna non dipende invece dal volume della meringa.

## Capitolo 14

# Futuri sviluppi

Questo lavoro potrebbe proseguire con la ricerca di sostanze o tecniche per ovviare alle proprietà di saccaridi e proteine che differiscono da quelle di albume e saccarosio, come è stato fatto con l'aquafaba, a cui si è aggiunto il cremor tartaro. Ci si potrebbe inoltre chiedere se, per far sì che le meringhe più grandi perdano anch'esse acqua allo stesso modo, sia semplicemente possibile cuocerle inizialmente a temperature minori e quale sia il limite massimo di acqua che può venire vincolata in una meringa, senza che essa vada a comprometterne la consistenza. Sarebbe anche interessante condurre degli esperimenti variando le proporzioni di albume e zucchero per determinare quanto e come questi ultimi influiscano sui vari parametri osservati in questa ricerca.

## Capitolo 15

# Ringraziamenti

I ringraziamenti vanno a tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro di maturità. In particolare, si ringraziano i professori Claudio Manzato, Julia Bernasconi e Giosiana Codoni che sono sempre stati disponibili e che hanno fornito preziosi spunti e consigli pratici sia nel procedimento che nella stesura di questo lavoro di maturità. Secondariamente si tiene a ringraziare Damiano Allievi per il supporto e il sostegno tecnico durante l'esecuzione degli esperimenti. Un grazie speciale va in particolare a Elodie Terzi per aver gentilmente prestato il suo iPad per la realizzazione a mano di tutte le illustrazioni presenti in questo documento. Si ringrazia Andrea Lacentra per la pazienza e l'aiuto nel risolvere i problemi tecnici riscontrati con l'utilizzo di LaTeX. Una nota di merito va inoltre al pasticcere Marzio Monaco per l'aiuto fornito nell'ottenimento della ricetta base utilizzata per il soggetto di questo lavoro. Si ringraziano inoltre Zak Mijal e Fabrizio Nessi, che hanno messo a disposizione le loro proteine in polvere per lo svolgimento degli esperimenti. Oltretutto si ringraziano Marta Bonvini e Giulia Allievi per aver dedicato del loro tempo alla revisione di questo lavoro. Per ultimi, ma non meno importanti, si ringraziano tutti gli amici e i famigliari che hanno avuto il coraggio di assaggiare i risultati delle produzioni sperimentali.

# Bibliografia

- [1] *ALBUMINA* in "Enciclopedia Italiana". URL: [https://www.treccani.it/enciclopedia/albumina\\_%28Enciclopedia-Italiana%29](https://www.treccani.it/enciclopedia/albumina_%28Enciclopedia-Italiana%29) (visitato il 12/11/2022).
- [2] *Alla scoperta della Meringa, tra storia, amore e letteratura*. URL: <https://www.ilforchettiere.it/scoperta-meringa-storia-amore-letteratura/> (visitato il 10/11/2022).
- [3] *Aquafaba & Other Hopes for Delicious Egg-free Meringues — scienceandfooducla*. URL: <https://scienceandfooducla.wordpress.com/2016/03/08/aquafaba-other-hopes-for-delicious-egg-free-meringues/> (visitato il 10/11/2022).
- [4] *Aquafaba History*. URL: <http://aquafaba.com/history.html> (visitato il 10/11/2022).
- [5] *Atlante di chimica: Fruttosio*. URL: <https://biologiawiki.it/wiki/fruttosio/> (visitato il 12/11/2022).
- [6] César Vega, Job Ubbink and Erik Van der Linden. *The kitchen as a laboratory*. Columbia University Press, 2012.
- [7] "Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications". en. In: (). ISSN: 1541-4337. URL: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12878> (visitato il 10/11/2022).
- [8] Chimicamo. *Cristallizzazione: chimica in cucina*. it-IT. Set. 2017. URL: <https://www.chimicamo.org/tutto-chimica/cristallizzazione-chimica-in-cucina/> (visitato il 12/11/2022).
- [9] Chimicamo. *Fruttosio*. it-IT. Set. 2019. URL: <https://www.chimicamo.org/biochimica/fruttosio/> (visitato il 12/11/2022).
- [10] Davide Cassi e Ettore Bocchia. *Il gelato estemporaneo e altre invenzioni gastronomiche*. Sperling & Kupfer Edition, 2005.

