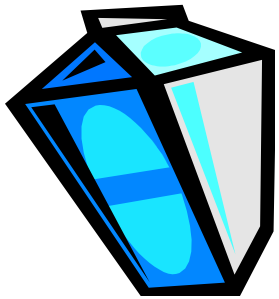
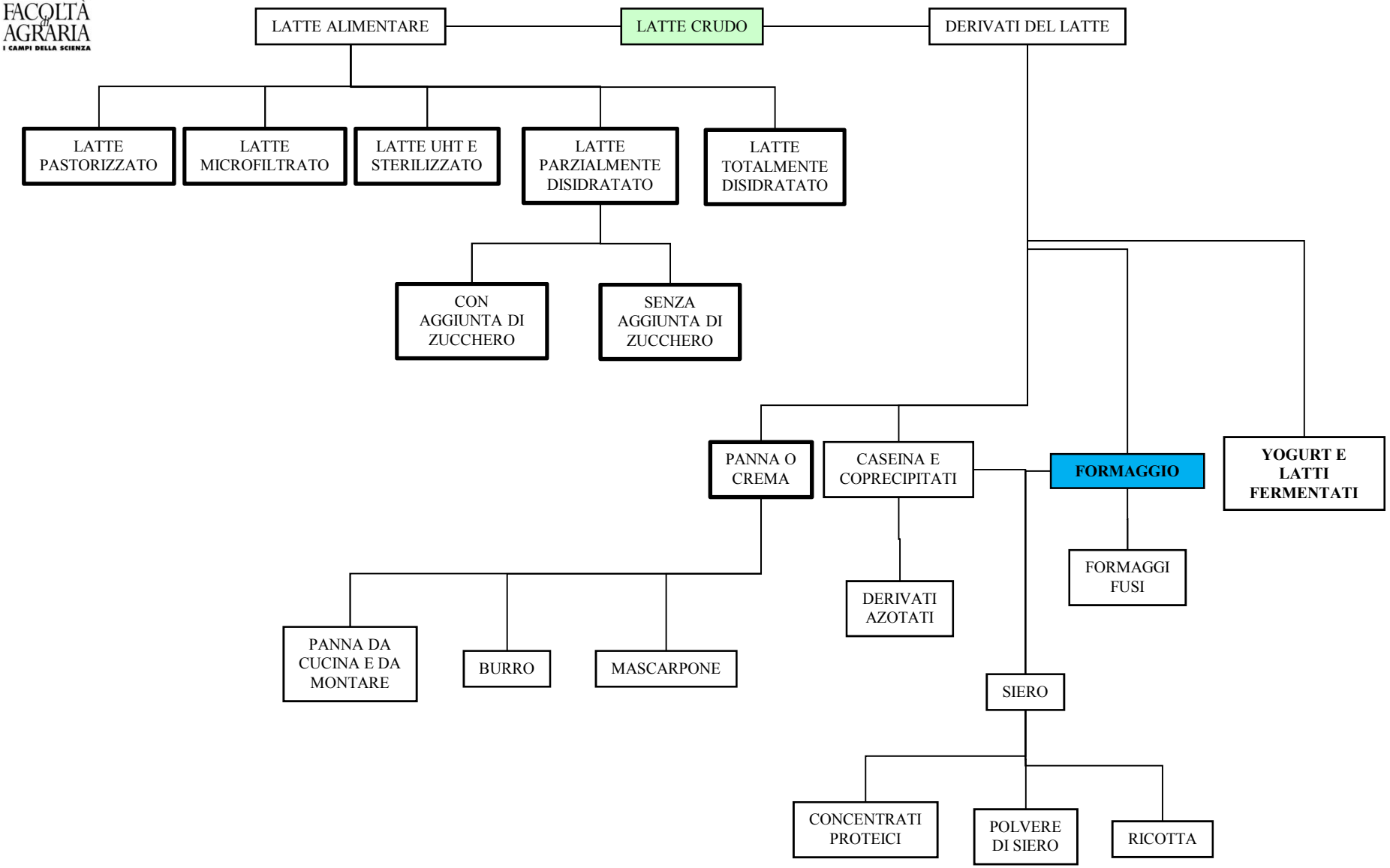
Tecnologia e caratterizzazione dei prodotti lattiero-caseari

Parte 4

La caseificazione

ZEPPA G.
Università degli Studi di Torino




LATTE ALIMENTARE
LATTE CRUDO
DERIVATI DEL LATTE
LATTE PASTORIZZATO
LATTE MICROFILTRATO
LATTE UHT E STERILIZZATO
LATTE PARZIALMENTE DISIDRATATO
LATTE TOTALMENTE DISIDRATATO
CON AGGIUNTA DI ZUCCHERO
SENZA AGGIUNTA DI ZUCCHERO
PANNA O CREMA
CASEINA E COPRECIPITATI
FORMAGGIO
YOGURT E LATTI FERMENTATI
FORMAGGI FUSI
DERIVATI AZOTATI
PANNA DA CUCINA E DA MONTARE
BURRO
MASCARPONE
SIERO
CONCENTRATI PROTEICI
POLVERE DI SIERO
RICOTTA

Il formaggio

(RD 2033/25) Il formaggio è il prodotto che si ottiene dalla coagulazione acida o presamica del latte intero o parzialmente o totalmente scremato o dalla crema, anche facendo uso di fermenti o di sale da cucina.
Il nome di 'formaggio' senza altre aggiunte è riservato ai derivati del latte vaccino, mentre per gli altri latti il termine 'formaggio' deve essere accompagnato dalla specie da cui proviene il latte

(CODEX) Il formaggio è il prodotto stagionato o non stagionato, di consistenza molle o semidura, dura o extra-dura che può essere incartato e nel quale il rapporto proteine del siero/caseina non supera quello del latte e che è ottenuto:
a) per coagulazione completa o parziale delle seguenti materie prime: latte e/o prodotti provenienti dal latte, grazie all'azione del caglio o di altri agenti coagulanti appropriati e per dissierazione parziale del lattosiero risultante da questa coagulazione e/o
b) per l'impiego di tecniche di fabbricazione comportanti la coagulazione del latte e/o di prodotti provenienti dal latte in modo da ottenere un prodotto finito avente le caratteristiche similari a quelle di un prodotto definito in a).

Dir CE 92/46 – 92/47 (DPR 54/97) : art. 2 "… per prodotti lattiero-caseari si intendono i prodotti derivati esclusivamente dal latte, con l'aggiunta eventuale delle sostanze necessarie alla loro fabbricazione, purchè non utilizzate per sostituire totalmente o parzialmente uno qualsiasi dei costituenti del latte …"

Reg. CE 853/04 : "… prodotti lattiero-caseari – prodotti risultanti dalla trasformazione di latte crudo o dall'ulteriore trasformazione di detti prodotti trasformati"

Reg. CE 1234/2007
- art. 114/Allegato XII "Ai sensi del presente allegato si intendono per «prodotti lattiero-caseari» i prodotti derivati esclusivamente dal latte, fermo restando che possono essere aggiunte sostanze necessarie per la loro fabbricazione, purché esse non siano utilizzate per sostituire totalmente o parzialmente uno qualsiasi dei componenti del latte"
- articolo 119 - Impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi – "L'impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi è subordinato a preventiva autorizzazione che viene rilasciata soltanto se tale impiego è condizione necessaria per la fabbricazione dei prodotti"
- art. 121 - Adozione di norme, modalità di applicazione e deroghe – "La Commissione stabilisce le modalità di applicazione del presente capo, che possono riguardare in particolare:
…i) con riguardo all'impiego di caseina e caseinati di cui all'articolo 119: i) le condizioni per il rilascio delle autorizzazioni da parte degli Stati membri, nonché le percentuali massime di incorporazione in base a criteri oggettivi fissati tenendo conto delle esigenze tecnologiche; ii) gli obblighi che le imprese autorizzate ai sensi del punto i) devono rispettare"

Reg. CE 72/2009
- art. 102 bis : "….l'articolo 119 è sostituito dal seguente: «Articolo 119 - Impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi - In caso di erogazione dell'aiuto di cui all'articolo 100, la Commissione può subordinare l'impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi a preventiva autorizzazione, che viene rilasciata soltanto se tale impiego è condizione necessaria per la fabbricazione dei prodotti in questione.»

Reg. CE 760/2008

- art. 1 - “Le autorizzazioni di cui all’articolo 119 del regolamento (CE) n. 1234/2007 sono concesse per un periodo di 12 mesi, su richiesta delle imprese interessate, previo impegno scritto delle stesse ad accettare e rispettare le disposizioni dell’articolo 3 del presente regolamento”

- art. 2 – “1. La percentuale massima di cui all'articolo 121, lettera i), punto i), del regolamento (CE) n. 1234/2007, da incorporare nei prodotti del codice NC 0406 (formaggi e latticini) è del 10 %. Detta percentuale si applica al peso del formaggio prodotto dall’impresa o dall’unità di produzione durante un periodo di sei mesi.

- I formaggi con aggiunta di caseina o caseinati non superano il rapporto proteine del siero di latte/proteine della caseina e rispettano la legislazione nazionale del paese di fabbricazione sull’impiego della caseina e dei caseinati.

2. In deroga al paragrafo 1, fino al 31 dicembre 2008 la percentuale massima di cui al primo comma del presente paragrafo è del 5 % per i seguenti prodotti:

a) formaggio fuso del codice NC 0406 30;

b) formaggio fuso grattugiato del codice NC ex 0406 20, fabbricato con processo continuo, senza aggiunta di formaggio fuso fabbricato precedentemente;

c) formaggio fuso in polvere del codice NC ex 0406 20, fabbricato con processo continuo, senza aggiunta di formaggio fuso fabbricato precedentemente.

Reg. CE 548/2009
Considerato
- In seguito alla modifica dell'articolo 119 del regolamento (CE) n. 1234/2007 operata dal regolamento (CE) n. 72/2009, la preventiva autorizzazione all'impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi non è più necessaria a meno che l'aiuto venga erogato ai sensi dell'articolo 100 del regolamento (CE) n. 1234/2007 e la Commissione decida che l'impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi debba essere subordinato a detta autorizzazione.
-Il regolamento (CE) n. 760/2008 della Commissione (3) ha stabilito le norme relative alle autorizzazioni preventive all'impiego di caseina e caseinati che dovevano essere concesse in virtù dell'articolo 119 prima che esso venisse modificato dal regolamento (CE) n. 72/2009. Tenuto conto dell'attuale situazione nella quale l'importo dell'aiuto è fissato a zero e del fatto che l'autorizzazione preventiva non è più obbligatoria, occorre modificare l'ambito di applicazione del regolamento (CE) n. 760/2008 in modo da definire le condizioni alle quali dette norme vanno applicate.
….
- Articolo 1
All'articolo 1 del regolamento (CE) n. 760/2008, il paragrafo 1 è sostituito dal seguente:
«1. Il presente regolamento stabilisce le norme che disciplinano il rilascio di autorizzazioni all'impiego di caseina e caseinati nella fabbricazione di formaggi allorché:
a) viene fissato un aiuto a norma dell'articolo 100 del regolamento (CE) n. 1234/2007; e
b) tale impiego è considerato necessario alla fabbricazione di formaggi come prevede l'articolo 119 di detto regolamento.
Tali autorizzazioni sono concesse per un periodo di 12 mesi, su richiesta delle imprese interessate, previo impegno scritto delle stesse ad accettare e rispettare le disposizioni dell'articolo 3 del presente regolamento.»

Il formaggio

(L 142/92) '…non è prescritto un contenuto minimo di materia grassa per i formaggi diversi da quelli a Denominazione di Origine e a Denominazione Tipica di cui alla legge 1.4.1954 n. 125 che restano regolati dalle disposizioni emanate ai sensi di tale legge …. L'etichettatura dei formaggi per i quali non è previsto un contenuto minimo di materia grassa, qualora detto contenuto riferito alla sotanza secca, sia inferiore al 20% o compreso tra il 20 ed 35% deve indicare una informazione per il consumatore circa la quantità di materia grassa e la conseguente qualità **magra** o **leggera** dei formaggi

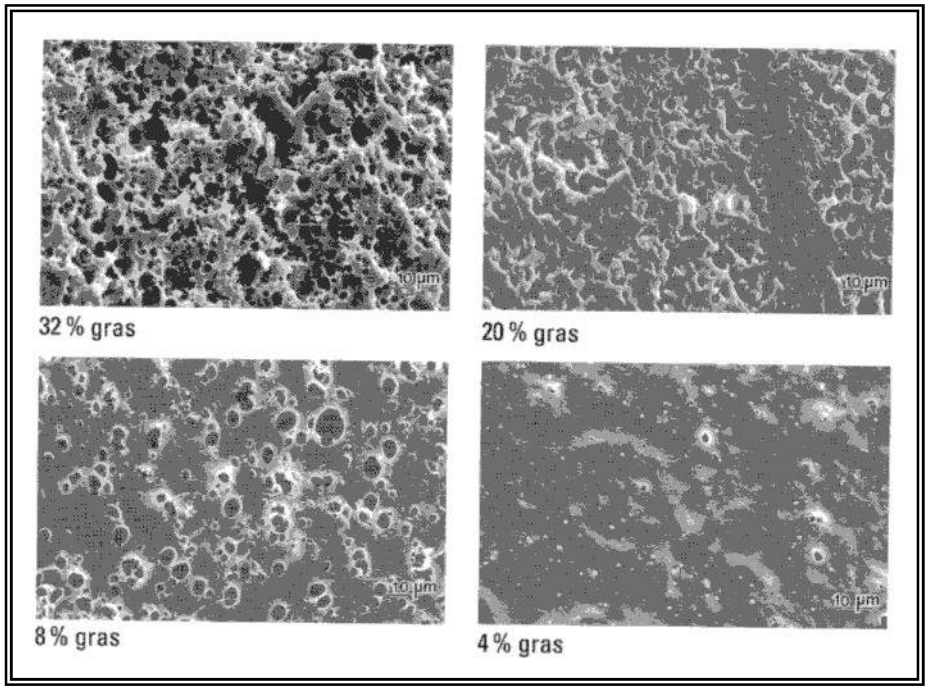
Ruolo sulla caseificazione

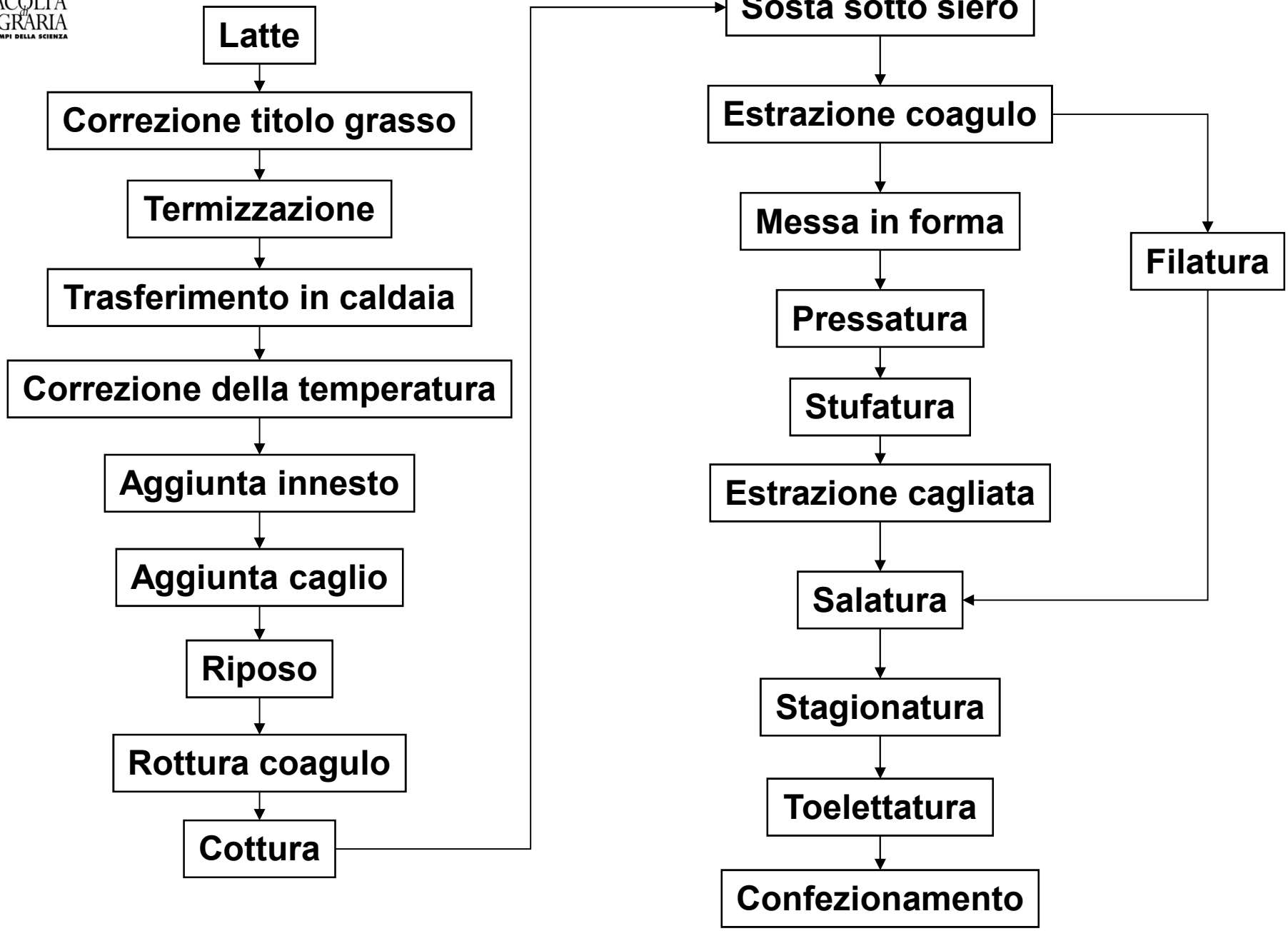
• dei costituenti principali del latte
  - ✓ acqua → struttura (pasta molle >50%; semidura 45-50%; pasta dura 35-45%), maturazione (>H2O → >proteolisi > lipolisi >fermentazione lattosio), resa
  - ✓ sostanza grassa → struttura, maturazione, resa
  - ✓ proteine (caseine, sieroproteine)
  - ✓ lattosio → acidità, imbrunimenti in cottura
  - ✓ minerali → coagulazione

