

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

*DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI
MATERIALI*

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CHIMICA E DI PROCESSO

TESI DI LAUREA

in

Processi dell'industria Alimentare M

STUDIO DELL'EFFETTO DEGLI STABILIZZANTI E DEL TEMPO DI MATURAZIONE

SULLE PROPRIETA' CHIMICO-FISICHE E SENSORIALI DEL GELATO

CANDIDATO :
Davide Manenti

RELATORE :
Prof.ssa Maria Caboni

Anno Accademico 2020/2021

ABSTRACT

Lo scopo di questo progetto è approfondire in che modo il tempo di maturazione della miscela e un diverso bilanciamento tra gli stabilizzanti (emulsionanti ed addensanti) influiscono sul gelato ottenuto, sia a livello sensoriale e sia su parametri quali l'*overrun*, la velocità di scioglimento, la cinetica di congelamento della miscela, la dimensione delle sue particelle e il suo comportamento reologico. Sono state formulate tre diverse ricette, che differiscono fra loro nella ripartizione degli stabilizzanti. Ciascuna miscela è stata pastorizzata e al termine della pastorizzazione sono state effettuate misure di pH, comportamento reologico e osservazione al microscopio ottico. Le stesse misure sono state ripetute dopo 3 e 5 ore di maturazione. Ciascuna miscela è stata poi mantecata in un mantecatore con monitoraggio della temperatura. Sul gelato prodotto sono stati eseguiti il *melt down test* e il *panel test* e sono state misurate la temperatura del prodotto finito e l'*overrun*. Si è osservato che all'aumentare del tempo di maturazione, la viscosità e il diametro medio dei globuli di grasso diminuiscono, aumentano la velocità di scioglimento e l'*overrun*, il pH ha un aumento trascurabile. Per miscele con più addensanti (e quindi meno emulsionanti) aumentano la viscosità, il diametro medio dei globuli di grasso e la temperatura del gelato, mentre diminuiscono il tempo necessario per mantecare la miscela e l'*overrun*; il comportamento reologico si avvicina a quello dell'acqua per miscele con meno addensanti e più emulsionanti. A livello sensoriale, all'aumentare del tempo di maturazione il gelato è stato valutato più cremoso, dolce e gradevole; il gelato prodotto con miscele aventi maggiori quantità di addensanti è stato valutato meno freddo, più cremoso e in generale più gradevole, salvo per tempi di maturazione di 5h dove vengono percepite note amare.

Sommario

ABSTRACT.....	3
1. INTRODUZIONE.....	6
1.1 Cos'è il Gelato.....	6
1.2 Aspetti chimico-fisici del gelato.....	7
1.3 Costituenti del Gelato.....	8
1.3.1 L'Acqua e l'Aria.....	9
1.3.2 Il Latte.....	9
1.3.3 La Panna o Crema di Latte.....	10
1.3.4 Gli zuccheri.....	10
1.3.5 L'uovo.....	13
1.3.6 Gli Emulsionanti.....	13
1.3.7 Gli Addensanti.....	14
1.3.8 Gli Ingredienti Caratterizzanti.....	17
1.3.9 Famiglie di Gelato.....	19
1.4 Chimica Fisica del Latte.....	21
1.4.1 Composizione Chimica del Latte.....	21
1.4.2 I Protidi del Latte.....	22
1.4.3 I Lipidi del Latte.....	22
1.5 Processi di Produzione del Gelato.....	26
1.5.1 Tipologie di Gelato.....	26
1.5.2 Gelato Mantecato Tradizionale con Metodo Classico.....	27
1.5.3 Gelato Mantecato Tradizionale con Metodo Diretto.....	31
1.5.4 Gelato Soft.....	31
1.5.5 Complessità delle interazioni.....	32
1.6 La Destabilizzazione dei grassi.....	34
1.7 L'Analisi Sensoriale.....	36
1.8 Il pH.....	41
1.9 L'Overrun.....	41
1.10 Viscosità e Reologia.....	42
PARTE SPERIMENTALE.....	44
2. OBIETTIVO DELLA TESI.....	44
3. COLORAZIONE DEI GLOBULI DI GRASSO.....	45

3.1	Premessa	45
3.2	Materiali e Metodi.....	45
3.2.1	Campioni di Latte.....	45
3.2.2	Coloranti per Microscopia	45
3.2.3	Allestimento dei campioni.....	48
3.2.4	Microscopia Ottica per Campioni di latte non colorati	49
3.2.5	Microscopia Ottica per Campioni di latte colorati	50
3.3	Risultati.....	51
4.	TEST SU MISCELE A BASE LATTE	53
4.1	Disegno sperimentale.....	53
4.2	Cinetica di Congelamento.....	56
4.3	<i>Melt Down Test</i>	58
4.4	Materiali e Metodi.....	59
4.4.1	Strumenti e Ricette.....	59
4.4.2	Carpigiani Pastomaster 60 HE	62
4.4.3	Brookfield Viscometer & Rheometer RVDV-I Prime.....	64
4.4.4	Carpigiani Ready 14 20 con portellino modificato	66
4.4.5	Misura del pH	69
4.4.6	Analisi Reologica	70
4.4.7	Microscopia	70
4.4.8	Calcolo del punto di congelamento iniziale teorico	70
4.4.9	<i>Panel Test</i>	72
4.4.10	<i>Melt Down Test</i>	73
4.4.11	Misura dell' <i>Overrun</i>	74
4.5	Risultati e Discussioni	76
4.5.1	Analisi del pH.....	76
4.5.2	Analisi Reologica	76
4.5.3	Analisi al Microscopio Ottico.....	78
4.5.4	Analisi della Cinetica di Congelamento della miscela.....	81
4.5.5	<i>Panel Test</i>	90
4.5.6	<i>Melt Down Test</i>	99
4.5.7	Misura dell' <i>overrun</i>	102
4.5.8	Risultati ottenuti.....	103
4.5.9	Discussione dati	107

5. CONCLUSIONI	109
6. BIBLIOGRAFIA	110
RINGRAZIAMENTI.....	114

1. INTRODUZIONE

1.1 Cos'è il Gelato

Il gelato è una matrice alimentare complessa, costituita da numerose classi di sostanze nutritive presenti in forme diverse tenute insieme da forze di interazione di differente natura. In esso sono presenti glucidi, proteine, lipidi, vitamine, elettroliti e aria (Azeredo et al, 2019), vedi *fig.1.1*.

Nella miscela gelato, glucidi, elettroliti, gas e altri composti idrosolubili si trovano disciolti in soluzione vera, le proteine si trovano in sospensione micellare (fosfocaseinato di calcio) e in soluzione colloidale (sieroproteine solubili albumina e globulina); mentre i lipidi si trovano in emulsione sotto forma di globuli.

La definizione di “gelato” suggerita dall’enciclopedia Treccani è: *“alimento dolce i cui ingredienti fondamentali sono costituiti da uova, zucchero, latte o panna (talvolta con l’aggiunta di cioccolato, caffè, liquori o essenze varie), oppure da succhi di frutta e zucchero, i quali, versati in un apposito recipiente (gelatiera o sorbettiera) posto in un mezzo refrigerante, vengono portati a congelamento e continuamente rimescolati in modo da diventare una pasta consistente e omogenea priva di ghiaccioli”*.

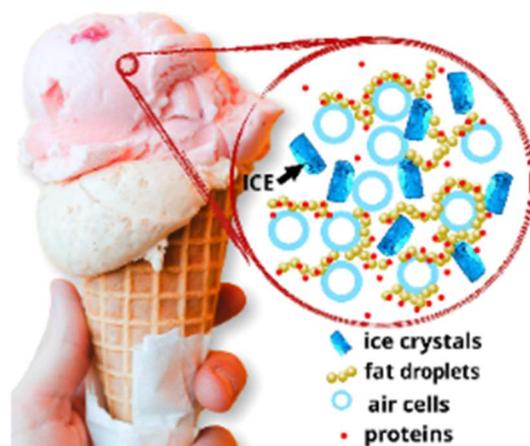


Fig.1.1. Schematizzazione delle quattro fasi che compongono il gelato (Azeredo et al, 2019).

1.2 Aspetti chimico-fisici del gelato

Dal punto di vista chimico-fisico, il gelato è un'emulsione schiumosa (IUPAC Gold Book "Emulsion").

Un'emulsione è una soluzione acquosa contenente in sospensione particelle di grasso microscopiche. Una schiuma invece è un liquido al cui interno sono intrappolate particelle d'aria (IUPAC Gold Book "Foam"). Il gelato è un'emulsione schiumosa (*tab.1.1*) perché ha le caratteristiche di entrambi i tipi di colloidi, infatti nella massa acquosa sono intrappolate particelle microscopiche di aria, grassi e cristalli di ghiaccio.

Tab.1.1. Classificazione delle tipologie di miscele omogenee ed eterogenee ([https://it.wikipedia.org/wiki/Dispersione_\(chimica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Dispersione_(chimica)))

Fasi che la compongono		Miscela Omogenea	Miscela Eterogenea	
Fase continua	Fase dispersa	Soluzione	Colloide	Dispersione
Gas	Gas	Miscela di gas (aria...)		
	Liquida		Aerosol (nebbia, spray liquidi...)	Aerosol (pioggia)
	Solida		Aerosol solido (fumo, gas scarico)	Aerosol solido (polvere...)
Liquida	Gas	Gas disciolti in liquidi	Schiuma (panna montata...)	Liquido con bolle
	Liquida	miscele (cocktail...)	Emulsione (latte, maionese, sangue...)	Emulsioni instabili
	Solida	Soluzioni	Sol (fango, pasta dentifricia...)	Es. Fango, cemento, lava...
Solida	Gas	Es. idrogeno nei metalli	Schiuma solida (aerogel...)	
	Liquida	Es: amalgama (Hg in oro)	Gel (gelatine, burro, formaggio...)	
	Solida	Es: Lega, plastificanti nella plastica...	Sol solido (vetro opalino...)	Es. Rocce naturali, cemento asciutto

Un colloide (o soluzione colloidale) è un sistema costituito dalla dispersione di una sostanza, detta *fase dispersa*, che può essere solida, liquida o gassosa, in un'altra detta *fase disperdente*, solida, liquida o gassosa; dove le particelle della fase dispersa hanno un diametro compreso tra 1 e 1000 nanometri (*tab.1.2*).

Tab.1.2. Classificazione di Soluzioni, colloidali e sospensioni (Duncan J. S, 1966)

Sistema	Dimensione Particelle	Movimento delle Particelle
<i>Soluzione</i>	< 1 nm	Cinetico
<i>Dispersione Colloidale</i>	1 – 10 ³ nm	Browniano
<i>Sospensione</i>	> 10 ³ nm	Gravitazionale

1.3 Costituenti del Gelato

Nella produzione del gelato, si utilizzano numerosi ingredienti, per offrire una sempre più vasta moltitudine di gusti, da quelli più tradizionali, alle ricette segrete dei gelatieri, fino a quelli più innovativi – come i gelati salati o alcolici – che sono la nuova avanguardia della gastronomia. Da non dimenticare, inoltre, i gelati per particolari categorie di consumatori: senza lattosio, a ridotto contenuto in zuccheri. Di tutti questi ingredienti, quelli fondamentali sono: acqua, zucchero e aria; contrariamente a quanto si crede nell'immaginario comune, il latte non è un elemento fondamentale nella produzione del gelato. Infatti, esistono due famiglie di gelati: i *gelati a base latte* e i *gelati a base acqua*.

Oltre a questi, nella produzione del gelato si utilizzano l'uovo, gli addensanti, gli emulsionanti e i prodotti caratterizzanti. Col termine *stabilizzante* o *neutro* si identificano addensanti ed emulsionanti, il cui ruolo è centrale per ottenere un prodotto finito avente le qualità sensoriali e reologiche desiderate dal consumatore ("corso base di gelateria" Carpigiani Gelato University).

1.3.1 L'Acqua e l'Aria

L'acqua è l'elemento principale per i gelati a base acqua, è il solvente in cui sono solubilizzati tutti i soluti e dispersi i globuli di grasso. È il costituente principale del gelato ed è la sua cristallizzazione a darne la consistenza solida.

La sofficità del gelato invece è data dalla presenza di aria. Si definisce *overrun* la percentuale massica di aria nella miscela, ed è uno dei parametri operativi più importanti nella produzione del gelato. In assenza di aria, infatti, non si ottiene gelato, bensì un ghiacciolo (Goff et al, 2013).

1.3.2 Il Latte

Il Latte è un liquido di composizione complessa, dal sapore dolce e con un pH vicino alla neutralità (6,6 – 6,7). Commercialmente è venduto a seconda del titolo di grasso come latte intero, parzialmente scremato e scremato (vedi *tab.1.3*).

Tab.1.3. Contenuto di grassi espresso in grammi su 100 grammi di latte (regolamento CE N.1234/2007)

Tipo di Latte	Contenuto di Grassi (%)
<i>Intero</i>	>3,6
<i>Parzialmente Scremato</i>	1,5 – 1,8
<i>Scremato</i>	< 0,3

Il latte è il componente principale dei gelati a base latte e si può utilizzare in tre forme: intero fresco, intero in polvere o magro in polvere. Il latte in polvere si ottiene per disidratazione, ed è quindi ricco di proteine e lipidi. In particolare, il latte magro in polvere è un concentrato di proteine ed è per questo motivo utilizzato come ingrediente funzionale, piuttosto che come sostituto del latte, perché aumentando la percentuale di proteine, migliora l'*overrun* ("corso base di gelateria" Carpigiani Gelato University).

1.3.3 La Panna o Crema di Latte

La panna si ottiene dal processo di scrematura del latte, effettuato generalmente per centrifugazione, e successivamente sottoposto ad un trattamento termico di sanificazione, che è la pastorizzazione per la panna fresca oppure la sterilizzazione per la panna a lunga conservazione.

È possibile classificare la panna a seconda del contenuto di grassi (*tab.1.4*) e quella comunemente utilizzata in gelateria è la panna fresca da pasticceria, che ha un contenuto medio di grassi del 35%, fonte principale dei grassi all'interno del gelato.

Tab.1.4. Classificazione della panna a seconda del contenuto di grassi (<https://it.wikipedia.org/wiki/Panna>)

Tipo di panna	Contenuto di grassi (%)
<i>Panna da caffetteria</i>	10-20
<i>Panna da cucina</i>	20-30
<i>Panna da montare (o da pasticceria)</i>	>30
<i>Panna doppia (o crème de gruyère)</i>	>45

1.3.4 Gli zuccheri

Dal punto di vista chimico, gli zuccheri sono aldeidi o chetoni polidrossilati, di formula chimica $C_nH_{2n}O_n$ (con $n \geq 3$), solubili in acqua. Quelli utilizzati in ambito alimentare hanno $n = 5$ o 6 ; largamente più diffusi sono quelli a 6 atomi di carbonio e possono essere in forma monomerica come glucosio e fruttosio o legati in forma di disaccaridi (saccarosio e lattosio) o oligosaccaridi e polisaccaridi come le maltodestrine. Essendo molecole fortemente idrosolubili, legano grandi quantità di acqua e la loro presenza ha un duplice obiettivo: rendere dolce il gelato e impedirne il congelamento. Pertanto, ognuno di essi ha un proprio potere dolcificante e un proprio potere anticongelante, legato alle proprietà colligative.

Quelli utilizzati in gelateria sono riassunti in *tab.1.5*.

Tab.1.5. Potere dolcificante e potere anticongelante degli zuccheri utilizzati in gelateria (Goff et al, 2013)

Zuccheri	Potere Dolcificante	Potere Anticongelante
<i>Saccarosio</i>	100	100
<i>Destrosio</i>	73 – 75	180
<i>Sciroppo di glucosio 42 D.E.</i>	50	90
<i>Fruttosio</i>	140	200
<i>Trealosio</i>	42	100
<i>Maltodestrine</i>	13	33
<i>Zucchero invertito</i>	125-130	190
<i>Lattosio</i>	16	100

Saccarosio.

È il comune zucchero da cucina; è un disaccaride formato da glucosio e fruttosio. Si può ricavare dalla barbabietola da zucchero oppure dalla canna da zucchero. È un solido bianco cristallino.

Destrosio.

Il destrosio o glucosio, è un monosaccaride. È meno dolce rispetto al saccarosio, ma ha un maggiore potere anticongelante. Viene prodotto dall'idrolisi di amido di mais. È un solido bianco e cristallino.

Sciroppo di Glucosio.

Gli sciroppi di glucosio sono soluzioni acquose di miscele di zuccheri vari, tra i quali maltosio e maltodestrine. Si presentano in forma più o meno liquida. Vengono classificati in base al DE (Destrosio Equivalente), che indica la percentuale di zuccheri calcolati sulla sostanza secca ed espressi sotto forma di destrosio. Poiché il destrosio ha un alto potere anticongelante, maggiore è il DE e maggiore sarà l'abbassamento del punto di congelamento. In gelateria, si utilizzano sciroppi di glucosio con DE compreso tra 40 e 44 circa. Ciascun zucchero ha la sua funzione: il maltosio aumenta la dolcezza, le maltodestrine aumentano la viscosità e prevengono la formazione di cristalli di zucchero.

Fruttosio.

Il fruttosio è un monosaccaride, leggermente più dolce del saccarosio. Si trova in natura nella frutta ma industrialmente viene prodotto a partire da amido di mais che viene prima idrolizzato a glucosio e poi isomerizzato a fruttosio.

Trealosio.

È un disaccaride di origine naturale (si ricava dalla lavorazione di mais e tapioca), costituito da due molecole di glucosio. Ha un sapore molto meno dolce del saccarosio, per questo motivo viene utilizzato nella produzione di gelati gastronomici o prodotti che necessitano una bassa dolcezza. Dà una maggiore compattezza e allo stesso tempo conferisce una viscosità inferiore rispetto alla stessa miscela ma con saccarosio al posto del trealosio. (Morianò et al, 2016).

Maltodestrine.

Sono miscele di polimeri del glucosio, con diversa lunghezza di catena e si ottengono dall'idrolisi dell'amido. Hanno un basso potere anticongelante e un basso potere dolcificante. Hanno un DE compreso tra 2 e 20.

Zucchero Invertito.

È una miscela costituita da glucosio e fruttosio, nelle stesse proporzioni in cui sono presenti nel saccarosio; la differenza è che non sono legati. Conferisce maggiore dolcezza rispetto al saccarosio.

Lattosio.

È uno zucchero di origine animale, naturalmente presente nel latte, ed è un disaccaride formato da glucosio e galattosio. Ha un basso potere dolcificante e una solubilità in acqua inferiore rispetto ad altri disaccaridi.

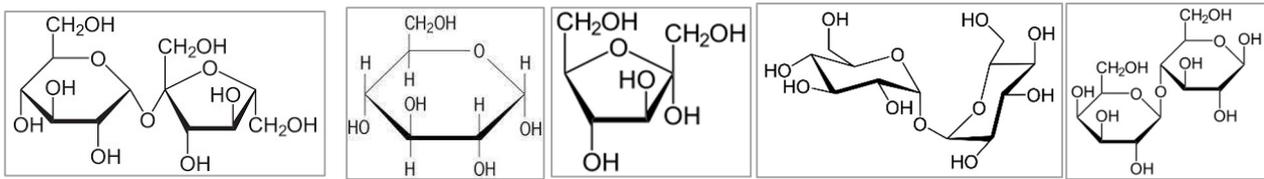


Fig.1.2. Da sinistra, formule chimiche di saccarosio, destrosio, fruttosio, trealosio e lattosio.

1.3.5 L'uovo

In gelateria, dell'uovo si utilizza in particolare il tuorlo, che è ricco di grassi e contiene naturalmente la lecitina, che è un fosfolipide ed ha notevole potere emulsionante. Gli emulsionanti favoriscono la stabilità dell'emulsione acqua-lipidi, migliorando così la texture del gelato.

Viene inoltre utilizzato per produrre le basi gialle da gelateria, come il gelato alla crema, alla vaniglia, allo zabaione, ecc.

1.3.6 Gli Emulsionanti

Gli *emulsionanti* sono sostanze in grado di stabilizzare le emulsioni, ovvero agiscono come tensioattivi, quindi diminuiscono la tensione superficiale dei liquidi, favorendone la bagnabilità a livello interfacciale (Miller, 2016). Tale azione favorisce il contatto tra la fase acquosa e quella lipidica (che tenderebbero altrimenti a smiscelarsi) preservando nel tempo la cremosità e la spatolabilità del gelato. La loro efficacia diminuisce se la durezza dell'acqua è elevata, ovvero se ci sono molti ioni calcio e magnesio. Sono costituiti da un'estremità polare idrofila e una apolare lipofila.

Gli emulsionanti più utilizzati in gelateria, oltre ai fosfolipidi naturalmente presenti nell'uovo e nella panna, sono mono- e di-gliceridi degli acidi grassi, i sucrosteri e la lecitina, generalmente da soia. Anche l'amido e alcune proteine hanno azione emulsionante.

La riduzione del tempo di nucleazione durante la maturazione, che rende il gelato fine ed omogeneo, la promozione della nucleazione dei grassi, un miglior incorporo d'aria della

miscela e la destabilizzazione dei grassi sono alcuni degli effetti degli emulsionanti (“corso base di gelateria” Carpigiani Gelato University).

Mono- e di-gliceridi degli acidi grassi (E471).

Sono costituiti da una molecola di glicerolo esterificata con uno o due acidi grassi. I trigliceridi di cui sono composti i globuli di grasso invece ne hanno tre di acidi grassi sulla molecola di glicerolo. Gli acidi grassi possono essere saturi o insaturi, gli insaturi rendono la struttura del gelato più asciutta. (Goff et al 1989; Barford 2001). Hanno una dose giornaliera accettata illimitata perché vengono idrolizzati facilmente nel tratto gastrointestinale.

Sucresteri (E473).

Si tratta di esteri del saccarosio, si ottengono per via sintetica esterificando il saccarosio con acidi grassi. Possono essere usati in combinazione con i mono- e di-gliceridi degli acidi grassi per ottenere una struttura più cremosa. Ha una dose giornaliera accettata di 40mg/kg corporeo (EFSA Journal, 2018).

Lecitina (E322).

Si tratta di una classe di composti presenti nei tessuti animali e vegetali. Si tratta di miscele di glicerofosfolipidi, con effetto tensioattivo e antiossidante. È presente nel tuorlo d’uovo, nella soia e in altri alimenti. Ha una dose giornaliera illimitata (EFSA Journal, 2017).

1.3.7 Gli Addensanti

Gli *addensanti* assorbono l’acqua libera, aumentando così la viscosità del gelato.

Si tratta di sostanze idrocolloidali che assorbono grandi quantità di acqua formando un reticolo tridimensionale che limita la mobilità delle molecole d’acqua, aumentando in questo modo la viscosità della miscela. Agiscono sulla struttura del gelato migliorandone le proprietà organolettiche e favorendo la formazione di tanti piccoli cristalli di ghiaccio (Goff et al, 2013).

Alginati (E400 – 405).

Di questa classe fanno parte l'acido alginico (E400) e gli alginati di sodio (E401), potassio (E402), ammonio (E403), calcio (E404), propilenglicole (E405). Si estraggono dalle alghe brune presenti nel Mare del Nord e in Nord America. Di solito si utilizzano in gelateria E401, E402 ed E405. Sono solubili in acqua e vanno usati a caldo (quello di sodio anche a freddo). L'alginato di sodio è più adatto alle miscele di crema perché teme l'acidità, mentre per i sorbetti di frutta e allo yogurt si utilizza l'alginato di propilenglicole.

Carbossi-metil-cellulosa CMC (E466).

È solubile sia a caldo che a freddo. Si estrae dalla cellulosa delle piante e viene utilizzato nella forma di sale sodico. Resiste ad acidità fino a pH 4, quindi è adatto ai sorbetti. Viene utilizzato nel cioccolato perché previene la separazione delle particelle di cacao. Di solito si abbina alla carragenina.

Carragenani o Carragenine (E407).

Si utilizzano a caldo. Si estraggono dalle alghe rosse come il muschio d'Irlanda. In gelateria si utilizza il tipo kappa. Si impiega in dosi molto ridotte abbinato ad altri addensanti perché forma un gel molto forte a contatto con le proteine del latte. Riduce lo sgocciolamento del gelato e aumenta molto la viscosità.

Farina di semi di Carruba (E410).

È un addensante a caldo. È composta da una catena di zuccheri: galattosio e mannosio. Si estrae dal carrubo e ha la particolarità di assorbire acqua fino a 100 volte il proprio peso. È poco sensibile al pH quindi molto versatile come modalità di utilizzo. Per le miscele a base latte viene abbinata ad altri addensanti perché reagisce con gli ioni calcio del latte. Generalmente viene abbinata alla farina di guar o alle carragenine.

Farina di semi di Guar (E412).

Addensa sia a caldo che a freddo. Si ottiene dalla macinazione dei semi tostati della pianta indiana *Cyamopsis tetragonoloba*, che viene coltivata in Pakistan, in Africa e nelle Antille. È

simile alla farina di semi di carruba, con cui viene spesso abbinata, infatti è costituita da galattosio e mannosio.

Gomma Xantano (E415).

È un addensante a freddo. Rallenta lo scioglimento del gelato in bocca, facendolo sentire meno freddo. Si ottiene per biosintesi, dalla fermentazione di zuccheri semplici da parte di ceppi di *Xanthomonas campestris*. Ha un elevatissimo potere gelificante, pertanto si utilizza in combinazione con guar e carruba.

Pectina (E440a).

È un addensante a caldo. È contenuta nella frutta, in particolare si estrae dalla buccia degli agrumi. È stabile a pH bassi ma è necessario abbinarla ad altri stabilizzanti.

Gli stabilizzanti utilizzati in gelateria, le loro funzioni e concentrazioni di utilizzo sono riassunti in *tab.1.6*.

Tab.1.6. Alcuni stabilizzanti utilizzati in gelateria con relativi fonti, concentrazioni d'utilizzo e funzioni. (Qamar et al, 2018).

Stabilizer and their EU No.	Source	Usage concentration	Functions
Gelatin (E441)	Animals protein derivative	0.3-0.5%	<ul style="list-style-type: none"> • Form thin mixes • No wheying-off • No foaming
Guar gum (E412)	Seeds of guar legume (Cyamoposis tetragonolba)	0.1-0.2%	<ul style="list-style-type: none"> • Strong stabilizer • Decrease heat shock effects • No excess viscosity
Sodium carboxymethyl cellulose (E466)	Chemically modified natural gum	0.1-0.2%	<ul style="list-style-type: none"> • Strong stabilizer • Form weak gel • Provides chewiness and body
Locust bean gum (LBG) (E410)	Beans of (Ceratonia siliqua)	0.1-0.2%	<ul style="list-style-type: none"> • Strong stabilizer • Cause phase separation • Partially soluble in cold water • Uniform viscosity • Heat shock resistance • Cryo-protective agent
Carrageenan (E407)	Red seaweed (Condus crispus)	0.01-0.02%	<ul style="list-style-type: none"> • Used in stabilizers blends • Prevention from phase separation
Xanthan (E415)	Bacterial exopolysaccharide (Xanthomonas compestris)		<ul style="list-style-type: none"> • Blended with guar and LBG • Used in sherbet, water ice and ice milk • Act as milk shake stabilizer with Na-alginate
Na-Alginates (E401)	Brown seaweed (Phaeophyceae) Derivatives and salts of alginic acid, insoluble acidic polysaccharide salt with Ca, Na, K and Mg		<ul style="list-style-type: none"> • Dissolve in cold water • Not commonly used • Form gels in Ca and acids presence
Microcrystalline cellulose (E460)		0.004	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilize the foam • Control the overrun • Maintains texture during storage • Enhance heat shock resistance • Whey separation prevention • 2-4% reduction in fat

1.3.8 Gli Ingredienti Caratterizzanti

Gli ingredienti caratterizzanti si aggiungono alla miscela base per apportare l'aroma, creando così i vari gusti di gelato. Sono di due tipi:

- in polvere (cacao in polvere, caffè liofilizzato, liquirizia in polvere);
- in pasta (pistacchio e altra frutta secca, sciroppi zuccherini, paste di frutta).

Ciascun ingrediente ha le sue funzioni e i suoi effetti negativi (*tab.1.7*); essendo il gelato un sistema colloidale complesso, è necessario conoscere i vari aspetti di ciascun ingrediente, perché ognuno di essi influenza uno o più parametri del gelato, come gusto, sapore, sensazione in bocca, corpo e consistenza. Pertanto sia nella formulazione delle ricette, che nelle variazioni, si deve tenere conto di questi aspetti.

Tab.1.7. Effetto degli ingredienti sulla struttura del gelato. Tabella ricavata dalle informazioni riportate da Qamar Abbas Syed et al, 2018.

Ingrediente	Funzioni	Effetti Negativi
<i>Zuccheri</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Ottima palatabilità; ii. Mantiene le proprietà di manipolabilità; iii. Accettabilità del gelato; iv. Addolcisce il prodotto; v. Aumenta l'aroma dolce; vi. Aumenta il contenuto di solidi e la viscosità; vii. Migliora corpo e texture. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Sapore blando in mancanza di dolcezza, ii. Maschera il sapore desiderato; iii. Gelato molliccio sopra al 42% dei solidi totali; iv. Abbassamento del punto di congelamento; v. Il congelamento rallenta; vi. L'indurimento richiede una bassa temperatura.
<i>Solidi Totali</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Miglioramento della texture e del corpo; ii. Migliorano l'abilità di montatura; iii. Riduzione del punto di congelamento; iv. Aumenta l'<i>overrun</i> all'aumentare dei solidi totali. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Diminuzione dell'effetto di raffreddamento durante l'estate associata all'aumento dei solidi totali ii. Struttura pesante e molliccia con solidi totali fino al 40-42%
<i>Acqua</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Funge da solvente; ii. Fornisce un medium liquido. 	
<i>Aria</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Aumenta il volume; ii. Rispetta gli standard legali; iii. Aumenta il profitto; iv. Controllo di qualità del prodotto; v. Influenza la qualità. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Riduce la grandezza dei cristalli di ghiaccio; ii. Abbassa il punto di fusione; iii. Diminuisce la durezza.