- [11] *Di cibi acidi, alcalini, e meringhe colorate - Scienza in cucina - Blog - Le Scienze*. URL: <http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2012/01/30/di-cibi-acidi-alcalini-e-meringhe-colorate/> (visitato il 10/11/2022).
- [12] Eric Dickinson. "Protein-Stabilized Emulsions". en. In: *Water in Foods*. Elsevier, 1994, pp. 59–74. ISBN: 978-1-85861-037-5. DOI: 10.1016/B978-1-85861-037-5.50010-2. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781858610375500102> (visitato il 10/11/2022).
- [13] *Erythrit: Wie gesund ist der Zuckerersatz?* de. URL: <https://www.css.ch/de/privatkunden/meine-gesundheit/ernaehrung/gesund-abnehmen/erythrit.html> (visitato il 15/12/2022).
- [14] *Erythritol - an overview — ScienceDirect Topics*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/erythritol> (visitato il 12/11/2022).
- [15] *fruttosio nell'Enciclopedia Treccani*. it-IT. URL: <https://www.treccani.it/enciclopedia/fruttosio> (visitato il 12/11/2022).
- [16] Giorgio Ortona. *A scuola di pasticceria di Elio Casati*. Calderini, 1987.
- [17] Harold Hart, Jochen Lehmann e Harold Hart. *Organische Chemie: ein kurzes Lehrbuch*. ger. Weinheim: VCH, 1989. ISBN: 978-3-527-26480-3.
- [18] Yue He et al. "Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications". en. In: *Trends in Food Science & Technology* 111 (mag. 2021), pp. 27–42. ISSN: 0924-2244. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.035. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001424> (visitato il 10/11/2022).
- [19] *Hygroscopy - an overview — ScienceDirect Topics*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/hygroscopy> (visitato il 12/11/2022).
- [20] *Il Fruttosio, lo "zucchero della frutta" - Scienza in cucina - Blog - Le Scienze*. URL: <http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2008/11/06/il-fruttosio-lo-zucchero-della-frutta/> (visitato il 12/11/2022).
- [21] *La dolce neve della cucina - Scienza in cucina - Blog - Le Scienze*. URL: <http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2008/01/07/la-dolce-neve-della-cucina/> (visitato il 11/11/2022).
- [22] Christophe Lavelle. *Molécules: la science dans l'assiette*. fre. Paradoxes. Paris: les Ateliers d'Argol, 2021. ISBN: 979-10-94136-16-4.
- [23] Christophe Lavelle e Hervé This. *Science culinaire: matière, procédés, dégustation*. fre. Échelles. Paris: Belin, 2014. ISBN: 978-2-7011-7533-1.