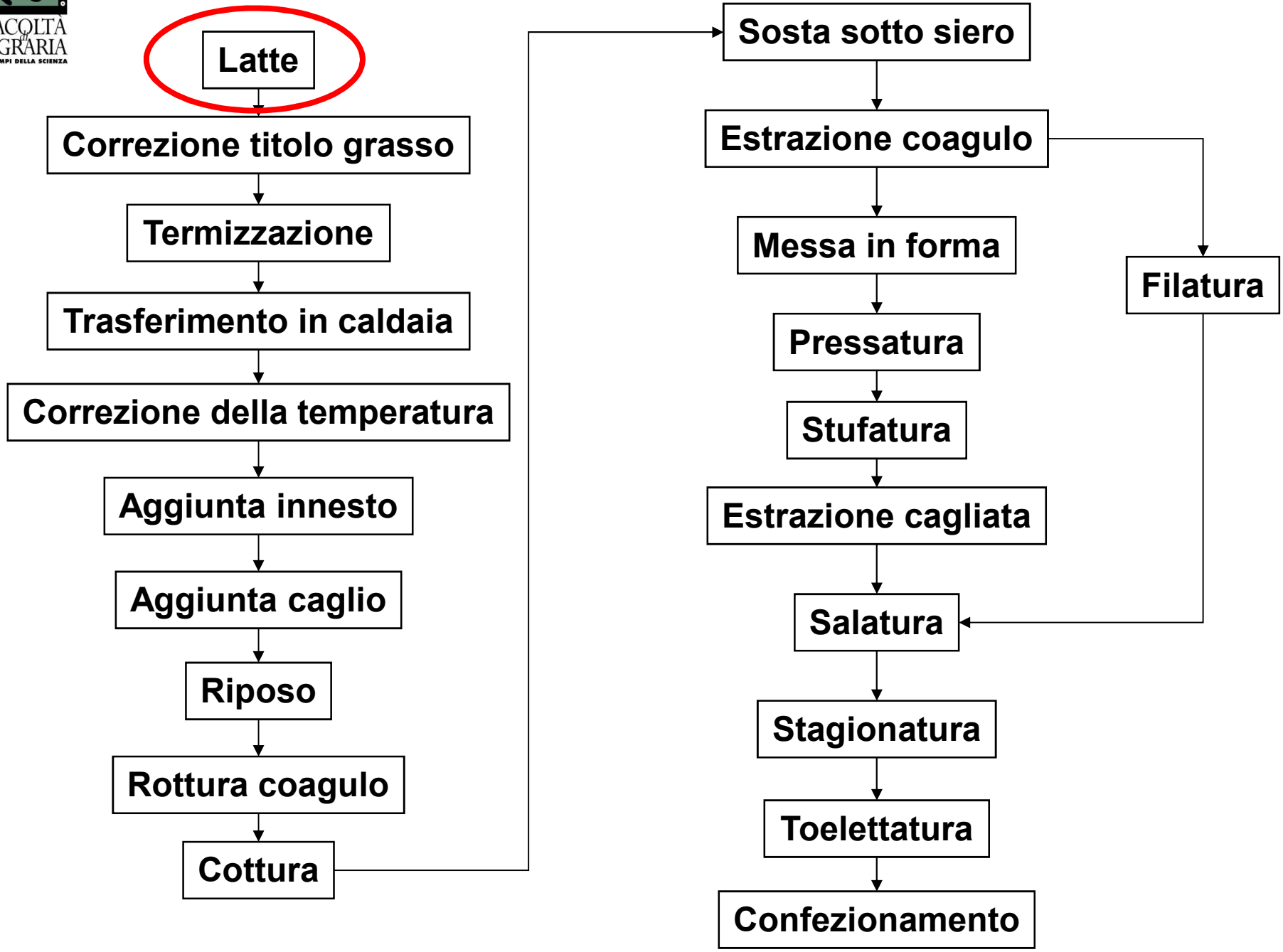
• del potere tampone ← caseine, sieroproteine, minerali

• della refrigerazione → batteri, solubilizzazione caseine

• della pastorizzazione → batteri, denaturazione, tempi lunghi di coagulazione




Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura


Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

REFRIGERAZIONE

- ✓ NON migliora la qualità del latte
- ✓ rapida → +4°C in 2-3 ore max
- ✓ diminuzione della carica microbica
  - psicrofili

Pseudomonas Flavobacterium Enterobacter

Eliminati con pastorizzazione → no proteasi/lipasi

Temperatura	Tempo 0	24 ore	48 ore
	Batteri per mL latte		
Vacche - stalle pulite e strumenti sterili			
4	4.295	4.138	4.566
15	4.295	1.587.388	33.011.111
Vacche - stalle sporche e mungitura a mano			
4	136.533	281.646	538.775
15	136.533	24.673.571	639.884.615

Effetto dell'affioramento del latte per una sosta di 8 ore a 10-12 °C (germi/mL)

Periodo di produzione	Latte intero al conferimento	Latte al trasferimento in caldaia	Crema separata
Inverno	180,000	42,000	1,700,000
Estate	480,000	96,000	9,000,000

✓ modifiche equilibrio dei sali

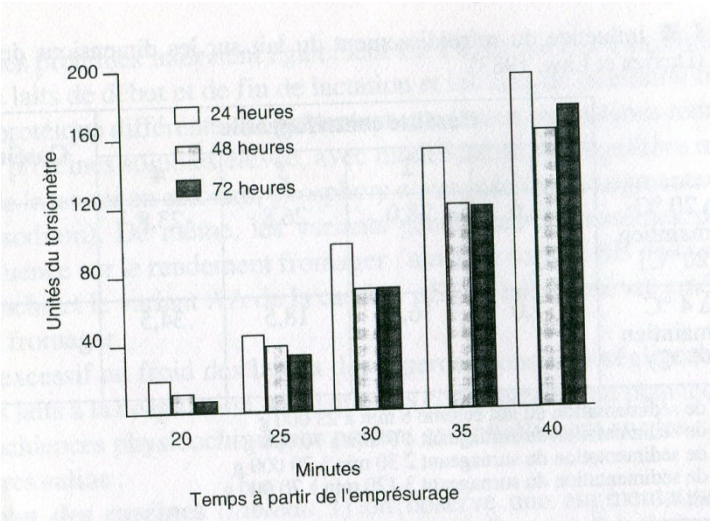
calcio colloidale ⇄ calcio solubile

acidificazione - raffreddamento

basificazione - riscaldamento

✓ solubilizzazione della caseina, soprattutto della β, riduzione delle dimensioni delle micelle ed aumento del grado di idratazione

PRESA COAGULO LENTA
COAGULO MOLLE



Temperatura	Tempo	% caseina sol./caseina tot
35°C	2 ore	7,0 - 9,0
4°C	15 ore	14,0 - 23,0
25°C		5,0 - 6,1
2°C		12,5 - 16,3
20°C	40 ore	3,2 - 4,5
4°C		11,6 - 19,3

Standardizzazione

Utilizzare latte di massa

Standardizzazione proteica

- Evaporazione o osmosi inversa
  - ✓ Aumentano tutti i componenti → aumenta il potere tampone e rallenta la proteolisi → si può avere una post-acidificazione per residui di lattosio → è simile all'aggiunta di latte in polvere

- Nanofiltrazione
  - ✓ Aumentano tutti i componenti tranne i sali solubili

- Concentrazione selettiva caseine con microfiltrazione → si eliminano le proteine solubili con microfiltri → aumento di resa (3-8%), tempo di presa minore

- Ultrafiltrazione
  - ✓ Aumentano le proteine del latte o del siero → il rapporto proteine/estratto aumenta da 0.36 a 0.65

- Aggiunta di siero-proteine (3 g/L per paste molli e 6 g/L per paste pressate)

- Aggiunta caseinati → circa 5 g/L

Standardizzare sali, pH e lattosio

✓ Se Ca scarso → aumento tempo di presa, coagulo molle e fragile, spurgo difficile, diminuzione di resa

✓ Aggiunta $CaCl_2$ → modifiche equilibrio dei sali → 50-200 mg/L

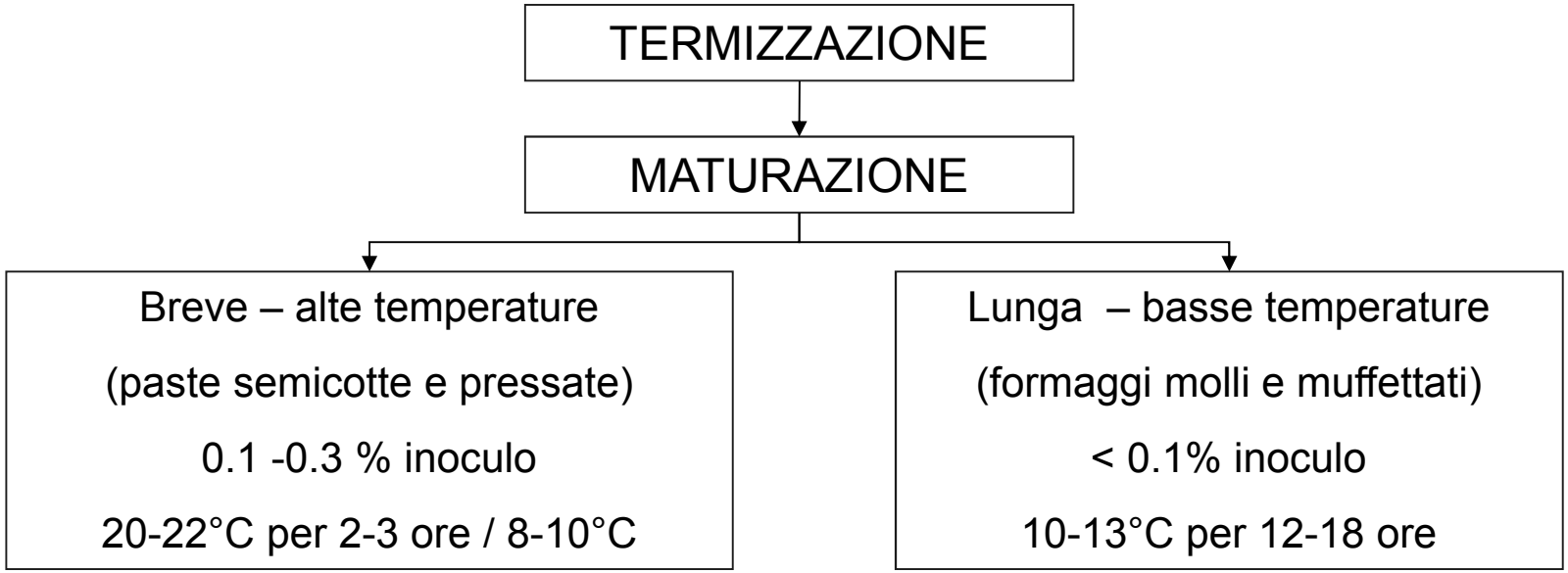
✓ Il pH alla pressatura influenza il tempo e l'intensità della mineralizzazione della cagliata → l'acidificazione causa una solubilizzazione del calcio colloidale ma diminuisce il tempo di presa (pH ottimale caglio 5.5) ed aumenta la velocità di raffermimento → si ottiene:mediante :

- Aggiunta di glucono-delta-lattone (il glucosio viene ossidato ad acido gluconico che per cristallizzazione da GDL; il GDL si idrolizza ad acido gluconico
- Iniezione CO2
- Aggiunta di acidi organici o minerali
- Aggiunta di siero-proteine acide (1-7 g/L)
- Maturazione a caldo

✓ Se il lattosio è troppo elevato → post-acidificazione (gessatura, acidità ed amaro) → se il lattosio è troppo scarso → bassa acidificazione → lavaggio della cagliata → ultrafiltrazione e diafiltrazione

Prematurazione

- batteri lattici mesofili antagonizzano la crescita della microflora anticasearia
- proteolisi che produce peptidi utili allo sviluppo dello starter
- riduzione tempo di coagulazione
- aumento resa



Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Separazione della panna

Affioramento spontaneo in bacinelle (8-12 ore; 12-15 °C) ➲ Grasso 23%

Legge di Stokes

$V(cm/s) = [D^2 * (dl-dg) * g] / 18\eta$

dove
D = diametro del globulo dl= densità latte
dg = densità grasso g = forza di gravità
η = viscosità latte

Es.
$D=3*10^{-6}$ m
dg = 980 dl = 1028 dl-dg = 48 kg/m^3
$\eta= 1.42*10^{-3}$ kg/m s
V = 0.597 cm/h

Velocità affioramento reale ca. 1.5 cm/h → agglutenine (distrutte dalla pastorizzazione)

Centrifugazione ➲ Grasso 35-70 %

$$V(cm/s) = \frac{D^2 * (dl-dg) * a}{18\eta}$$

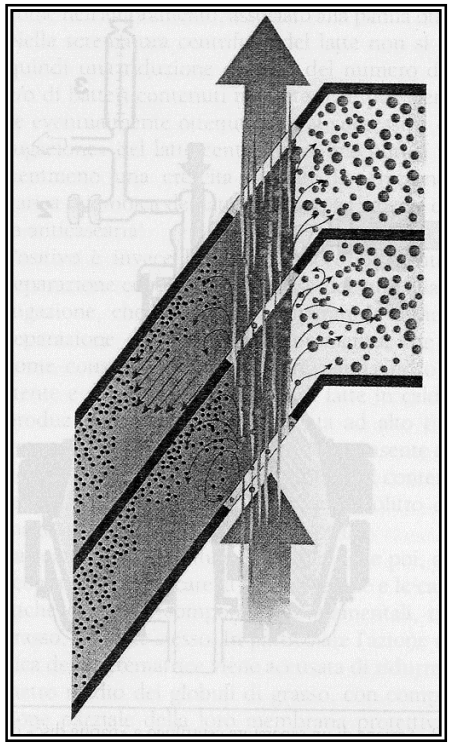
dove
D = diametro del globulo (cm) dl = densità latte
η = viscosità latte (poise)
dg = densità grasso
a = accelerazione angolare ($r * \omega^2$)
r = distanza dall'asse di rotazione
ω = velocità angolare radiale

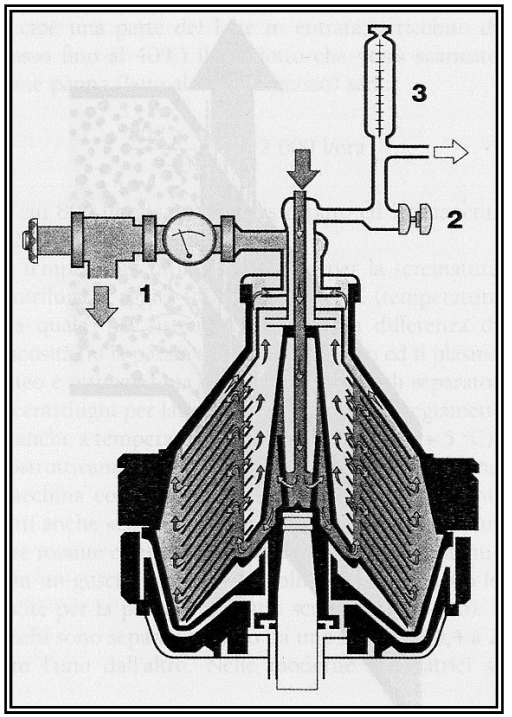
(g/100 g)	Panna da centrifuga	Panna da affioramento	Panna da siero
Grasso	35-40	20-24	44-48
Acqua	58-63	69-73	48-52
Proteine totali	2-2.3	2.5-2.7	0.3-0.5
Ceneri	0.4-0.5	0.5-0.6	0.2-0.3
Lattosio	3.2-3.5	3.5-3.8	2.3-2.7

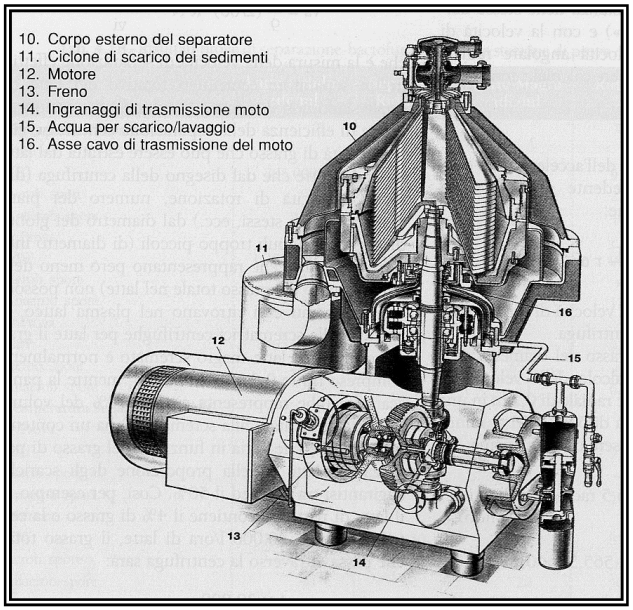
Es.
$D=3*10^{-6}$ m
dg = 980 dl = 1028 dl-dg = 48 kg/m^3
$\eta= 1.42*10^{-3}$ kg/m s
r = 0.2 m
velocità rotazione = 5400 giri/min → ω =(π*5400/30) =565.5 rad/sec
V = 389.6 cm/h

TAMBURO

Da CHIMICA DEGLI ALIMENTI *Cappelli e Vannucchi*
Edizioni Zanichelli, vedi bibliografia generale







PIERALISI

Omogeneizzazione

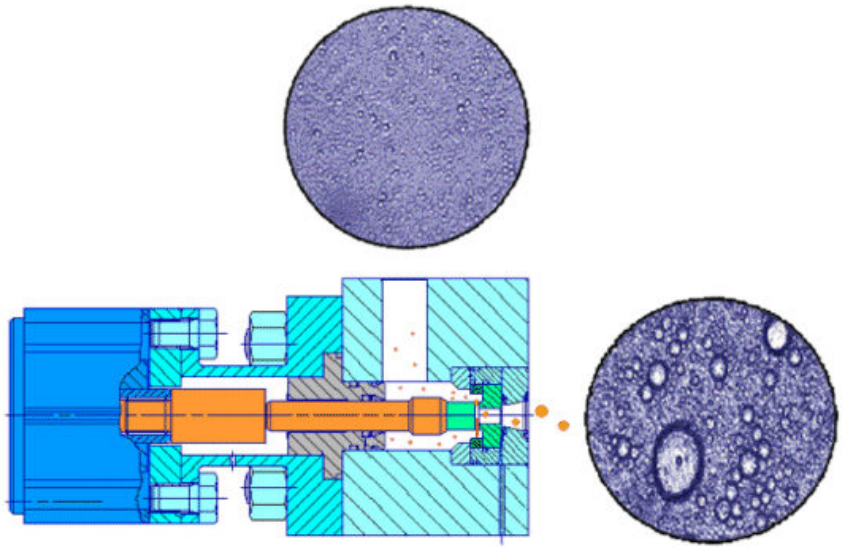
Usata raramente per i formaggi

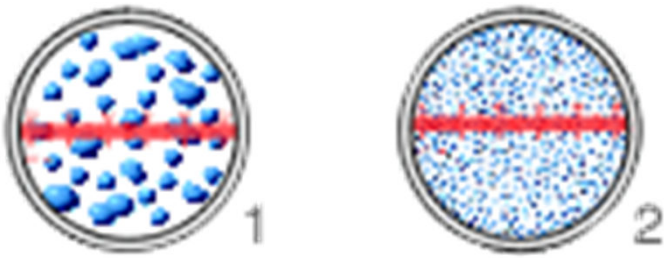
- Il coagulo è soffice e debole per l'effetto destabilizzante dei globuli in eccesso e per l'attrazione sui globuli carichi negativamente della caseina
- Nei formaggi erborinati facilita l'azione lipolitica dei funghi
- Nei formaggi alla crema porta ad una pasta più viscosa
- Nei fiocchi di latte disattiva le agglutenine ed evita la formazione di glomeruli
- Nei formaggi fusi migliora la spalmabilità

Omogeneizzazione

• Per poter miscelare stabilmente una o più sostanze in un liquido è necessario l'impiego dell'omogeneizzatore, che consente di micronizzare e disperdere le particelle in sospensione nel fluido, conferendo stabilità nonostante i successivi trattamenti e stoccaggi.