<i>Stabilizzanti</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Ammorbidiscono la texture; ii. Forniscono corpo al prodotto; iii. Migliorano la viscosità; iv. Non influiscono sul punto di congelamento; v. Prevengono l'ingrossamento della texture; vi. Forniscono resistenza durante la fusione. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Limita l'abilità di montatura; ii. Rendono la struttura pesante e molliccia; iii. Proprietà di fusioni indesiderate.
<i>Emulsionanti</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Danno rigidità al corpo e ammorbidiscono la texture; ii. Riducono il tempo di montatura; iii. Aumentano l'abilità di montatura; iv. Celle d'aria più piccole e distribuite uniformemente. 	<p>Se in eccesso:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Rallentano la fusione; ii. Difetti di corpo e texture.
<i>Tuorlo</i>	<ul style="list-style-type: none"> i. Delicato sapore caratteristico; ii. Migliora corpo e texture; iii. Aumenta la viscosità; iv. Migliora l'abilità di montatura. 	<ul style="list-style-type: none"> i. <i>Off flavor</i> di tuorlo d'uovo rilevabili nel prodotto finale.

1.3.9 Famiglie di Gelato

Esistono due famiglie di gelato: i gelati a base latte e i gelati a base acqua. I gelati a base latte comprendono le creme e i gelati di frutta a base latte, mentre i gelati a base acqua comprendono i sorbetti di frutta e altri gelati dove il latte non è presente.

Per agevolare la produzione dei vari gusti di gelato, si producono le cosiddette "basi" per gelato:

- base acqua o base frutta, per gelati alla frutta;
- base bianca o base al latte, per gelati alla panna;
- base gialla o base all'uovo, per gelati alla crema;
- base cioccolato.

Tab.1.8. Composizione percentuale delle basi di gelato (“Corso Base di Gelateria” Carpigiani Gelato University)

Tipo di base	Zuccheri	Grassi	S.L.N.G.	Altri Solidi	Solidi Totali
<i>Base Acqua</i>	26 – 30	0	0	0,2 – 0,5	30 – 35
<i>Base Bianca</i>	16 – 22	6 – 10	8 – 11	1 – 5	32 – 42
<i>Base Gialla</i>					
<i>Base Cioccolato</i>					

In *tab.1.8* è presentata la composizione percentuale delle basi acqua, bianca, gialla e cioccolato, i termini di zuccheri, grassi, solidi del latte non grassi (S.L.N.G.), altri solidi e solidi totali.

I gelati a base acqua, non prevedono l’aggiunta di grassi, pertanto per bilanciare i solidi totali è necessario un maggiore quantitativo di zuccheri.

La base bianca per gelato è indicata per preparare gelati alla liquirizia, menta, stracciatella, pistacchio, caffè, panna, fiordilatte, ecc. il gelato allo yogurt viene sempre preparato con la base bianca.

La base gialla viene utilizzata per preparare il gelato alla crema, vaniglia, zabaione, malaga, mascarpone, ecc.

La base cioccolato è utilizzata per la preparazione dei gusti cioccolato, gianduia, bacio, ecc.

Alcuni gelati alla frutta possono essere preparati con una base latte: ad esempio, frutti come fragole, banane, albicocche, pesche e cocco vengono spesso addizionati a miscele a base latte. Invece per gelati al limone, mandarino, melone e kiwi generalmente si usa la base acqua.

1.4 Chimica Fisica del Latte

1.4.1 Composizione Chimica del Latte

Il latte è il componente principale delle miscele gelato a base latte, e su di esso ci sono moltissime informazioni in letteratura scientifica, pertanto si appresta ad essere un buon punto di partenza per fare delle analisi preliminari, che possono essere estese al caso delle miscele gelato; la composizione chimica è riportata in *tab.1.9*.

Tab.1.9. Composizione chimica del latte vaccino. (Muchetti, 1987).

Principi Nutritivi			Quantità per 1 kg di latte (<i>grammi</i>)
<i>Acqua</i>	-	-	875
<i>Lipidi</i>	Trigliceridi	95%	32 - 35
	Di e mono gliceridi acidi grassi liberi	3%	
	Fosfolipidi	1%	
	Steroli	1%	
<i>Proteine</i>	Caseine	74%	29 – 33
	Proteine del Siero	22%	
	Enzimi	tracce	
<i>Sostanze azotate non proteiche</i>	Amminoacidi liberi, urea, ammoniaca, altri	4%	
<i>Glucidi</i>	Lattosio, glucosio, altri	-	46 – 50
<i>Macroelementi</i>	Ca ⁺² , Mg ⁺² , K ⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , HCO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻³	-	10
<i>Acidi organici</i>	Citrati, lattati, altri	-	
<i>Microelementi</i>	Zinco, ferro, rame, ecc.	-	
<i>Vitamine</i>	Liposolubili e idrosolubili	-	-
<i>Gas</i>	Ossigeno e Azoto	-	-

1.4.2 I Protidi del Latte

Le proteine del latte sono classificate in tre gruppi:

- le caseine, disperse nel latte sottoforma di micelle, che precipitano a pH 4,6;
- le proteine del siero, solubili in acqua, ma termolabili;
- i proteosio peptoni, solubili in acqua.

1.4.3 I Lipidi del Latte

I lipidi nel latte si trovano dispersi nel latte sotto forma di globuli sferici di diametro compreso tra 0,1 e 20 micrometri, generalmente tra 3 e 5. Sono costituiti da una goccia di trigliceridi, parzialmente cristallizzati a temperatura ambiente, circondati da una membrana lipoproteica.

Gli acidi grassi che compongono i trigliceridi sono per 2/3 saturi e per 1/3 insaturi. La composizione, indicata in *tab.1.10*, influenza le caratteristiche della fase lipidica.

Tab.1.10. Composizione percentuale (in peso) degli acidi grassi nel latte vaccino. (Robinson, 2002)

		Acidi Grassi	% in peso
Saturi	4:0	Butirrico	3,8
	6:0	Caproico	2,4
	8:0	Caprilico	1,4
	10:0	Caprico	3,5
	12:0	Laurico	4,6
	14:0	Miristico	12,8
	15:0	Pentadecanoico	1,1
	16:0	Palmitico	43,7
18:0	Stearico	11,3	
Insaturi	14:1	Miristoleico	1,6
	16:1	Palmitoleico	2,6
	18:1	Oleico	11,3
	18:2	Linoleico	1,5

La membrana dei globuli di grasso è costituita da: glicoproteine (20–60%), glicerofosfolipidi (15–33%), sfingolipidi, glicolipidi, trigliceridi, steroli ed enzimi (Keenan & Patton, 1995).

La membrana è costituita da un *tri-layer* di lipidi polari, disposti come in *fig.1.3*.

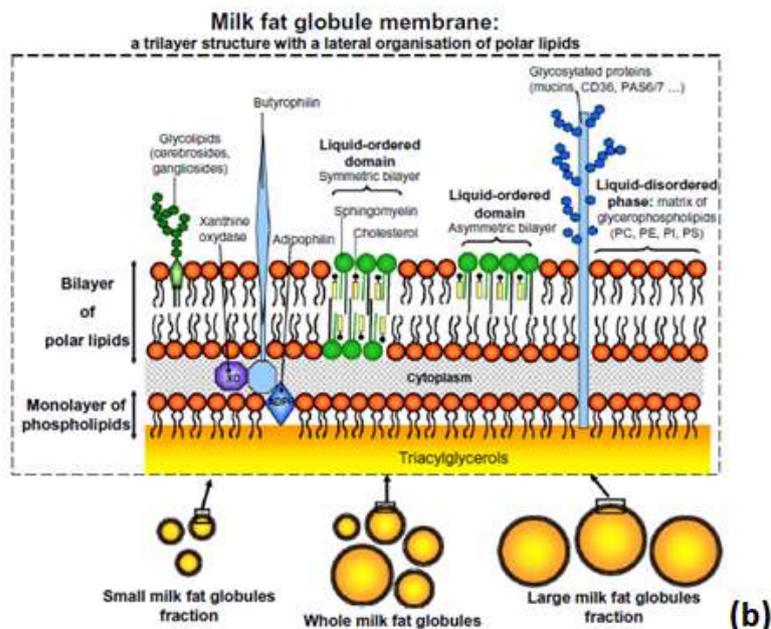
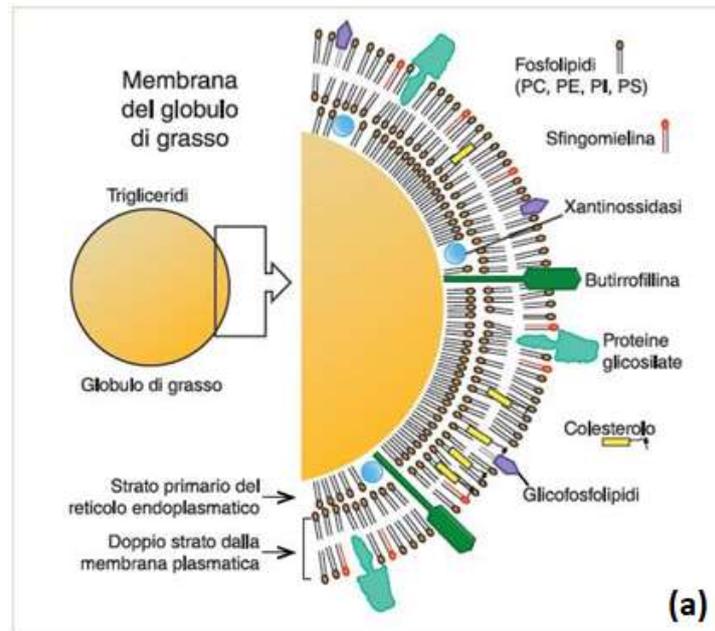


Fig.1.3. Composizione della Membrana del Globulo di Grasso: a) [Lopez et al, 2010]; b) [Lopez et al, 2011]

I lipidi hanno una densità di 936 - 950 kg/m³, inferiore a quella dell'acqua (1000 kg/m³), pertanto tendono ad affiorare e riunirsi in superficie, formando uno strato chiamato crema. Questo fenomeno è detto scrematura spontanea. A livello industriale, invece, la scrematura viene effettuata con una centrifuga.

La velocità di ascesa dei globuli di grasso è calcolata mediante la legge di Stokes:

$$u = \frac{2 R^2 (\rho_m - \rho_g) g}{9 \mu}$$

Dove u è la velocità dei globuli di grasso; R il raggio dei globuli; ρ_m la densità del mezzo; ρ_g la densità del grasso; g la forza applicata; μ la viscosità.

Sulla superficie dei globuli, però, si trovano le agglutinine, proteine termolabili che consentono l'aggregazione dei globuli di grasso in cluster. Con l'aggregazione, R si modifica via via e i tempi di affioramento naturale risultano molto più brevi di quelli teorici.

L'omogeneizzazione del latte è un trattamento ad alta pressione (circa 250 kg/cm²) che ha lo scopo di ridurre il diametro dei globuli di grasso da 4-5 micron a 1 micron (vedi fig.1.4), distruggendo la membrana globulare. Il processo è condotto alla temperatura di 65 – 70 °C, in modo da non avere grassi cristallizzati. L'omogeneizzazione rende stabile l'emulsione di grasso nel latte, evitando la separazione per affioramento della crema.

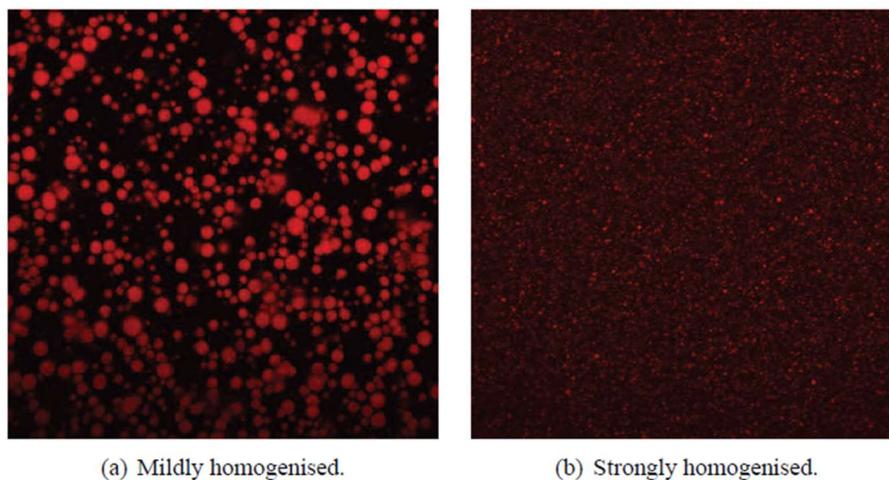


Fig.1.4. Campione di latte (a) mediamente omogeneizzato e (b) fortemente omogeneizzato, visti con microscopio confocale a scansione laser. (Fucà et al, 2013).

E' possibile osservare solo alcuni dei componenti del latte (*tab.1.11*) al microscopio ottico poiché ha un limite di risoluzione di circa 200 nanometri (*fig.1.5*). Nella figura sono riportate anche le dimensioni dei componenti delle cellule, come esempio, per visualizzare il rapporto dimensionale.

Tab.1.11. Dimensioni dei principi nutrizionali del latte.

Principio Nutritivo	Dimensioni (nm)
Lattosio	0,5
Proteine del Siero	4 – 6
Micelle Caseine	50 – 300
Globuli di Grasso	3000 – 6000

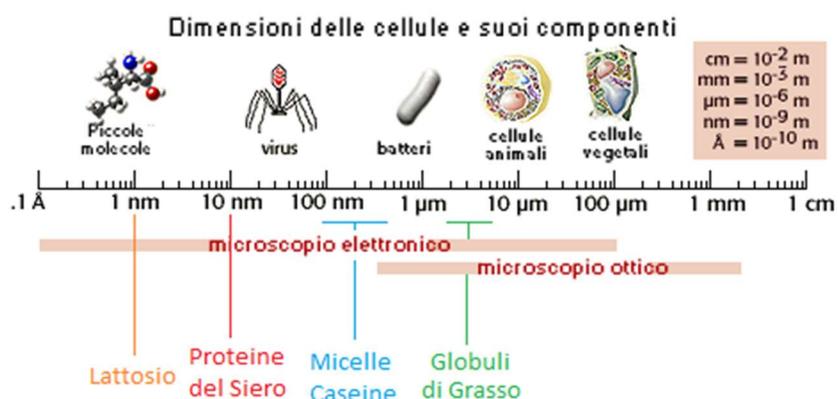


Fig.1.5. Microscopio ottico e elettronico a confronto.

Il microscopio ottico ha un limite di risoluzione di 200 nanometri, mentre quello elettronico di 10 nanometri, pertanto al microscopio ottico tradizionale è potenzialmente possibile vedere solamente i globuli di grasso, ed eventualmente si possono vedere come piccolissimi puntini, le micelle caseiniche.

1.5 Processi di Produzione del Gelato

1.5.1 Tipologie di Gelato

Oltre alla distinzione che si può fare in base alla composizione (a base latte o acqua), dal punto di vista produttivo, sono due le categorie di gelato: il gelato industriale e il gelato artigianale (*tab.1.12*).

Il *gelato industriale* o *ice-cream*, è generalmente prodotto con latte in polvere e succhi di frutta concentrati, con l'aggiunta di numerosi additivi come coloranti, emulsionanti, addensanti e aromi vari. L'aria viene insufflata con una pompa fino a raddoppiare il volume della miscela, quindi con un incorporo d'aria oltre il 90%. Questi gelati vengono commercializzati confezionati in vaschetta o monodose con l'etichettatura prevista dalla legge nella quale figura anche la tabella dei valori nutrizionali, ed hanno una *shelf life* di molti mesi.

Il *gelato artigianale*, viene prodotto con ingredienti freschi e/o con semilavorati, è venduto al dettaglio e viene consumato entro tre-quattro giorni dalla produzione. L'incorporo d'aria avviene ad opera di un mantecatore e arriva al 30-50%. Ha una minore quantità di grassi (5 – 8% contro 8 – 13% del gelato industriale).

Tab.1.12. Differenze principali tra gelato artigianale e industriale (“Corso Base di Gelateria” Carpigiani Gelato University).

Caratteristiche	Tipologia di Gelato	
	Artigianale	Industriale
<i>Shelf Life</i>	3 – 4 giorni	Mesi
<i>Ingredienti</i>	Freschi e deperibili	Preparati a lunga conservazione
<i>Overrun</i>	< 50%	>90%
<i>Contenuto di Grassi (%)</i>	5 – 8	8 – 13

Nell'ambito della gelateria artigianale, sono due le tipologie di gelato che vengono prodotte e commercializzate:

- gelato Mantecato Tradizionale;
- gelato Soft.

Il *gelato mantecato tradizionale*, viene prodotto dal mantecatore e, una volta prodotto, viene estratto e quindi trasferito nella zona di vendita, esposto in vetrina espositiva o in banco a pozzetti, e mantenuto a circa -16 °C.

Il *gelato soft* viene prodotto dalla macchina nel momento stesso dell'erogazione, ha un aspetto più morbido e voluminoso rispetto al gelato artigianale, ma con qualità organolettiche inferiori. Viene prodotto alla temperatura di circa -5°C.

Per quanto riguarda i processi produttivi, sia per il gelato soft che per il mantecato tradizionale, esistono due vie:

- ❖ il Metodo Classico;
- ❖ il Metodo Diretto o Rapido.



Fig.1.6. Da sinistra, gelato mantecato tradizionale, industriale e soft.

1.5.2 Gelato Mantecato Tradizionale con Metodo Classico

Nel Metodo Classico si utilizzano due macchine: il pastorizzatore e il mantecatore. Il *pastorizzatore* produce la miscela gelato a partire dagli ingredienti base e la rende

microbiologicamente sicura attraverso un trattamento termico; il *mantecatore* la tiene in agitazione e la raffredda, generando così il gelato.

Lo schema produttivo, dal punto di vista dei trattamenti termici che avvengono è rappresentato in *fig.1.7*.



Fig.1.7. Schematizzazione dei trattamenti termici coinvolti nel processo di produzione del gelato.

Le fasi del processo sono le seguenti:

- a) formulazione ricetta;
- b) pastorizzazione;
- c) maturazione;
- d) caratterizzazione e compensazione;
- e) mantecazione;
- f) indurimento;
- g) conservazione.

a) Formulazione ricetta.

Questa è la fase in cui si scelgono gli ingredienti e si redige la ricetta per produrre la miscela gelato.

b) Pastorizzazione

La pastorizzazione è un processo termico a caldo che rende la miscela gelato igienicamente sicura, con una bassa alterazione delle proprietà organolettiche e chimico-fisiche.

Nel caso della produzione di gelato, la miscela viene portata rapidamente alla temperatura di circa 65°C, che varia a seconda del tipo di miscela da pastorizzare, e viene mantenuta per un tempo di circa 30 minuti. Dopodiché viene raffreddata velocemente a 4°C.

c) Maturazione

La maturazione è un processo che migliora la qualità del gelato. Consiste nel mantenere la miscela in agitazione a 4°C dopo la pastorizzazione, per un tempo che va da 4 a 12 ore. Questa fase consente alla miscela di aumentare la propria densità, in modo da incorporare più facilmente l'aria nel successivo passaggio di mantecazione. In questa fase avvengono numerosi processi chimico-fisici che migliorano le caratteristiche organolettiche della miscela gelato. In un idoneo processo di maturazione, le proteine e i solidi del latte assorbono l'acqua libera come acqua di idratazione, rendendo la struttura del gelato più fine e spatolabile, poiché impedisce la formazione di cristalli di ghiaccio di grandi dimensioni, che renderebbero il gelato più grossolano. L'acqua pertanto cristallizza in cristalli di piccole dimensioni, anche all'interno delle proteine, aumentando la densità della miscela. Allo stesso tempo si fissano gli aromi, i lipidi si distribuiscono finemente e in modo omogeneo, rendendo il gelato più fine e palatabile, meno "burroso", anche grazie al fatto che cristallizzano in cristalli di piccole dimensioni, permettendo nella fase di mantecazione un maggiore *overrun*, ovvero una maggiore incorporazione di aria.

d) Caratterizzazione e compensazione

Questa è la fase in cui si passa dalla miscela base ad una miscela caratterizzata, perciò si preleva una aliquota di miscela, a cui si aggiunge il prodotto caratterizzante. Per prodotto caratterizzante si intende ciò che conferisce un gusto definito al gelato, come ad esempio il cacao, il cioccolato, le paste per la gelateria a base grassa o zuccherina, o la frutta, che può essere fresca, disidratata o surgelata.

Segue una fase di mescolamento, che richiede un'attrezzatura diversa a seconda della viscosità della miscela da mescolare.

In seguito a questa fase, può essere necessario compensare gli zuccheri e i grassi della miscela, aggiungendo panna o zucchero.

e) Mantecazione

In questa fase, si ha la transizione dallo stato liquido a solido, che avviene per mezzo di tre elementi: l'agitazione del composto, il raffreddamento e l'inglobamento di aria. Questa fase è molto importante per garantire la qualità e la resa del prodotto. Durante questo step, la miscela posta in agitazione viene rapidamente congelata, passando da 4°C a -6/-7°C. Il brusco abbassamento di temperatura fa sì che l'acqua congeli velocemente formando tanti e piccoli cristalli di ghiaccio, mentre l'agitazione favorisce l'incorporazione di aria.

f) Indurimento

Questa fase serve per congelare rapidamente l'acqua libera rimasta dalla fase precedente, in piccoli cristalli di ghiaccio, per evitare che congelando lentamente formi cristalli di ghiaccio più grandi che altererebbero la *texture* del gelato, rendendolo meno cremoso e facendogli perdere volume. Questa fase si svolge all'interno di un abbattitore, dove si raggiungono velocemente temperature tra -30 e -40°C.

g) Conservazione

Una volta prodotto, il gelato viene conservato a temperature intorno ai -18°C. Tuttavia, a quella temperatura è troppo duro per essere spatolato, pertanto prima di essere servito,

deve essere portato alla temperatura di servizio, che è di $-12 / -14^{\circ}\text{C}$. Questa operazione è detta di *rinvenimento*.

1.5.3 Gelato Mantecato Tradizionale con Metodo Diretto

Nel Metodo Diretto, al contrario del metodo classico, si utilizza una sola macchina, che svolge sia la pastorizzazione che la mantecazione. È un metodo più lento, perché si prepara un solo gusto alla volta. Perciò, all'interno della stessa macchina, avvengono le seguenti fasi:

- a) pastorizzazione;
- b) shock termico;
- c) mantecazione.

In questo caso ad essere pastorizzata non è una miscela base ma direttamente la miscela già caratterizzata.

1.5.4 Gelato Soft

Anche il gelato soft, come il mantecato tradizionale, può essere prodotto attraverso un metodo classico oppure un metodo rapido.

Il Metodo Classico del gelato soft ricalca quello del mantecato tradizionale, con poche differenze. Le fasi sono le seguenti:

- a) formulazione ricetta;
- b) pastorizzazione;
- c) maturazione;
- d) caratterizzazione;
- e) mantecazione;
- f) vendita.

Le prime quattro fasi coincidono con quelle del metodo diretto per gelato mantecato tradizionale.

Le macchine da gelato soft hanno una o due vasche di conservazione, contenenti le miscele già caratterizzate. Ciascuna vasca è poi collegata ad un proprio cilindro di mantecazione, che viene alimentato in due modi:

- con una pompa;
- a gravità.

Il gelato prodotto con cilindro alimentato con una pompa è più soffice e cremoso, mentre quello prodotto con cilindro alimentato a gravità risulta più compatto e consistente.

Il gelato viene prodotto direttamente durante la fase di erogazione e servito al cliente.

Il Metodo Rapido di produzione del gelato soft, invece, utilizza miscele fresche già pronte, prodotte dalle centrali del latte, in particolare quelle a base Yogurt, vendute refrigerate per preservarne le caratteristiche organolettiche e il numero di fermenti lattici vivi. Sono disponibili sia miscele pronte pastorizzate che miscele complete in polvere, da reidratare.

1.5.5 Complessità delle interazioni

Nella produzione di gelato, intercorre una complessa rete di interazioni tra i vari parametri e condizioni di processo (*fig.1.8*).



Fig.1.8. Alcune interazioni che mostrano la complessità delle interazioni esistenti fra i vari parametri (<https://didatticagelato.it/2019/01/27/gelato-e-complessita/>).

1.6 La Destabilizzazione dei grassi

Alla temperatura di pastorizzazione, se il latte non è omogeneizzato i lipidi del latte o della crema si trovano tutti allo stato liquido, sottoforma di globuli di grasso, circondati dalla membrana globulare; se invece è omogeneizzato, i globuli sono più piccoli e senza una membrana strutturata. Nella fase di maturazione, i grassi inizieranno a cristallizzare all'interno dei globuli; questa operazione richiede 4-5 ore.

Nella successiva fase di mantecazione, un'ulteriore frazione di grassi cristallizza; quando la miscela è sottoposta ad agitazione, la densità aumenta perché la temperatura diminuisce, e l'aria viene incorporata nella miscela. Durante l'agitazione, i globuli di grasso si urtano e la frazione liquida permette una loro unione stabile, dovuta ai fenomeni di coalescenza e agglutinazione, cosa che non avverrebbe se tutti i lipidi fossero allo stato solido oppure allo stato liquido. Questa unione formerà un *network* tridimensionale che stabilizzerà l'emulsione schiumosa.

Per avere una buona coalescenza, in fase di maturazione si deve raggiungere un rapporto grassi liquidi/grassi solidi compreso tra 1/2 e 1/3 (Pastor et al, 2017).

Tutto ciò causa una parziale destabilizzazione dei globuli di grasso, che li porta a coalescenza formando, in parte, una fase continua. È importante però che l'agitazione non sia troppo violenta, perché ciò potrebbe portare alla rottura delle membrane con conseguente burrificazione.

Pertanto, il processo di destabilizzazione dei grassi dipende da numerosi parametri come:

- quantità e tipo di grassi;
- tempo di maturazione;
- velocità di agitazione;
- temperatura di servizio;
- superficie dei globuli di grasso (che dipende dalle proteine e dagli emulsionanti).

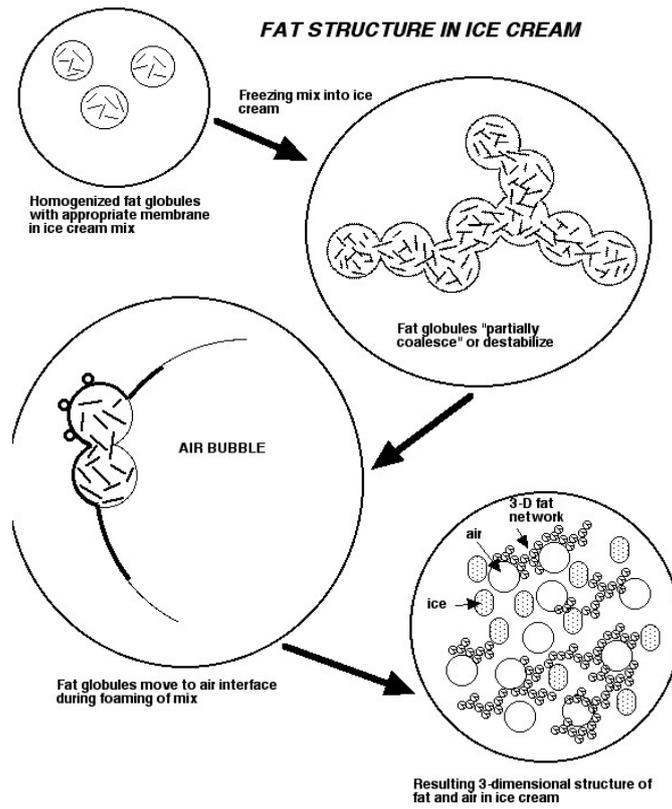


Fig.1.9. Struttura dei grassi e dell'aria nelle fasi di produzione del gelato. University of Guelph.
<https://www.uoguelph.ca/foodscience/book-page/colloidal-aspects-ice-cream-structure>.

1.7 L'Analisi Sensoriale

L'analisi sensoriale è stata definita “*un metodo scientifico usato per risvegliare, misurare, analizzare e interpretare quelle risposte ai prodotti che sono il risultato della percezione attraverso il senso della vista, dell'olfatto, del tatto, del gusto e dell'udito*” (Stone and Sidel, 1993). Lo scopo dell'analisi sensoriale è quello di studiare la relazione tra le caratteristiche sensoriali e le sensazioni che queste suscitano sia sotto il profilo qualitativo (definizione della sensazione) che quello quantitativo (intensità della sensazione percepita), e inoltre delineare un profilo sensoriale in grado di descrivere in modo univoco ed obiettivo quel prodotto.

Nel campo degli alimenti l'analisi sensoriale ha assunto una grande importanza ed è sempre più richiesto l'impiego di un gruppo di assaggiatori selezionati (*panel*) abili a descrivere oggettivamente le caratteristiche organolettiche di un prodotto e di valutarne l'intensità sia in termini assoluti che rispetto ad altri prodotti simili. Il ruolo del *panel* può essere anche quello di anticipare i pareri del consumatore, esprimendo pareri edonistici e quindi soggettivi, allo scopo di prevedere l'accettabilità del prodotto sul mercato. Il *panel test* viene impiegato per lo sviluppo di un nuovo prodotto o per il miglioramento di un prodotto già sul mercato o per verificare le conseguenze di una variazione nella produzione o per il controllo di qualità e per verificare la stabilità e la conservabilità di un prodotto. Anche i consumatori possono essere impiegati in prove di analisi sensoriale per valutazioni edonistiche (*consumer science*).

I metodi dell'analisi sensoriale sono riportati in *fig.1.10*.