- [24] *Le meringhe — Scienza — Rai Cultura*. URL: <https://www.raicultura.it/scienza/articoli/2019/06/Le-meringhe-302dbf51-a18f-48d9-b418-2881cf4466ab.html> (visitato il 11/11/2022).
- [25] *Le ricette scientifiche: le meringhe - Scienza in cucina - Blog - Le Scienze*. URL: <http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2008/01/18/le-ricette-scientifiche-le-meringhe/> (visitato il 11/11/2022).
- [26] *Lo xilitolo*. it. URL: <https://fooby.ch/it/cuciniamo/dizionario-del-cibo/xilitolo.html> (visitato il 12/11/2022).
- [27] *Meiringen - Meringue*. URL: <https://www.meiringen.ch/kultur/5918> (visitato il 10/11/2022).
- [28] *Meringa. Storia, origini e ricette che la vedono protagonista - Gambero Rosso*. URL: <https://www.gamberorosso.it/notizie/storie/meringa-storia-origini-e-ricette-che-la-vedono-protagonista/> (visitato il 10/11/2022).
- [29] *Meringhe di latte e riduzionismo gastronomico - Scienza in cucina - Blog - Le Scienze*. URL: <http://bressanini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2013/02/05/meringhe-di-latte-e-riduzionismo-gastronomico/> (visitato il 11/11/2022).
- [30] Mikova K., Bovskova H. *Optimization of Egg White Foam Forming*. URL: [https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-finland-2009/54\\_eggmeat2009\\_mikova\\_EP16.pdf](https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-finland-2009/54_eggmeat2009_mikova_EP16.pdf) (visitato il 15/12/2022).
- [31] Patrizia Cappelli, Vanna Vannucchi. *Principi di chimica degli alimenti*. Zanichelli, 2015.
- [32] C. W. Pernell et al. "Properties of whey and egg white protein foams". en. In: *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 204.1 (mag. 2002), pp. 9–21. ISSN: 0927-7757. DOI: 10.1016/S0927-7757(01)01061-5. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775701010615> (visitato il 10/11/2022).
- [33] *PharmaWiki - Sorbitol*. URL: <https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=sorbitol> (visitato il 12/11/2022).
- [34] *PharmaWiki - Xylitol*. URL: <https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=xylitol> (visitato il 15/12/2022).
- [35] J. F. Richardson. *HYGROSCOPICITY*. English. Publication Title: Thermopedia. Begel House Inc., feb. 2011. ISBN: 978-1-56700-456-4. DOI: 10.1615/AtoZ.h.hygroscopicity. URL: <https://www.thermopedia.com/content/869/> (visitato il 12/11/2022).

- [36] *Scuola di Cucina: meringa, tutte le diverse tipologie — La Cucina Italiana*. URL: <https://www.lacucinaitaliana.it/tutorial/le-tecniche/meringa-tipologie/> (visitato il 10/11/2022).
- [37] Shamira Gatta. *Alchimie in cucina*. Ponte delle grazie, 2021.
- [38] Youn Young Shim et al. “Composition and Properties of Aquafaba: Water Recovered from Commercially Canned Chickpeas”. In: *Journal of Visualized Experiments : JoVE* 132 (feb. 2018), p. 56305. ISSN: 1940-087X. DOI: 10.3791/56305. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5912395/> (visitato il 10/11/2022).
- [39] *Stevioside - an overview — ScienceDirect Topics*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/stevioside> (visitato il 12/11/2022).
- [40] Maria Teresa. *ALLA SCOPERTA DELLA MERINGA*. it-it. URL: <https://degustibusitinera.it/17-cucina/158-alla-scoperta-della-meringa.html> (visitato il 10/11/2022).
- [41] *The Sweet Science of Candymaking - American Chemical Society*. URL: <https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2014-2015/candymaking.html> (visitato il 12/11/2022).
- [42] Hervé This. *Les secrets de la casserole*. fre. Paris: Belin, 1993.
- [43] Hervé This. *Révélation gastronomiques*. fre. Paris: Belin, 1995. ISBN: 978-2-7011-1756-0.
- [44] *Tipi di meringa: italiana, francese, svizzera e... sarda*. it. URL: <https://www.dolcidee.it/magazine/segreti-in-cucina/tipi-di-meringa-italiana-francese-svizzera-e-sarda> (visitato il 12/11/2022).
- [45] *Tipi di meringa: italiana, francese, svizzera e... sarda — Dolcidee*. URL: <https://www.dolcidee.it/magazine/segreti-in-cucina/tipi-di-meringa-italiana-francese-svizzera-e-sarda> (visitato il 10/11/2022).
- [46] Tom P.Coultate. *La chimica degli alimenti*. Zanichelli, 1996.
- [47] Ufficio federale della sicurezza alimentare e di veterinaria USAV. *Stevia*. it. URL: <https://www.blv.admin.ch/blv/it/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/stoffe-im-fokus/inhalts-und-zusatzstoffe/stevia.html> (visitato il 15/12/2022).