• Il prodotto giunge alla valvola omogeneizzante a bassa velocità e ad alta pressione (derivata dalla piccola luce tra testina di passaggio e testina d'urto). Nel passaggio viene assoggettato a numerose forze che causano la micronizzazione delle particelle: una violenta accelerazione con immediata decelerazione generano cavitazione con esplosione dei globuli, intensa turbolenza, unita a vibrazioni ad alta frequenza, forze di taglio d'urto derivate dal passaggio laminare tra le superfici della valvola di omogeneizzazione e conseguente impatto con l'anello d'urto



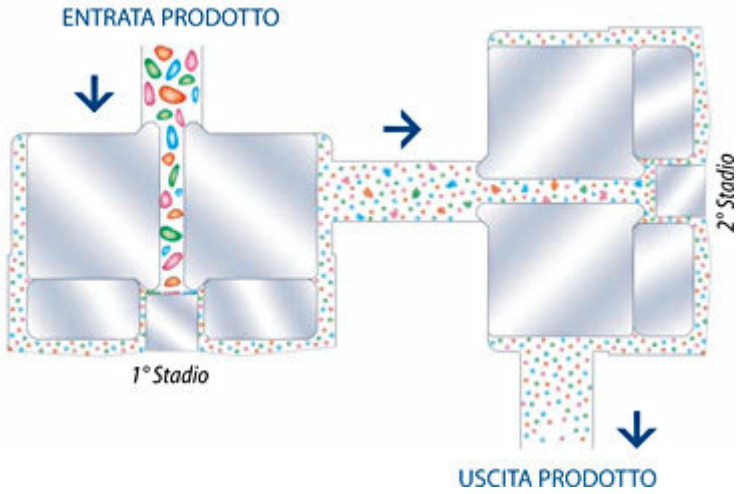


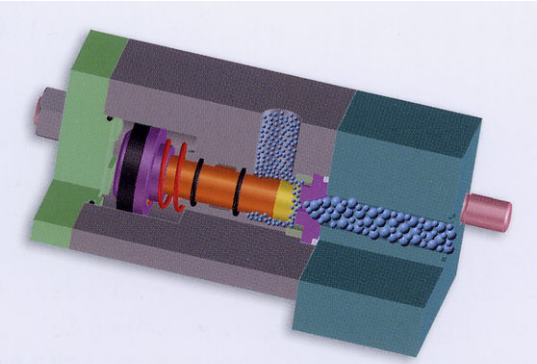
Viste al microscopio del prodotto non omogeneizzato (1) e omogeneizzato (2)

• L'omogeneizzazione può avvenire con l'impiego di una singola valvola omogeneizzante (idonea nel trattamento di dispersione), oppure di una doppia (consigliata nell'impiego di emulsioni e per il controllo della viscosità quando richiesto). Per garantire un semplice e preciso funzionamento, le valvole omogeneizzanti sono servoassistite da uno specifico gruppo oleopneumatico.

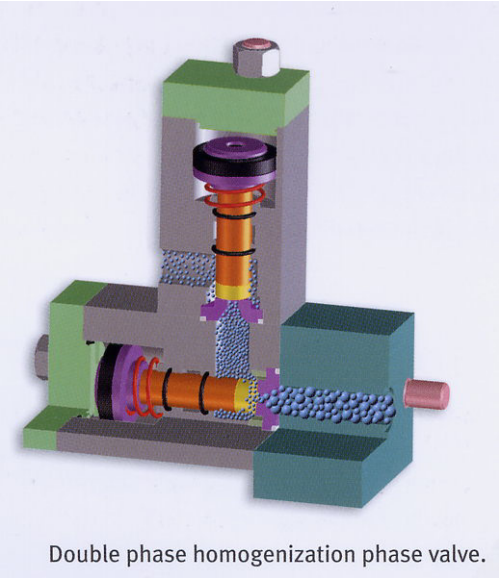
High-efficiency homogenizing valve "hpv"

Ceramic homogenizing valve assembly

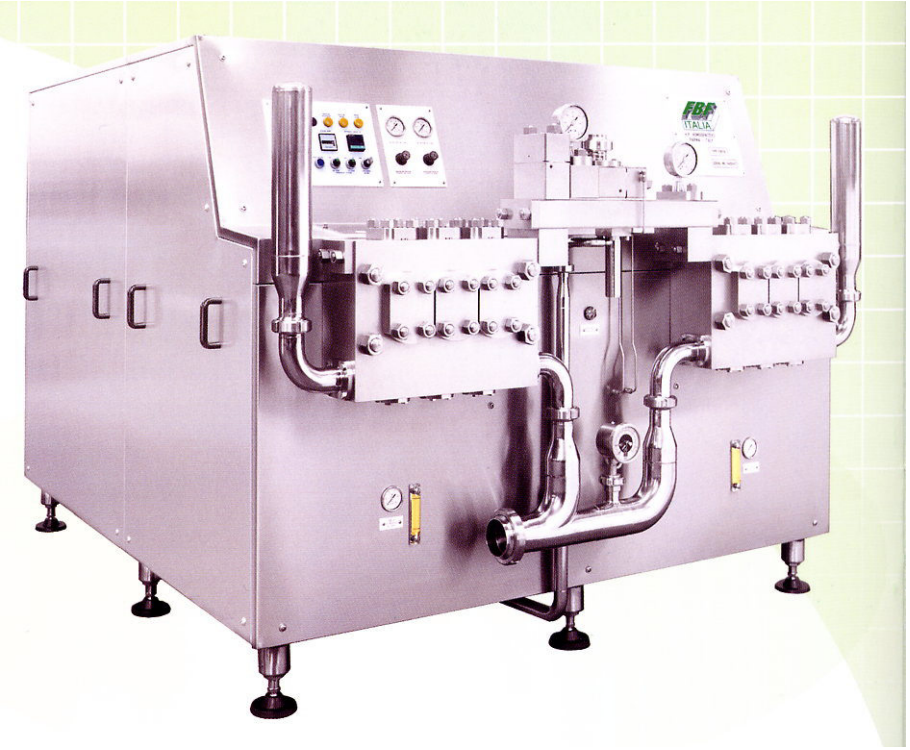




Single phase homogenization phase valve.



Double phase homogenization phase valve.



Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

TRATTAMENTO TERMICO

✓ TERMIZZAZIONE

- riscaldamento a T <68°C per 15” seguita da raffreddamento a +4 °C
- serve a ridurre la carica sia prima dello stoccaggio sia prima della coagulazione
- ristabilisce le condizioni del latte di partenza (caseina + calcio)

✓ PASTORIZZAZIONE

- T > 63 °C per 30’ (pastorizzazione bassa LTLT)
- T > 71.7°C per 15.5 “ (pastorizzazione HTST)
- T > 85 °C per 1-4” (flash pasteurization)

Pastorizzazione bassa LTLT

- **Vantaggi**
  - ✓ riduzione elevata della microflora, soprattutto patogena
  - ✓ lievi alterazioni compositive (solo la vit. C ne risente)

- **Svantaggi**
  - ✓ riduzione non uniforme, soprattutto in superficie per formazione di schiuma
  - ✓ immissione di aria per l'agitazione, con ossidazione dei grassi
  - ✓ aumento del pH per perdita di CO2
  - ✓ sistema discontinuo
  - ✓ possibile selezione di ceppi resistenti (*Propionibacterium*)

Pastorizzazione HTST

- si forma un complesso fra lattoglobuline e k-caseina → ostacola l'azione della chimosina
- modifica di odore e colore → gusto di cotto e imbrunimento
- diminuisce il Ca solubile → più difficile formare il gel (prima fase: latte-gel)

… quindi

☹ aumentano il tempo di presa e di indurimento
☹ diminuisce la rigidità finale del coagulo
☹ diminuisce lo spurgo
☺ aumenta la resa per co-precipitazione caseina/proteine solubili

Tecniche alternative

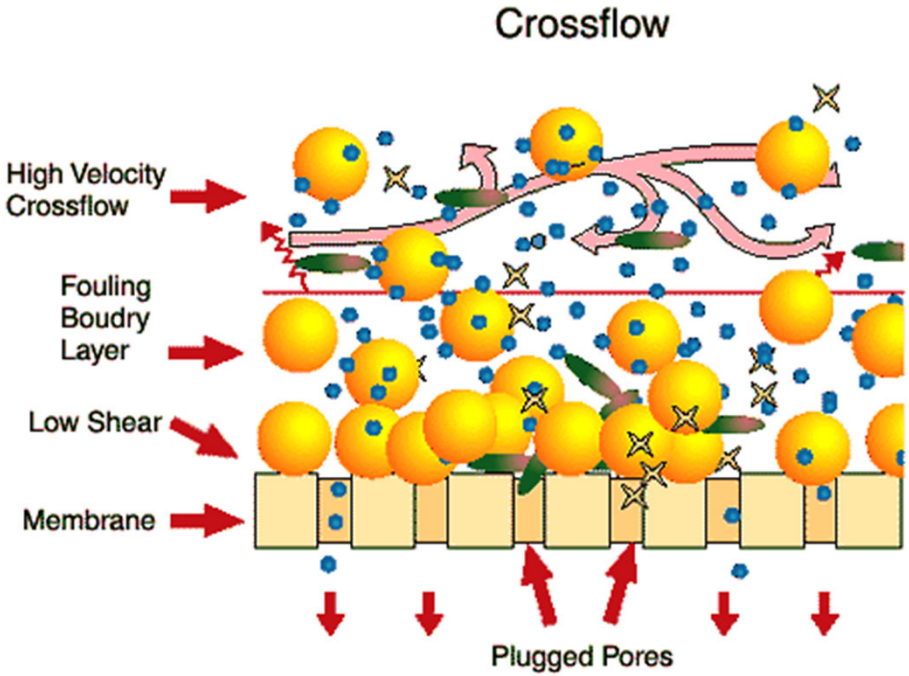
- ***microfiltrazione***
  - ✓ elimina anche le spore
  - ✓ nessun danno termico
  - ✓ elimina le cellule e quindi anche gli enzimi endocellulari
  - ✓ nessun danno ai sali

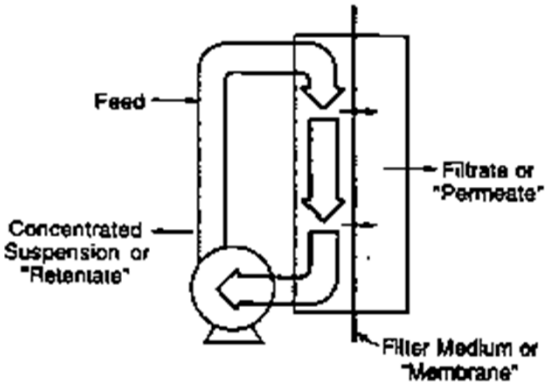
FACOLTÀ di AGRARIA
I CAMPI DELLA SCIENZA

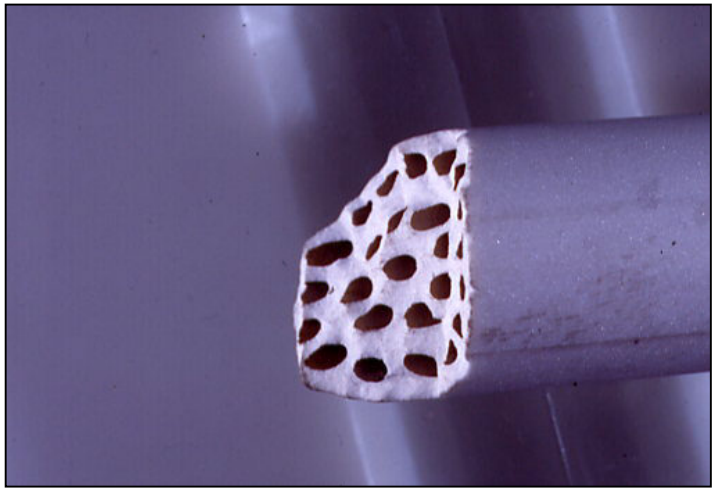
Filtrazione tangenziale

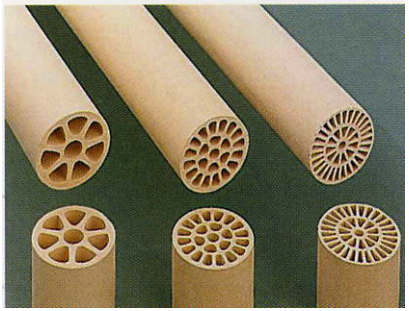
- La tecnologia prevede la filtrazione del prodotto mediante un passaggio con flusso parallelo alle membrane. Attraverso l'elemento filtrante passa solo una parte del prodotto (permeato) ed il materiale ritenuto viene continuamente rimosso dal passaggio del prodotto limitando così di molto l'intasamento della membrana (retentato).

- Il retentato viene in genere riciclato sulla membrana sino ad un valore predefinito di pressione transmembranaria







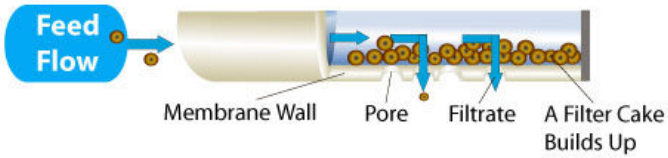


TAMI
INDUSTRIES

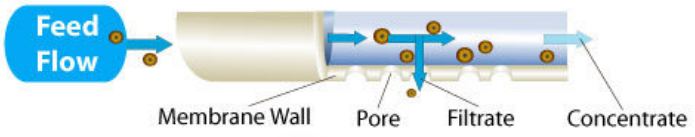
Comparison of Cross-Flow and Dead-End Modes

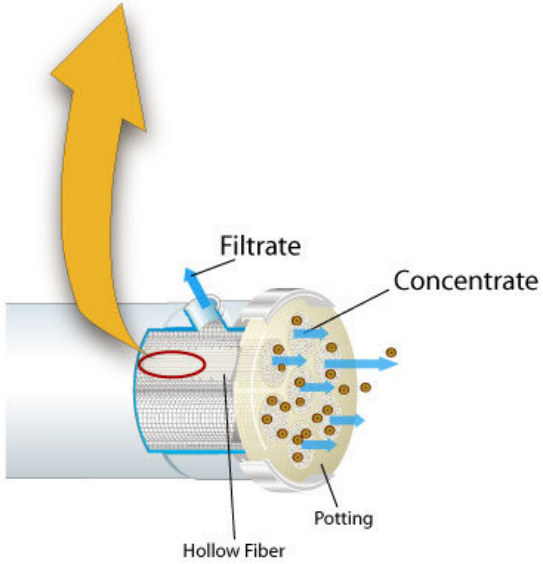
Cutaway of Hollow Fiber with Membrane Pore Detail