Metodi per la valutazione della qualità sensoriale degli alimenti

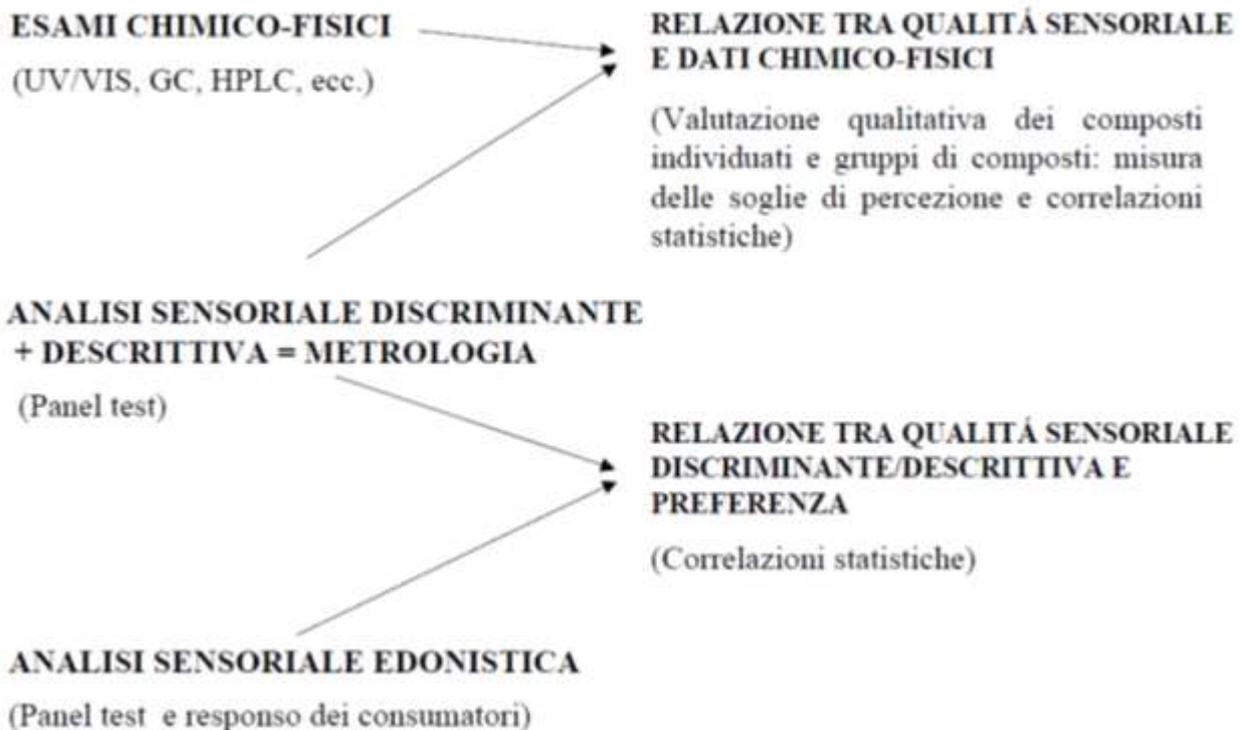


Fig.1.10. Metodi dell'analisi sensoriale (Pagliarini, 2002).

Un'efficace valutazione sensoriale richiede:

- ripetibilità: valutazioni simili vengono date agli stessi prodotti, anche se degustati in tempi differenti;
- discriminazione: valutazioni differenti sono date a prodotti differenti;
- collimazione: viene dato un giudizio in sostanziale accordo con gli altri assaggiatori che effettuano la stessa valutazione, senza che si siano confrontati.

Per quanto riguarda l'analisi sensoriale di un gelato, chiunque è capace di dare una valutazione personale dell'esperienza di degustazione del gelato, ma una valutazione personale non ha basi scientifiche, non è ripetibile e si basa sui gusti e sullo stato (ad esempio

stato fisico, umore, condizionamento ambientale) dell'individuo e quindi non facilmente trasferibile e generalizzabile.

Il test del gelato combina proprietà chimiche e fisiche. Ingredienti e processi di lavorazione influenzano le proprietà sensoriali. Solo esperti addestrati possono rilevare determinati sapori, difetti di tessitura o altre specifiche.

Esistono tre diversi approcci per valutare la qualità sensoriale dei dessert surgelati:

- analisi di esperti del settore;
- analisi di esperti formati;
- analisi del consumatore non addestrato.

Per ottenere un risultato affidabile, il numero di consumatori dovrà essere maggiore rispetto ad esperti *panelists*.

Gli stimoli generati dall'ambiente vengono raccolti dall'apparato sensoriale attraverso gli organi di senso, ciascuno capace di rilevare un particolare tipo di stimolo fisico o chimico. Quando l'agente esterno entra in contatto con i recettori, le cellule nervose di cui ciascun organo di senso è dotato in gran numero, lo trasformano in un segnale elettrico tramite trasduzione.

Questo impulso attraversa i nervi, che si comportano in modo simile a cavi elettrici, raggiungendo il cervello che lo decodifica e lo elabora attraverso processi cognitivi di base e processi psicologici dinamici che costituiscono la percezione. Ciò spiega perché diversi assaggiatori possono fornire valutazioni differenti.

Al fine di condurre un'analisi accurata e uniforme all'interno del *panel test* è importante per definire condizioni, strumenti e procedure di valutazione da rispettare:

- presentare i campioni in modo casuale senza rivelarne l'identità agli analisti;
- valutare nelle stesse condizioni ambientali di temperatura ed illuminazione, senza stimoli esterni;

- la temperatura ambiente utilizzata è compresa tra 20 e 24 °C, per limitare le differenze nei tassi di fusione;
- far assaggiare il gelato non troppo freddo, perché il freddo tende a intorpidire bocca e lingua dell'analista e anche per evitare difficoltà con il cucchiaino;
- far assaggiare il gelato non troppo caldo per giudicare adeguatamente gli attributi di corpo e consistenza;
- far assaggiare il gelato appena servito ad una temperatura compresa tra -7 e -13 °C.

Il gelato può essere gustato sia in cono che in coppetta con un'opportuna paletta:

- il cono è un contenitore commestibile di wafer che non richiede la paletta, il che evita che la valutazione tattile in bocca sia influenzata da materiali estranei con la loro temperatura e consistenza. Tuttavia la cialda influenza la percezione del gelato e richiede un'analisi sensoriale a sé;
- la coppetta viene utilizzata in combinazione con la paletta. Per non alterare la percezione visiva della superficie del gelato, la coppetta deve essere bianca almeno all'interno. Una coppetta ideale isola termicamente il gelato il più a lungo possibile;
- la paletta ideale è di plastica liscia e non interferisce con la sensazione di freddo al palato. Deve essere facile da maneggiare, con una buona impugnatura, piatta e sottile.

Il gelato viene quindi valutato attraverso analisi visiva, analisi olfattiva e analisi tattile e gustativa.

Analisi visiva.

Alcuni parametri valutabili sono:

- La *saturazione del colore* , definita come l'intensità cromatica del gelato, data dalla concentrazione dei pigmenti colorati presenti nel gelato e visibili in superficie. Dipende dalla tipologia di pigmenti coloranti, dalla loro abbondanza nelle materie

- prime o negli estratti utilizzati, dall'abbondanza di materie prime colorate nel gelato, dall'*overrun* e dallo stadio evolutivo e di conservazione del gelato;
- La *tonalità del colore*, definita come il tipo di colore che il gelato assume nello spettro cromatico, prodotto dall'insieme di lunghezze d'onda della luce riflesse dalla superficie. Dipende dal colore degli ingredienti utilizzati, dalla composizione della ricetta, dalla fase di lavorazione, dallo stadio evolutivo e di conservazione del gelato, dall'eventuale presenza e concentrazione di ingredienti con potere antiossidante;
 - La *lucidità*, definita come la caratteristica della superficie di riflettere la luce in un'unica direzione, senza deviarla o assorbirla, è l'opposto della opacità. Essa dipende dallo scioglimento superficiale dovuta ad alte temperature e tempi di servizio errati, dalla concentrazione di zuccheri e solidi magri del latte, da un valore elevato di acqua libera nel gelato che può essere dovuto a sbalzi di temperatura in fase di conservazione o sbilanciamenti in ricetta.

Analisi olfattiva.

Esprime la misura della quantità della percezione ottenuta per via olfattiva diretta, ovvero del volume globale degli odori percepiti per via nasale.

Parametri utili per una valutazione olfattiva del gelato sono:

- *l'intensità* di singole note olfattive;
- la *persistenza aromatica*, che misura l'intensità e la durata delle sensazioni aromatiche dopo la deglutizione, siano esse positive o negative.

Analisi tattile e gustativa.

La sensibilità tattile è data da diversi tipi di percezioni:

- fisiche: volume, viscosità, forma;
- chimiche: astringente, pungente, piccante, metallica.

Alcuni parametri valutabili sono indicati in tabella 1.13.

Tabella 1.13. Alcuni parametri classificati in base al senso con cui vengono percepiti.

TATTILE	GUSTATIVO
Consistenza	
Freddezza	Dolce
Velocità di fusione	Acido
Sabbiosità	Amaro
Untuosità	

1.8 Il pH

Il pH è un indice del grado di acidità. Il range del pH per miscele gelato varia da 3 a 7. Generalmente, per miscele a base latte il pH misurato è attorno a 6,5 (Silvestroni, 1996). Questo valore può variare, a seconda del tipo di ingredienti utilizzati per preparare la miscela. Per miscele a base frutta e per i sorbetti, il pH è principalmente influenzato dalle caratteristiche del frutto e il valore medio è attorno a 3,5. Nelle miscele gelato a base yogurt il pH è attorno a 4,5.

1.9 L'Overrun

Si definisce *overrun* la percentuale massica di aria incorporata nella miscela gelato, ed è uno dei parametri operativi più importanti nella produzione del gelato, perché da esso dipendono la consistenza, la morbidezza e l'aspetto del gelato (Goff et al, 2013). È un fattore discriminante tra gelati artigianali e industriali.

Per un buon gelato artigianale, un valore ottimale di *overrun* è:

- 35-40% per un gelato a base latte, panna o uova;
- 25-30% per un gelato a base frutta.

Un gelato soft ha un valore di *overrun* intorno al 50%, mentre un gelato industriale >90%.

1.10 Viscosità e Reologia

La reologia è definita come la scienza che studia gli equilibri raggiunti nella materia deformata per effetto di sollecitazioni. La viscosità è una grandezza fisica che misura la resistenza di un fluido allo scorrimento, nel sistema internazionale è espressa in pascal. Per i fluidi newtoniani essa dipende solo da pressione e temperatura, e non dalle sollecitazioni meccaniche a cui il fluido è sottoposto. Per un fluido newtoniano pertanto, vale la seguente relazione:

$$\tau = \mu \dot{\gamma}$$

Dove:

τ è lo sforzo di taglio, sollecitazione tangenziale applicata alla miscela, (espresso in *Pa*);

$\dot{\gamma}$ è il gradiente di velocità, ovvero la velocità di deformazione (espressa in s^{-1});

μ è la viscosità, espressa in *Pa · s*.

Per i fluidi non newtoniani, invece, la viscosità dipende anche dallo sforzo applicato (*fig.1.11*). Esistono vari tipi di fluidi non newtoniani, che sono i fluidi:

- pseudoplastici;
- dilatanti;
- di Bingham.

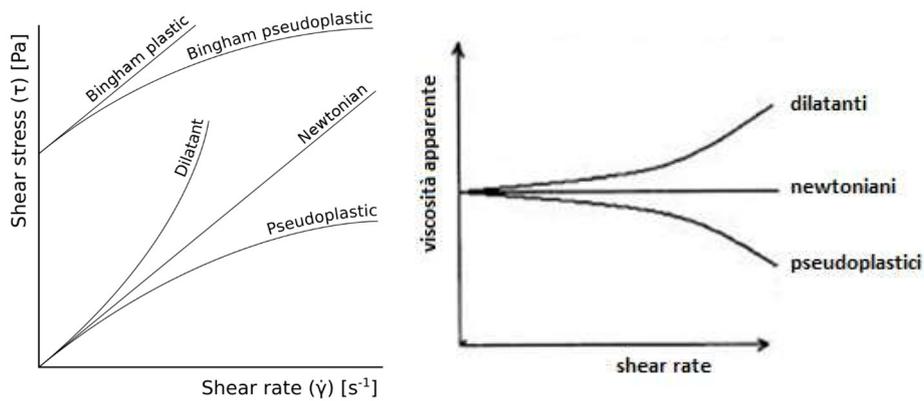


Fig.1.11. Comportamento reologico dei fluidi non newtoniani

(https://it.wikipedia.org/wiki/Fluido_non_newtoniano).

La miscela gelato è un fluido pseudoplastico il cui comportamento si può descrivere col modello matematico Power Law oppure più rigorosamente con quello di Herschel-Bulkley:

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n$$

Dove:

τ_0 è lo *yield stress* (soglia di scorrimento), ovvero lo sforzo minimo da applicare affinché la miscela si muova (espressa in Pa), al di sotto di tale valore, il fluido si comporta come un solido;

k è il *consistency index* (indice di consistenza), espressa in $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$;

n è il *flow index* (indice di flusso), è una grandezza adimensionale. Per i fluidi pseudoplastici $n < 1$, per i fluidi dilatanti $n > 1$. Se $n = 1$ e $\tau_0 = 0$, il fluido è newtoniano.

Il modello Power Law differisce dal modello di Herschel-Bulkley per il solo termine τ_0 che è posto uguale a zero.

Il termine *viscosità apparente* viene spesso utilizzato per descrivere la viscosità di un materiale pseudoplastico ad una data velocità di rotazione (ad es. $25 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ a 100 s^{-1}).

La miscela gelato inoltre esibisce un comportamento *tissotropico*, ovvero la sua viscosità apparente diminuisce col tempo di applicazione dello sforzo.

PARTE SPERIMENTALE

2. OBIETTIVO DELLA TESI

Lo scopo di questa tesi è approfondire in che modo il tempo di maturazione della miscela e un diverso bilanciamento tra gli stabilizzanti (emulsionanti e addensanti) influiscono sul gelato ottenuto, sia a livello sensoriale che su altri parametri di interesse.

A livello sensoriale, si intende indagare gli effetti dal punto di vista visivo (intensità di colore e omogeneità superficiale), olfattivo (intensità olfattiva), tattile-gustativo (dolce, amaro, acido, cremosità, percezione del freddo) e retro-olfattivo (latte, panna, floreale, cotto).

Altri parametri che si andranno a valutare sono: per la miscela gelato, il comportamento reologico, le dimensioni dei globuli di grasso, il pH e la cinetica di congelamento in fase di mantecazione; per il gelato prodotto, la velocità di scioglimento, l'incorporo d'aria e la temperatura finale.

Conoscere gli effetti del bilanciamento degli stabilizzanti può essere utile per correggere all'evenienza, la formulazione del gelato, in base alle esigenze riscontrate. Sapere come il tempo di maturazione influisce sul gelato e la sua consistenza, permette di avere una maggiore consapevolezza dell'effetto di tale parametro di processo, modulandolo a seconda delle proprie necessità. In questo modo sarà possibile intervenire su questi due fattori per perfezionare il processo produttivo, ottenendo un gelato dalle proprietà sensoriali gradite, con le note olfattive e gustative espresse nel loro potenziale, senza difetti organolettici, con la cremosità e la percezione del freddo preferite dal cliente, e mirando anche ad avere la consistenza, l'*overrun*, la temperatura e la velocità di scioglimento desiderate.

Per fare questo studio si è scelto di effettuare i vari test sulla base bianca da gelateria che viene utilizzata per produrre la maggior parte dei gusti di gelato a base latte presenti in commercio ("Corso Base di Gelateria" Carpigiani Gelato University).

3. COLORAZIONE DEI GLOBULI DI GRASSO

3.1 Premessa

Per poter valutare le dimensioni dei globuli di grasso, è necessario sviluppare un protocollo di colorazione.

In letteratura sono presenti molti studi riguardanti l'osservazione al microscopio del latte, pertanto si è partiti dall'osservazione dello stesso, componente principale delle miscele base latte.

Per visualizzare i globuli di grasso sono stati utilizzati due coloranti lipofili.

3.2 Materiali e Metodi

3.2.1 Campioni di Latte

I campioni di latte commerciale utilizzati per la prova sono stati:

- Latte intero UHT a lunga conservazione;
- Latte parzialmente scremato UHT a lunga conservazione;
- Latte scremato delattosato UHT a lunga conservazione;
- Latte fresco intero alta qualità non omogeneizzato.

3.2.2 Coloranti per Microscopia

I coloranti che si sciolgono nei lipidi fanno parte della categoria dei lisocromi. Tali sostanze non reagiscono chimicamente con i substrati, ma si sciolgono nei globuli lipidici,

conferendogli la loro colorazione. Vengono preparati in soluzione alcolica (o in acetone) e passano per solubilità preferenziale all'interno dei globuli di grasso.

I coloranti scelti sono il Sudan III e il Sudan Black B.

Sudan III.

Il Sudan III è un colorante solubile nei grassi, utilizzato principalmente per colorare i trigliceridi in sezioni congelate di tessuti animali, ma può anche colorare alcune proteine legate ai lipidi nelle sezioni di paraffine. È solubile in cloroformio e toluene (1 mg/mL), in etanolo (2 mg/mL), poco solubile in acqua (<0,1 mg/mL).

Conferisce ai lipidi una colorazione giallo-arancione.



Fig.3.1. Da sinistra rispettivamente: formula chimica del Sudan III; bottiglia di Sudan III in isopropanolo a concentrazione di saturazione (Sudan III, Carlo Erba Reagents, Napoli, Italia).

Sudan Black B.

Il Sudan Black B è un colorante azoico. È un colorante diazolisocromo (liposolubile) non fluorescente, relativamente termostabile, utilizzato per la colorazione di trigliceridi e lipidi neutri su sezioni congelate e di alcune lipoproteine su sezioni di paraffine. Ha l'aspetto di una polvere marrone scuro – nera. Dà una colorazione nera. Il suo punto di fusione è tra 120-124 °C.

È un colorante simile al Sudan III, al Sudan IV e al Oil Red O. Viene utilizzato per colorare lipoproteine a bassa densità native o ossidate. Nella colorazione dei tessuti animali, colora alcuni lipidi polari che si trovano sulla membrana del globulo di grasso, conferendo una colorazione blu-nera.

È solubile in etanolo (10 mg/mL), può richiedere calore per una completa solubilizzazione. È anche solubile in acetone, benzene, toluene, solventi idrocarburici, grassi, oli e paraffine. È poco solubile in acqua (0,1 mg/mL).

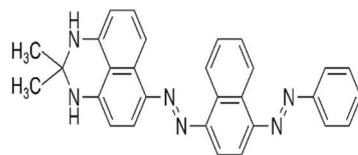


Fig.3.2. Da sinistra rispettivamente: formula chimica del Sudan Black B; bottiglia di Sudan Black B in polvere (Sudan Black B, Carlo Erba Reagents, Napoli, Italia).

Il Sudan III e il Sudan Black B, sono utilizzati per l'allestimento di campioni cito-istologici, da esaminarsi con microscopia ottica, e il metodo indicato dal fornitore del colorante, è per l'evidenziazione di lipidi su sezioni criostatiche di tessuto, dello spessore di 5µm. In mancanza di un protocollo per il loro utilizzo su latte o miscele a base latte, è stata seguita una procedura di colorazione per sedimenti urinari (Vol.66 N. J-STAGE-1 Caratteristica speciale sui sedimenti urinari, 2017), riportata in *fig.3.3*.

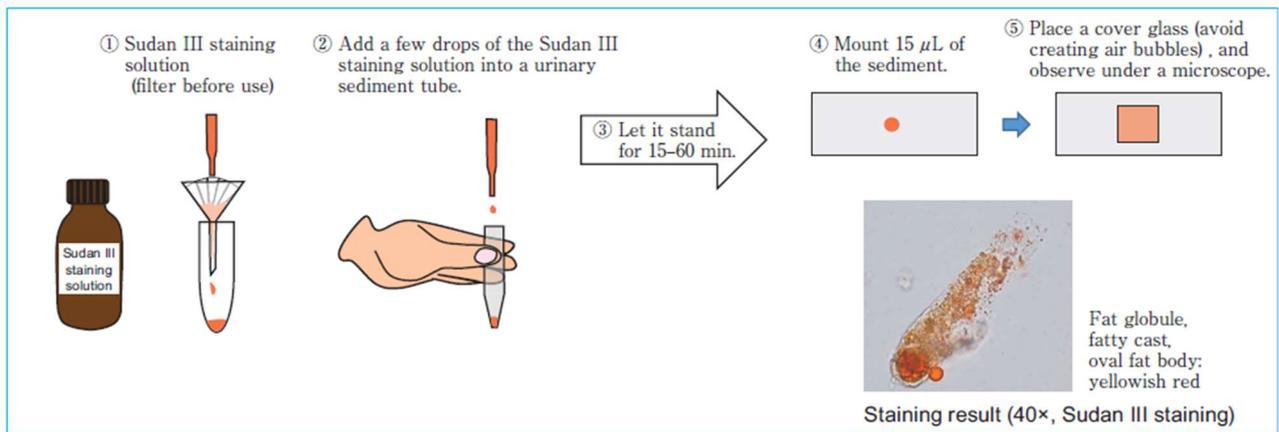


Fig.3.3. Protocollo di Colorazione al Sudan III per sedimenti urinari. (Vol.66 N. J-STAGE-1, 2017; Part 2, pag. 54)

3.2.3 Allestimento dei campioni

PREPARAZIONE DEI REAGENTI:

- prelevare 20mL di soluzione satura di Sudan III e filtrarla;
- solubilizzare 3mg di Sudan Black B in 10mL di etanolo assoluto;
- filtrare la soluzione dai residui.



Fig.3.4. Soluzioni filtrate di Sudan III (a sinistra) e di Sudan Black B (a destra).

PREPAZIONE DEI VETRINI:

I vetrini si preparano ponendo 10 μ L di campione, senza strisciarlo.

Il microscopio ottico utilizzato in queste prove è il Nikon Eclipse 50i.



Fig.3.5. Microscopio ottico Nikon Eclipse 50i.

3.2.4 Microscopia Ottica per Campioni di latte non colorati

PROCEDIMENTO:

- 1) preparare un vetrino con latte intero;
- 2) preparare un vetrino con latte parzialmente scremato;
- 3) preparare un vetrino con latte scremato;
- 4) osservare i vetrini al microscopio ottico, con ingrandimento 100X.

3.2.5 Microscopia Ottica per Campioni di latte colorati

PROCEDIMENTO:

- 1) inserire in una provetta 1mL di latte alta qualità non omogenizzato;
- 2) aggiungere 1mL di soluzione filtrata di Sudan III;
- 3) lasciare a riposo per 15 minuti;
- 4) osservare al microscopio ottico;
- 5) inserire in una provetta 1mL di latte alta qualità non omogeneizzato;
- 6) aggiungere 0,5mL di soluzione filtrata di Sudan Black B;
- 7) lasciare a riposo per 15 minuti;
- 8) osservare al microscopio;
- 9) inserire in una provetta 1mL di latte scremato;
- 10) aggiungere 0,5mL di soluzione filtrata di Sudan Black B;
- 11) lasciare a riposo per 15 minuti;
- 12) osservare al microscopio.

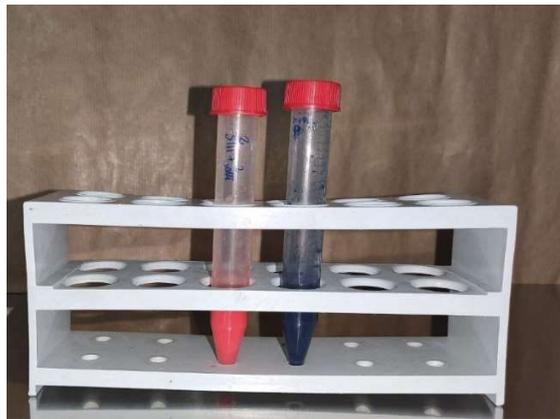


Fig.3.6. Provette contenenti campioni di latte colorati con Sudan III (in rosso) e Sudan Black B (in blu).

3.3 Risultati

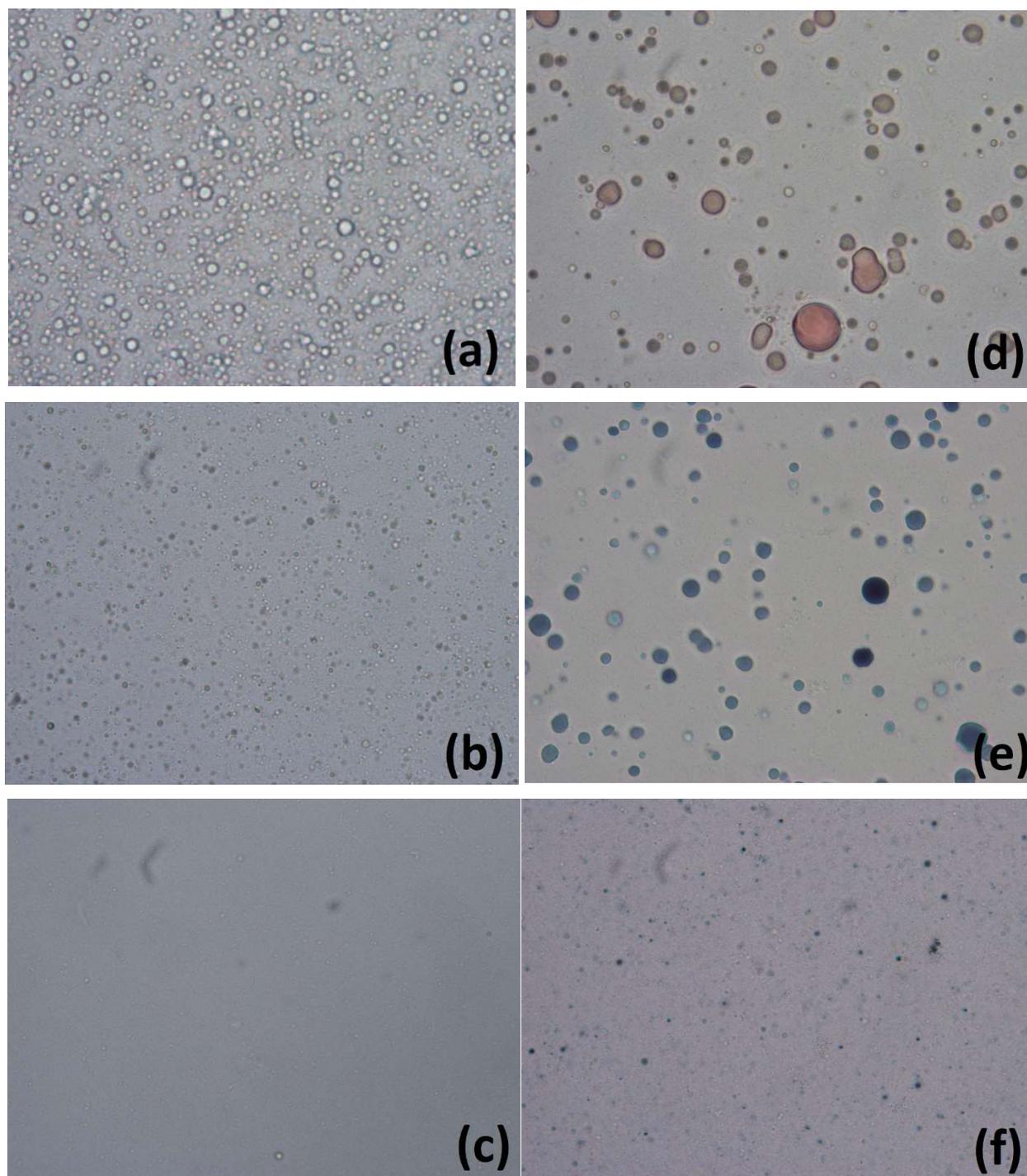


Fig.3.7. Campioni di latte visti al microscopio con ingrandimento 100X. (a) latte intero; (b) parzialmente scremato; (c) scremato; (d) latte Alta Qualità non Omogeneizzato colorato con Sudan III; (e) latte Alta Qualità non Omogeneizzato colorato con Sudan Black B; (f) latte scremato delattosato colorato con Sudan Black B.

Come si può osservare in *fig.3.7*, nei campioni di latte non colorati, si osserva una diminuzione di globuli passando dal latte intero (*a*), al parzialmente scremato (*b*), allo scremato (*c*). Questa è una prima prova che suggerisce che quelli che si vedono sono i globuli di grasso.

Il Sudan III dà una colorazione non molto intensa (*d*) che risulta essere rossa e non giallo-arancione. Confrontandola con la colorazione con Sudan Black B (*e*) si osserva che in entrambi i casi i globuli si sono colorati, questo suggerisce che i globuli siano di natura lipidica.

Facendo un confronto con latte scremato delattosato scremato (*f*), non si osservano dei globuli colorati, questo conferma che quelli che si vedono colorati in figura (*e*) sono effettivamente i globuli di grasso e non il colorante che si è disposto in globuli.

Le prove confermano che ciò che si vede al microscopio sono effettivamente i globuli di grasso.

4. TEST SU MISCELE A BASE LATTE

4.1 Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale del progetto è riportato in termini generali nello *schema 4.1* e si sviluppa secondo i seguenti step:

STEP 1 : Preparazione della miscela gelato

1. introduzione degli ingredienti nel pastorizzatore (Pastomaster 60 HE);
2. avvio del ciclo di bassa pastorizzazione;
3. prelievo della miscela al termine della pastorizzazione;
4. misura del valore di pH;
5. studio del comportamento reologico mediante Brookfield Viscometer RVDV-I Prime;
6. osservazione al microscopio ottico;
7. avvio fase di maturazione per un tempo di 5h;
8. ripetere i punti 4-5-6 dopo 3h di maturazione;
9. ripetere i punti 4-5-6 al termine della maturazione.