Dead-End Mode



Cross-Flow Mode





Tecniche alternative

- ***bactofugazione***
  - ✓ simile alla microfiltrazione

FACOLTÀ di AGRARIA
I CAMPI DELLA SCIENZA

Latte

Correzione titolo grasso

Termizzazione

Trasferimento in caldaia

Correzione della temperatura

Aggiunta innesto

Aggiunta caglio

Riposo

Rottura coagulo

Cottura

Sosta sotto siero

Estrazione coagulo

Messa in forma

Pressatura

Stufatura

Estrazione cagliata

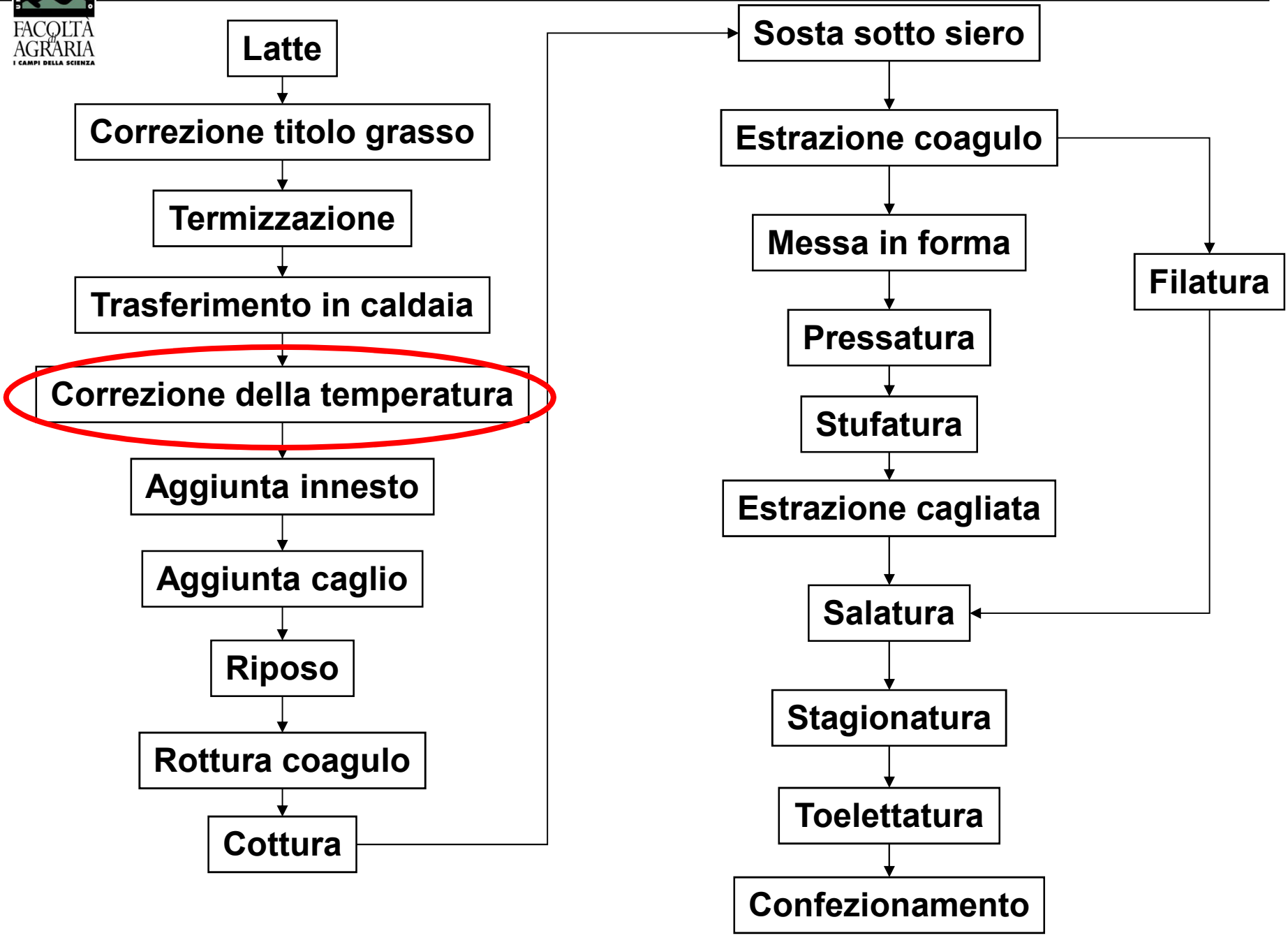
Salatura

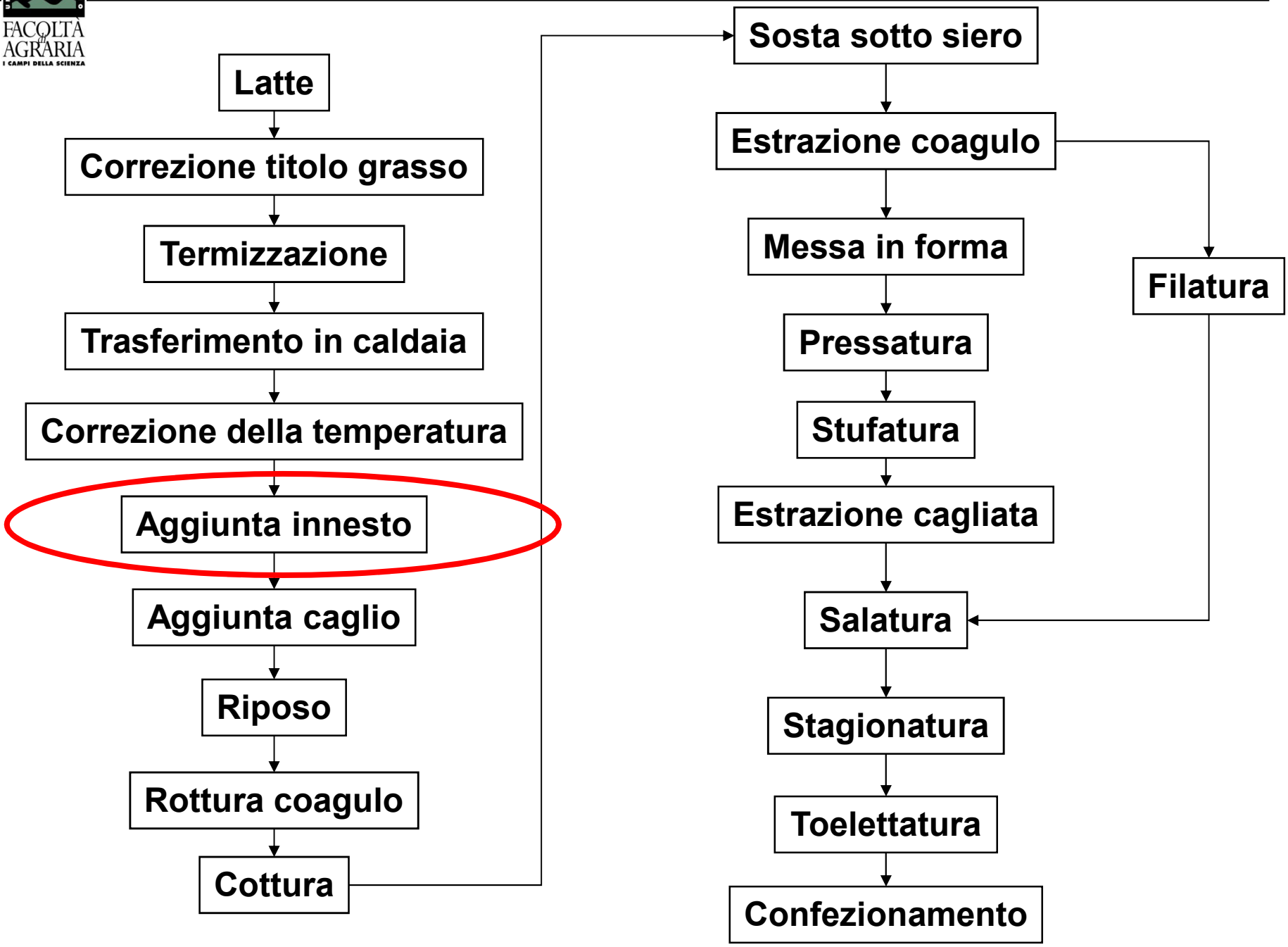
Stagionatura

Toelettatura

Confezionamento

Filatura


Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura


Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Gli innesti o fermenti utilizzati in caseificio sono microrganismi che possono modificare:

- **i caratteri fisico-chimici**
- **i caratteri sensoriali**
- **l'aspetto (muffe)**

I batteri lattici vengono scelti sulla base di :

- ***Produzione acido lattico***
- ***Produzione aroma***
- ***Attività proteolitica***
- ***Azione inibente***
- ***Produzione addensanti***
- ***Produzione gas***
- ***Azione probiotica***

→

- ***Omofermentanti***
- ***Eterofermentanti***

Gli innesti utilizzati in caseificio

Colture secondarie

Colture primarie

Colture naturali

Selezionate

Siero fermento
Scotta fermento
Latte fermento

- Assenza di trapianti
- Semplificazione del lavoro
- Minori rischi di contaminazione
- Riduzione del materiale
- Attività regolare dei fermenti
- Migliore regolarità delle produzioni
- Possibilità di meccanizzare le fasi di produzione
- Disponibilità immediata dei fermenti
- Costo di investimento proporzionale al latte trattato
- Maggiore purezza microbiologica

				Formaggi	Funzioni
Batteri	Lattococchi		Lc. lactis ssp lactis	paste molli	acidificazione
			Lc. lactis ssp cremoris	paste pressate	proteolisi
			Lc. lactis ssp lactis ssp biovar diacetylactis	paste cotte	
			S. salivarius ssp thermophilus	paste molli	apertura della pasta
	Leuconostoc		L. lactis	erborinati	produzione aroma
			L. cremoris		
			L. dextranicum	paste pressate	
	Lattobacilli	mesofili	L caseis	vari	produzione aroma
			L. plantarum		
			L. brevis		acidificazione
		termofili	L. helveticus	paste cotte	
			L. delbrukii ssp bulgaricus		
			L. delbrukii ssp lactis	paste molli	
	Micrococchi		M. caseolyticus	paste molli	formazione morchie
			M. conglomeratus	paste pressate	proteolisi
			M. freudereichii	paste cotte (morchia)	degradazione aminoacidi
	Batteri corineformi		Corynebacterium	paste molli	
			Brevibacterium linens	paste pressate	
			Microbacterium	paste cotte	
			Arthrobacter		
	Batteri propionici		P. freudenreichii	paste cotte	apertura della pasta
			P.jensenii		produzione aroma
Lieviti			Kluyveromyces	paste molli	
			Debaryomyces	paste pressate	disacidificazione
			Saccharomyces	pasteerborinati	proteolisi-lipolisi
			Pichia	paste cotte	produzione aroma
			Candida		
			Geotricum candidum	paste molli e pressate	erborinatura superficiale
Funghi			Penicillium camemberti	paste molli	erborinatura superficiale
			Penicillium roqueforti	erborinati	erborinatura, lipolisi, disacidificazione, aroma

FACOLTÀ di AGRARIA
I CAMPI DELLA SCIENZA

Le colture secondarie o integrative

Muffe		
Penicillium candidum	Maturazione; superficie; competizione vs Mucor	A pasta molle
Geotrichum candidum	Maturazione; superficie; competizione vs Mucor	A pasta molle
Penicillium roqueforti; Penicilluim weidemannii	Erborinatura; maturazione	Gorgonzola
Lieviti		
Kuyveromyces lactis	Disacidificazione della pasta	Formaggi a muffa bianca
Saccharomyces cerevisiae	Apertura della pasta	Gorgonzola
Batteri		
Propionibacterium spp	Occhiatura	Emmental
Microflora superficiale		
Brevibacterium linens	Pigmentazione rosso-arancio della crosta; maturazione	A pasta molle
Micrococcus spp	Pigmentazione rossa; aromatizzazione	A pasta molle
Enterococcus faecium	Azione antagonista vs Listeria	A crosta fiorita

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Coagulazione con enzimi
(o *presamica* da *presame* il quarto stomaco di ruminanti lattanti

Coagulazione acida

Coagulazione con calore

'Mista'

Coagulazione con calore

- Tecnica poco utilizzata, in cui si usano anche l'acidità e piccole quantità di caglio
- Le proteine del siero si denaturano, poi si aggregano
- Gli aggregati formano complessi con le caseine → coprecipitati
- T>85 °C; t > 5 minuti; acidi → resa > 20%
- Esempi il Cacioricotta, il Queso Blanco

Tipologie di caglio

- ✓ Di origine animale
  - Caglio di vitello (chimosina 90-95%; pasta, polvere o liquido; titolo 10.000-150.000)
  - Caglio di bovino adulto (pepsina)
  - Caglio di agnello (chimosina 75%; in genere in pasta; titolo 10.000; usato per il Pecorino Romano DOP)
  - Caglio di camoscio (chimosina 75%; pasta o liquido; titolo 10.000; usato per Puzzone di Moena)
  - Caglio di capretto (chimosina 75%; pasta, polvere o liquido; titolo 10.000; usato per Provolone Valpadana DOP)
  - Caglio di maiale (pepsina; liquido; titolo 10.000, usato per Pecorino di Farindola)
  - Pepsina di pollo

- ✓Di origine microbica-fungina
  - Aspartil-proteasi da *Mucor miehei*; *Mucor pusillus*, *Endothia parasitica*
  - Chimosina da *Kluyveromyces fragilis*

- ✓ Di origine vegetale
  - Coagulanti da cardo, carciofo, ananas, girasole, fico, papaia

- ✓ Di origine genetica microbica (da DNA ricombinato)

FACOLTÀ di AGRARIA
I CAMPI DELLA SCIENZA

Caglio animale

- Si ottiene in genere dall'abomaso di ruminanti lattanti
- Produzione:
  - ✓ congelamento e salatura abomasi
  - ✓ scongelamento e lavaggio per eliminare il sale
  - ✓ pulitura e taglio pellette
  - ✓ triturazione
  - ✓ lavaggio a ph 5.2 con sale ed antisettici (**caglio in pasta**)
  - ✓ pressatura
  - ✓ separazione a freddo con allume e sale
  - ✓ centrifugazione – filtrazione
  - ✓ concentrazione per ultrafiltrazione o evaporazione sottovuoto (**caglio liquido**)
  - ✓ precipitazione enzimi per aggiunta sali
  - ✓ ridissoluzione e filtrazione
  - ✓ essicamento (**caglio in polvere**)

Caglio microbico-fungini

- Microrganismi che producono proteasi con attività simile al caglio
- Più lenti in fase iniziale ma più rapidi in fase finale
- Attività proteolitica elevata
- Usati per formaggi freschi

Caglio vegetale

- In genere estratti di pistilli di fiori di cardi (C. cardunculus, C. scolymus, C. humilis) essiccati
- Elevata attività proteolitica → diminuzione di resa, sapore amaro

Casu Perutu (Campania)

La Serena (Spagna)

Cacio Fiore Aquilano (Abruzzo)

❖ Enzimi del caglio

- ✓ Chimosina o Chimasi o Rennina – Attività massima a pH 5.5; T ottimale circa 40 °C; denaturazione a T> 55°C (ne rimane anche nei formaggi a pasta cotta); proteolisi scarsa (non agisce su peptidi <1400 Daltons)
- ✓ Pepsina – Agisce nella fase terziaria con elevata attività proteolitica (circa 45 volte la chimosina)
- ✓ Lipasi – attività lipolitica
- ✓ Lisozima

❖ Titolo

- mL di latte coagulati da 1 mL di caglio a 35 °C in 40 min → problemi di comparazione
- RU (Rennet Units) o IMCU (International Milk Clotting Units) : attività coagulante necessaria per coagulare in 100 sec 10 mL di substrato costituito da latte in polvere (bassa temperatura) ricostituito al 10.7% (p/p) in una soluzione acquosa 0.01 molare di cloruro di calcio ad un pH di 6.35

❖ Composizione

Rapporto fra chimosina e pepsina (80:20; 90:10 ecc)

❖ Tipologie

- ✓ *Liquido → stabile, titolo 1:5000 – 1:20000*
- ✓ *In polvere → molto concentrato, titolo >100.000*
- ✓ *In pasta → da capretto od agnello, titolo 1:5000 – 1:15000*

• per formaggi duri a lunga conservazione servono cagli poco proteolitici (bovini liquidi o polvere) con poca pepsina

• per formaggi a media stagionatura o molto aromatici servono cagli con molta pepsina e lipasi (es. Provolone)

• per formaggi freschi non ci sono problemi

• la resa in formaggi dipende anche dal caglio
  - ✓ tessitura della pasta → inglobamento nel reticolo
  - ✓ grado di proteolisi → proteine solubilizzate
  - ✓ acqua trattenuta dal coagulo

• mai mescolare il caglio con lisozima, coloranti (annatto e carotene), sostanze ossidanti o riducenti

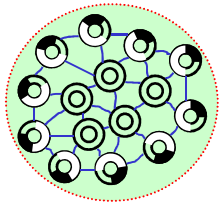
Coagulazione del latte

Coagulazione acida/lattica

Micella di caseina allo stato di sol (fosfocaseinato di Ca) --> caseina + Ca3(PO4)2 $\xrightarrow{\text{pH 4.6}}$ Caseina demineralizzata allo stato di gel --> coagulo + Sali solubili

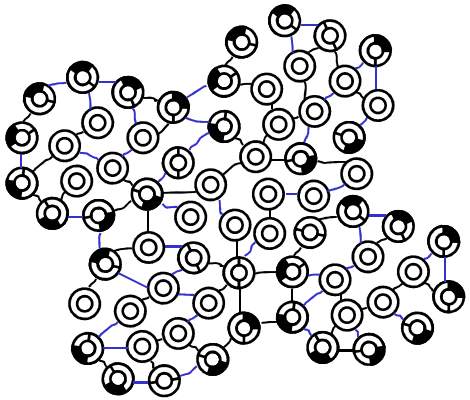
Coagulazione presamica

Micella di caseina allo stato di sol (fosfocaseinato di Ca) --> caseina + Ca3(PO4)2 $\longrightarrow$ Parafosfocaseinato di calcio allo stato di gel --> coagulo + Sostanze solubili



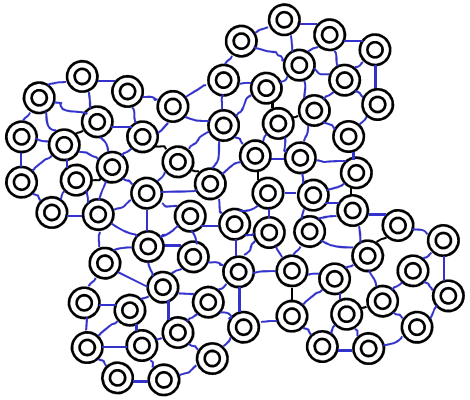
pH 4.6

Enzimi



+ Ca solubile

Rottura legame Phe_{105}-Met_{106}



+ caseino-glico-macropeptide

Coagulazione acida/lattica

• Si ha in virtù dell'acidificazione del latte causata da batteri lattici o di aggiunta di GDL o CO_2 o sieroproteine acide od acidi (organici o minerali)

• L'acidificazione causa la solubilizzazione del fosfato di calcio della micella

• A pH 4.6 le cariche elettriche sui gruppi fosfato periferici si neutralizzano per il legame con ioni idrogeno (punto isoelettrico)

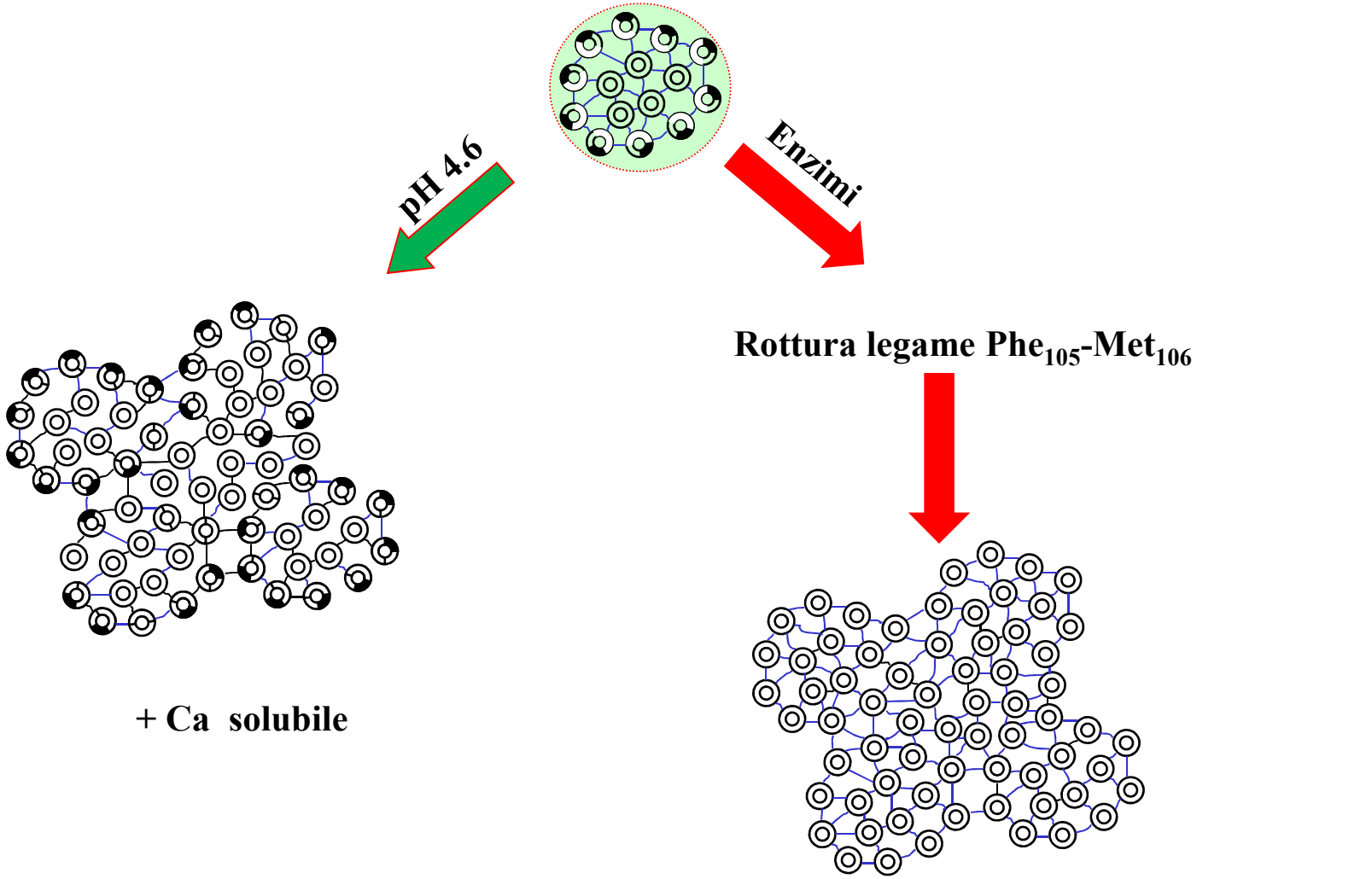
• Le micelle si uniscono formando una rete (il gel) che precipita formando il coagulo in cui sono inglobati tutti i componenti

• E' molto lenta → se rapida il coagulo è destrutturato

• T ottimale 20-30 °C; a T di 40 °C il punto isoelettrico è di pH 5.2; a T di 5°C non avviene

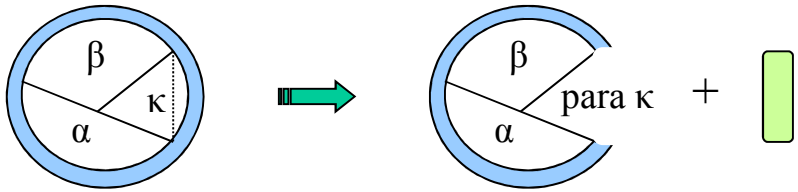
• > concentrazione caseine > compattezza coagulo → aggiungere caseinati, latte in polvere, retentati

• Usata per i Quark, il Cottage, i Cream cheeses, i caprini, la mozzarella per pizza → spesso con aggiunte di caglio


pH 4.6
Enzimi
Rottura legame Phe105-Met106
+ Ca solubile
+ caseino-glico-macropeptide (CMP)

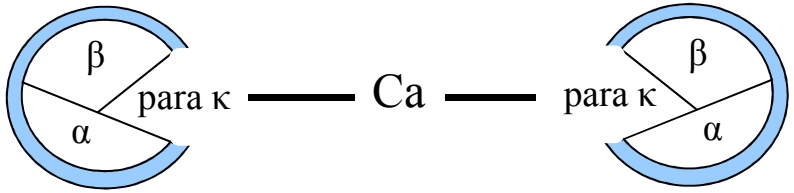
Coagulazione presamica

Fase primaria o enzimatica



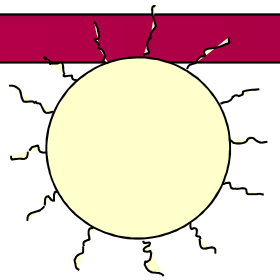
Caseina-K + Enzima → Rottura legame Phe105-Met106 → Paracaseina-K (1-105) + caseinoglicomacropeptide (106-169)

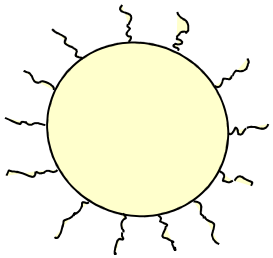
Fase secondaria

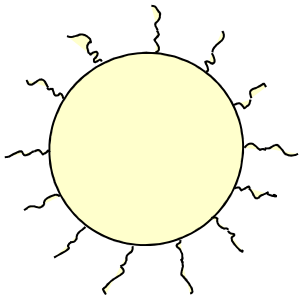


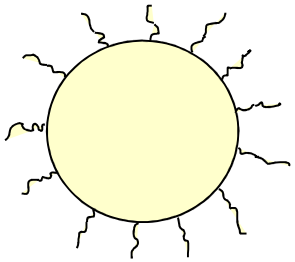
Fase terziaria

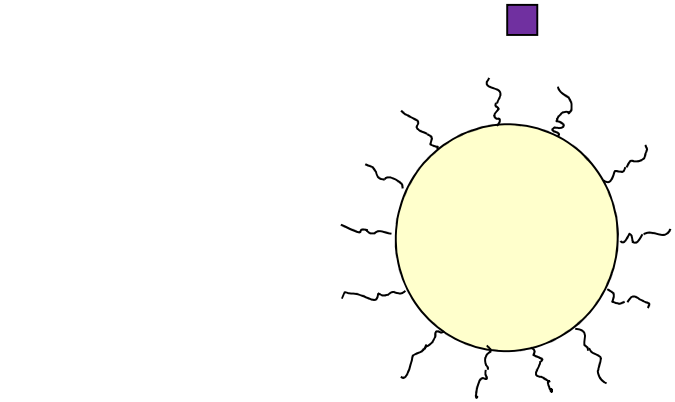
Idrolisi delle caseine

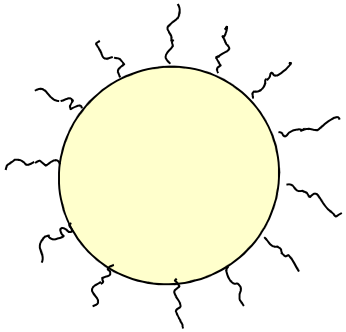


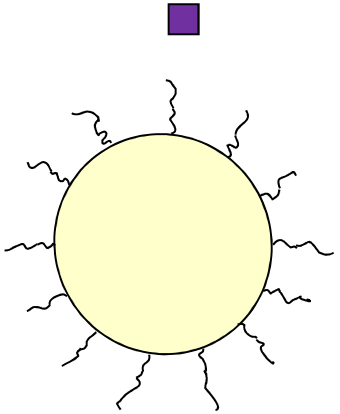


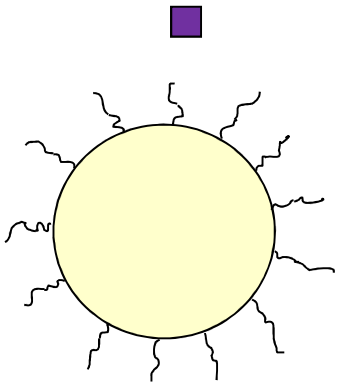


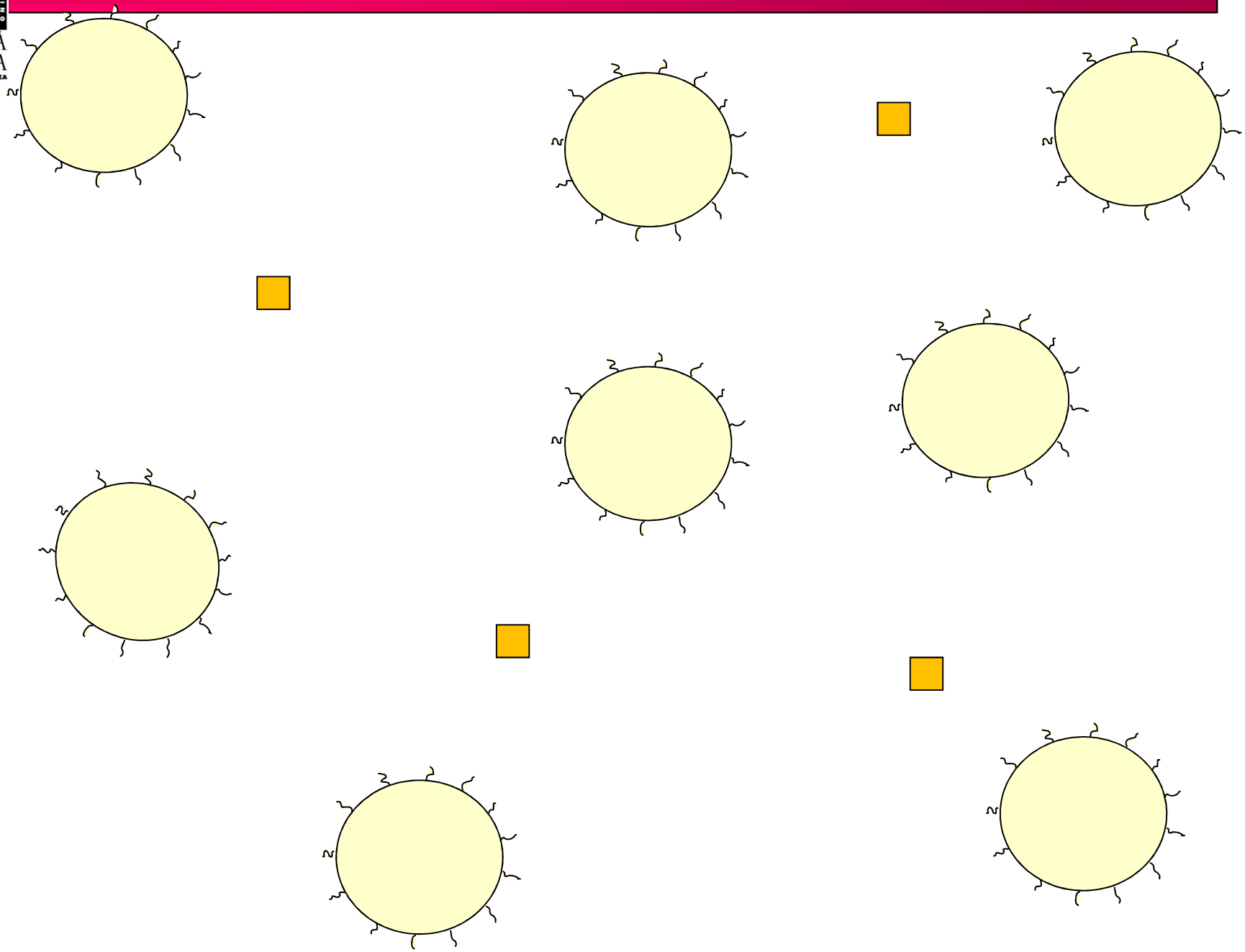












Coagulo lattico

- Basso contenuto in sali di calcio
- Friabile
- Poco consistente
- Poco elastico
- Morbido con scarso spurgo
- In genere potenziato con caglio : coagulazione mista
- Ottima per formaggi caprini

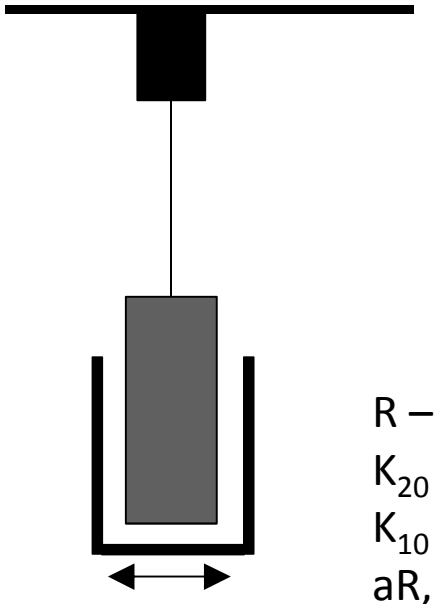
Coagulo presamico

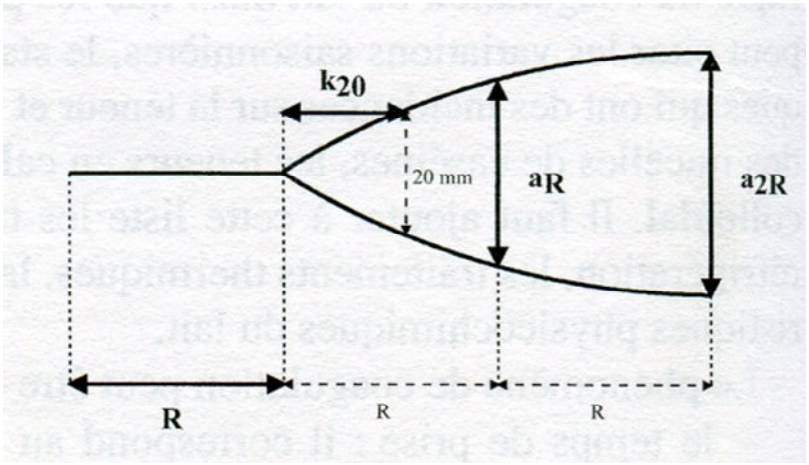
- Elevato contenuto in sali di calcio
- Consistente
- Scarso contenuto in siero → limitato sviluppo batterico → sapore dolce
- Coagulo poco permeabile → spurgo provocato (pressatura etc.)
- Il 12-15% del caglio è trattenuto nei formaggi a pasta pressata cotta ed il 30-50% nei formaggi a pasta molle e pasta pressata

		Coagulo acido	Coagulo presamico
Preparazione		Acidificazione lenta (tempo 3-24 h)	Addizione enzima (tempo <1 h)
Struttura	Legami	elettrostatici	Ionici, ponti calcio, ponti disolfuro
Caratteristiche	Consistenza	nulla	forte
	Elasticità	nulla	forte
	Friabilità	massima	scarsa
	Permeabilità	elevata	media
	Contrattilità	molto debole	elevata

Parametri di coagulazione

- Tempo di presa (tempo di flocculazione) → dall'aggiunta del caglio alla comparsa dei primi flocculi
- Tempo di raffermimento o rassodamento → dai flocculi al gel compatto ed omogeneo

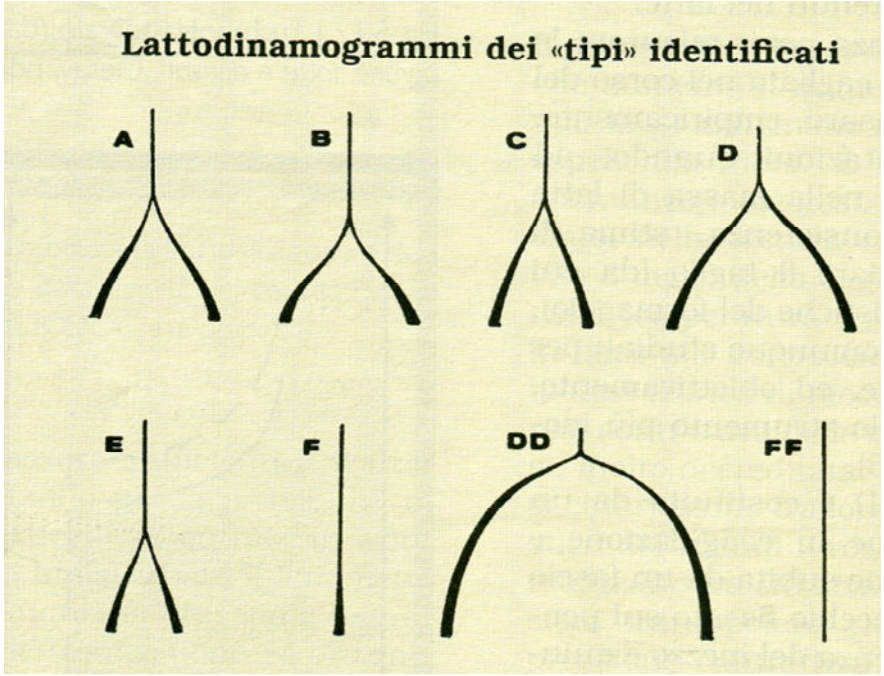




R – tempo di presa

K_{20} – tempo per raggiungere 20 mm di apertura → si utilizza anche un K_{10} pari al tempo per raggiungere 10 mm di apertura/2

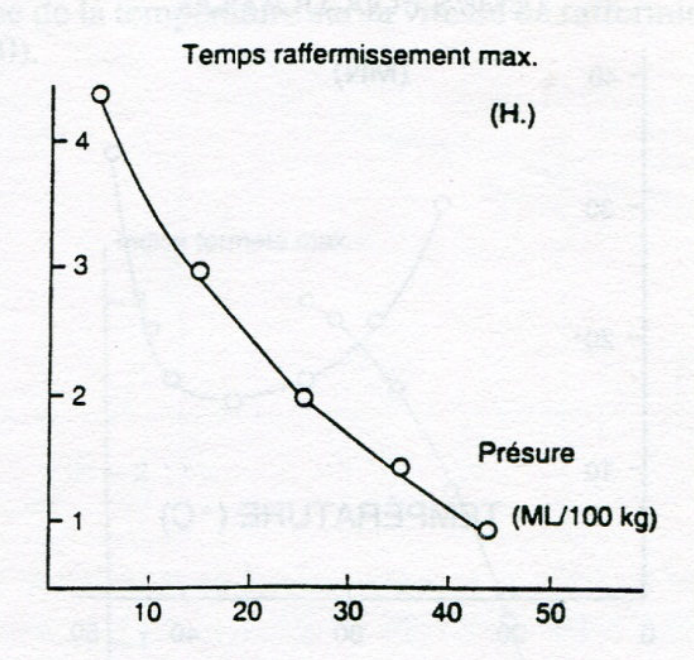
aR, a2R – durezza del gel a 1 o 2 volte il tempo di presa → si utilizza anche un a_{30} pari all'espansione dopo 30 min dall'inizio di coagulazione o 60 mm



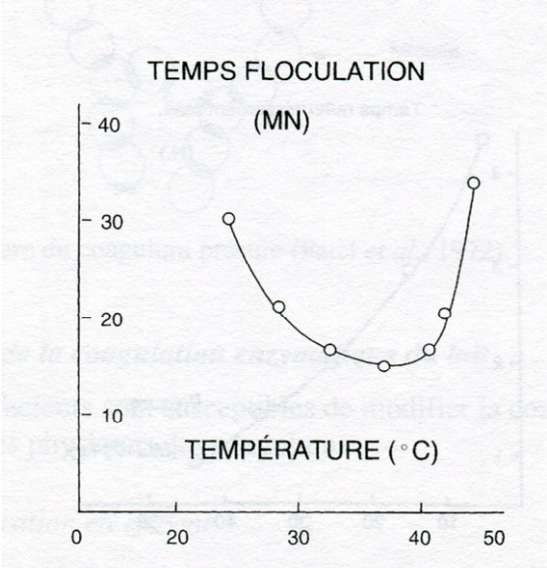
A – normale
B – fine lattazione
C – inizio lattazione
D – latte acido o con molta caseina
E – latte da bovine mastitiche o ipoacido o con poca k-caseina
F – bovine mastitiche
DD – latte iperacido
FF – latte che non coagula

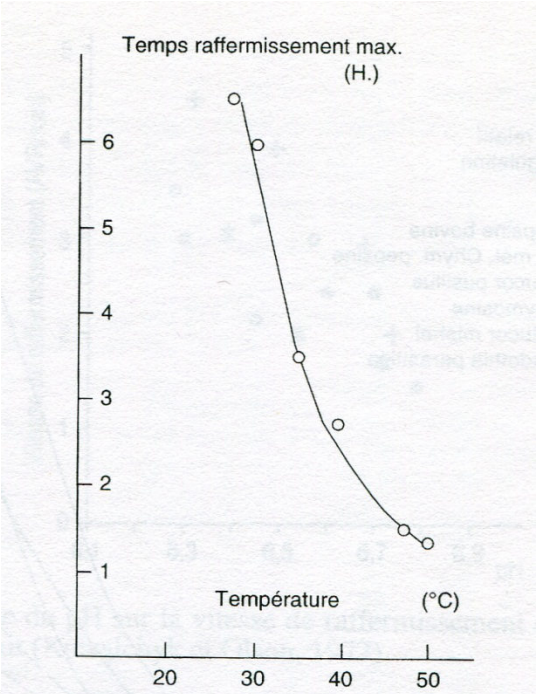
Fattori influenti sull'attività del caglio

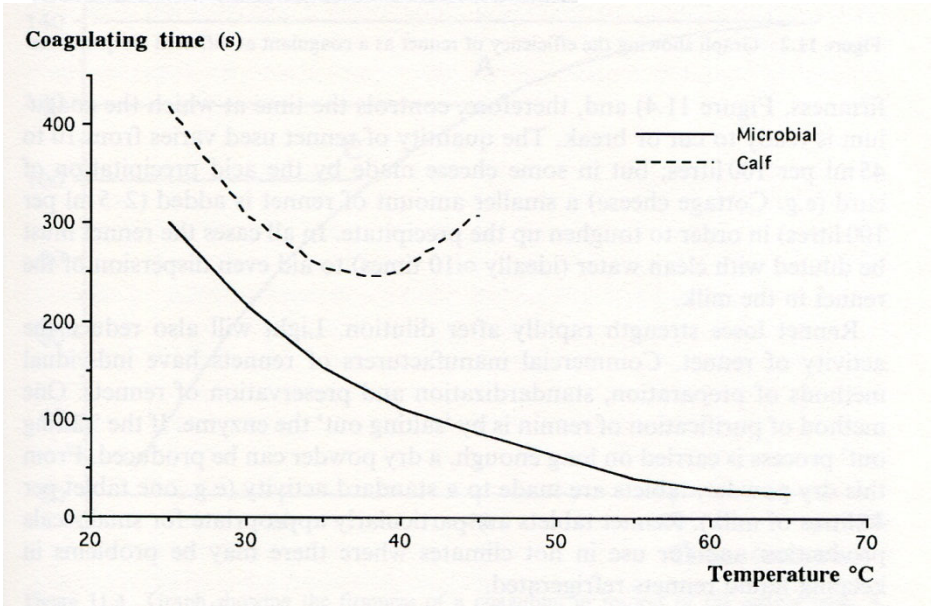
- Concentrazione caglio → se aumenta, diminuiscono il tempo di presa e di raffermimento, non la durezza del coagulo → coagulazione veloce e coagulo compatto ed elastico → amaro ?