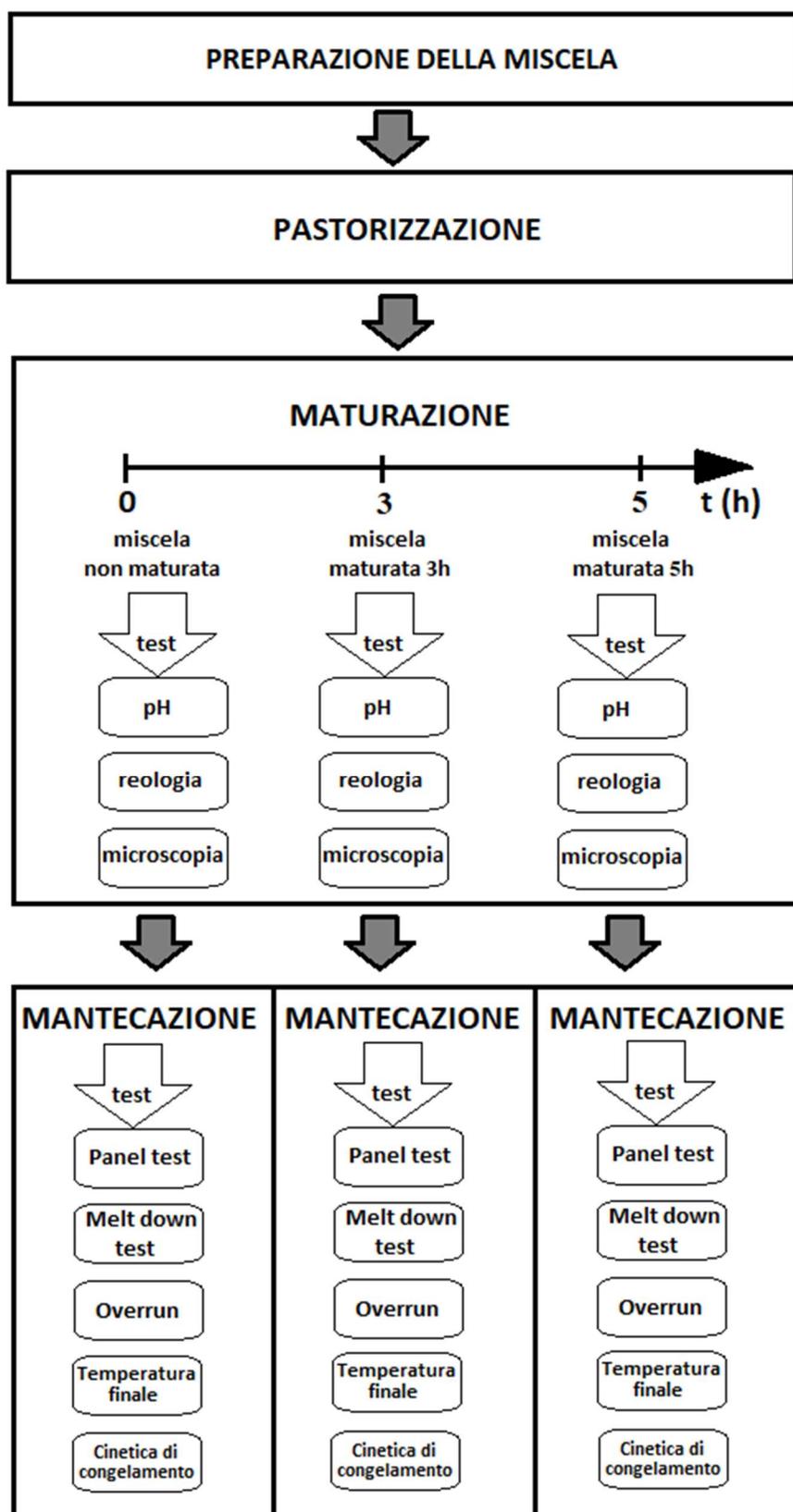
In *tab.4.1* sono riassunti i minuti di maturazione per ciascuna miscela.

Tab.4.1. Miscele ottenute con relativo tempo di maturazione.

Miscela	Tempo di maturazione
Mix al tempo t_0	0 min
Mix al tempo t_1	3 ore
Mix al tempo t_2	6 ore

STEP 2 : Produzione del gelato

1. trasferire 3 litri di miscela al tempo t_0 all'interno del mantecatore Carpigiani (Ready 14 20) con sonda J inserita;
2. avviare un primo ciclo di mantecazione allo scopo di raffreddare la macchina;
3. svuotare la macchina e sciacquare i residui di gelato;
4. trasferire 3 litri di miscela al tempo t_0 all'interno del mantecatore;
5. avviare il ciclo di mantecazione;
6. monitorare la temperatura mediante termometro *datalogger* compatibile con sonda J, ogni 20 secondi;
7. segnare il tempo di fine mantecazione (HOT 100);
8. estrarre il gelato;
9. misurare la temperatura del gelato;
10. misurare l'*overrun*;
11. avviare il *Melt Down Test*;
12. effettuare l'analisi sensoriale attraverso il *Panel Test*;
13. elaborare i dati;
14. ripetere i punti 2 - 10 per la miscela al tempo t_1 ;
15. ripetere i punti 2 - 10 per la miscela al tempo t_2 .



Schema 4.1. Disegno sperimentale per ciascuna miscela.

4.2 Cinetica di Congelamento

Due proprietà tecnologiche chiave nella produzione del gelato sono la capacità della miscela di incorporare bolle d'aria disperdendole finemente e l'abilità di supportare una veloce cristallizzazione delle molecole d'acqua, al fine di ottenere cristalli di ghiaccio finemente dispersi.

Esse dipendono da tre fattori:

- formulazione della ricetta;
- caratteristiche del mantecatore;
- qualità desiderata del gelato.

Una volta stabilito il tipo di gelato desiderato (artigianale, soft, industriale) e tipo di mantecatore, rimane da indagare come la formulazione della ricetta influenzi queste proprietà.

È stato osservato che durante la mantecazione delle miscele gelato, si verificano alcuni eventi di sottoraffreddamento, dove si alternano effetti endotermici ed esotermici (Giudici et al., 2020). Nel caso di mantecazione di miscele a base latte senza stabilizzanti, è stato osservato che questi effetti si presentano in maniera più accentuata, quindi suggeriscono che sia la presenza degli stabilizzanti a smorzare le fluttuazioni della temperatura durante il processo di mantecazione della miscela. Vedi *fig.4.1* e *fig.4.2*.

La presenza degli stabilizzanti infatti ha molteplici effetti sulla miscela gelato. Gli emulsionanti promuovono la destabilizzazione dei grassi e gli addensanti sono responsabili dell'alto valore iniziale della viscosità.

Nel caso delle miscele gelato, sono state individuate quattro fasi principali della curva di congelamento:

- 1) una fase di raffreddamento lineare, denominata *chilling*;
- 2) una fase di nucleazione dinamica, caratterizzata dalla fluttuazione della temperatura;

- 3) un breve stato stazionario, dove la temperatura rimane costante;
- 4) una fase di cristallizzazione dinamica del ghiaccio, in cui la cinetica di cristallizzazione dell'acqua è al suo punto di accelerazione e il ghiaccio inizia ad accumularsi dentro la miscela.

Al termine della fase di *chilling*, la miscela è sottoraffreddata, con IS viene indicato il sottoraffreddamento iniziale. Dopodiché la miscela raggiunge il punto di congelamento iniziale (IFP), dove ha inizio la cristallizzazione della miscela. Nella fase stazionaria, la miscela ha raggiunto il punto di congelamento iniziale effettivo (IFP_{eff}).

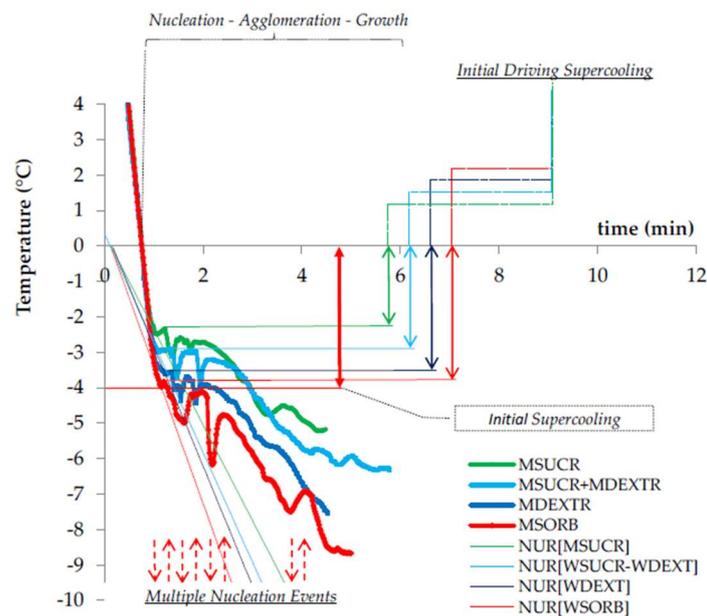


Fig.4.1. Curva di congelamento di miscele a base latte senza stabilizzanti. (Giudici et al, 2020).

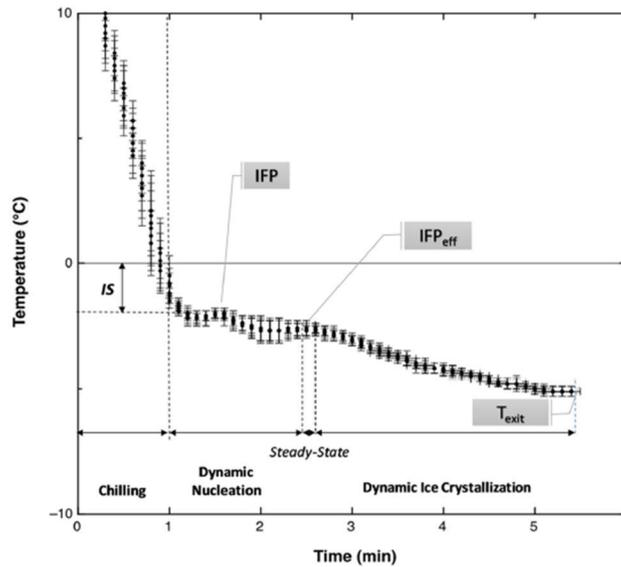


Fig.4.2. Curva di congelamento per una miscela gelato a base latte. (Giudici et al, 2020). IFP è il punto di congelamento iniziale; IFP_{eff} è il punto di congelamento iniziale effettivo; IS è il sottoraffreddamento iniziale.

4.3 Melt Down Test

Il test di scioglimento del gelato (*melt down test*) è definito da tre tipologie di misura (tempo, velocità e massa), che insieme contribuiscono a fornire informazioni sulla resistenza allo scioglimento del gelato se esposto a temperatura ambiente. Queste tre misurazioni forniscono un'indicazione della velocità di fusione complessiva del gelato e vengono effettuate dopo che il gelato ha raggiunto la temperatura di conservazione.

4.4 Materiali e Metodi

4.4.1 Strumenti e Ricette

La strumentazione utilizzata è la seguente:

- pastorizzatore Carpigiani Pastomaster 60 HE;
- mantecatore Carpigiani Ready 14-20;
- sonda J per temperatura;
- reometro Brookfield Viscometer & Rheometer RVDV-I Prime con UL Adapter;
- microscopio ottico Nikon Eclipse 50i;
- pHmetro;
- bilancia;
- coppetta per gelato;
- coppetta per *overrun*.

Gli ingredienti necessari sono:

- latte fresco intero alta qualità, latte magro in polvere, panna al 35% di grassi, saccarosio, sciroppo di glucosio dry, destrosio;
- emulsionante E471 (mono- e di-gliceridi degli acidi grassi);
- addensanti E410 e E412 (farina di semi di carruba e farina di semi di guar).

La miscela gelato standard che viene utilizzata per produrre la base bianca per gelateria, ha la composizione indicata in *tab.4.2* e raffigurata in *fig.4.3*. Gli stabilizzanti costituiscono lo 0,46% della miscela e sono generalmente ripartiti al 66% di emulsionanti (mono- e di-gliceridi degli acidi grassi) e al 34% di addensanti. Gli addensanti a loro volta sono composti al 60% di farina di semi di carruba (E410) e al 40% di farina di semi di guar (E412).

Lo studio prevede la comparazione delle ricette riportate in *tab.4.3*, allo 0,46% di stabilizzanti, dove si è variato il rapporto di ripartizione tra emulsionanti e addensanti. La composizione è indicata in *tab.4.4*.

Tab.4.2. Composizione della miscela gelato standard utilizzata per la produzione della base bianca.

Ingredienti	Quantità (g)	Composizione (%)
<i>Latte intero</i>	1030	67,32
<i>Saccarosio</i>	210	13,73
<i>Panna 35%</i>	160	10,46
<i>Latte magro in polvere</i>	51	3,33
<i>Sciroppo di Glucosio Dry</i>	50	3,27
<i>Destrosio</i>	22	1,44
<i>Stabilizzanti</i>	7	0,46
TOTALE	1530	

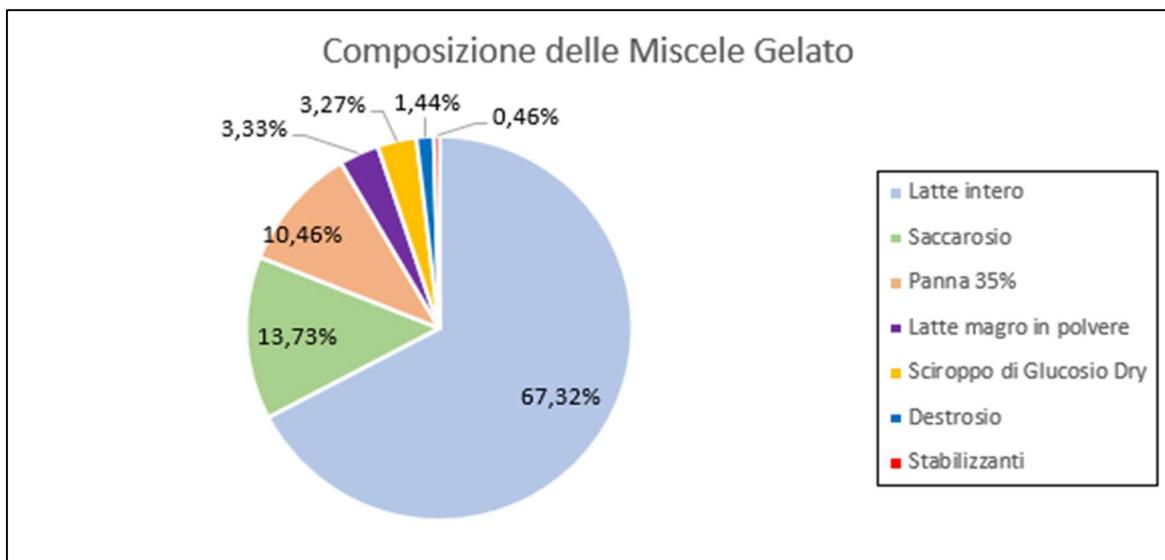


Fig.4.3. Composizione delle miscele gelato.

Tab.4.3. Ricetta completa della miscela 1 (mix1), miscela 2 (mix2) e miscela 3 (mix3).

Ingredienti	Mix 1 ST (g)	Mix 2 (g)	Mix 3 (g)
<i>Latte intero</i>	1030	1030	1030
<i>Latte magro p.</i>	51	51	51
<i>Panna 35%</i>	160	160	160
<i>Saccarosio</i>	210	210	210
<i>Sc. Glucosio dry</i>	50	50	50
<i>Destrosio</i>	22	22	22
<i>Emulsionante E471</i>	4,62	6,37	2,87
<i>E410 (Carruba)</i>	1,43	0,38	2,48
<i>E412 (Guar)</i>	0,95	0,25	1,65
TOTALE	1530	1530	1530

Tab.4.4. Composizione percentuale degli stabilizzanti nelle miscele. La miscela 1 è quella che normalmente viene utilizzata come base bianca; le miscele 2 e 3 sono state formulate incrementando e diminuendo il rapporto di ripartizione tra emulsionanti ed addensanti, di 25 punti percentuali.

Mix 1 (Standard)	Emulsionanti	66 %	Mono- e di-gliceridi degli acidi grassi	
	Addensanti	34 %	Carruba	60 %
			Guar	40 %
Mix 2	Emulsionanti	91 %	Mono- e di-gliceridi degli acidi grassi	
	Addensanti	9 %	Carruba	60 %
			Guar	40 %
Mix 3	Emulsionanti	41 %	Mono- e di-gliceridi degli acidi grassi	
	Addensanti	59 %	Carruba	60 %
			Guar	40 %



Fig.4.4. Ingredienti utilizzati per la produzione di una miscela gelato. Figura a) Latte intero fresco alta qualità e panna fresca al 35% di grassi. Nella figura b) sono indicati 1) saccarosio; 2) latte magro in polvere; 3) mono- e di-gliceridi degli acidi grassi; 4) destrosio; 5) sciroppo di glucosio dry; 6) farina di semi di carruba; 7) farina di semi di guar.

4.4.2 Carpigiani Pastomaster 60 HE

Il pastorizzatore utilizzato è il Pastomaster 60 HE (*fig.4.5* e *fig.4.6*), che consente un'alta micronizzazione dei globuli di grasso a dimensioni fini da 2 a 5 micron, per ottenere gelati più cremosi. Ha una capacità minima di 15 litri e massima di 60 litri.

Le informazioni tecniche sono le seguenti:

- produzione 60-120 litri/minuto;
- raffreddamento ad acqua;
- tensione nominale 400V, 50Hz, 3 ph;
- codice/matricola: IC169957.



Fig.4.5. Carpigiani Pastomaster 60 HE



Fig.4.6. Carpigiani Pastomaster 60 HE, a sinistra durante la fase di riscaldamento, a destra in fase di sosta.

4.4.3 Brookfield Viscometer & Rheometer RVDV-I Prime

Il viscosimetro utilizzato è il Brookfield Viscometer & Rheometer RVDV-I Prime (*fig.4.7*) su cui è stato montato l'UL Adapter (*fig.4.8*), che viene utilizzato per campioni di piccolo volume (16mL). È designato per garantire una maggiore sensibilità alle basse viscosità.

Le specifiche tecniche sono le seguenti:

- peso: 9 kg;
- condizioni operative: 0 – 40 °C;
- accuratezza della viscosità: $\pm 1\%$.

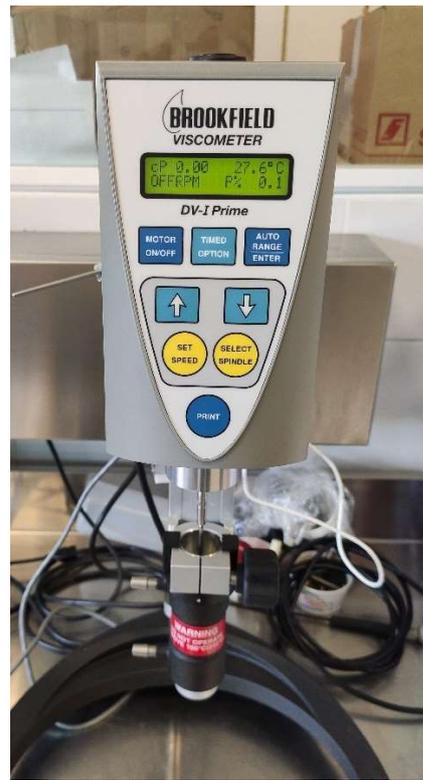


Fig.4.7. Brookfield Viscometer & Rheometer RVDV-I Prime. A destra, con *spindle* cilindrico e *UL Adapter*.



Fig.4.8. A sinistra, supporto per *UL Adapter*; a destra, *spindle* cilindrico e *UL Adapter*.

4.4.4 Carpigiani Ready 14 20 con portellino modificato

Il mantecatore utilizzato nelle prove è il Carpigiani Ready 14 20, che ha una produzione oraria di minimo 14 kg fino ad un massimo di 20 kg, con un minimo di 2 kg e un massimo di 4 kg per ciclo.

Le informazioni tecniche sono le seguenti:

- raffreddamento ad aria;
- tensione nominale 230V, 50Hz, 1 ph;
- codice/matricola: IC1601157.



Fig.4.9. Carpigiani Ready 14 20.



Fig.4.10. Agitatore del Carpigiani Ready 14 20.



Fig.4.11. Sonda J per rilevamento della temperatura inserita nel portellino del mantecatore, a) vista dall'interno, b) vista dall'esterno.



Fig.4.12. Carpigiani Ready 14 20, vista frontale. Nel rettangolo blu, l'estremità a contatto diretto con la miscela; nel rettangolo rosso, l'estremità da collegare al termometro.



Fig.4.13. Carpigiani Ready 14 20, a) in fase di mantecazione; b) a fine mantecazione. Nel rettangolo rosso è indicato l'HOT.



Fig.4.14. Il gelato ottenuto al termine della mantecazione.

4.4.5 Misura del pH

Il pH della miscela gelato è stato misurato alla temperatura di 4°C utilizzando il pHmetro EUTECH_pH700 (fig.4.15). Un valore di riferimento è 6,5 che è il valore generalmente misurato per miscele a base latte. Un incremento o un decremento pari a 2,0 punti rispetto al valore di riferimento è considerato inaccettabile.



Fig.4.15. Misura del pH di una miscela gelato.

4.4.6 Analisi Reologica

STRUMENTAZIONE:

- Brookfield Viscometer & Rheometer RVDV-I Prime;
- *spindle* cilindrico;
- *UL Adapter*;
- software Wingather v3.0.

È stata eseguita la procedura *Up-down Rate Ramp*, che consiste nel valutare la viscosità a diverse velocità di rotazione dello *spindle*, prima crescenti e poi decrescenti (1.5, 3, 6, 12, 30, 60, 100, 60, 30, 12, 6, 3, 1.5 RPM rispettivamente); sulla base di questi valori il software fornisce l'andamento reologico. È stato selezionato il modello matematico che dà il *best fit* dei dati sperimentali.

4.4.7 Microscopia

I vetrini sono stati preparati con la miscela gelato alla temperatura di maturazione e osservati al microscopio ottico ad ingrandimento 100X. Le immagini sono state acquisite col software NIS-Elements F 5.21.00 ed elaborate con il software NIS-Elements D 3.2.

4.4.8 Calcolo del punto di congelamento iniziale teorico

Il punto di congelamento iniziale teorico viene utilizzato per definire la temperatura a cui l'acqua inizia a cristallizzare in una soluzione. Tale valore è stato stimato utilizzando il metodo del saccarosio equivalente (Goff et al, 2013). Al fine di considerare il contributo dei diversi zuccheri presenti nelle miscele, ognuno di essi è stato convertito in saccarosio equivalenti, che è la concentrazione equivalente di saccarosio che conferisce lo stesso effetto di abbassamento del punto di congelamento, in una soluzione acquosa di solo

saccarosio. Per i solidi magri del latte e per il cloruro di sodio, sono state utilizzate l'equazione di Goff e Hartel (Goff et al, 2013) e di Potter (et al, 1978) rispettivamente.

Grassi, proteine, polisaccaridi a lunga catena (tranne inulina e maltodestrine), emulsionanti e addensanti non contribuiscono all'abbassamento del punto di congelamento poiché i grassi sono immiscibili nella fase acquosa, le proteine e i polisaccaridi sono molecole molto grandi con una capacità trascurabile di legare le molecole d'acqua rispetto a monosaccaridi, disaccaridi, alcoli e sali (Goff et al, 2013).

$$SE = [S] + 1.9 [M]$$

$$FPD_{sugars} (^{\circ}C) = 0.00009[SE]^2 + 0.0612[SE]$$

$$FPD_{MSFN} (^{\circ}C) = 2.37 \left(\frac{[MSFN]}{[Mw]} \right)$$

$$FPD_{NaCl} (^{\circ}C) = 0.581855 \left(100 \cdot \frac{[NaCl]}{[Mw]} \right) + 0.0034889 \left(100 \cdot \frac{[NaCl]}{[Mw]} \right)^2 + 0.0004314 \left(100 \cdot \frac{[NaCl]}{[Mw]} \right)^3$$

$$IFPt (^{\circ}C) = -(FPD_{sugars} + FPD_{MSFN} + FPD_{NaCl})$$

Dove:

[SE] = saccarosio equivalenti;

[S] = percentuale in peso del saccarosio nella miscela gelato;

[M] = percentuale in peso dei monosaccaridi nella miscela gelato;

FPD_i = contributo di abbassamento del punto di congelamento della sostanza i (*freezing point depression*), espresso in $^{\circ}C$;

[MSFN] = percentuale in peso dei solidi del latte non grassi (*milk solids not fat*);

[M_w] = percentuale in peso dell'acqua nella miscela gelato;

[NaCl] = percentuale in peso del cloruro di sodio nella miscela gelato;

IFP_t = punto di congelamento teorico iniziale, espresso in °C.

4.4.9 Panel Test

L'utilizzo di un protocollo è molto importante per standardizzare i risultati dell'analisi sensoriale. Bodyfelt et al. (1998) hanno sviluppato una scheda specifica per i gelati, che è stata il punto di partenza per sviluppare il protocollo di valutazione per *panel test* di gelati utilizzato in Carpigiani. Il metodo adottato prevede di avvicinare la coppetta agli occhi e, servendosi di una paletta, si preleva una piccola porzione di gelato dalla superficie. Dopo aver inspirato per circa tre secondi, si porta alla bocca e si lascia fondere tra lingua e palato. Si apprezzano i sapori (dolce, eventualmente acido, amaro, a volte salato) e ci si concentra sugli aromi che si percepiscono.

La mappa sensoriale utilizzata è stata quella specifica per il gusto fiordilatte, sviluppata da Carpigiani, i cui parametri sono raggruppati in quattro categorie:

- vista (intensità di colore, omogeneità superficiale);
- olfatto (intensità olfattiva);
- tatto e gusto (dolce, amaro, acido, cremosità, freddo);
- retro-olfatto (latte, panna, floreale, cotto).

I giudici per ogni parametro esprimono un giudizio tra quelli riportati nella scheda a cui corrisponde un punteggio numerico, come riportato in *tab.4.5*.

Tab.4.5. Sistema di punteggio adottato per la valutazione sensoriale.

Giudizio	Punteggio
Assente	0
Basso	3
Medio	6
Elevato	9

I *panel test* si sono svolti all'interno del laboratorio climatizzato alla temperatura di circa 20 gradi, i *panelists* sono stati scelti tra il personale dell'azienda Carpigiani, quindi non tutti specificamente addestrati ma comunque abituati all'assaggio del gelato.

4.4.10 *Melt Down Test*

STRUMENTAZIONE:

- becher o ciotola;
- rete metallica o colino;
- bilancia;
- coppetta di carta per gelato da 185mL;

PROCEDURA:

Posizionare il becher sulla bilancia, in una camera a temperatura costante, e sistemare il colino con un'impalcatura, in modo che sia sospeso sopra il becher. Rimuovere la base dalla coppetta di gelato (*fig.4.16*) e riempirla col gelato appena mantecato. Sistemare la coppetta su una base di plastica per pesarla. Rimuovere la base e posizionare la coppetta sul colino. Avviare il cronometro e prendere nota del minuto in cui compare la prima goccia di gelato sciolto, poi annotare ogni 5 minuti il peso del gelato sciolto e il tempo necessario per far sciogliere tutta la massa di gelato.



Fig.4.16. Coppetta per *melt down test*, di diametro inferiore 6,5 cm; diametro superiore 8 cm; altezza 5,8 cm.

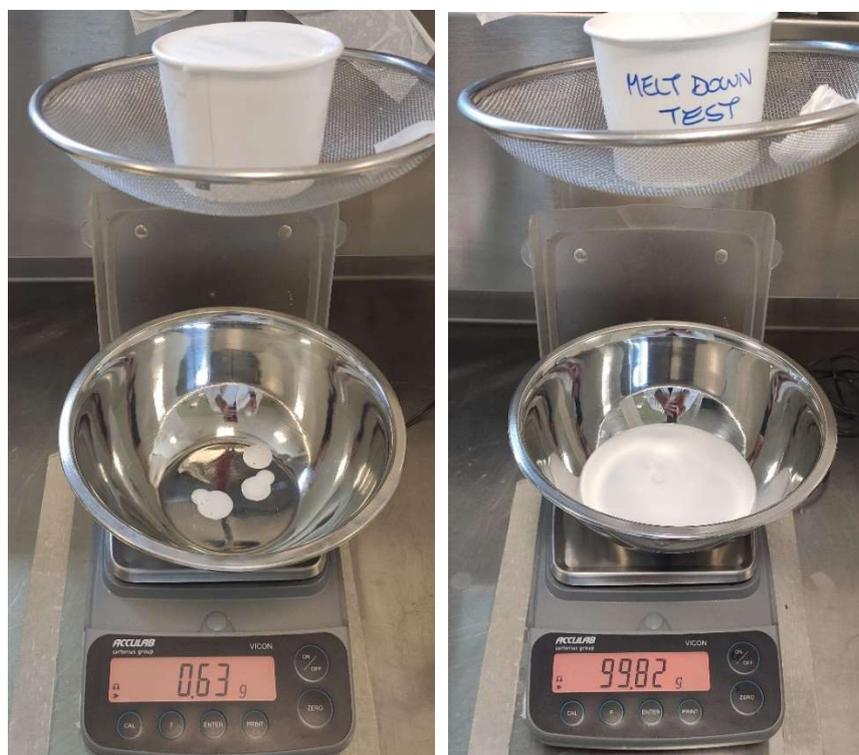


Fig.4.17. *Melt Down Test*.

4.4.11 Misura dell'*Overrun*

La misura dell'*overrun* si effettua mediante un'apposita coppetta. Per questo test ne è stata utilizzata una da 135mL (fig.4.18).

PROCEDURA:

Riempire la coppetta per l'*overrun* fino all'orlo con la miscela gelato e annotarne il peso, poi svuotare la miscela e riempirla con il gelato appena mantecato, avendo cura di non lasciare zone vuote. Con una spatola, livellare il gelato della coppetta all'altezza del bordo, asportando la quantità in eccedenza.