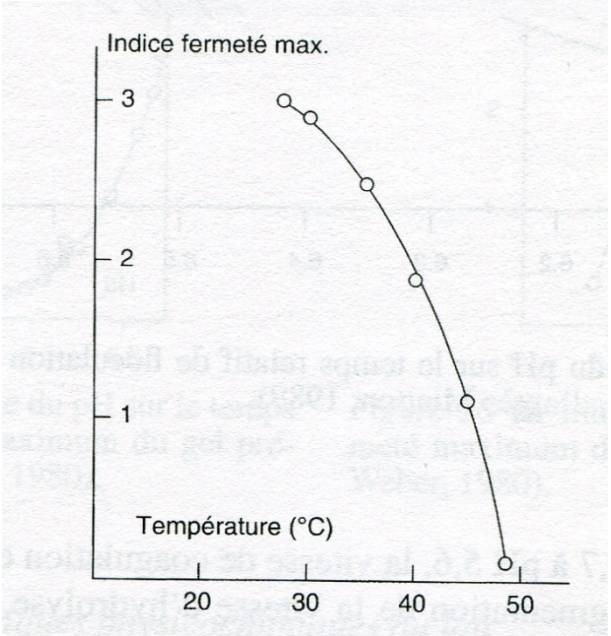


- Temperatura → ottimale 40-42 °C; nessuna attività a 10-15 °C e oltre 55 °C

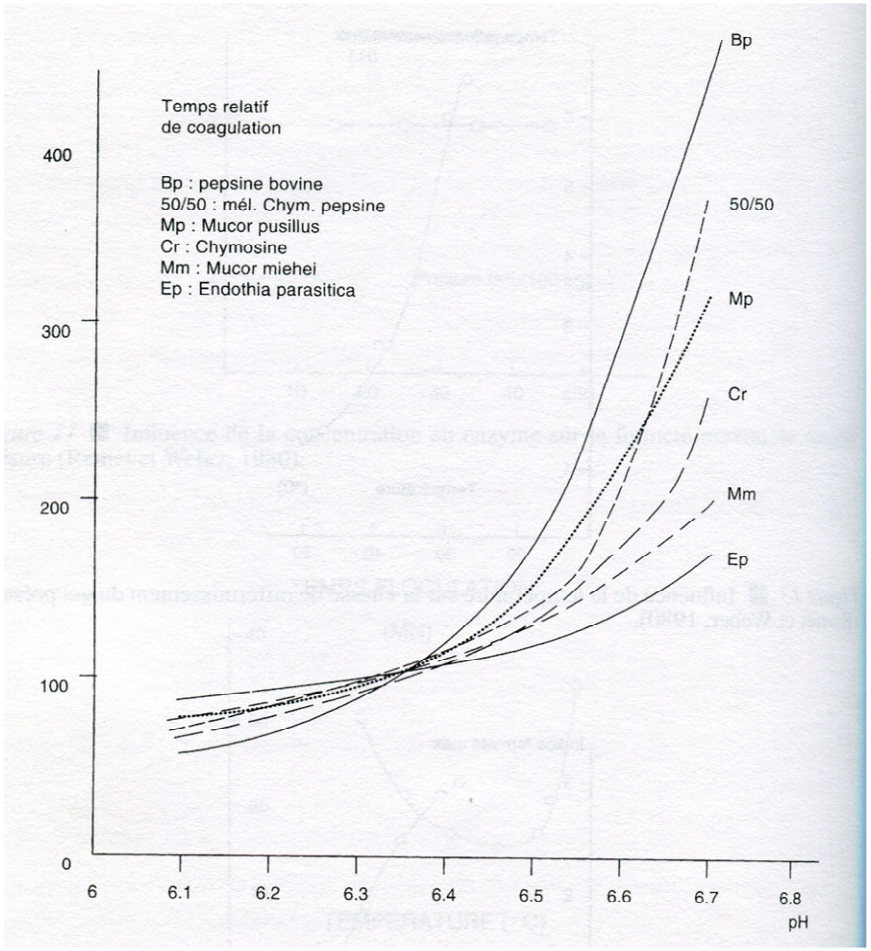


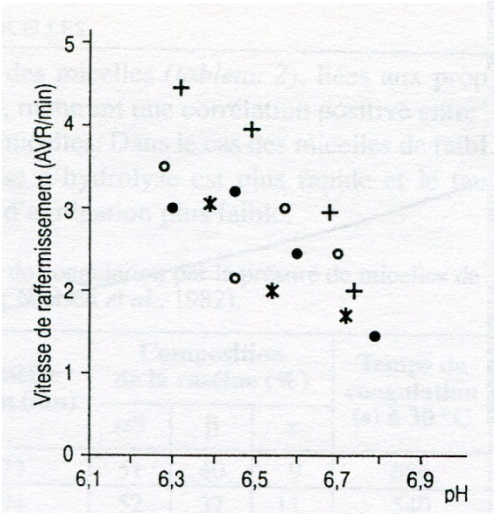


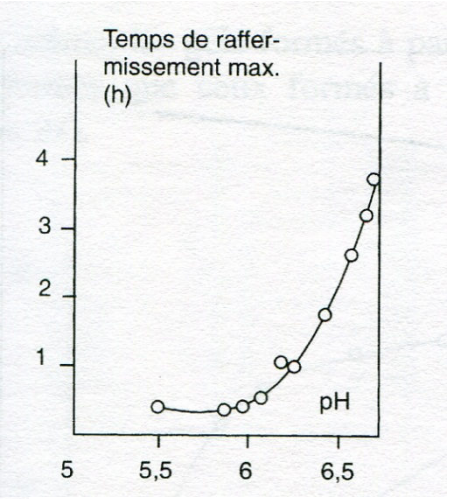


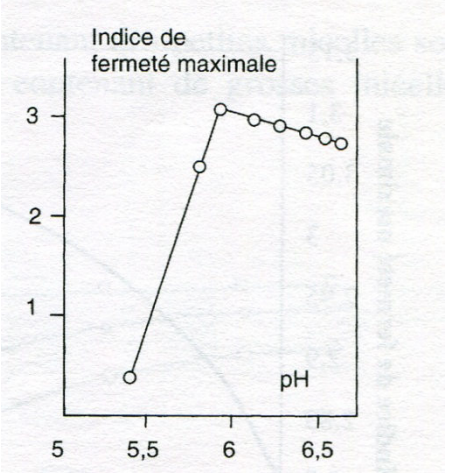


- pH → pH bassi favoriscono l'azione della chimosina (se il pH passa da 6.6 a 6.4 l'attività raddoppia, se passa da 6.7 a 5.6 la velocità di coagulazione aumenta di 30 volte, se arriva a 7 non si ha coagulazione) → aumenta anche la velocità di raffermimento e diminuisce il tempo di raffermimento → se pH<6.0 friabilità
- usare GDL (gluconodeltalattone) o CO_2 o sieroproteine acide

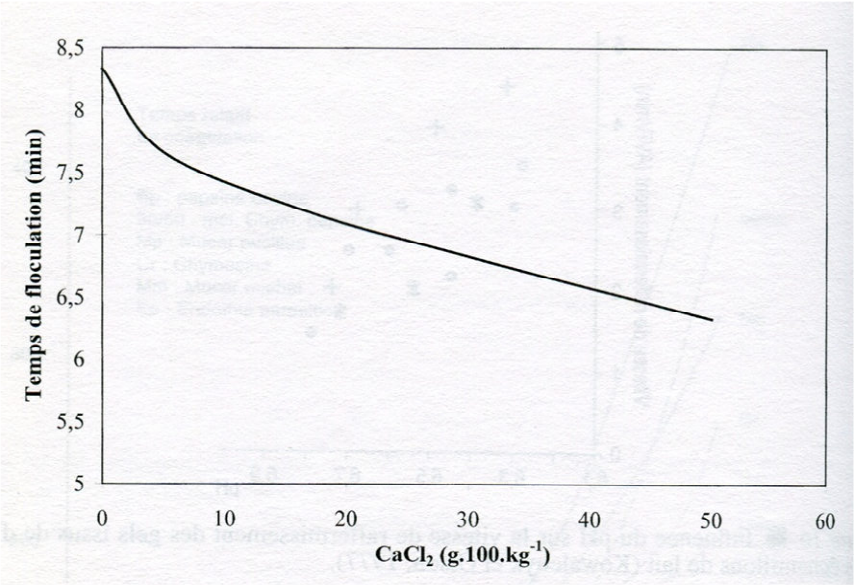


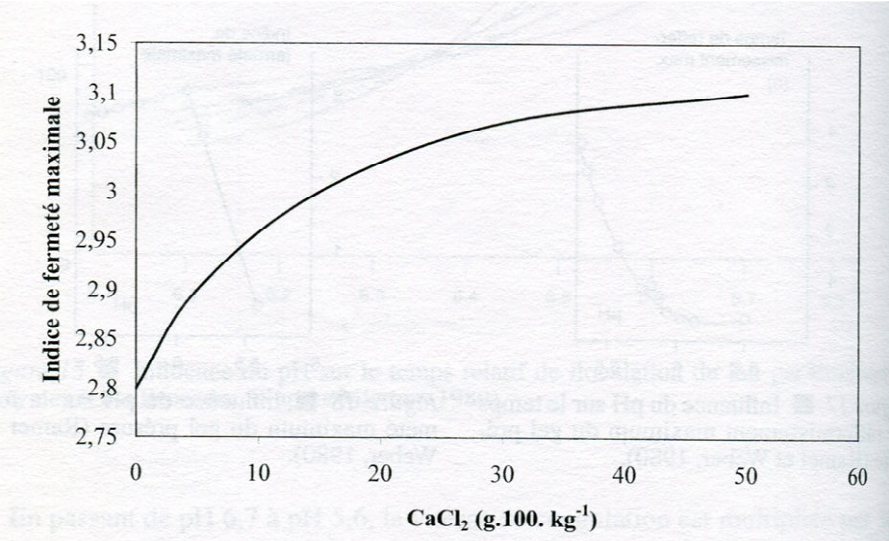






➢ Concentrazione calcio → aumentando il calcio diminuisce il tempo di presa e la durezza del coagulo è maggiore → aggiunta di 5-20 g/hL di $CaCl_2$ (E509)





➢ Concentrazione caseina → non ha effetto sul tempo di coagulazione ma aumenta la velocità di aggregazione e la durezza del coagulo

➢ Dimensione micelle

→ se più piccole, diminuisce il tempo di coagulazione in quanto aumenta la K caseina

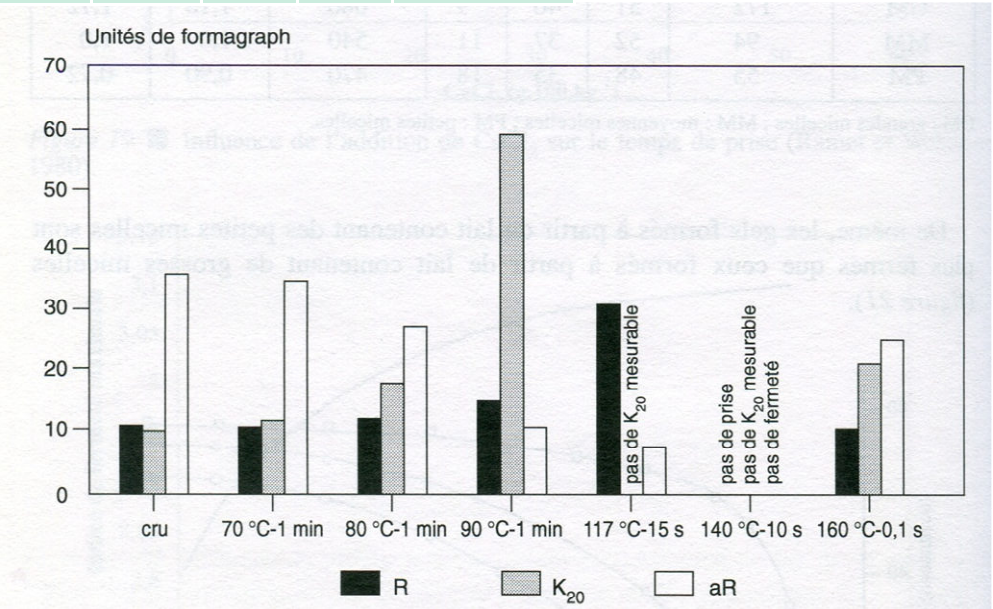
→ se più piccole, il coagulo è più duro

Diametro medio (nm)	αS (%)	β (%)	K (%)	Tempo Coagulazione (s) a 30 °C
172	51	40	9	686
94	52	37	11	540
55	48	35	18	470

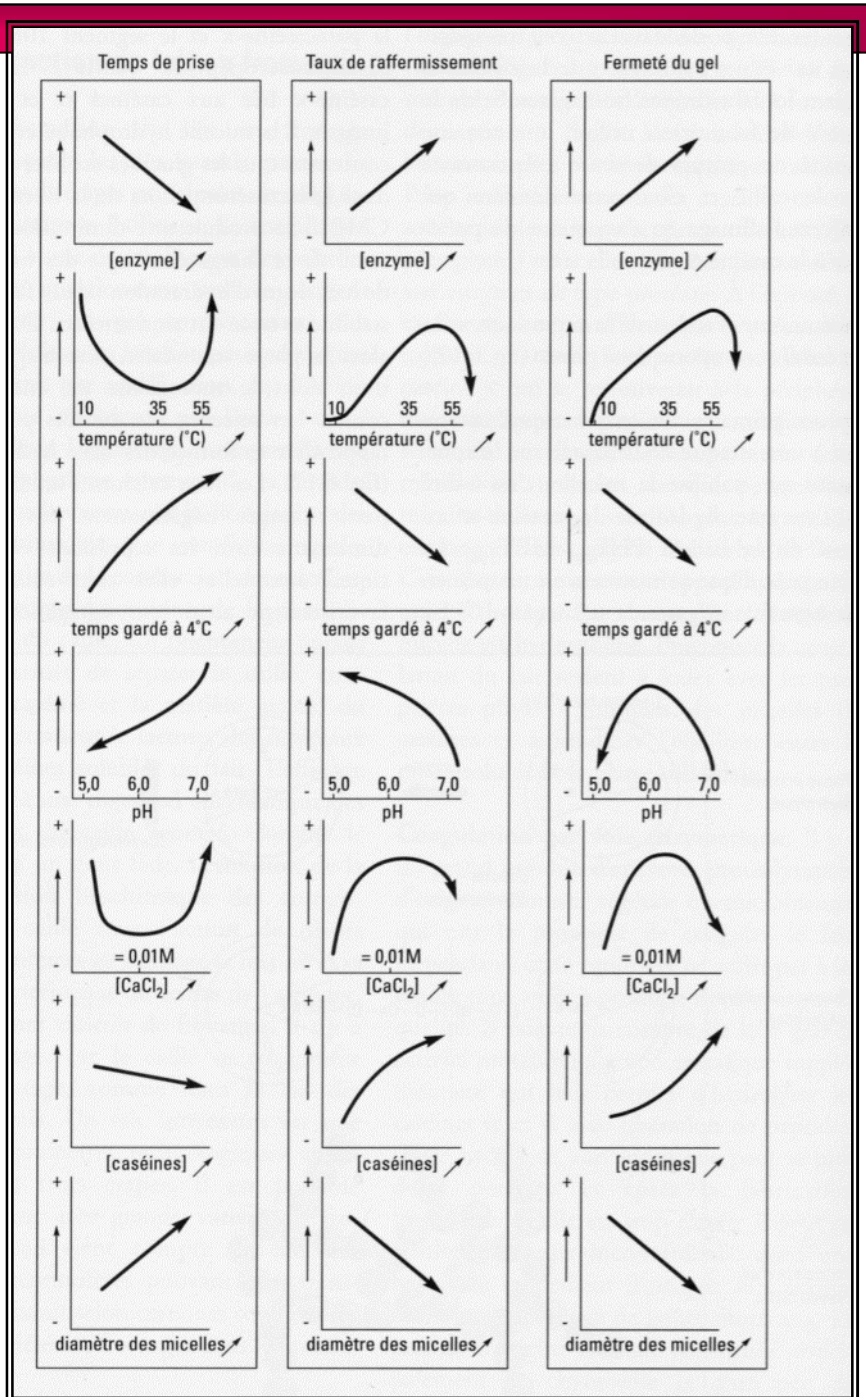
➢Trattamenti preliminari al latte

→ refrigerazione : se conservato 48-72 ore a 2-3 °C → aumenta il tempo di presa, diminuisce la durezza del coagulo → aggiungere CaCl2, acidificare, far maturare, aggiungere caseine

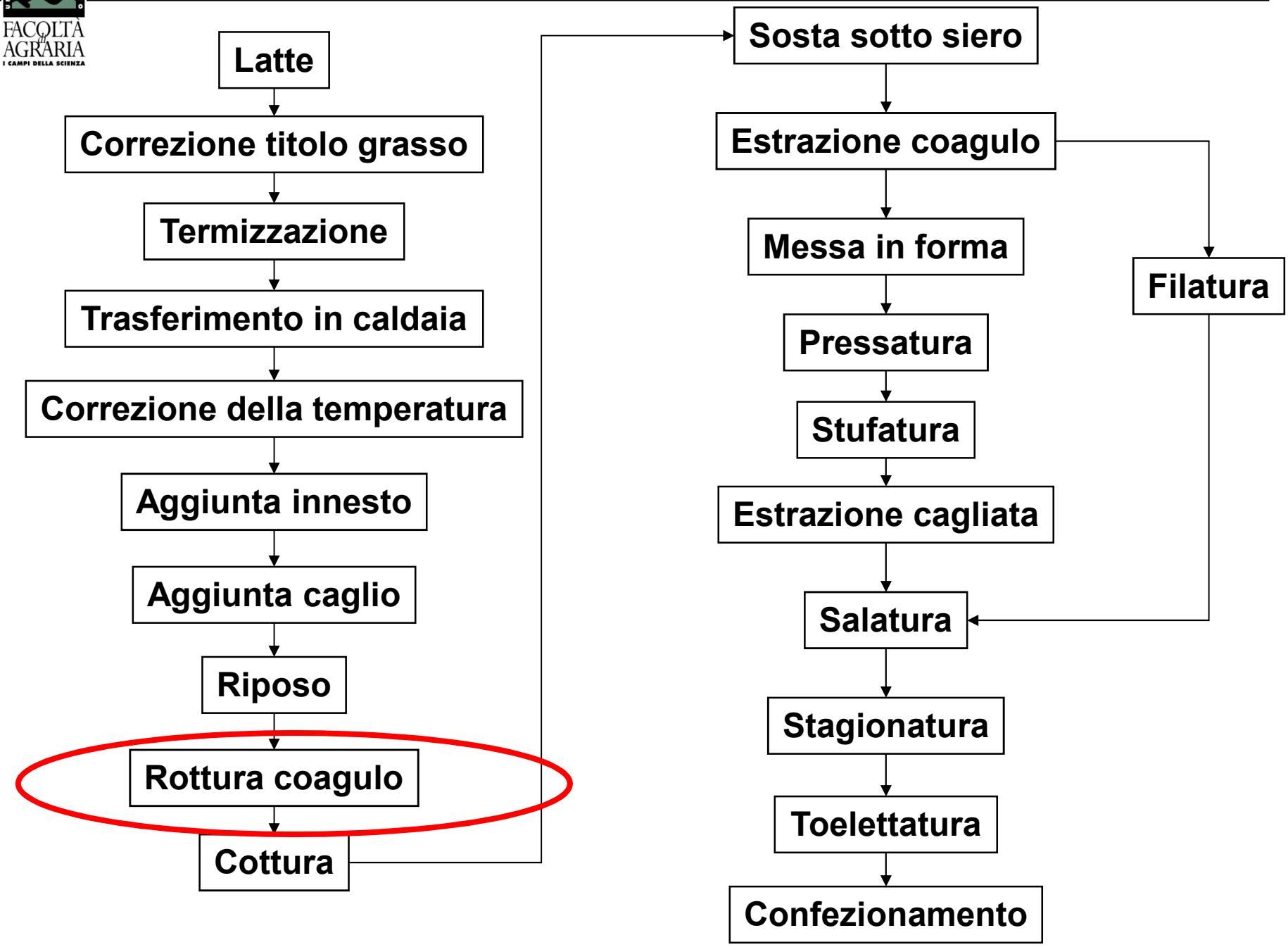
→ trattamento termico : riscaldando a 90 °C/1 min il tempo di presa aumenta di 1.6 volte, il K20 di 6.5 volte ed aR è il 25% di quello misurato con latte crudo → a 140 °C/10 s non coagula più



Fattori che influenzano la coagulazione

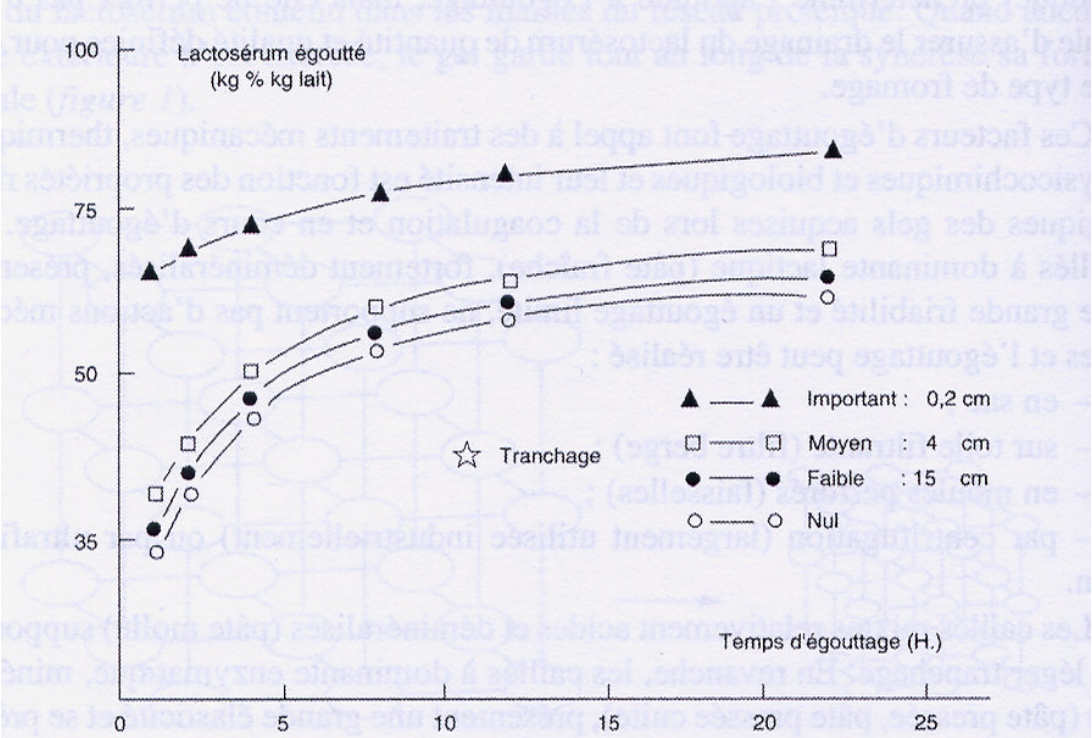


- **Coagulazione con pepsina**
  - Presente nei succhi gastrici di bovini anziani dove sostituisce la chimosina
  - Attività coagulante scarsa o nulla e pH>6.68
  - T limite 44 °C
  - Ottenuta da suini o polli
- **Cagli microbici**
  - Diffusi con la II° Guerra mondiale (Hannilase, Thermolase, Chymax, Maxiren, Fromase, Emporase etc)
  - Ottenuti da vari microrganismi
  - Le proteasi da M. miehei hanno ottimale a 42 °C (37-45 °C), disattivazione a 70 °C; pH 5.5-7.5
  - Il caglio da M. pusillus è tre volte più attivo del caglio bovino; produce peptoni → usato in miscela con caglio bovino che da anche peptidi, tende a dare coaguli molto duri con perdita di grasso → diminuisce la resa
  - Maxiren, Chymax ed altri sono da chimosina ricombinata → trasferimento del gene della prochimosina dall'abomaso bovino a microrganismi ospite (Klyveromyces lactis, E. coli, A. niger)
- **Cagli vegetali**
  - Molti vegetali producono enzimi con attività proteolitica (papaina dalla papaia, actinidina dal kiwi, bromelina dall'ananas)
  - Altri vegetali coagulano il latte per azione mista (maggiorana, menta, rosmarino etc.)

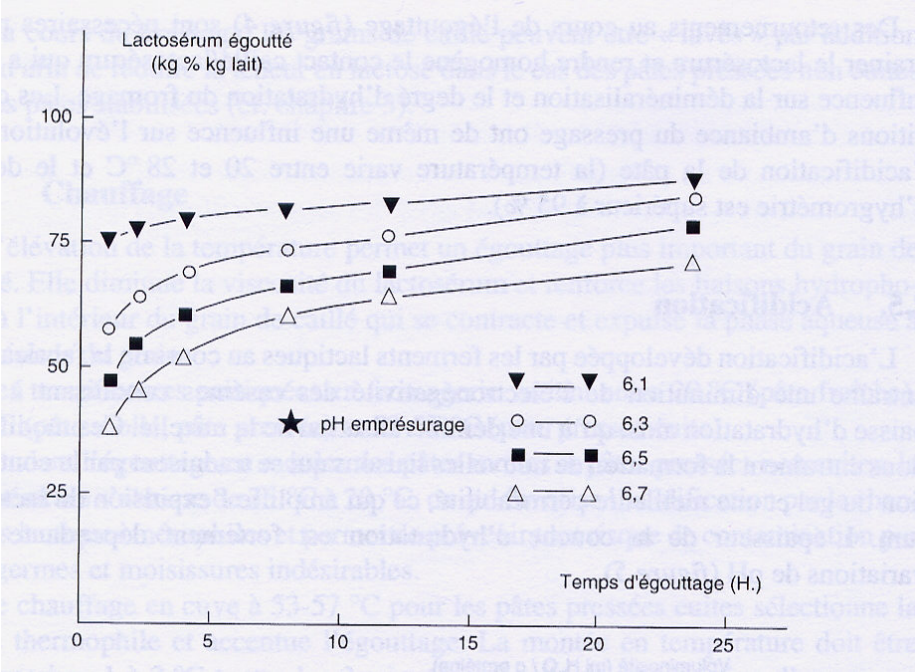

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

- Il gel è molto permeabile ma la perdita statica di siero è insufficiente mancando la contrazione → i diversi coaguli hanno una permeabilità diversa → serve comunque un trattamento del coagulo
- Cagliata lattica (paste fresche) → friabile, non resiste una azione meccanica → sgrondo in teli, in fascera, per centrifugazione, per ultrafiltrazione

- Cagliata mista (paste molli) → resistono una leggera rottura
- Cagliata presamica (paste pressate cotte o crude) → resistono la rottura



Fattori che influenzano la sineresi



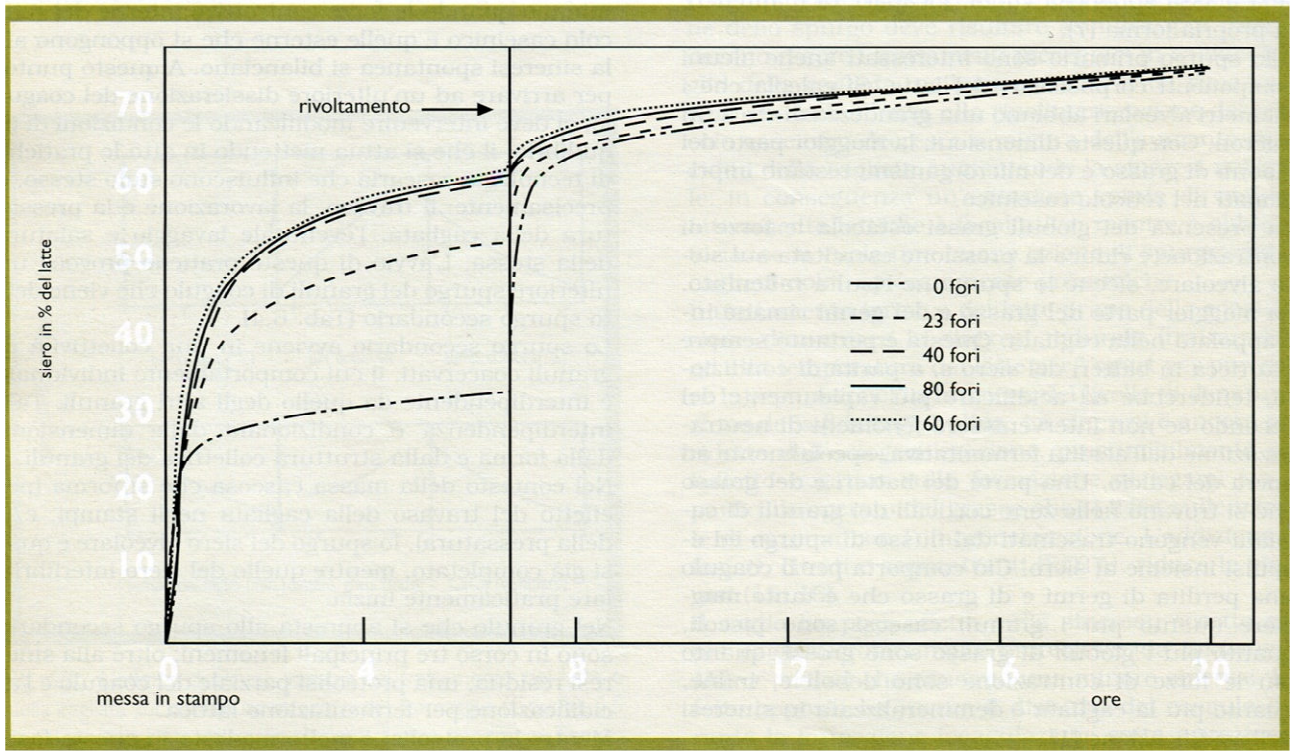
	Modif.	Effetto
Contenuto in grasso	↑	↓
Contenuto in proteine	↑	↓
Contenuto in α-caseina	↑	→
Contenuto in κ-caseina	↑	→
Contenuto in β-caseina	↑	↑
Aggiunta di calcio	↑	↑↓
Contenuto in lattosio	↑	→
Temperatura	↑	↑
Omogeneizzazione	↑	↑
pH	↓	↑
Superficie dei granuli	↑	↑
Rottura	↑	↑
Contenuto in sale	↑	↑
Pressione	↑	↑

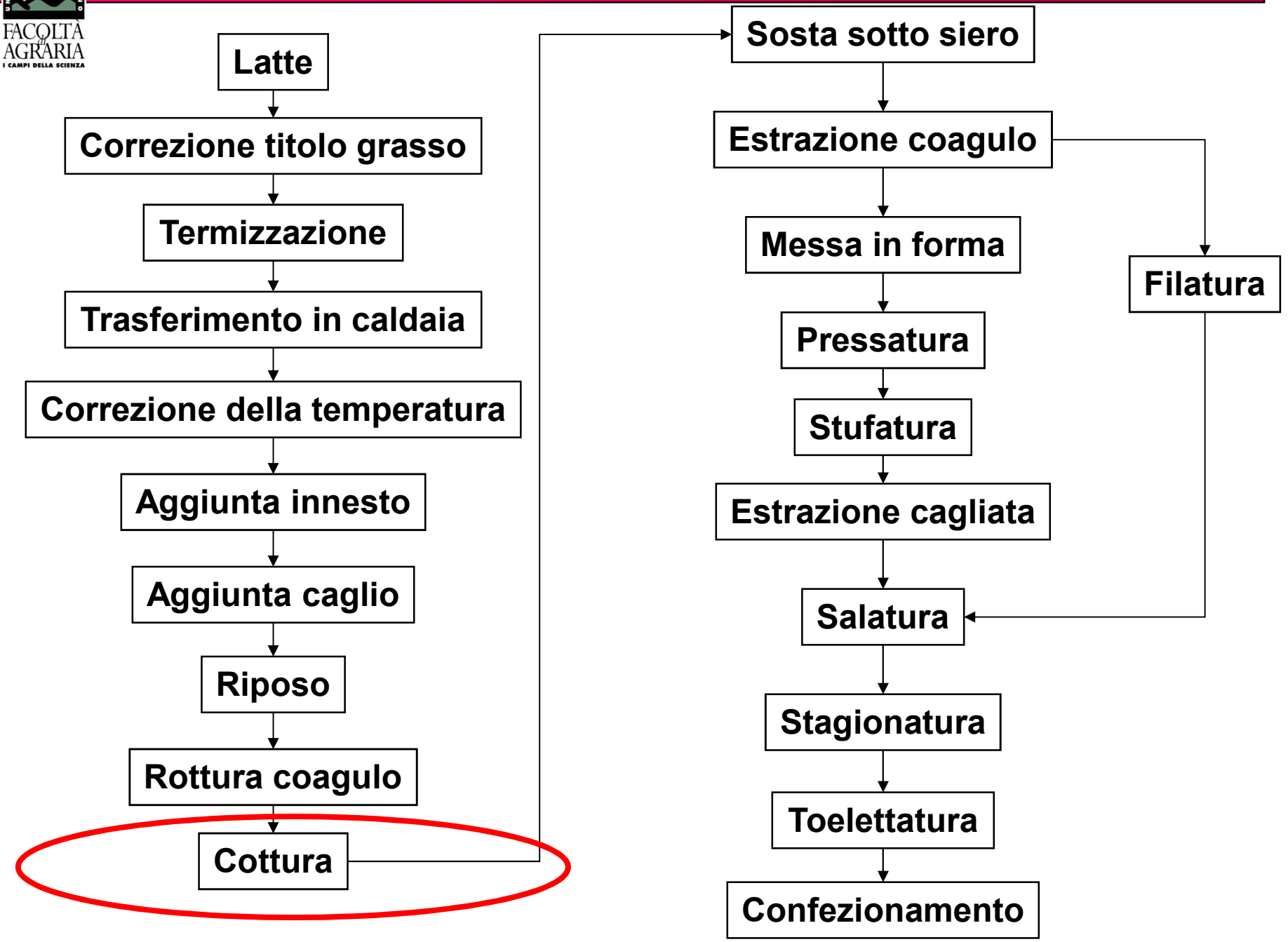
- Temperatura – ha il massimo effetto singolo; attenzione alla formazione di «pelle»
- pH – importante la riduzione dopo coagulazione ma non arrivare a pH<5.5 (si distrugge lo stato reticolare)
- Concentrazione del latte → diminuisce la sineresi
- Aggiunta calcio → aumenta la sineresi
- Taglio/pressione/agitazione → aumenta la sineresi
- Trattamento termico al latte → diminuisce la sineresi → denaturazione della β-lattoglobulina (come per lo yogurt)
- Omogeneizzazione → riduce la sineresi
- Aggiunta di citrati/fosfati/EDTA → riduce la sineresi
- Caglio → nessun effetto → solo alcuni microbici molto proteolitici riducono la sineresi
- Agitazione in coagulazione → aumenta la sineresi

Sineresi → perdita di siero

- Diminuzione carica
- Perdita grasso → tanto maggiore quanto più i granuli sono piccoli ed i globuli grandi
- Più elevata se cagliata demineralizzata

Importante per la sineresi anche lo stampo → n° perforazioni e dimensioni




Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

La cottura …

- permette uno spurgo maggiore della cagliata
- diminuisce la viscosità del siero e rinforza i legami della cagliata
- T di 20 °C per le paste fresche, 35 °C per le paste molli o pressate, 57 °C per le paste pressate cotte
- Per le paste molli la temperatura scende da 35 °C a 20 °C → favoriti i batteri lattici mesofili

• Per le paste pressate cotte T>50 °C → selezione dei termofili, aumento di spurgo

• Salita di 1-2 °C ogni 2 minuti per evitare la formazione di pelle sulla cagliata

• Inibisce lo sviluppo dei patogeni per azione combinata di temperatura, acidità, eliminazione zuccheri

• E' attuata in modo diretto o indiretto

• Si può avere anche per aggiunta di siero o acqua calda (paste filate, Asiago pressato, Fontal (paste lavate)

• Si può anche immergere la cagliata già formata in siero caldo (70-80 °C) per tempi da qualche minuto ad alcune ore (Pecorino siciliano, Canestrato siciliano, Maiorchino, Fiore sardo)

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Latte

Correzione titolo grasso

Termizzazione

Trasferimento in caldaia

Correzione della temperatura

Aggiunta innesto

Aggiunta caglio

Riposo

Rottura coagulo

Cottura

Sosta sotto siero

Estrazione coagulo

Messa in forma

Pressatura

Stufatura

Estrazione cagliata

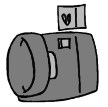
Salatura

Stagionatura

Toelettatura

Confezionamento

Filatura



Operazioni “particolari” per favorire la sineresi:

- ribaltamento : la forma viene girata più volte (dopo 30 min, 1 ora, 2 ore, 4 ore)

- frugatura : la cagliata nella fascera viene sbriciolata

- forinatura : la forma viene forata con aghi (Maiorchino)

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

- Serve a dare la forma definitiva la formaggio, eliminare il siero e l'aria dalla cagliata, favorire la chiusura dei granuli di cagliata
- Forza e durata dipendono dal tipo di formaggio
- Paste umide → 0.1 Kg/cm^2 per qualche minuto
- Paste pressate crude e cotte → 2-5 Kg/cm^2 per qualche ora
- Importante la temperatura alla pressatura e l'umidità → 20-28 °C / 95% UR

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Stufatura

- Sosta di 2-12 ore in ambiente caldo (25-30 °C) ed umido (95% UR)
- Attivazione lattici termofili → si completa l'acidificazione
- Si completa la sineresi
- Inizia la proteolisi → inizia la cremificazione
- Tipica di formaggi a pasta molle → Taleggio, Gorgonzola, Quartirolo Lombardo, Italico, Crescenza