Prendere nota del peso e calcolare l'*overrun* con la seguente formula (Fredrick et al, 2013):

$$Overrun(\%) = \frac{W_{mix\ liquida} - W_{gelato}}{W_{gelato}} \cdot 100$$

Con:

$W_{mix\ liquida}$ = peso della miscela liquida contenuta nella coppetta;

W_{gelato} = peso del gelato contenuto nella coppetta.



Fig.4.18. Coppetta per *overrun*. A destra, coppetta riempita di gelato, senza bolle d'aria e con la superficie livellata.

4.5 Risultati e Discussioni

4.5.1 Analisi del pH

I risultati delle analisi del pH per ciascuna miscela, a diversi tempi di maturazione sono indicati in *tab.4.6*.

Tab.4.6. Andamento del pH della miscela, all'aumentare del tempo di maturazione della miscela.

t (h)	pH		
	Mix1	Mix2	Mix3
0	6,55±0,01	6,61±0,01	6,64±0,04
3	6,62±0,08	6,68±0,01	6,69±0,01
5	6,60±0,01	6,69±0,02	6,71±0,01

4.5.2 Analisi Reologica

Il modello matematico che approssima meglio i dati sperimentali è il modello di Herschel-Bulkley. Il profilo di viscosità e il comportamento reologico sono indicati in *fig.4.19* e in *fig.4.20*. In *tab.4.7* sono tabulati i valori dei parametri del modello di Herschel-Bulkley per ciascuna miscela.

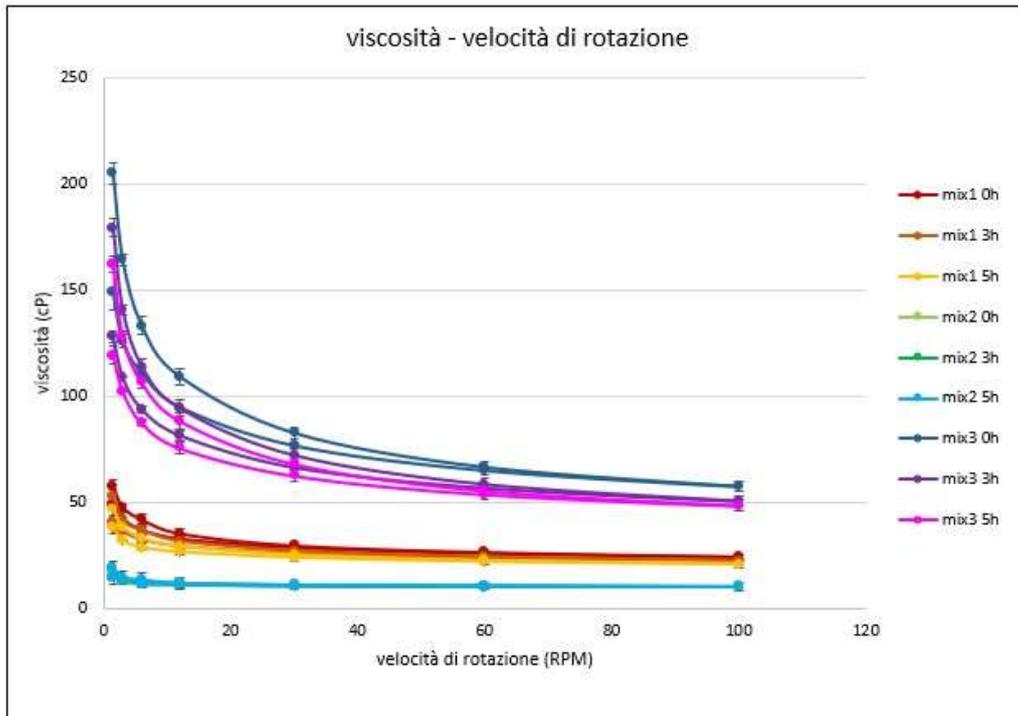


Fig.4.19. Profilo di viscosità a diverse velocità di rotazione, per miscele gelato, a diversi tempi di maturazione.

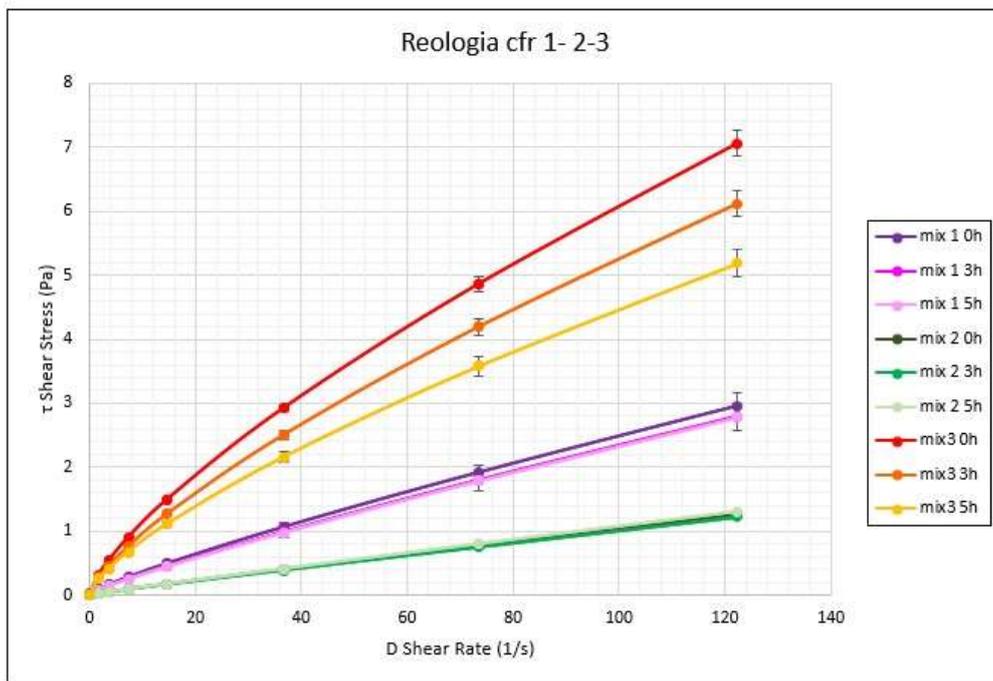


Fig.4.20. Reologia di miscele gelato a diversi tempi di maturazione.

Tab.4.7. *Yield Stress, Consistency Index e Flow Index* per miscele gelato a diversi tempi di maturazione.

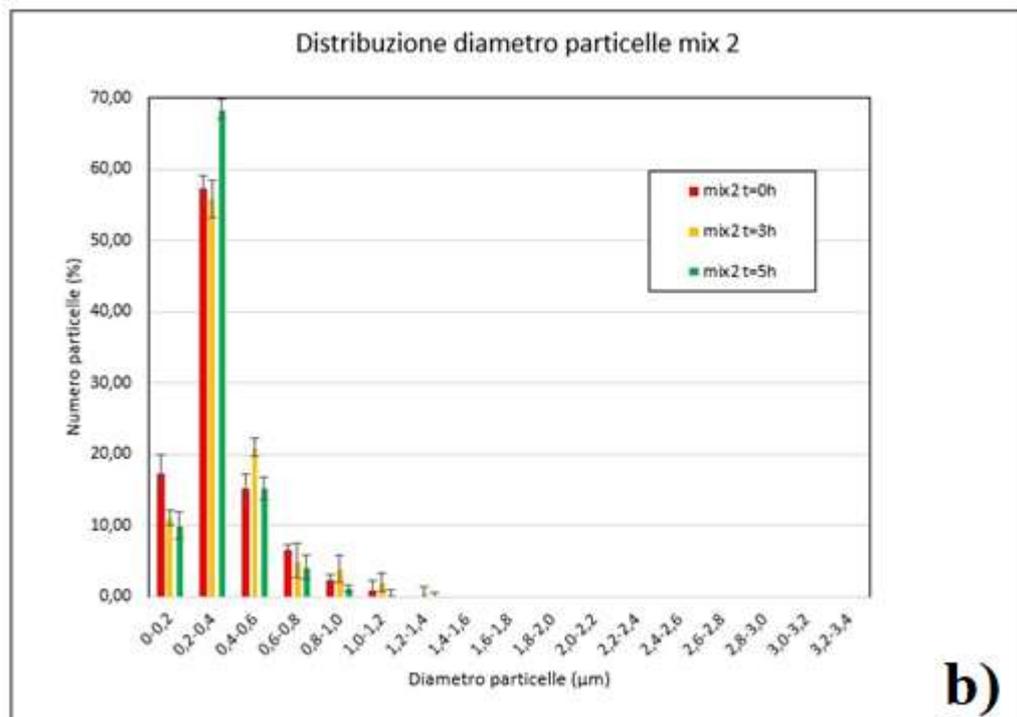
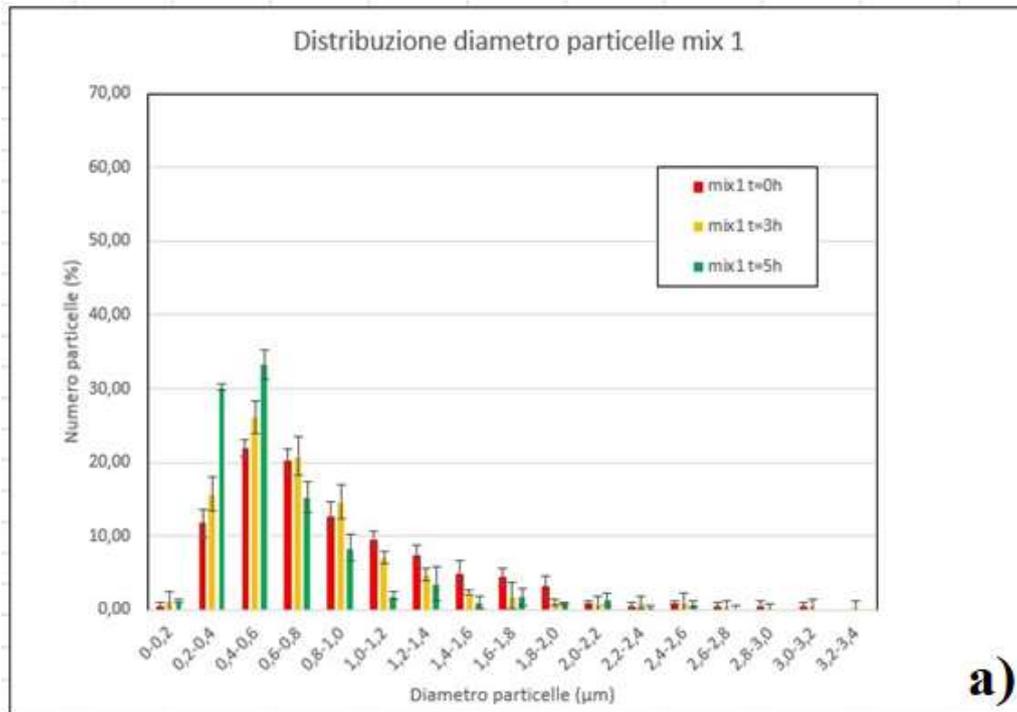
Yield Stress (Pa)			
t (h)	Mix1	Mix2	Mix3
0	0,0195±0,0009	0,0060±0,0002	0,0010±0,0005
3	0,0135±0,0008	0,1009±0,0001	0,0030±0,0002
5	0,0135±0,0006	0,0095±0,0001	0,0120±0,0002

Consistency Index (Pa*sⁿ)			
t (h)	Mix1	Mix2	Mix3
0	0,04830±0,0001	0,01255±0,0001	0,2118±0,0001
3	0,04245±0,0002	0,01175±0,0001	0,1744±0,0002
5	0,04135±0,0001	0,01225±0,0001	0,1550±0,0001

Flow Index			
t (h)	Mix1	Mix2	Mix3
0	0,855±0,005	0,960±0,001	0,730±0,001
3	0,870±0,001	0,965±0,001	0,740±0,001
5	0,875±0,005	0,970±0,001	0,730±0,001

4.5.3 Analisi al Microscopio Ottico

I risultati delle analisi al microscopio ottico elaborati dal software NIS-Elements D 3.2 sono indicati in *fig.4.21* e in *tab.4.8*.



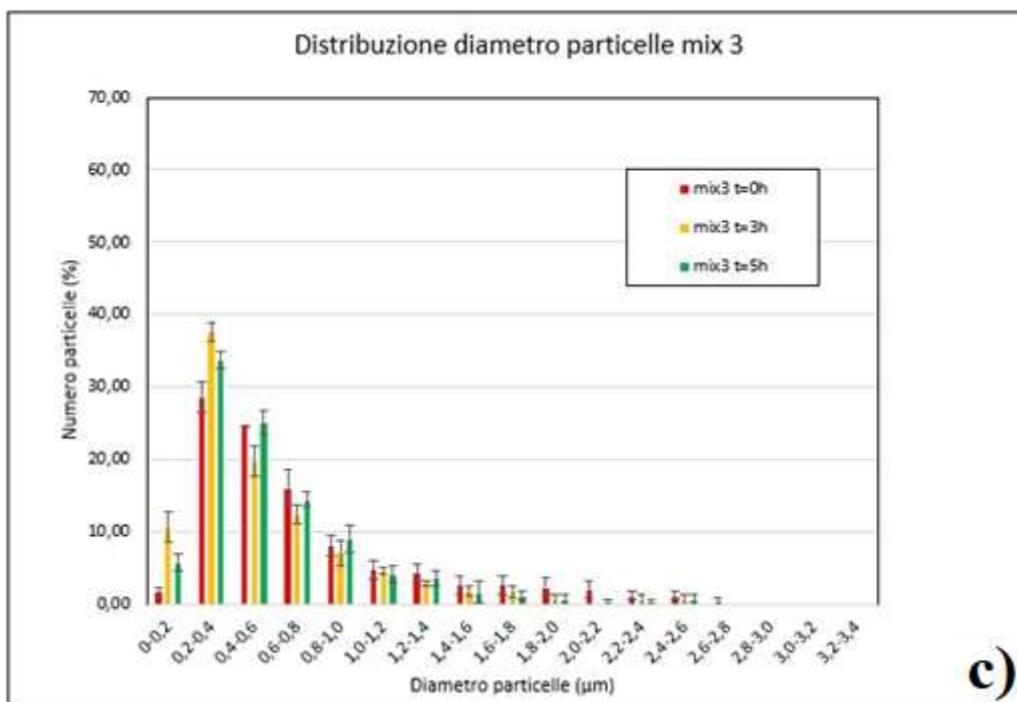


Fig.4.21. Distribuzione del diametro delle particelle a diversi tempi di maturazione per a) mix1, b) mix2, c) mix3.

Tab.4.8. Diametro medio dei globuli di grasso delle miscele gelato a diversi tempi di maturazione.

t (h)	diametro globuli di grasso (μm)		
	Mix1	Mix2	Mix3
0	0,90±0,06	0,34±0,03	1,02±0,06
3	0,79±0,06	0,39±0,04	0,79±0,04
5	0,63±0,07	0,34±0,04	0,74±0,02

4.5.4 Analisi della Cinetica di Congelamento della miscela

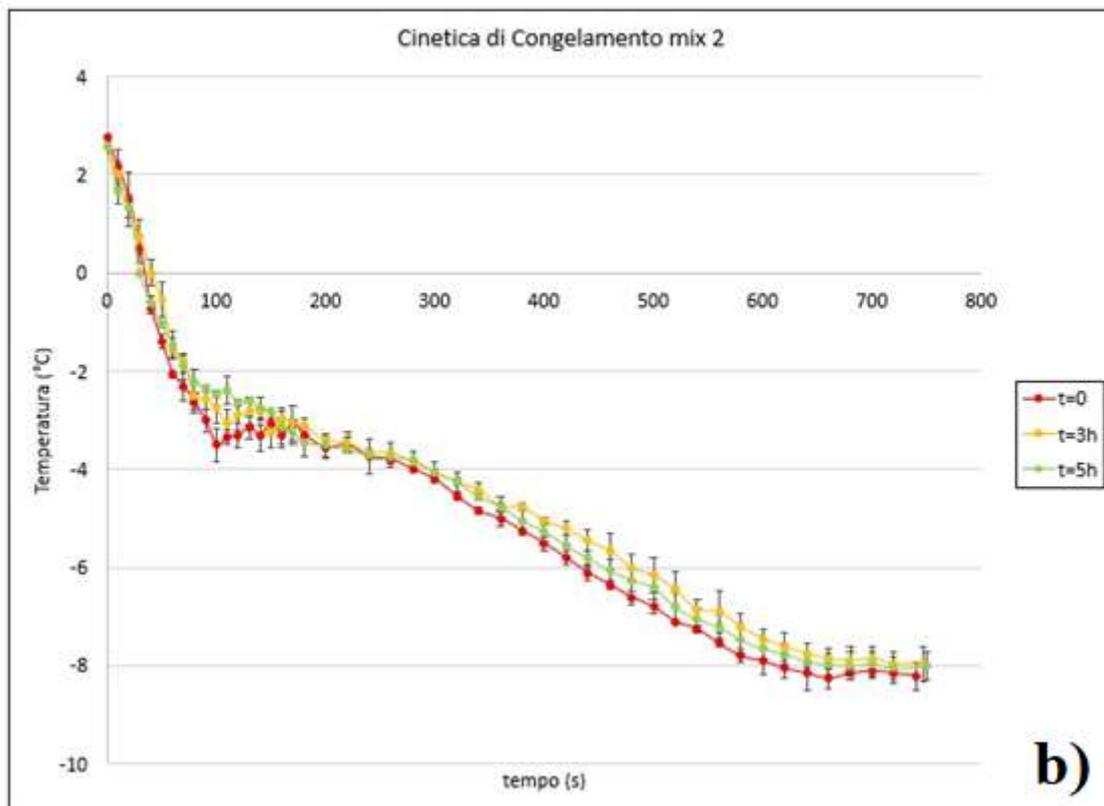
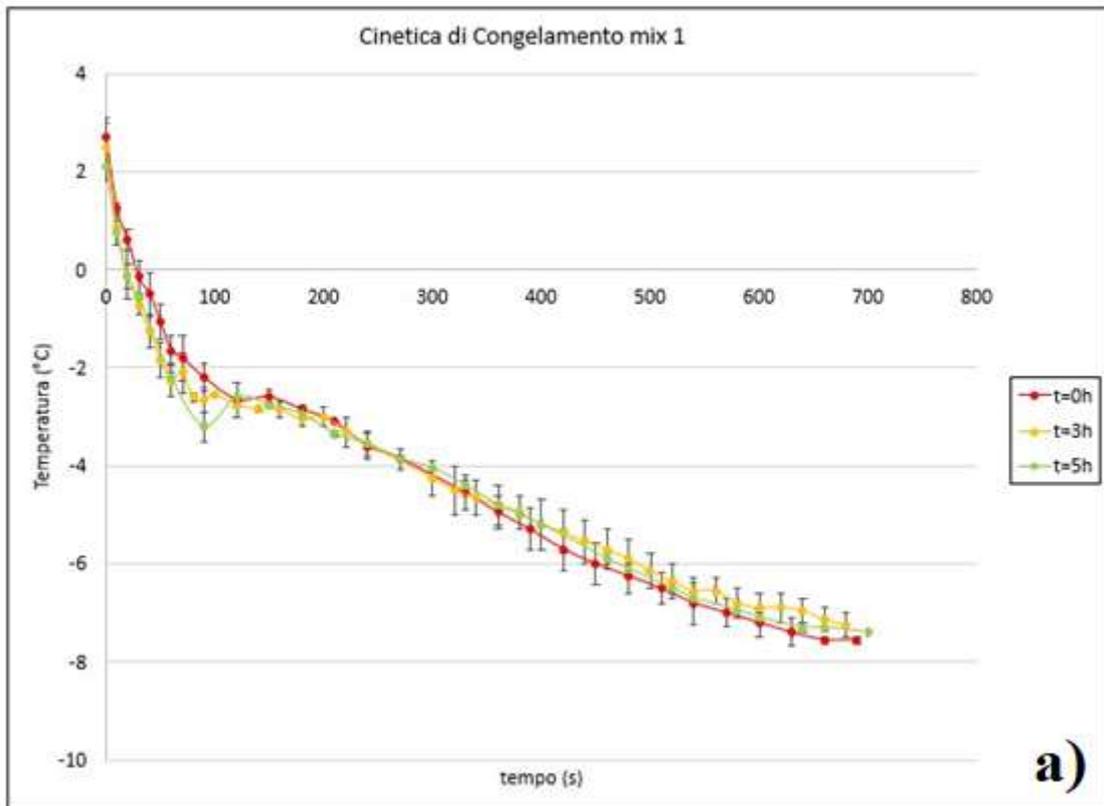
I risultati dell'analisi della cinetica di congelamento delle miscele sono di seguito riportati in termini di: tempo di congelamento (*tab.4.9*), calcolo del punto di congelamento teorico iniziale (*tab.4.10*), cinetica di congelamento a diversi tempi di maturazione (*fig.4.22*), fasi della cinetica per ciascuna miscela (*fig.4.23*) e rispettiva durata (*tabelle 4.11, 4.12, 4.13*).

Tab.4.9. Andamento del tempo di congelamento all'aumentare del tempo di maturazione delle miscele.

t (h)	Tempo congelamento (s)		
	Mix1	Mix2	Mix3
0	690±10	740±10	650±10
3	680±10	747±11	657±6
5	700±10	750±10	680±10

Tab.4.10 Calcolo del punto di congelamento teorico iniziale.

		%	SE		FPD (°C)
<i>Zuccheri</i>	<i>Saccarosio</i>	13,73	13,72	22,42	1,417
	<i>Glucosio</i>	4,58	8,69		
<i>MSNF</i>		9,87	-		0,358
<i>Sale</i>		0,60	-		0,540
<i>IFP_t (°C)</i>		-	-		-2,315



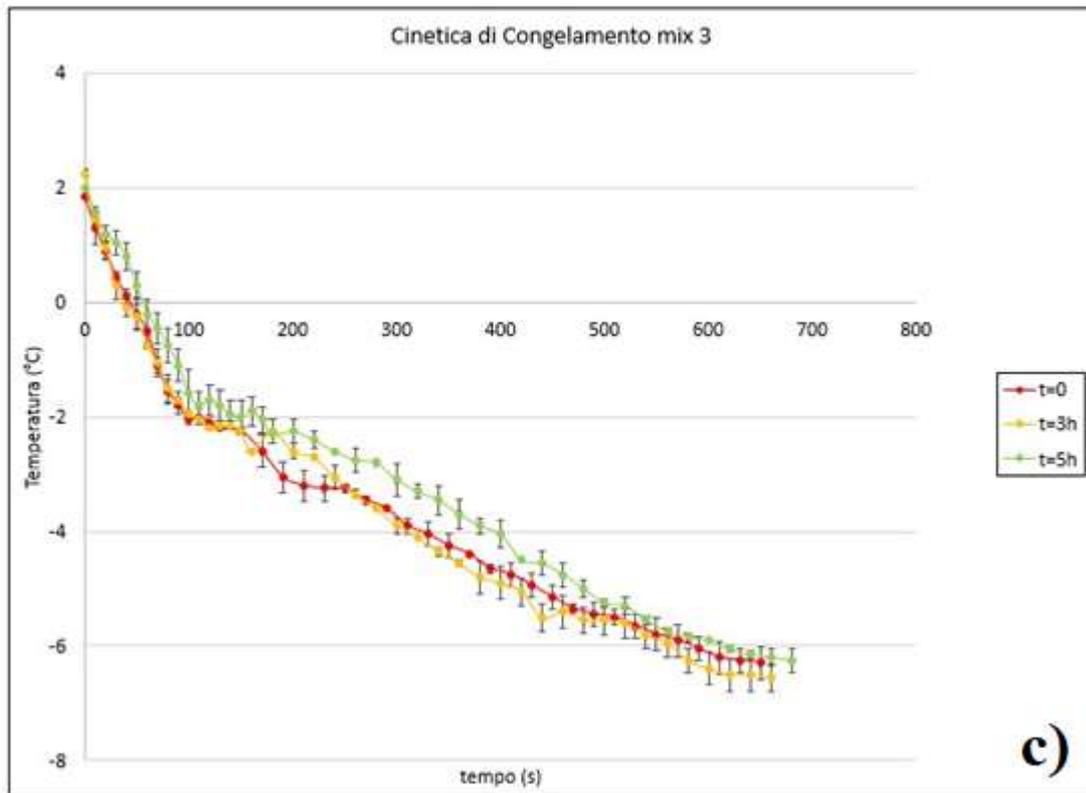
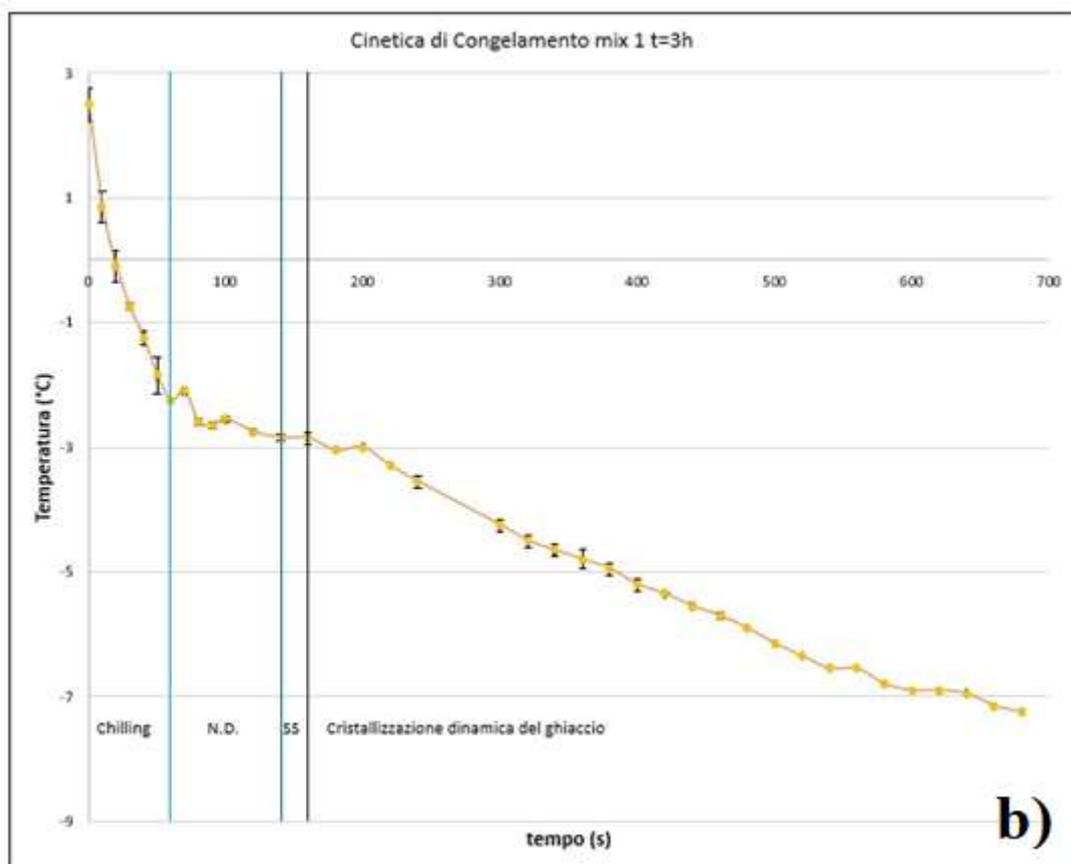
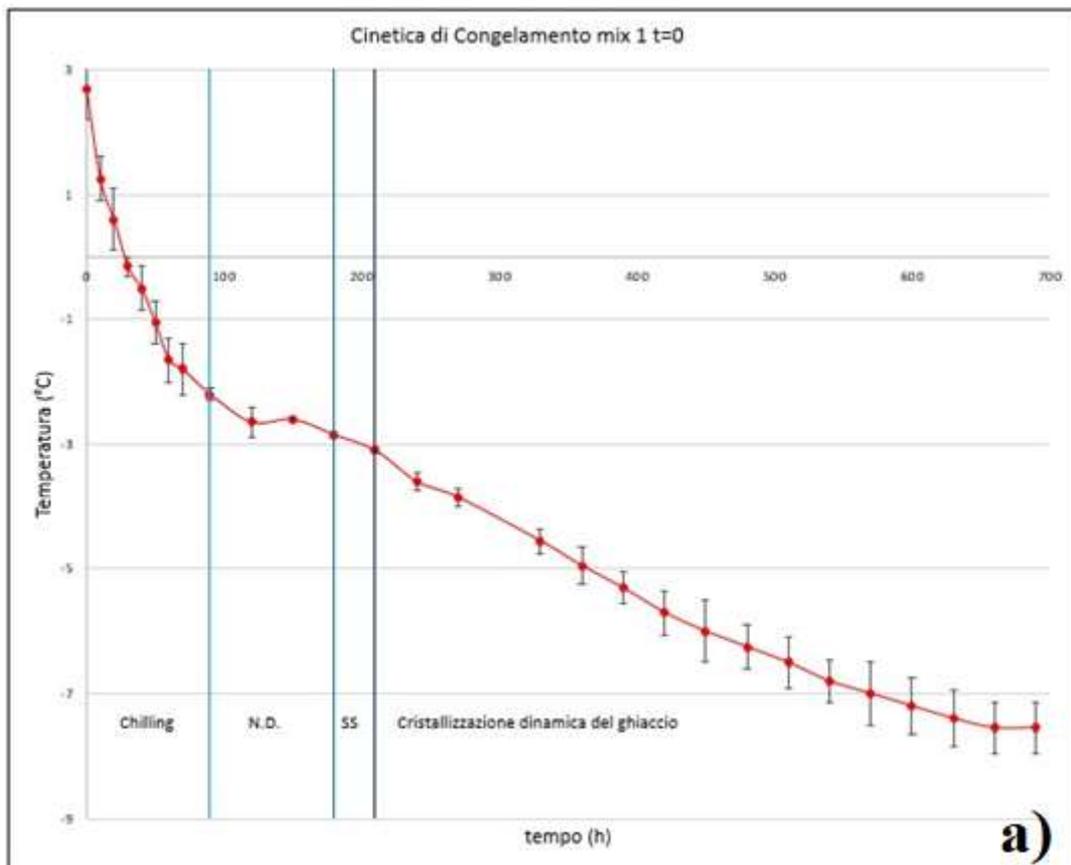
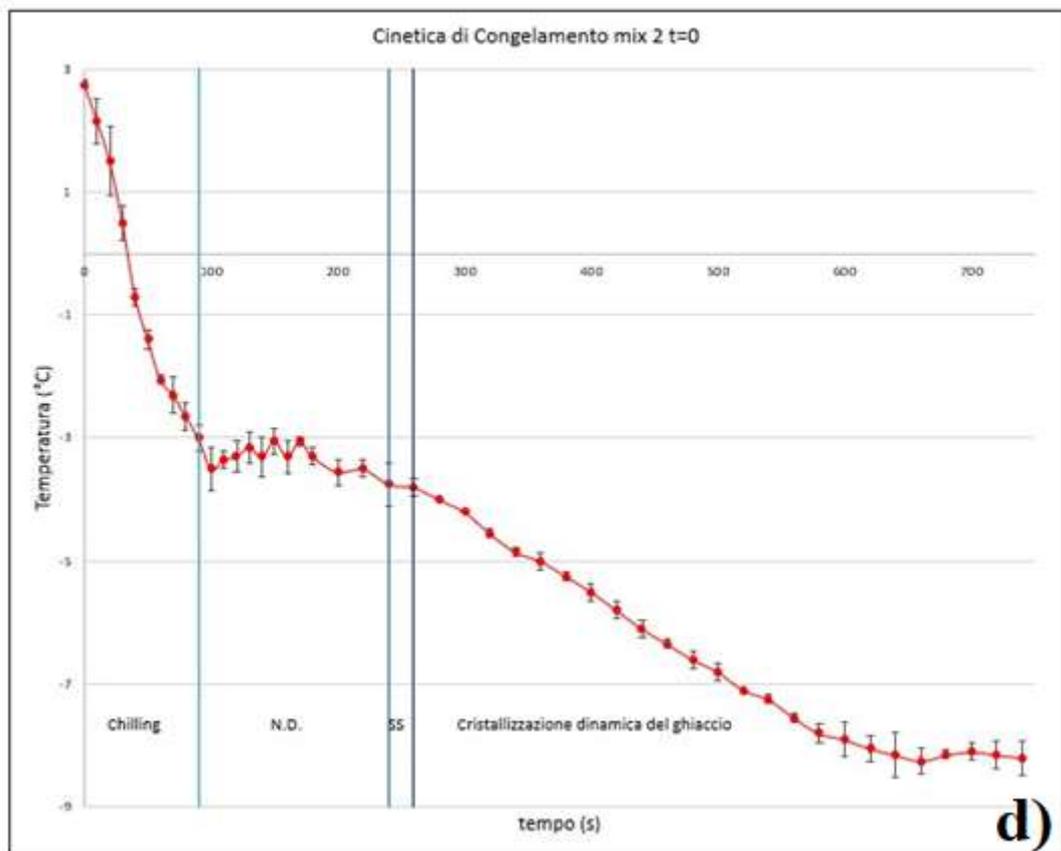
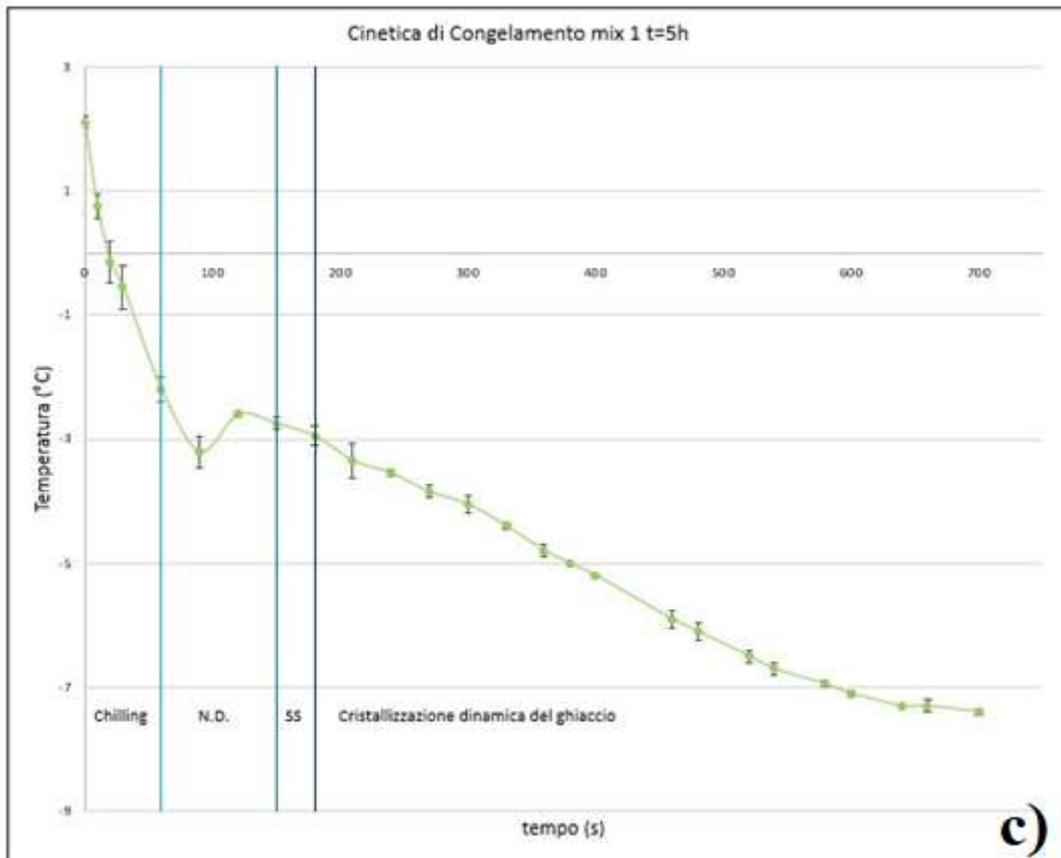
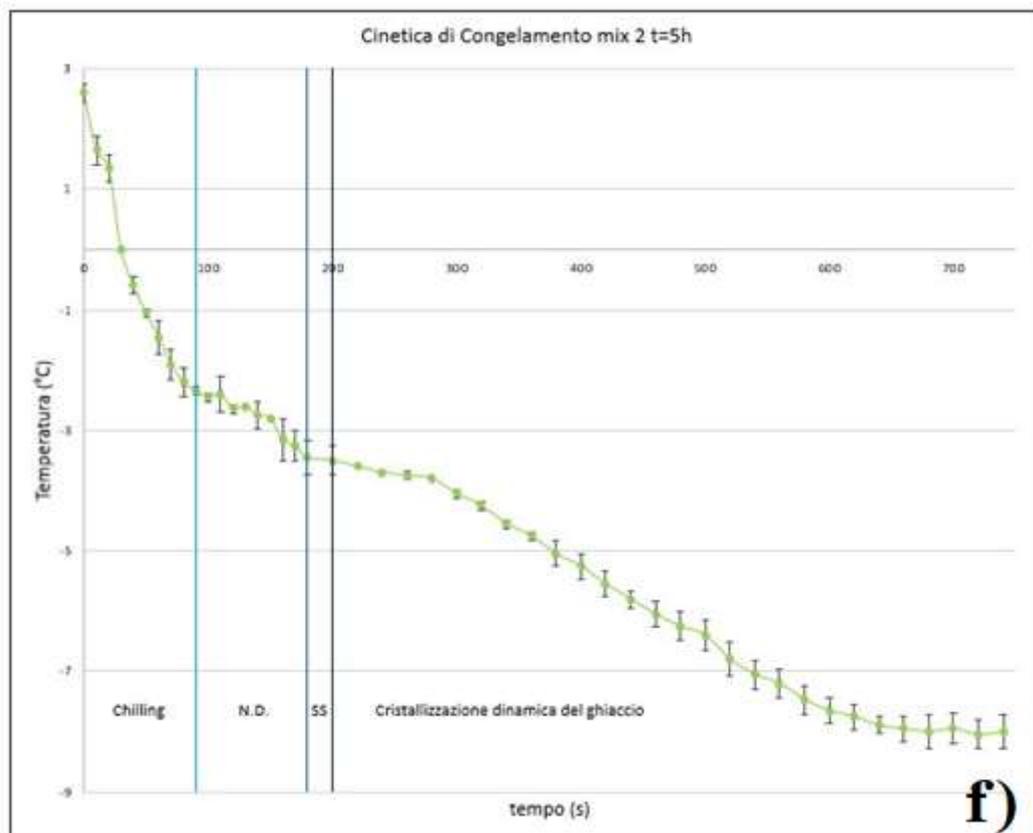
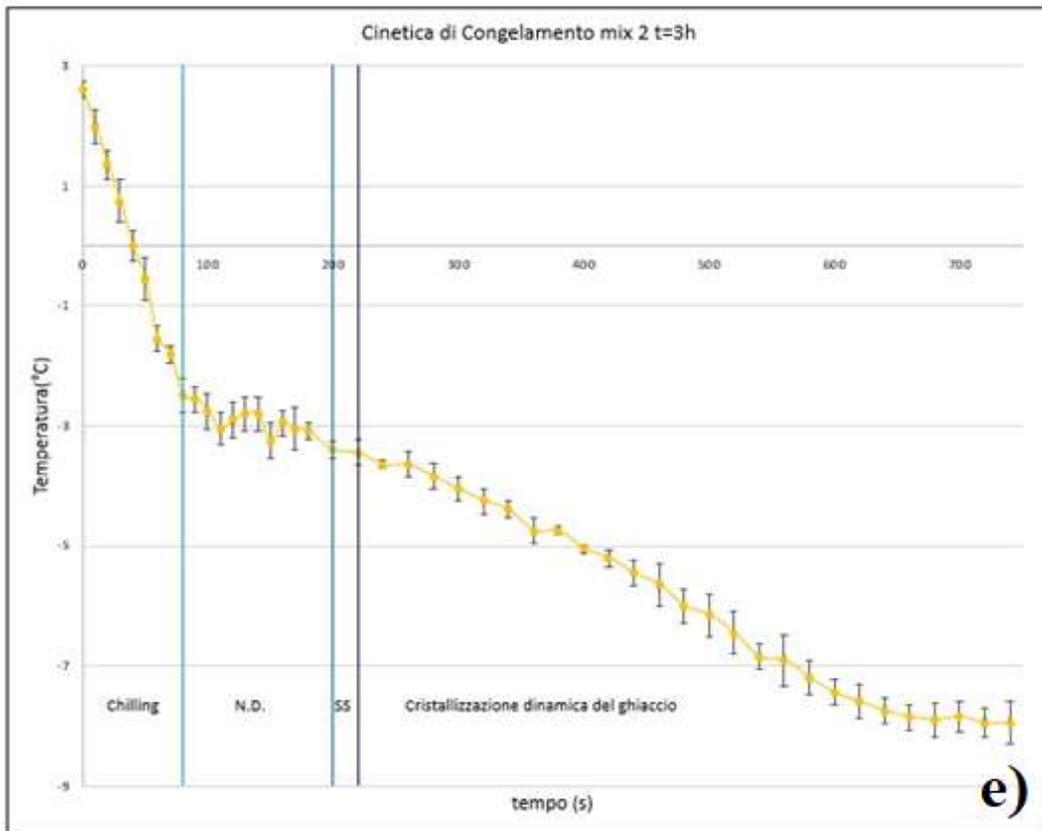
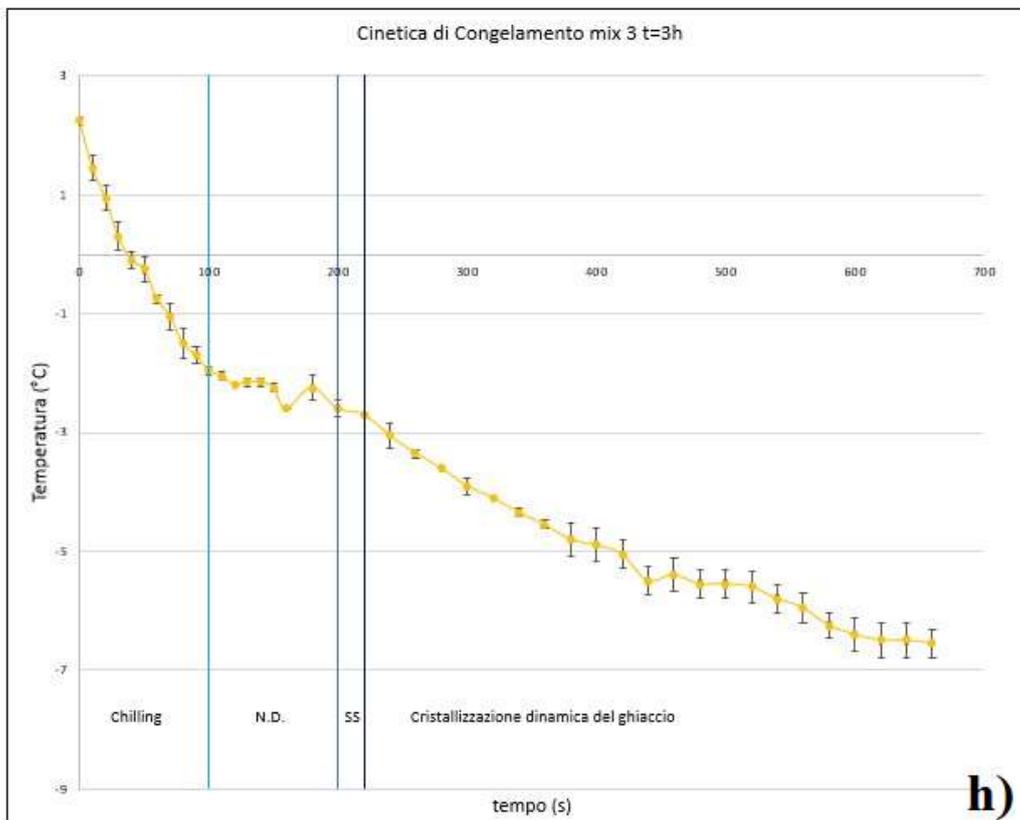
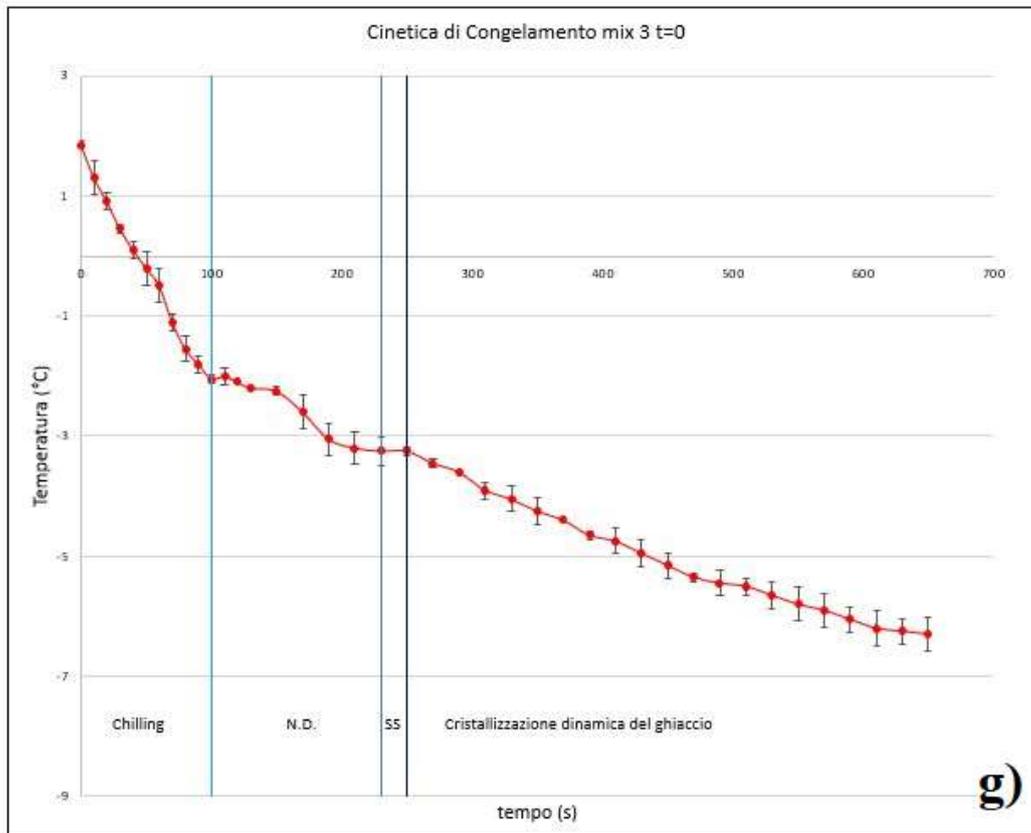


Fig.4.22. Cinetica di Congelamento di miscele gelato a diversi tempi di maturazione per a) mix1, b) mix2, c) mix3.









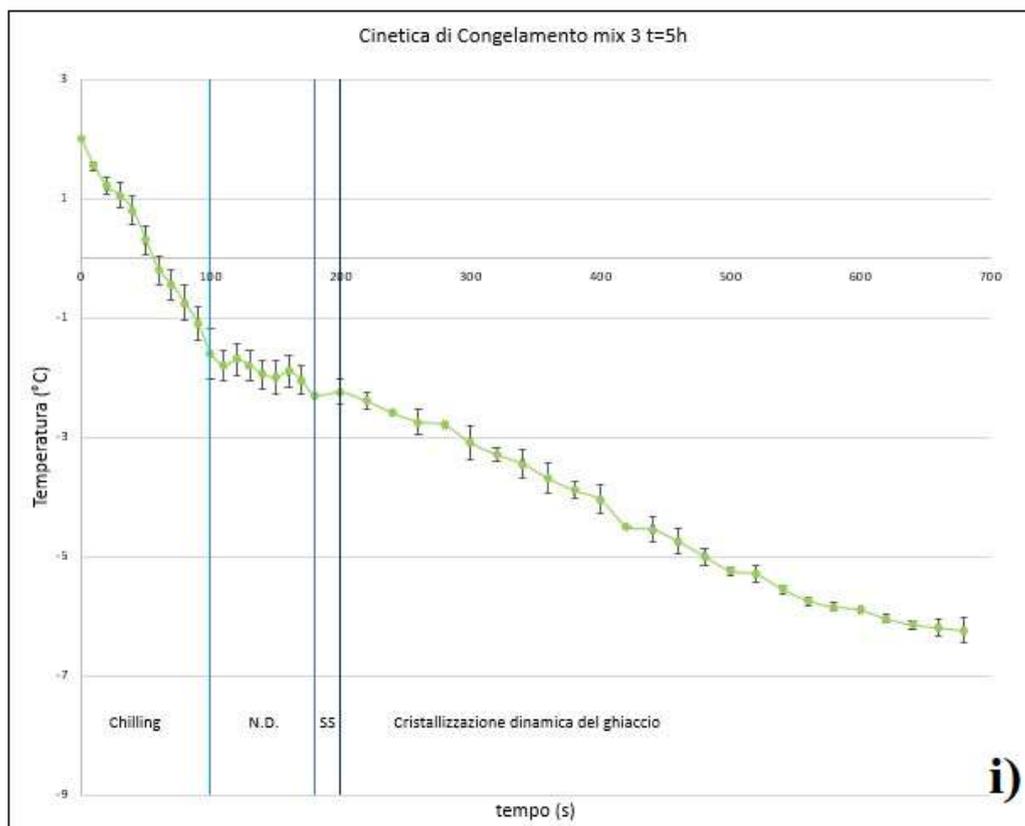


Fig.4.23. Cinetica di Congelamento delle miscele a diversi tempi di maturazione, con le quattro fasi distinte di: chilling lineare, nucleazione dinamica (N.D.), stato stazionario (SS) e cristallizzazione dinamica del ghiaccio; a) mix1 t=0, b) mix1 t=3h, c) mix1 t=5h, d) mix2 t=0, e) mix2 t=3h, f) mix2 t=5h, g) mix3 t=0, h) mix3 t=3h, i) mix3 t=5h.

Tab.4.11. Durata delle fasi della cinetica di congelamento e alcuni parametri per la miscela 1 a diversi tempi di maturazione.

Mix 1	0h	3h	5h
<i>Chilling (s)</i>	93±6	60±10	67±6
<i>Nucleazione Dinamica (s)</i>	87±6	77±6	73±6
<i>Stato stazionario (s)</i>	33±6	27±6	23±6
<i>Cristallizzazione ghiaccio (s)</i>	476±15	517±6	537±6
<i>IS (°C)</i>	-2,20±0,30	-2,25±0,35	-2,20±0,10
<i>IFP (°C)</i>	-2,60±0,15	-2,10±0,30	-2,60±0,05
<i>IFP_{eff} (°C)</i>	-2,85±0,10	-2,85±0,15	-2,85±0,05
<i>T uscita (°C)</i>	-6,70±0,10	-7,20±0,10	-7,13±0,10

Tab.4.12. Durata delle fasi della cinetica di congelamento e alcuni parametri per la miscela 2 a diversi tempi di maturazione.

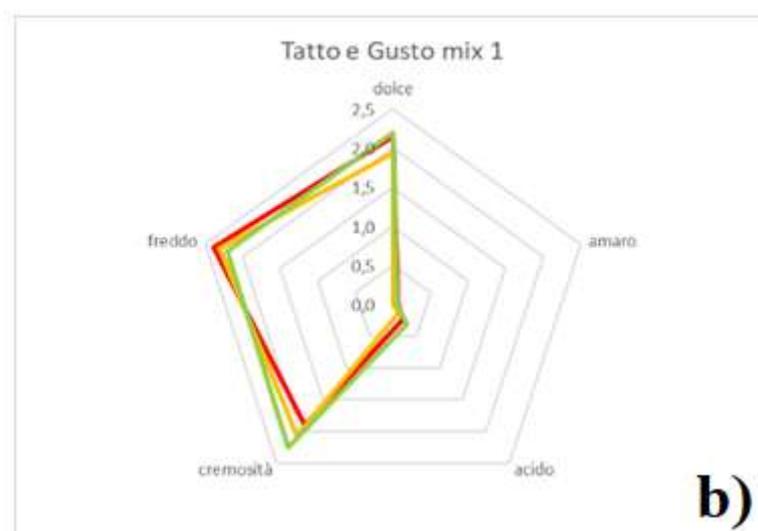
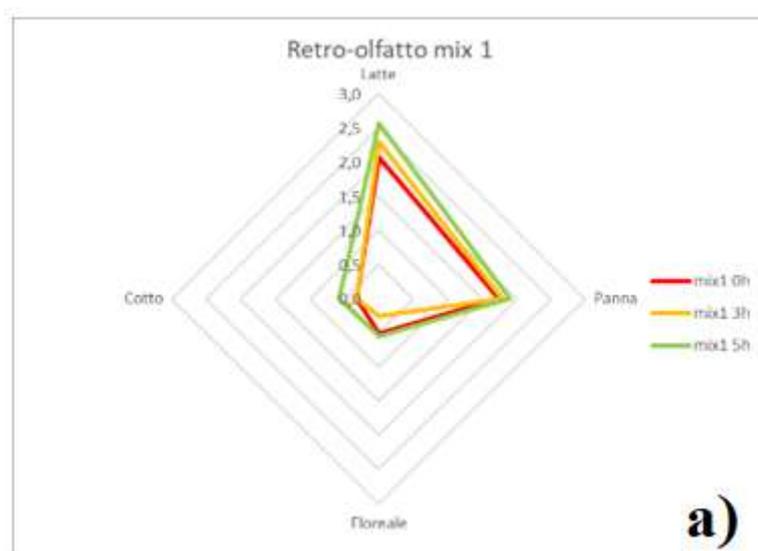
Mix 2	0h	3h	5h
<i>Chilling (s)</i>	87±6	80±10	87±6
<i>Nucleazione Dinamica (s)</i>	150±10	120±10	97±6
<i>Stato stazionario (s)</i>	20±10	23±6	23±6
<i>Cristallizzazione ghiaccio (s)</i>	483±15	523±6	543±6
<i>IS (°C)</i>	-3±0,22	-2,55±0,21	-2,45±0,07
<i>IFP (°C)</i>	-3,15±0,25	-2,8±0,28	-2,4±0,28
<i>IFP_{eff} (°C)</i>	-3,75±0,35	-3,4±0,14	-3,45±0,28
<i>T uscita (°C)</i>	-7,75±0,10	-7,65±0,20	-7,40±0,10

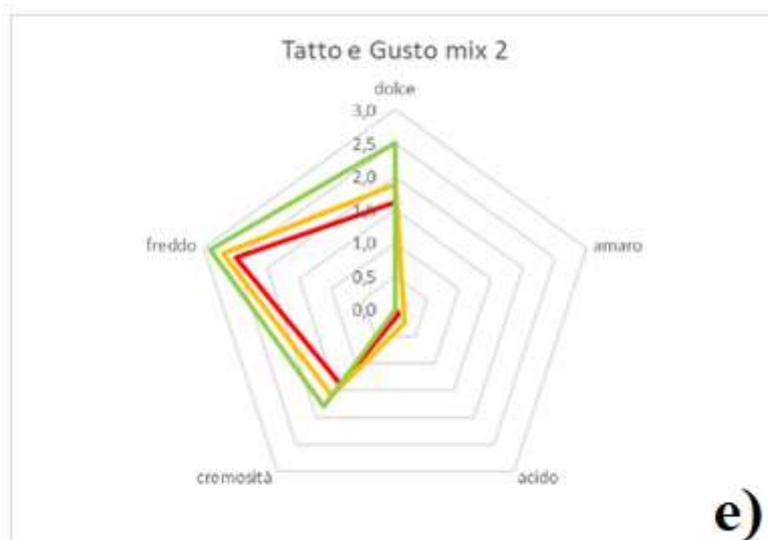
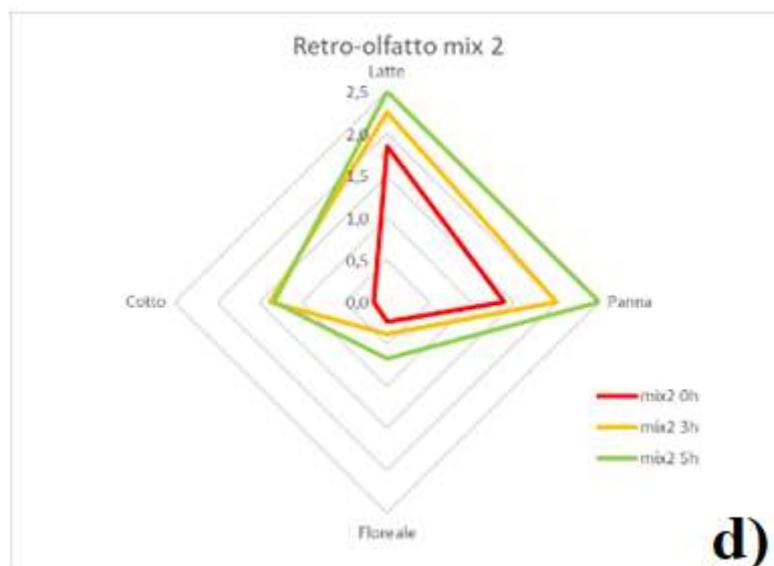
Tab.4.13. Durata delle fasi della cinetica di congelamento e alcuni parametri per la miscela 3 a diversi tempi di maturazione.

Mix 3	0h	3h	5h
<i>Chilling (s)</i>	100±10	97±6	97±6
<i>Nucleazione Dinamica (s)</i>	127±6	97±6	80±10
<i>Stato stazionario (s)</i>	23±6	20±10	17±6
<i>Cristallizzazione ghiaccio (s)</i>	400±10	443±15	487±6
<i>IS (°C)</i>	-2,05±0,07	-1,95±0,07	-1,6±0,28
<i>IFP (°C)</i>	-2±0,14	-2,15±0,07	-1,7±0,14
<i>IFP_{eff} (°C)</i>	-3,25±0,23	-2,6±0,14	-2,25±0,01
<i>T uscita (°C)</i>	-6,50±0,14	-6,30±0,10	-6,30±0,10

4.5.5 Panel Test

I risultati dell'analisi sensoriale dei gelati prodotti sono di seguito riportati: per ciascuna miscela mantecata a diversi tempi di maturazione (*fig.4.24*) e per gelati prodotti dalle miscele 1, 2 e 3 confrontati a parità di tempo di maturazione (*fig.4.25*). L'indice di gradimento è indicato in *fig.4.26* e i risultati completi dell'analisi sensoriale sono tabulati in *tab.4.14*.





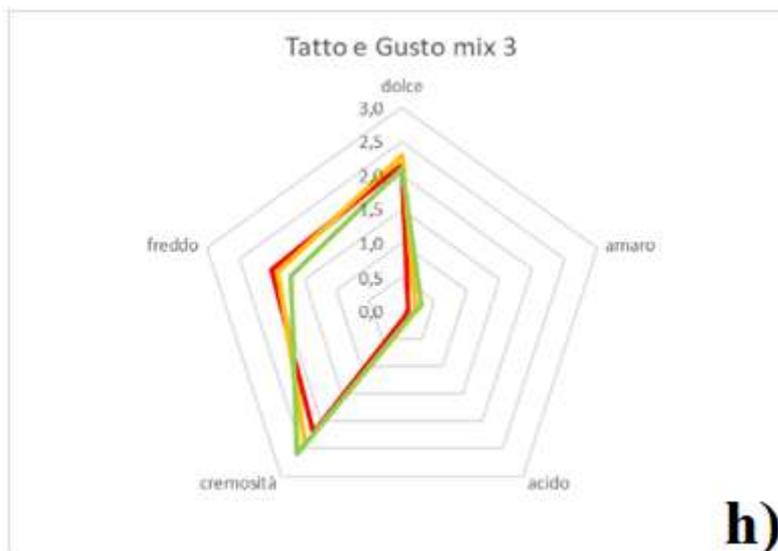
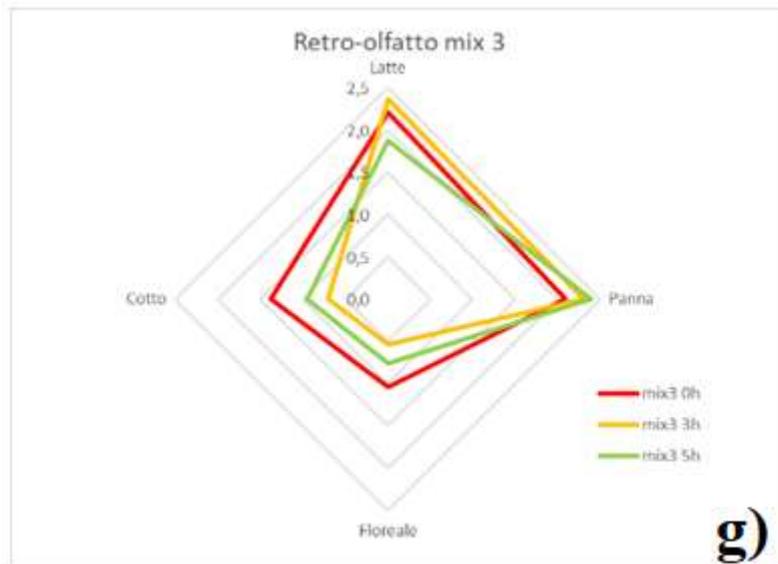
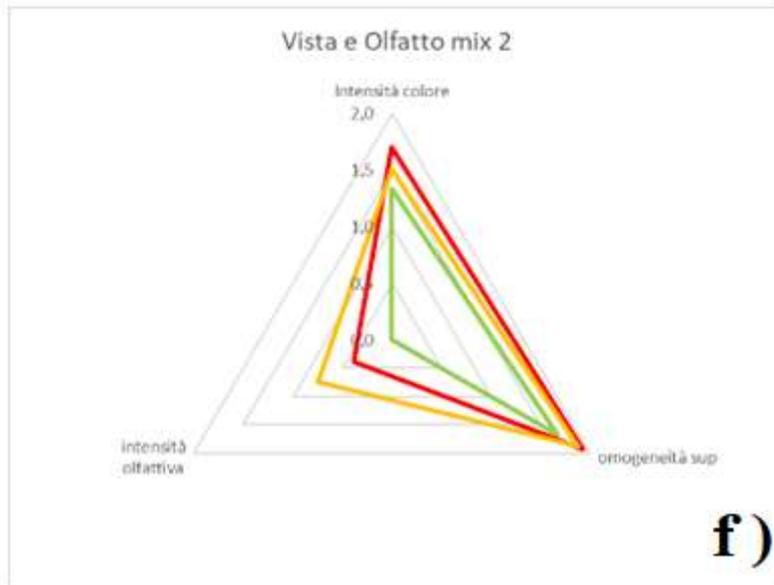
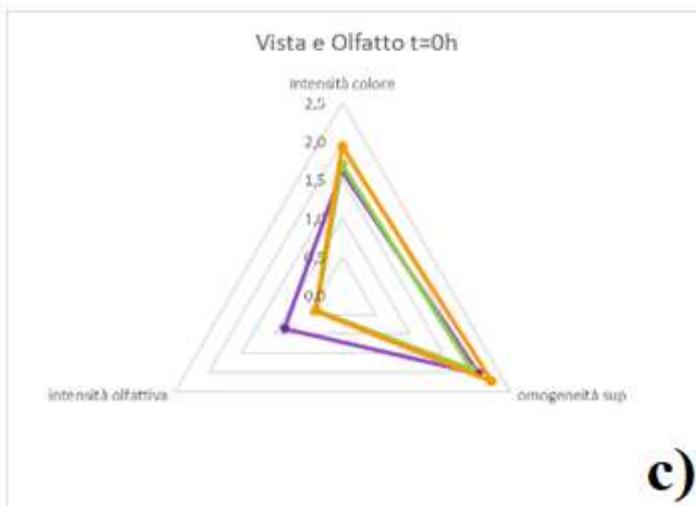
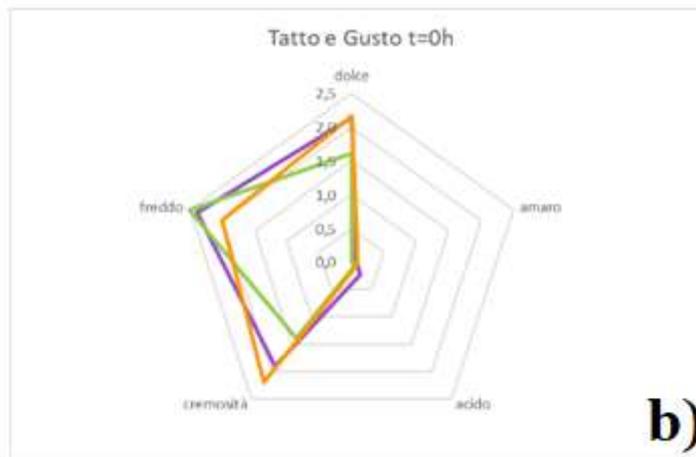
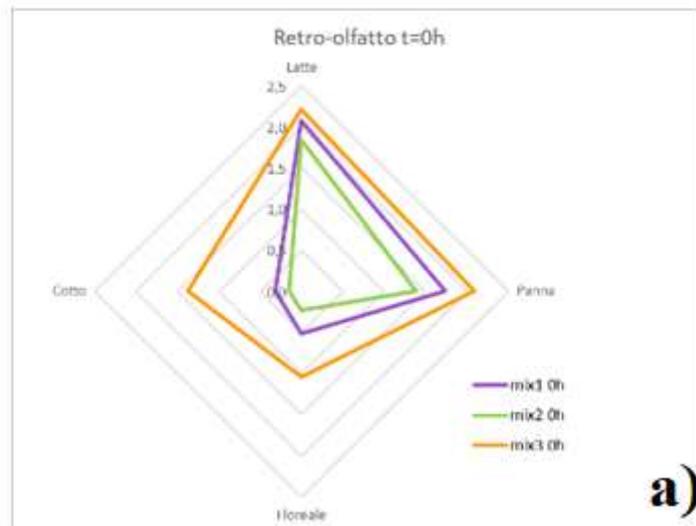
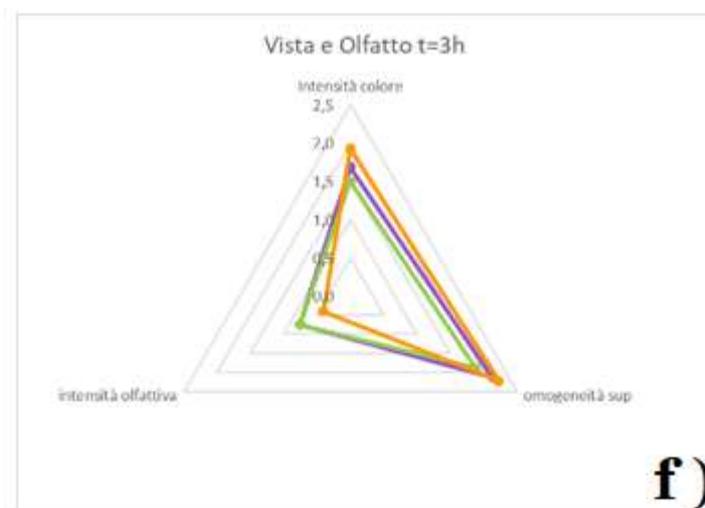
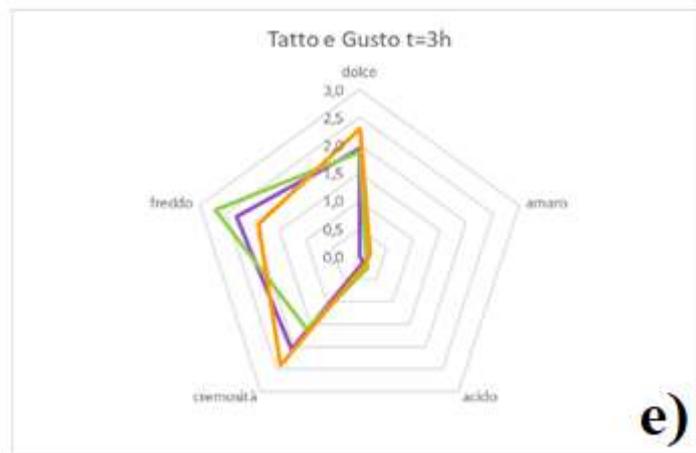
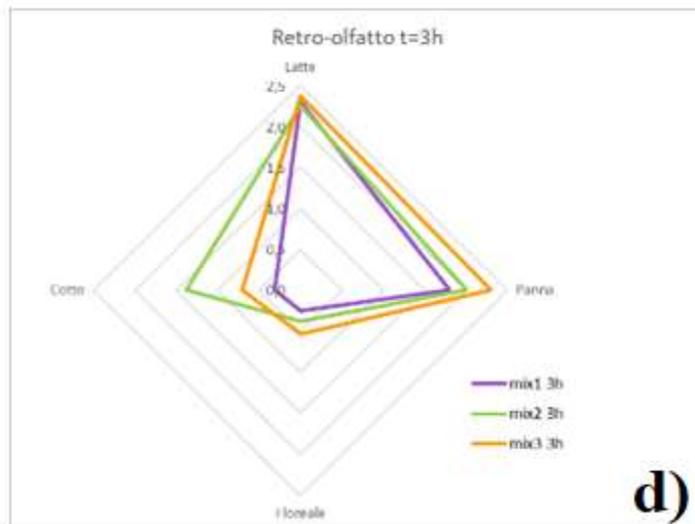




Fig.4.24. *Panel test* di gelati prodotti a diversi tempi di maturazione della miscela (rosso 0h, giallo 3h, verde 5h); a), b), c) *panel test* mix 1; d), e), f) *panel test* mix 2; g), h), i) *panel test* mix 3.





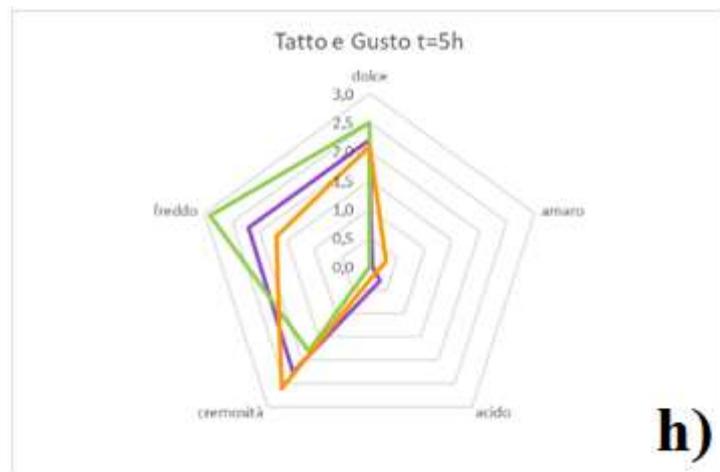
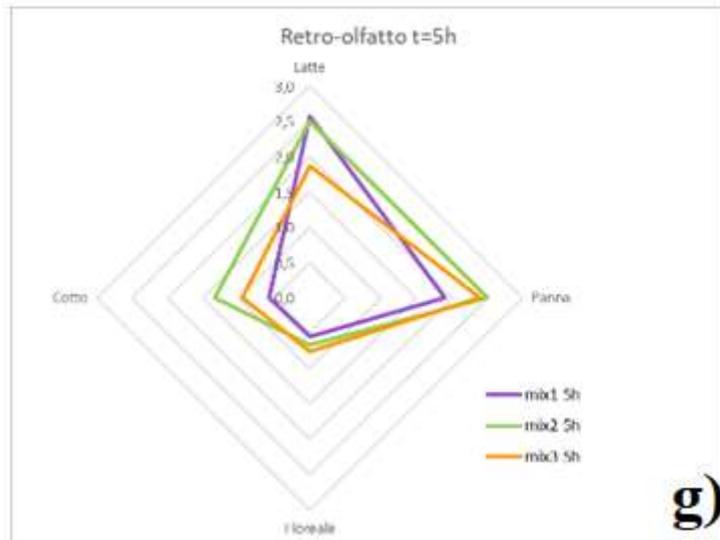


Fig.4.25. Confronto dei *Panel Test* di gelati a diversa concentrazione di emulsionanti e addensanti, a parità di tempo di maturazione della miscela di partenza; a), b), c) *panel test* a t=0; d), e), f) *panel test* a t=3h; g), h), i) *panel test* a t=5h, per mix1 (viola), mix2 (verde), mix3 (arancione).

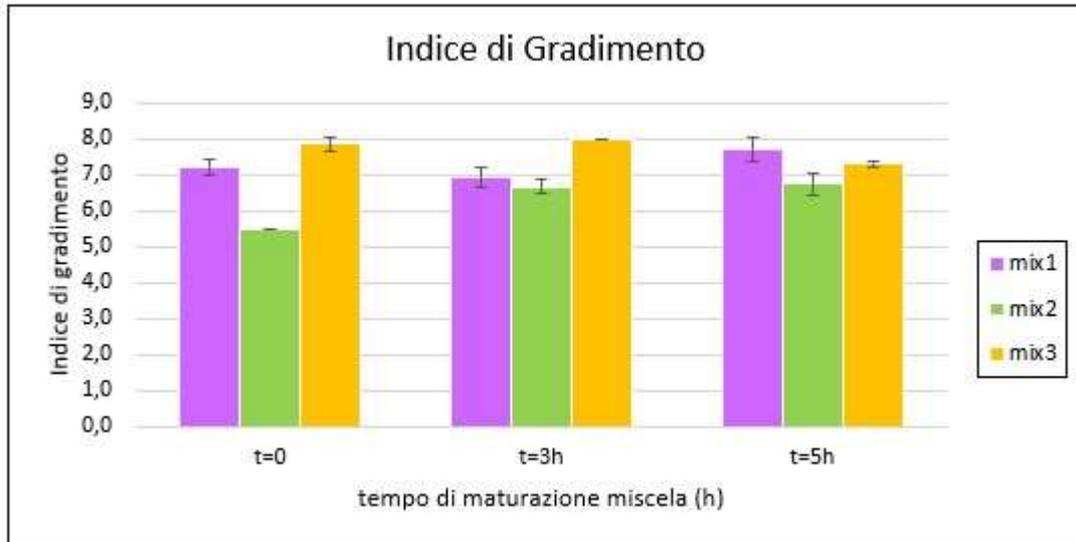


Fig.4.26. Indice di gradimento dei gelati prodotti a diversi tempi di maturazione della miscela 1, 2, 3.

Tab.4.14. Risultati dell'analisi sensoriale di ciascuna ricetta a diversi tempi di maturazione della miscela 1, 2, 3.

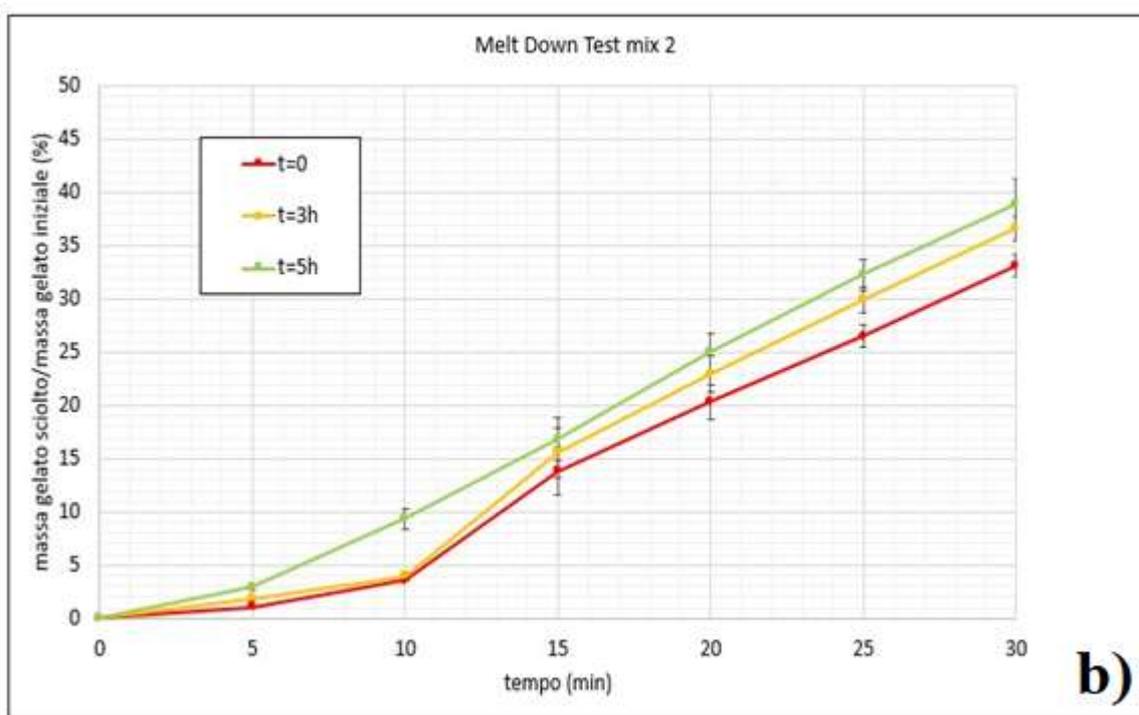
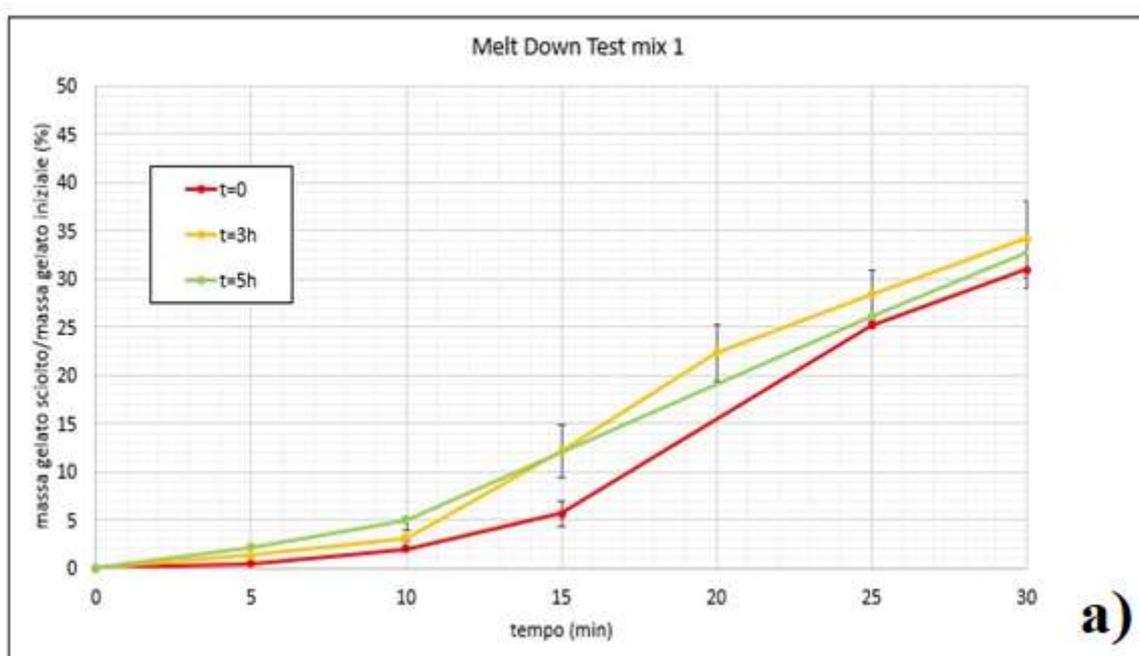
Mappa Sensoriale mix 1		t=0	t=3h	t=5h
Retro – Olfatto	<i>Latte</i>	2,1±0,1	1,8±0,1	2,6±0,2
	<i>Panna</i>	1,7±0,2	1,7±0,2	1,9±0,1
	<i>Floreale</i>	0,5±0,1	0,3±0,1	0,6±0,2
	<i>Cotto</i>	0,3±0,1	0,3±0,1	0,6±0,2
Vista e Olfatto	<i>Intensità colore</i>	1,6±0,2	1,7±0,2	2,0±0,1
	<i>omogeneità superf</i>	2,0±0,1	2,1±0,2	2,3±0,3
	<i>intensità olfattiva</i>	0,9±0,2	0,8±0,2	0,8±0,1
Tatto e Gusto	<i>Dolce</i>	2,1±0,1	1,9±0,1	2,2±0,2
	<i>Amaro</i>	0,1±0,1	0,0±0,1	0,1±0,1
	<i>Acido</i>	0,2±0,1	0,1±0,2	0,3±0,2
	<i>Creosità</i>	1,9±0,2	2,1±0,1	2,3±0,1
	<i>Freddo</i>	2,4±0,1	2,3±0,2	2,3±0,1
-	<i>indice gradimento</i>	7,2±0,2	6,9±0,3	7,7±0,3

Mappa Sensoriale mix 2		t=0	t=3h	t=5h
Retro – Olfatto	<i>Latte</i>	1,8±0,2	2,3±0,1	2,5±0,1
	<i>Panna</i>	1,4±0,1	2,0±0,1	2,5±0,2
	<i>Floreale</i>	0,2±0,1	0,4±0,1	0,7±0,2
	<i>Cotto</i>	0,2±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1
Vista e Olfatto	<i>Intensità colore</i>	2,2±0,3	1,4±0,2	1,3±0,1
	<i>omogeneità superf</i>	1,9±0,3	1,9±0,2	1,7±0,2
	<i>intensità olfattiva</i>	0,4±0,2	0,8±0,1	0,0±0,3
Tatto e Gusto	<i>dolce</i>	1,6±0,2	1,9±0,2	2,5±0,1
	<i>amaro</i>	0,2±0,1	0,1±0,1	0,0±0,1
	<i>acido</i>	0,1±0,2	0,3±0,1	0,0±0,1
	<i>cremosità</i>	1,4±0,2	1,9±0,1	1,7±0,1
	<i>freddo</i>	2,5±0,1	1,9±0,2	2,0±0,1
-	<i>indice gradimento</i>	5,5±0,1	6,7±0,2	6,8±0,3

Mappa Sensoriale mix 3		t=0	t=3h	t=5h
Retro – Olfatto	<i>Latte</i>	2,2±0,1	2,4±0,1	1,9±0,2
	<i>Panna</i>	2,1±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1
	<i>Floreale</i>	1,0±0,2	0,5±0,2	0,8±0,2
	<i>Cotto</i>	1,4±0,2	0,7±0,3	1,0±0,1
Vista e Olfatto	<i>Intensità colore</i>	2,2±0,2	2,2±0,1	1,9±0,2
	<i>omogeneità superf</i>	2,6±0,3	2,8±0,2	2,2±0,2
	<i>intensità olfattiva</i>	0,7±0,2	1,3±0,2	0,7±0,3
Tatto e Gusto	<i>dolce</i>	2,2±0,1	2,2±0,1	2,1±0,1
	<i>amaro</i>	0,0±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
	<i>acido</i>	0,1±0,2	0,2±0,1	0,1±0,2
	<i>cremosità</i>	2,6±0,1	2,6±0,1	2,4±0,1
	<i>freddo</i>	1,8±0,2	2,4±0,1	2,3±0,1
-	<i>indice gradimento</i>	7,9±0,2	8,0±0,1	7,3±0,1

4.5.6 Melt Down Test

I risultati del *melt down test* sono di seguito graficati per ciascuna miscela mantecata a diversi tempi di maturazione (*fig.4.27*) e per le miscele 1, 2 e 3 confrontate allo stesso tempo di maturazione (*fig.4.28*). I risultati completi sono tabulati in *tab.4.15*.



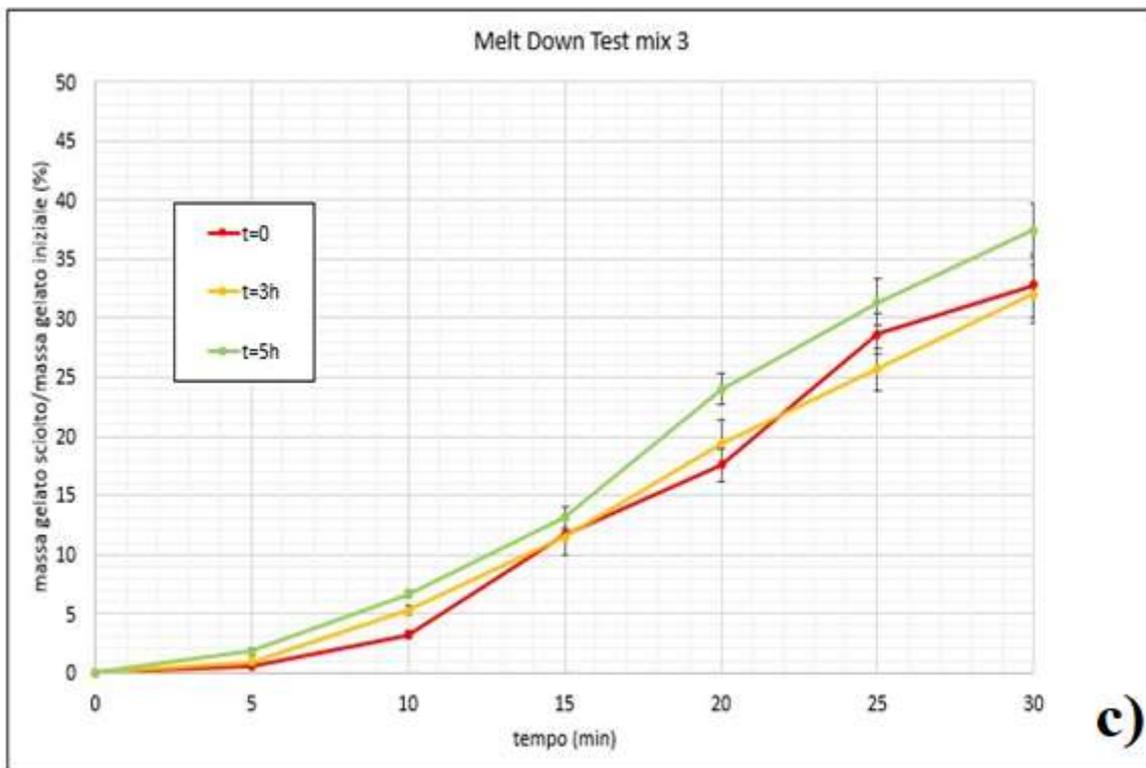
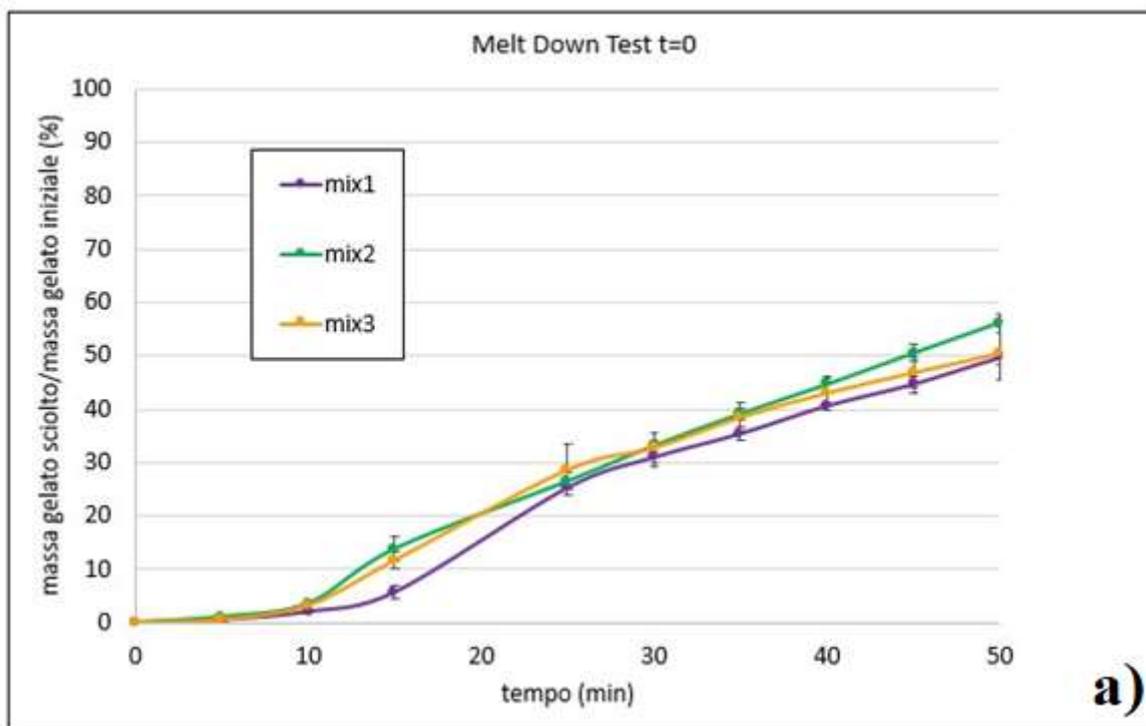


Fig.4.27. *Melt Down test* di gelati prodotti a diversi tempi di maturazione della miscela per a) mix1, b) mix2, c) mix3.



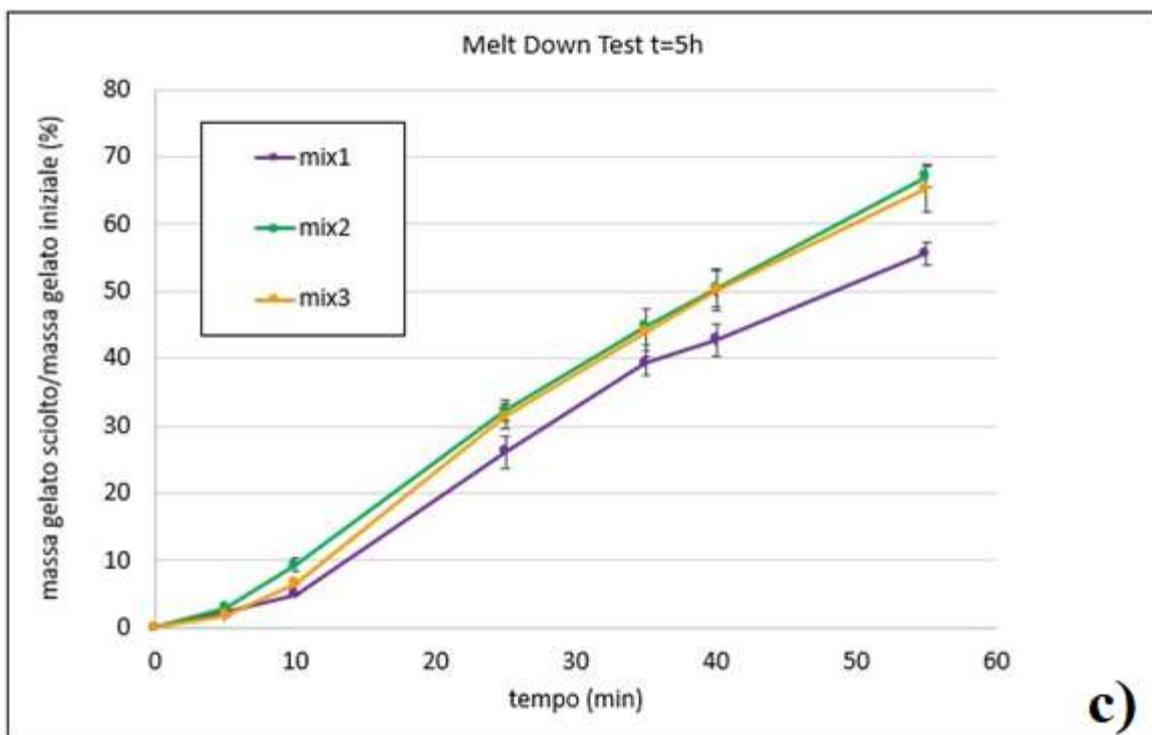
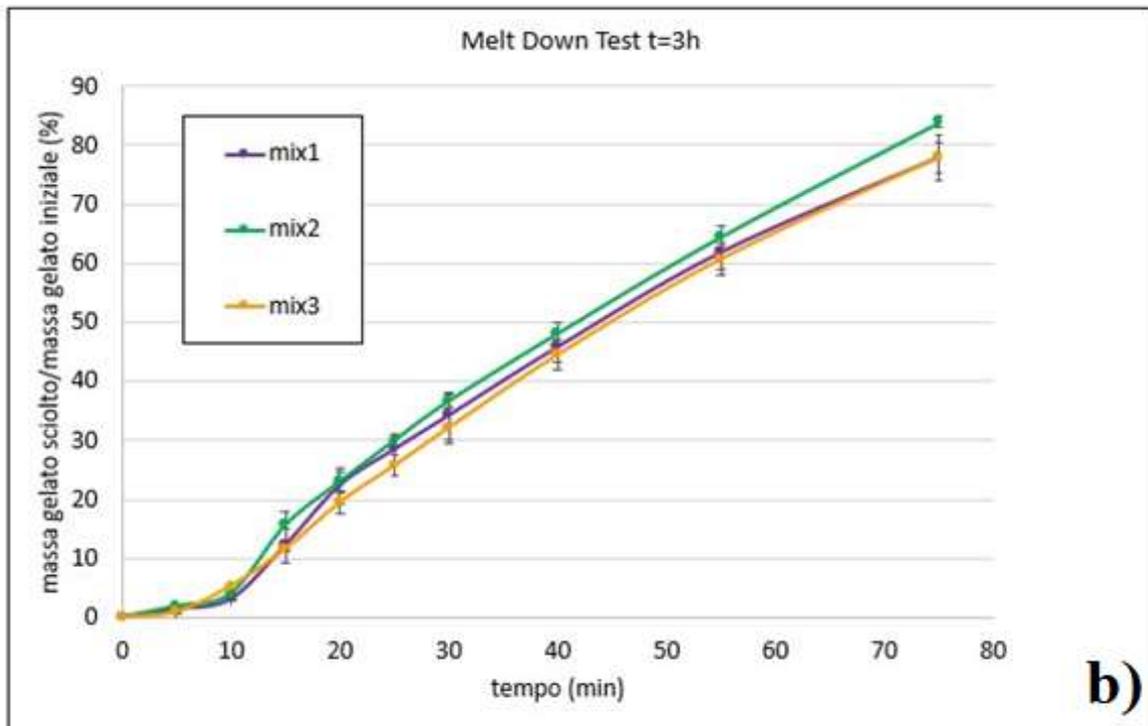


Fig.4.28. *Melt down test* di gelati prodotti con miscele gelato a diversa concentrazione di addensanti ed emulsionanti, a diversi tempi di maturazione: a) $t=0$, b) $t=3h$, c) $t=5h$.

Tab.4.15. Risultati del *Melt Down Test* per gelati prodotti a diversi tempi di maturazione.

Mix 1	Massa di gelato fuso/massa gelato iniziale (%)		
Tempo (min)	tempo maturazione 0h	tempo maturazione 3h	tempo maturazione 5h
5	0,49±0,07	1,34±0,14	2,18±0,26
10	2,00±0,24	3,07±0,26	4,97±0,33

Mix 2	Massa di gelato fuso/massa gelato iniziale (%)		
Tempo (min)	tempo maturazione 0h	tempo maturazione 3h	tempo maturazione 5h
5	1,09±0,19	1,86±0,26	2,93±0,22
10	3,56±0,09	3,98±0,28	9,34±0,97

Mix 3	Massa di gelato fuso/massa gelato iniziale (%)		
Tempo (min)	tempo maturazione 0h	tempo maturazione 3h	tempo maturazione 5h
5	0,54±0,20	0,88±0,13	1,76±0,27
10	3,18±0,31	5,25±0,45	6,60±0,31

4.5.7 Misura dell'*overrun*

I risultati delle misure dell'*overrun* sono indicati in *tab.4.16*.

Tab.4.16. Andamento dell'*overrun* all'aumentare del tempo di maturazione della miscela.

t (h)	Overrun (%)		
	Mix1	Mix2	Mix3
0	44,12±0,05	45,67±0,05	42,72±0,05
3	45,36±0,22	46,15±0,12	44,12±0,01
5	47,20±0,35	49,75±0,35	45,36±0,12

4.5.8 Risultati ottenuti

All'aumentare del tempo di maturazione:

- si osserva un aumento ($+1,0\pm 0,2\%$) del valore del pH (vedi *tab.4.6*);
- la viscosità decresce, il decremento è più accentuato per miscele aventi una quantità maggiore di addensanti (a 100RPM, per la miscela 1 la viscosità è $24,445\pm 1,26$ cP con tempo di maturazione nullo; $21,06\pm 1,49$ cP a 5h di maturazione. Per la miscela 3 si passa da $57,60\pm 2,26$ cP a tempo di maturazione nullo a $48,7\pm 2,50$ cP per la miscela maturata 5h) mentre nella miscela 2 (i cui stabilizzanti sono costituiti da 9% addensanti e 91% emulsionanti), la viscosità si mantiene costante (*fig.4.19*);
- si osservano una diminuzione del *consistency index* e un aumento del *flow index* (*fig.4.20* e *tab.4.7*);
- si osserva una diminuzione del diametro medio dei globuli di grasso (del 30,00% per la mix1 e del 27,45% per la mix3, in 5h di maturazione) tranne per la mix2 che ha pochi addensanti e molti emulsionanti, in cui il diametro medio risulta circa costante (vedi *fig.4.21* e *tab.4.8*).
- non si osservano cambiamenti significativi nella cinetica di congelamento delle miscele (vedi *fig.4.22*), tuttavia si nota una contrazione della fase di nucleazione dinamica e un aumento della fase di cristallizzazione dinamica del ghiaccio (vedi *tabelle 4.11, 4.12, 4.13*);
- per la miscela standard, il tempo di maturazione non ha effetto sul sottoraffreddamento iniziale, sul IFP e IFP_{eff}; per le altre miscele invece si osserva un aumento di questi valori, in particolare l'aumento del valore di IFP è accentuato per la miscela con più emulsionanti (miscela 2), mentre l'aumento del valore di IFP_{eff} è accentuato per la miscela con più addensanti (miscela 3) per entrambe aumenta la temperatura di sottoraffreddamento iniziale (vedi *fig.4.23* e vedi *tabelle 4.11, 4.12, 4.13*);
- per le miscele 2 e 3 non si osservano effetti rilevanti sulla fase di *chilling* (vedi *tabelle 4.11, 4.12, 4.13*);

- aumenta la velocità di scioglimento (vedi *fig.4.27* e *tab.4.15*);
- aumenta la percentuale di *overrun* misurata (del 7,0% per la mix 1, del 9,0% per la mix 2 e del 6,2% per la mix 3; dopo 5h di maturazione). Vedi *tab.4.16*.

Tab.4.17. Ripartizione degli stabilizzanti nelle mix 1, 2 e 3.

	Emulsionanti (%)	Addensanti (%)
Mix 1	66	34
Mix 2	91	9
Mix 3	41	59

Si osserva che, in miscele con più addensanti (e quindi meno emulsionanti):

- aumenta la viscosità: a 100RPM per la mix2 (stabilizzante al 9% addensanti) la viscosità è $10,52 \pm 1,67$ cP, per la mix1 (stabilizzante al 34% addensanti) è $24,45 \pm 1,26$ cP, per la mix 3 (stabilizzante al 41% addensanti) è di $57,60 \pm 2,26$ cP, per miscele non maturate. Vedi *fig.4.19*;
- il comportamento reologico si allontana da quello dell'acqua (viceversa, al diminuire degli addensanti, il comportamento reologico si avvicina a quello dell'acqua, con *consistency index* che si abbassa e *flow index* che tende a 1), si veda *tab.4.7* e *fig.4.20*;
- il diametro medio delle particelle dei globuli di grasso nella miscela gelato aumenta (è $0,34 \pm 0,03$ μ m per la mix2, $0,90 \pm 0,06$ μ m per la mix1, $1,02 \pm 0,06$ μ m per la mix3; per miscele non maturate) si veda *fig.4.21* e *tab.4.8*;
- il tempo necessario per mantecare la miscela gelato diminuisce (740 ± 10 s per la mix2, 690 ± 10 s per la mix1, 650 ± 10 per la mix3, per miscele non maturate) vedi *tab.4.9*;
- la temperatura del gelato aumenta ($-7,65 \pm 0,10$ °C per mix2, $-7,20 \pm 0,10$ °C per mix1, $-6,3 \pm 0,10$ °C per mix3; per miscele maturate 3h); vedi *tabelle 4.11, 4.12, 4.13* (in ordine crescente di addensanti sono miscela 2, miscela 1 e miscela 3);

- nella cinetica di congelamento, si osserva un significativo decremento della fase di cristallizzazione dinamica del ghiaccio, accompagnato da un aumento della temperatura di sottoraffreddamento iniziale (vedi *tabelle 4.11, 4.12, 4.13*);
- l'*overrun* diminuisce ($49,75 \pm 0,35\%$ per mix2, $47,20 \pm 0,35\%$ per mix1, $45,36 \pm 0,12\%$ per mix3; per miscele maturate 5h), vedi *tab.4.16*;
- la miscela 1 ha la fase di nucleazione dinamica e la fase di *chilling* (tranne per il caso di miscela non maturata) minori (vedi *fig.4.23* e vedi *tabelle 4.11, 4.12, 4.13*).

Uno scioglimento più lento è osservabile per la mix 1 mantecata (vedi *tab.4.15* e *fig.4.28*).

A livello sensoriale, i risultati del *panel test* mostrano che:

- Per tempi di maturazione crescenti:
 - la percezione di latte e panna si intensificano (vedi *fig.4.25*);
 - il gelato viene percepito più cremoso e più dolce, tranne per la miscela 3 dove prevale il sapore amaro (vedi *fig.4.25*);
 - l'indice di gradimento aumenta tranne per il caso di 5h di maturazione per la miscela 3 dove è prevalso il sapore amaro (*fig.4.26*).
- Per quanto riguarda il gelato prodotto con miscele aventi una quantità maggiore di addensanti (vedi *fig.4.25* e *tab.4.14*):
 - il gelato viene percepito meno freddo e più cremoso;
 - la percezione del sapore amaro si intensifica;
 - l'indice di gradimento aumenta tranne per il caso di 5h di maturazione dove l'intensificazione del sapore amaro ne ha compromesso il gusto.

Si è inoltre osservato che per la miscela con più addensanti, nel pastorizzatore si è formata molta schiuma, dovuta al potere tensioattivo degli emulsionanti. (Vedi *fig.4.29*).



Fig.4.29. Foto del pastorizzatore Carpigiani Pastomaster 60 HE con miscela ad alto contenuto di emulsionanti, il cui potere tensioattivo ha formato grandi quantità di schiuma sulla superficie.

Si osserva che diametro e viscosità (a velocità di rotazione fissata) col tempo di maturazione hanno un andamento dello stesso tipo. Confrontare *tab.4.8* e *fig.4.19*. Per la mix1 e la mix3, il diametro diminuisce progressivamente e lo stesso avviene per la viscosità, mentre il comportamento reologico si avvicina a quello di un fluido newtoniano (n si avvicina a 1). Nel caso della mix2, contenente meno addensanti e più emulsionanti, il diametro è circa costante, si osserva che anche la viscosità rimane costante. Il medesimo andamento è seguito dal comportamento reologico.

Sul punto di congelamento:

- si osserva che per la sola miscela standard (mix1) il valore del punto di congelamento teorico iniziale si avvicina molto ai valori rilevati sperimentalmente (si vedano *tab.4.10* e *tab.4.11*);
- per la miscela con più emulsionanti (mix2), il valore teorico si avvicina al valore di IFP per tempi di maturazione crescenti (si vedano *tab.4.10* e *tab.4.12*);

- per la miscela con più addensanti (mix3), il valore teorico si avvicina al valore di IFP per tempo di maturazione nullo, a tempi di maturazione maggiori si avvicina al valore di IFP_{eff} (si vedano *tab.4.10* e *tab.4.13*).

4.5.9 Discussione dati

All'aumentare del tempo di maturazione, l'aumento del pH è trascurabile poiché non avvertito a livello sensoriale (*tab.4.14*); l'aumento del *flow index* rende il comportamento reologico più simile a quello di un fluido newtoniano; il diametro medio dei globuli di grasso diminuisce, tranne per la miscela 2 che ha un diametro medio circa costante. La motivazione potrebbe essere legata all'azione degli emulsionanti. Un maggior tempo di maturazione permette agli emulsionanti presenti di apporre alla miscela maggiori cambiamenti, gli emulsionanti riducono la tensione superficiale sull'interfaccia acqua-grassi, aumentando la stabilità dell'emulsione. Questo potrebbe portare ad avere globuli di grasso più finemente dispersi. Nel caso di miscela con molti emulsionanti, per la loro abbondanza, anche se il tempo di maturazione è nullo o breve, potrebbero svolgere il proprio lavoro più velocemente. Infatti i globuli di grasso per le miscele con più emulsionanti sono nettamente più piccoli e si osserva una generale diminuzione delle dimensioni dei globuli di grasso all'aumentare degli emulsionanti presenti (vedi *tab.4.8*).

All'aumentare del tempo di maturazione aumenta la percentuale di *overrun* misurata e inoltre il gelato viene percepito più cremoso. Gli stessi risultati sono stati riscontrati da Akalin e coll. 2008.

Nelle miscele aventi quantitativi superiori di addensanti si riscontrano valori di viscosità maggiori, ciò è dovuto al ruolo degli addensanti, che è aumentare la viscosità, riducendo l'acqua libera; il tempo necessario per mantecare la miscela gelato diminuisce, probabilmente perché il gelato finale ha una temperatura maggiore all'uscita e quindi il mantecatore necessita di meno tempo per raffreddarlo; l'aumento della temperatura del gelato è probabilmente legato al fatto che una quantità maggiore di acqua è intrappolata

dentro gli addensanti e le proteine, quindi c'è meno acqua libera e ci sono meno cristalli di ghiaccio.

Nelle miscele con più emulsionanti, il diametro medio diminuisce, ciò potrebbe essere dovuto all'effetto di stabilizzazione dell'emulsione acqua-grasso messo in atto dagli emulsionanti; l'aumento dell'*overrun* potrebbe essere dovuto all'effetto degli emulsionanti stessi, presenti in maggiori quantità, che hanno il compito di favorire l'incorporo d'aria, distribuendola finemente nella matrice liquida.

Lo scioglimento più lento è stato osservato nella mix standard mantecata, che ha la concentrazione di addensanti e emulsionanti che permette un tasso di scioglimento minore. Sia gli emulsionanti che gli addensanti hanno l'effetto di ridurre lo scioglimento (Goff et al, 2013), la mix standard è stata formulata in modo da avere la combinazione migliore per ridurre la velocità di scioglimento dopo mantecazione.

A livello sensoriale l'intensificazione delle note amare nella miscela 3 mantecata potrebbe essere dovuta al sapore degli addensanti (farine di semi di guar e carruba), che probabilmente si percepiscono di più per tempi di maturazione più lunghi.

L'andamento dello stesso tipo riscontrato tra dimensioni dei globuli di grasso e viscosità della miscela col tempo di maturazione, suggerisce che – a parità di addensanti ed emulsionanti – le dimensioni dei globuli di grasso potrebbero influenzare la viscosità della miscela.

Il modello matematico che approssima meglio i dati sperimentali dell'analisi reologica delle miscele gelato è il modello di Herschel-Bulkley, tuttavia siccome i valori dello *Yield Stress* sono inferiori a 0,1, è possibile utilizzare come alternativa il modello Power Law, che viene suggerito da Goff e coll. 2013 e da Akalin e coll. 2007.

5. CONCLUSIONI

Dallo studio effettuato è emerso che sia il tempo di maturazione, che il rapporto tra emulsionanti e addensanti, apportano modifiche sia alle qualità sensoriali del gelato che su parametri di interesse come la velocità di scioglimento del gelato e l'incorporo d'aria. Un aumento del tempo di maturazione riduce i valori di viscosità, incrementa il valore dell'*overrun* e aumenta la velocità di scioglimento dopo mantecazione; a livello sensoriale il gelato viene percepito più cremoso e la valutazione retro-olfattiva indica una maggiore percezione delle note di latte e panna, il gelato viene giudicato più dolce e gradevole, mentre si evidenzia una riduzione dell'intensità olfattiva e della percezione del freddo.

Aumentare gli addensanti riducendo gli emulsionanti, fa aumentare la viscosità e la temperatura del gelato estratto dal mantecatore, consente di ridurre il tempo di mantecazione del gelato ma si ottiene un minore incorporo d'aria. A livello sensoriale diminuisce la percezione del freddo, il gelato viene percepito più cremoso e – fino a 3 ore di maturazione – più gradevole; oltre 3 ore di maturazione viene giudicato amaro.

Quindi, aumentare il tempo di maturazione o la quantità di addensanti sono due strade possibili per rendere il gelato più cremoso e con un indice di gradimento maggiore. Se si desidera ottenere un gelato meno freddo si può aumentare la quantità di addensanti.

Per ottenere un gelato con un *overrun* più alto si può sia aumentare il tempo di maturazione che incrementare la quantità di emulsionanti.

Questo studio può permettere di utilizzare in maniera più consapevole il tempo di maturazione e il rapporto addensanti/emulsionanti per modularli in base alle proprie necessità, sapendo su quali altri parametri essi incidono.

6. BIBLIOGRAFIA

- Akalin A.S., Karagözlü C., Ünal G. (2007) Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227, pp 889-895.
- Akalin A.S., Karagözlü C., Ender G., Ünal G. (2008) Effects of aging time and storage temperature on the rheological and sensory characteristics of whole ice cream. *Milchwissenschaft*, 63 (3), pp 293-295.
- Azeredo H. M. C., Barud H., Farinas C. S., Vasconcellos V. M., Claro A. M. (2019) Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3.
- Barford N. M. (2001) *The emulsifier effect*. Wilmington Business.
- Birdi K. S. (1934) *Surface and colloid chemistry*. 4th ed. CRC Press.
- Bodyfelt F. W., Tobias J., Trout G. M. (1988) *The sensory evaluation of dairy products*. 2nd ed. Stephanie Clark.
- Camera di Commercio di Cuneo (2014). *Burro e panna di vacca*. [cn.camcom.gov.it, \(https://www.cn.camcom.it/sites/default/files/uploads/documents/Prezzi/BMTI/Studio%20su%20burro%20e%20panna%20di%20vacca.pdf\)](https://www.cn.camcom.it/sites/default/files/uploads/documents/Prezzi/BMTI/Studio%20su%20burro%20e%20panna%20di%20vacca.pdf).
- Carpigiani Gelato University. *Diventa Gelatiere – Corso Base di Gelateria*.
- Duncan J. S. (1966) *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*. 4th ed. Butterworth-Heinemann.
- Mortensen A., Aguilar F., Crebelli R., Di Domenico A., Frutos M.J., Galtier P., Gott D., Gundert-Remy U., Lambré C., Leblanc J.C., Lindtner O., Moldeus P., Mosesso P., Oskarsson A., Parent-Massin D., Stankovic I., Waalkens-Berendsen I., Woutersen R.A., Wright M., Younes M., Brimer L., Altieri A., Christodoulidou A., Lodi F., Dusemund B. (2017) Re-evaluation of lecithins (E 322) as a food additive. *EFSA J*.
- Younes M., Aggett P., Aguilar F., Crebelli R., Dusemund B., Filipič M., Frutos M.J., Galtier P., Gott D., Gundert-Remy U., Kuhnle G.G., Lambré C., Lillegaard I.T., Moldeus P., Mortensen A., Oskarsson A., Stankovic I., Waalkens-Berendsen I., Woutersen R.A., Wright M., Boon P., Lindtner O., Tlustos C., Tard A., Leblanc J.C. (2018) Refined exposure assessment of sucrose esters of fatty acids (E 473) from its use as a food additive. *EFSA J*.

Fredrick E., Heyman B., Moens K., Fischer S., Verwijlen T., Moldenaers. P., Van der Meeren P., Dewettinck K. (2013) Monoacylglycerols in dairy recombined cream: II. The effect on partial coalescence and whipping properties. *Food Research International*, 51, pp 936-945.

Fucà N., Impoco G., Licitra G. (2013) *Milk Globules' Microstructure*. Nova Science.

Giudici P., Baiano A, Chiari P., De Vero L., Ghanbarzadeh B., Falcone P. M. (2020) A mathematical modeling of freezing process in the batch production of ice cream. *Foods*.

Goff H. D. , Jordan W. K. (1989) Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 72, 1, pp 18-29.

Goff H. D., Hartel W. R. (2013) *Ice Cream*. 7th ed. Springer.

Goff H. D., Verespej E., Smith A.K. (1999) A study of fat and air structures in ice cream. *International Dairy Journal*, 9, 11, pp 817-829.

Heldman R.. Singh P., Dennis R. (2013). *Introduction to food engineering*. 5th ed. Food science and technology.

<http://desalvatoregioanni.altervista.org/gli-zuccheri.html>.

<https://ascuoladipasticceria.wordpress.com/2016/09/26/sciroppo-di-glucosio/>.

<https://didatticagelato.it/#blog>.

https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_Red_O.

https://en.wikipedia.org/wiki/Solvent_Black_3.

https://en.wikipedia.org/wiki/Sudan_III.

[https://it.wikipedia.org/wiki/Dispersione_\(chimica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Dispersione_(chimica)).

https://it.wikipedia.org/wiki/Fluido_non_newtoniano.

<https://it.wikipedia.org/wiki/Panna>.

https://www.ilgelatoartigianale.info/il-gelato/gelato-e-salute/ingredienti_composti.kl#:~:text=Ingredienti%20composti%20caratterizzanti&text=Per%20esempio%2C%20orientano%20in%20questa,i%20vari%20gusti%20di%20gelato.

https://www.interfred.it/Casa/Gelato/Artigianale/Artigianale_industriale.asp

<https://www.treccani.it/vocabolario/gelato/>

ISO 4121 (1987) Sensory analysis – Methodology – Evaluation of food product by methods using scales, International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 5492 (1992) Sensory analysis – Vocabulary, International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 6564 (1985) Sensory analysis – Methodology – Flavour profile methods, International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 6658 (1985) Sensory analysis – Methodology – General guidance, International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 8586-1 (1993) Sensory analysis – General guidance for the selection, training and monitoring of assessors - Part 1: Selected assessors, International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 8586-2 (1994) Sensory analysis – General guidance for the selection, training and monitoring of assessors – Part 2: Experts, International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 8589 (1988) Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms, International Organization for Standardization. Geneva.

Japanese Association of Medical Technologists (2017) Sudan III staining. Urinary Sediment Examination. N. J-STAGE-1, 66, pag. 54.

Jape A., Harsulkar A., V. R. Sapre (2014) Modified Sudan Black B staining method for rapid screening of oleaginous marine yeasts. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3, pp 41-16.

Keenan T. W., Patton S. (1995) The milk fat globule membrane. Biochimica et Biophysica Acta (BBA), 415, 3, pp 273-309.

Lopez C., Briard-Bion V., Ménard O., Beaucher E, Rousseau F., Fauquant J., Leconte N., Robert B (2011) Fat globules selected from whole milk according to their size: Different compositions and structure of the biomembrane, revealing sphingomyelin-rich domains. Food Chemistry, 125, 2, pp 355-368.

Lopez C., Madec M. N., Jimenez-Flores R. (2010) Lipid rafts in the bovine milk fat globule membrane revealed by the lateral segregation of phospholipids and heterogeneous distribution of glycoproteins. Food Chemistry, 120, 1, pp 22-33.

McNaught A. D., Wilkinson A. (1997) IUPAC. Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book"). 2nd ed. Blackwell Scientific Publications.

- Mezger T. G. (2006). The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers. *Applied Rheology*, 12, 5, pag 232.
- Moriano M. E., Alamprese C. (2016) Honey, trehalose and erythritol as sucrose-alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. *LWT*, 75, pp 329-334.
- Miller, R. (2016) Emulsifiers: Types and Uses. *Encyclopedia of Food and Health*.
- Muchetti G. (1987) Il latte alimentare. *Tuttochimica*.
- Pagliarini E. (2002) Valutazione sensoriale: aspetti teorici, pratici e metodologici. 2nd ed. Hoepli Editore.
- Pastor J. M, Maestre Pérez S. E. (2017) Fundamentos científicos de la heladería. 1st ed. Publicacions Universitat Alacant.
- Potter R.W., Clyne, M.A. Brown, D. L. (1978) Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, 73, 2, pp 284-258.
- Regolamento (CE) N. 1234/2007 del Consiglio del 22 ottobre 2007.
- Robinson R. K. (2002) Dairy Microbiology Handbook. 3rd ed. Wiley Interscience.
- Silvestroni P. (1996) Fondamenti di chimica. 11th ed. CEA.
- Stone H., Sidel J. L. (1993) Sensory evaluation practices. *Food and Science Technology*.
- Syed Q. A., Anwar S., Shukat R, Zahoor T. (2018) Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8, 6, pp 422-435.
- Whetzel S. (2012) The everything Ice Cream, Gelato, and Frozen Desserts Cookbook. *Everything*.

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo elaborato, desidero dedicare questo piccolo spazio ai ringraziamenti.

Ringrazio la professoressa Maria Caboni che mia ha fatto da relatore per questo lavoro di tesi, i suoi consigli e le sue dritte sono stati preziosi per realizzare questo elaborato, per approfondire le conoscenze sui temi più affascinanti della sua materia.

Un dovuto ringraziamento va al mio tutor Antonio Biscotti che mi ha orientato durante l'elaborazione del disegno sperimentale, e guidato nelle prove da effettuare, con consigli sagaci, analizzando le criticità e trovando possibili alternative. Ringrazio l'ing. Roberto Lazzarini, l'ing. Assunta Sardone e tutto lo staff dell'azienda Carpigiani in cui ho svolto il tirocinio formativo per la redazione di questa tesi, è stata una grande opportunità di fare esperienza sul campo, prendere familiarità con la strumentazione, con le procedure e con i materiali, oltre che maturare *soft skills* come l'organizzazione, la pianificazione, il *problem solving*, lavorare in gruppo... un particolare ringraziamento va a Roberta Morea, che mi è stata vicino in ogni momento del tirocinio, facilitandomi l'inserimento nel team e nel sistema aziendale, seguendomi passo dopo passo con la premura e l'accortezza di una *madrina*, dandomi saggi consigli per la mia crescita sia professionale che personale, valorizzando i miei pregi e indicandomi i miei difetti, invitandomi a lavorare su di essi. Ringrazio le persone che hanno fatto parte del mio percorso di formazione, dai colleghi della Pianella, al gruppo dei consiglieri del Comune di Lunano, sotto la guida del sindaco Mauro Dini.

Ringrazio i miei amici d'infanzia e le amicizie nate durante la formazione universitaria, ringrazio i veri Amici che sono stati sempre al mio fianco, che tra battute di spirito e serate in compagnia hanno dato colore a questo fondamentale arco della mia vita. Ringrazio i miei compagni su cui so di poter contare, è grazie a voi se mi sento parte di una squadra inarrestabile in cui convergono i nostri ideali e le nostre passioni, la nostra unione è la nostra forza.

Un forte ringraziamento a tutta la mia famiglia, che mi ha sostenuto psicologicamente ed economicamente, che mi ha trasmesso i valori importanti e gli insegnamenti giusti, che mi hanno permesso di fare scelte ponderate, di essere saldo nelle mie decisioni, determinato anche nei momenti più impervi. Con fierezza posso dire di avere una famiglia meravigliosa: i miei genitori, mio fratello, mia sorella, i miei nonni, zii e cugini, siete tutte persone speciali.