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Latte
Correzione titolo grasso
Termizzazione
Trasferimento in caldaia
Correzione della temperatura
Aggiunta innesto
Aggiunta caglio
Riposo
Rottura coagulo
Cottura
Sosta sotto siero
Estrazione coagulo
Messa in forma
Pressatura
Stufatura
Estrazione cagliata
Salatura
Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento
Filatura

Quasi tutti i formaggi vengono salati. Fanno eccezione il Pannerone lodigiano e alcuni formaggi di pecora

I formaggi vengono salati per :

- favorire lo spurgo del siero → osmosi
- favorire la formazione della crosta
- controllare l'attività dell'acqua → lo sviluppo dei batteri lattici e quindi l'acidificazione ma anche della microflora in genere
- facilitare la solubilizzazione delle proteine
- aumentare la gradevolezza del prodotto

Concentrazione 1-2.5% → 3-4% (erborinati) → 8 – 15% (Domiati egiziano, Feta greca)

Modalità salatura

• Salatura a secco → sale posto sulla superficie → da farsi in ambiente umido, T12-16 °C

• Salatura in salamoia → salamoia satura a 317.8 g/L→ galleggiamento forme ! → molti vantaggi (regolare salatura, meccanizzabile, perdite ridotte di sale)

• Salatura in pasta durante la fresatura (Castelmagno, Cheddar, Cantal)

• Salatura del latte (Domiati)

Particolari tipologie di salatura:
• paste filate salate durante la filatura
• coagulo salato durante il lavaggio (Asiago pressato, Fontal, Chantal)
• durante la conservazione con la pulizia (Fontina, Taleggio, Puzzone di Moena)
• conservazione in salamoia (Feta, Asìno, Domiati)

- Maggiore l'umidità della pasta → maggiore la velocità di assorbimento del sale

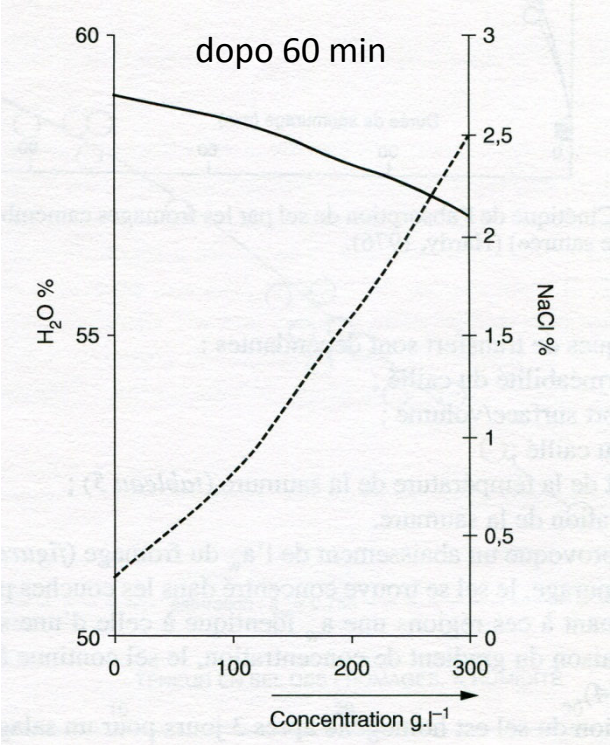
- Il sale si concentra in superficie e poi lentamente arriva al centro

- Maggiore la concentrazione della salamoia → maggiore penetrazione del sale

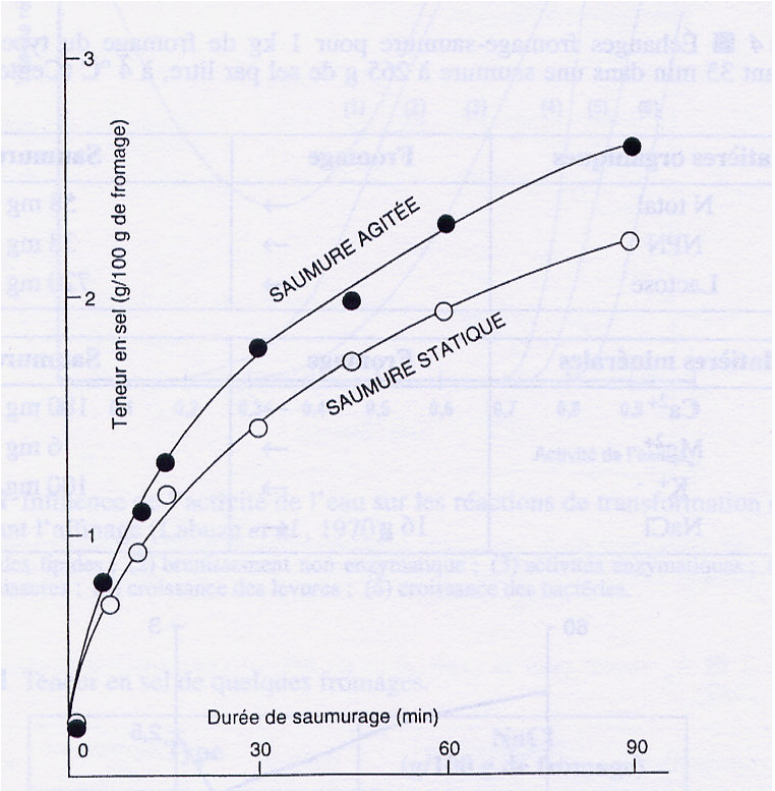
- Maggiore temperatura della salamoia → maggiore penetrazione del sale → salamoie calde rammolliscono i formaggi, salamoie troppo fredde induriscono la crosta e rallentano la penetrazione del sale

	8 °C	12 °C	20 °C	25 °C
NaCl (%)	2.10	2.12	2.19	2.20

Camembert, 5 giorni dopo la salatura in salamoia (302 g/L), pH salamoia 4.6, durata 60 min



- Forme piccole → maggiore assorbimento
- Forme cubiche (6 direzioni) assorbono più delle cilindriche (2 direzioni) e delle sferiche (1 direzione)
- Agitazione salamoia
- Le forme non devono toccarsi ed essere immerse completamente



Latte

Correzione titolo grasso

Termizzazione

Trasferimento in caldaia

Correzione della temperatura

Aggiunta innesto

Aggiunta caglio

Riposo

Rottura coagulo

Cottura

Sosta sotto siero

Estrazione coagulo

Messa in forma

Pressatura

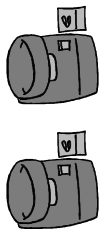
Stufatura

Estrazione cagliata

Salatura

Filatura

Stagionatura
Toelettatura
Confezionamento



- ✓ Le fasi di sgrondo, di acidificazione e di salatura definiscono le caratteristiche dei formaggi all'inizio dell'affinatura

- ✓ Cagliata lattica
  - Umida (75-80% acqua)
  - pH basso (4.3-4.5)
  - Senza coesione → per formaggi senza forma o di piccola pezzatura a stagionatura breve
- ✓ Cagliata mista a prevalenza lattica
  - Umida (55-60% acqua)
  - pH 4.6-4.8
  - Per formaggi a stagionature di qualche settimana (camembert)
- ✓ Cagliata mista a prevalenza presamica
  - Poco umida (50% acqua)
  - pH 4.8-5.2
  - Per formaggi a stagionatura media di media dimensione (1-10 kg)
- ✓ Cagliata presamica
  - Sineresi spinta (30-40% acqua)
  - pH 5.0-5.5
  - Pasta coesa per formaggi di grandi dimensioni (25-110 kg) con stagionatura lunga

	pH	a_w
Paste fresche	4.3-4.5	0.980-0.995
Paste molli	4.5-4.8	0.970-0.990
Paste pressate	4.8-5.2	0.940-0.970
Paste dure	5.0-5.5	0.885-0.905

Occhiatura

• microrganismi responsabili → batteri lattici omo- ed etero-fermentativi; batteri propionici; coliformi; clostridi; lieviti

• favoriscono l'occhiatura: la riduzione del sale; la temperatura elevata; la crosta elastica

• inibisce l'occhiatura: la pastorizzazione del latte; salature elevate; bassa temperatura dei magazzini; croste indurite

Agenti

- Propionici

  3Acido lattico → 2Acido propionico + Acido acetico + CO_2 + H_2O

  (1 mole di CO_2 ogni 3 moli di lattico)

- Lieviti e coliformi

  Lattosio → Glucosio+Galattosio → etanolo + CO_2

- Clostridi

  2Acido lattico → Acido butirrico + $2CO_2$ + $2H_2$

Distacchi

- Cavità dovute ad una imperfetta aderenza dei granuli di cagliata
- Cause:
  - ✓ Spurgo irregolare con rivoltamenti insufficienti e/o sbalzi termici
  - ✓ Messa in forma di cagliata asciutta
  - ✓ Cagliata messa in forma tropo fredda
  - ✓ Cagliata troppo cotta
  - ✓ Cagliata rotta irregolarmente

Maturazione → digestione enzimatica della cagliata

<u>Intensità azione enzimatica influenzata da:</u>

• dose enzimi → > dose > azione

• temperatura → > temperatura > azione

• umidità → > umidità > azione → effetto dell'ambiente, della salatura, della dimensione, della crosta superficiale

• tempo → > tempo > azione

• grasso → > grasso > azione

• sale → > sale < azione → agisce anche sull'umidità

• pH → pH<5.00 rallentano l'azione → controlla lo sviluppo microbico all'interno ed in superficie, regola l'attività enzimatica microbica e del substrato

• aria → serve un'arieggiamento che modifica l' sviluppo superficiale e l'umidità

• trattamenti superficiali (lavaggi, rivoltamenti, spazzolature etc.

Agenti maturazione

- enzimi del latte →
  - ✓ Plasmina
    - ✓ molto termoresistente ($D_{142\,°C}$ = 16 s)
    - ✓ aumenta a fine lattazione e con l'età dell'animale
    - ✓ determinante per le paste cotte e crude pressate a maturazione lunga
    - ✓ idrolizza la β caseina in γ → può dare amaro
  - ✓ Lipasi
    - ✓ Termolabile ($D_{78\,°C}$ =10 s) → attiva in formaggi da latte crudo
- enzimi del caglio → quantità proporzionale all'utilizzo → 50% di residuo nelle paste molli, 10-15% nelle paste pressate non cotte, 0% nelle paste cotte → i cagli animali attaccano preferenziale la β-caseina, meno la α-caseina → i cagli microbici entrambe → se sale >5% nessun attacco
- enzimi da batteri lattici
- enzimi da microflora casearia secondaria
- enzimi da batteri occasionali
- reazioni cataboliche di amminoacidi e acidi grassi

Si possono distinguere quattro grandi sistemi enzimatici:

- ✓ Enzimi proteolitici
- ✓ Lipasi
- ✓ Sistemi attivi sugli aminoacidi
- ✓ Sistemi attivi sugli acidi grassi

Enzimi proteolitici

- ➢ Si suddividono in endopeptidasi (proteasi) che scindono le proteine in peptidi e le esopeptidasi (aminopeptidasi, carbossipeptidasi, dipeptidasi) che scindono i peptidi in aminoacidi liberi
  - o Da funghi
    - ✓ P. camemberti e P. roqueforti hanno 2 endopeptidasi e diverse esopeptidasi → attività massima a 45-50 °C → importanti per i formaggi a crosta fiorita
  - o Da batteri
    - ✓ Lattobacilli e streptococchi termofili sono abbondanti nelle paste pressate cotte → in maturazione solo proteasi di parete e aminopeptidas → sono i più attivi
    - ✓ Lattococchi → importanti per i formaggi a pasta pressata (Cheddar, Gouda etc.) → sono i meno attivi
    - ✓ Propionibatteri → una peptidasi (ottimale pH 7.00, 37 °C) con modesta attività

Lipasi

✓ Prodotte da funghi → P. roqueforti ha due lipasi esocellulari, P. camemberti una lipasi

Sistemi attivi sugli aminoacidi

- Decarbossilasi → formano amine → micrococchi e corinebatteri
- Transaminasi → che convertono un aminoacido nel suo equivalente chetoacido → micrococchi
- Deaminasi → liberano ammoniaca con formazione di acidi organici ed aldeidi → micrococchi, corinebatteri, alcuni lattici
- Liasi → staccano le catene laterali portando alla formazione di composti vari (fenolo, solforati etc.) → corinebatteri, Pseudomonas, P. camemberti

Sistemi attivi sugli acidi grassi

✓ Esterasi → lieviti, micrococchi, lattobacilli, enterococchi, corinebatteri

✓ β-ossidasi → funghi → metil-chetoni

I parametri che agiscono sullo sviluppo microbico, sulla produzione di enzimi e sulla attività enzimatica sono:

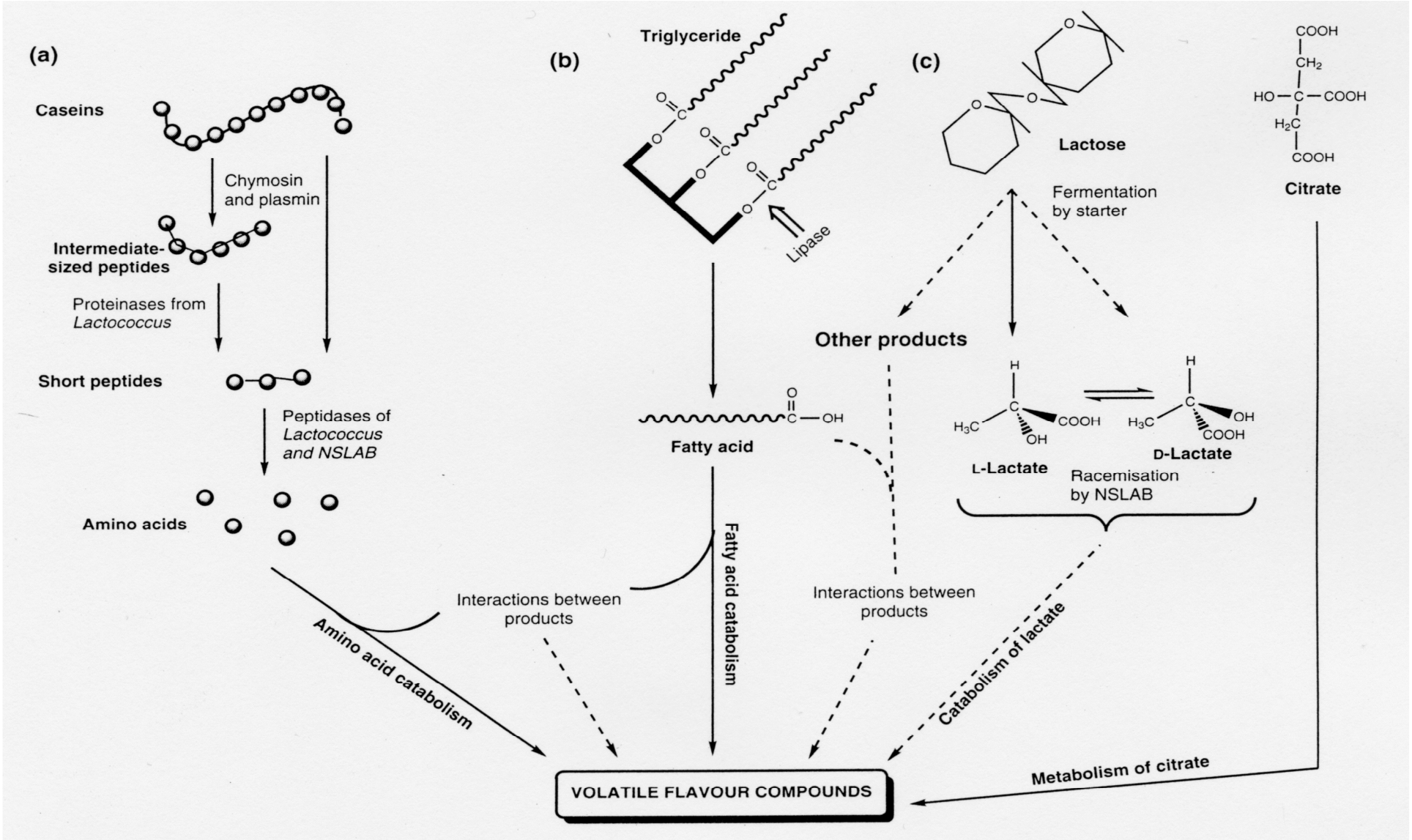
- Temperatura
  - ✓ Lieviti e batteri di superficie → 20-25 °C
  - ✓ Batteri lattici mesofili → 30-35 °C
  - ✓ Batteri lattici termofili → 40-45 °C
  - ✓ Attività enzimatica massima fra 35 °C (lipasi) e 45 °C (proteasi)
  - ✓ In genere 5-20 °C → cambiandola cambia la velocità di affinamento, la lipolisi e la proteolisi → a bassa T è favorita la lipolisi
    - ➢ Blu 3-4 °C
    - ➢ Paste molli fiorite 8-10 °C
    - ➢ Paste molli lavate 10-12 °C
    - ➢ Paste pressate non cotte 10-12 °C
    - ➢ Paste pressate cotte, cantina fredda 12-13 °C
    - ➢ Paste pressate cotte, cantina calda (Emmentaler) 20-22 °C

- pH
  - ✓ funghi e lieviti si sviluppano anche a pH<4.5, i batteri in genere non sopportano pH<5.0
  - ✓ Ottimale proteasi 5.0-6.5; ottimale lipasi 7.5-9.0
  - ✓ Nella cagliata per Camembert il pH è circa 4.5 → poiché il valore è incompatibile con i i micrococchi ed i corinebatteri bisogna alzare il valore → attività dei lieviti e delle muffe e dell'NH3 ambientale
  - ✓ Nelle paste pressate crude e cotte pH>5.0→ non serve neutralizzazione

- A_w → influenza attività batterica ed enzimatica→ si regola con il sale e lo spurgo → durante la stagionatura diminuisce → le paste umide si affinano più velocemente di quelle asciugate

- Aerazione locali
  - ✓ Funghi, lieviti, micrococcacee, corineformi → aerobi stretti, si sviluppano solo in superficie in locali ben ossigenati
  - ✓ Batteri propionici e clostridi → anaerobi stretti, si sviluppano solo all'interno
  - ✓ Batteri lattici → microaerofili
  - ✓ Se c'è NH3 si favorisce la microflora acidosensibile e riduce l'attività della aspartilproteasi da P. camemberti → riduce il rischio di amaro
  - ✓ Se c'è CO2 si favorisce l'apertura della pasta nei pressati cotti
  - ✓ L'UR condiziona l'aw e l'essicamento dei formaggi → 90-95% in formaggi a flora superficiale, 85-90% in formaggi fungini, 80-85% in formaggi a crosta asciutta

LA STAGIONATURA



GLICOLISI

METABOLISMO DEL LATTOSIO

- Il lattosio viene trasformato nella stagionatura → dopo 10-15 gg è assente → si forma L-lattico che viene salificato → Lattobacilli e Pediococchi provocano racemizzazione → la forma D è meno solubile dando cristalli nel formaggio
- I batteri lattici omofermentanti danno acido lattico (90-95%)
- I batteri lattici eterofermentanti danno acido lattico (50%), acido acetico, etanolo e CO_2 (50%)
- I coliformi danno acido lattico, acido acetico, acido formico, CO_2 e idrogeno
- I lieviti danno etanolo e CO_2

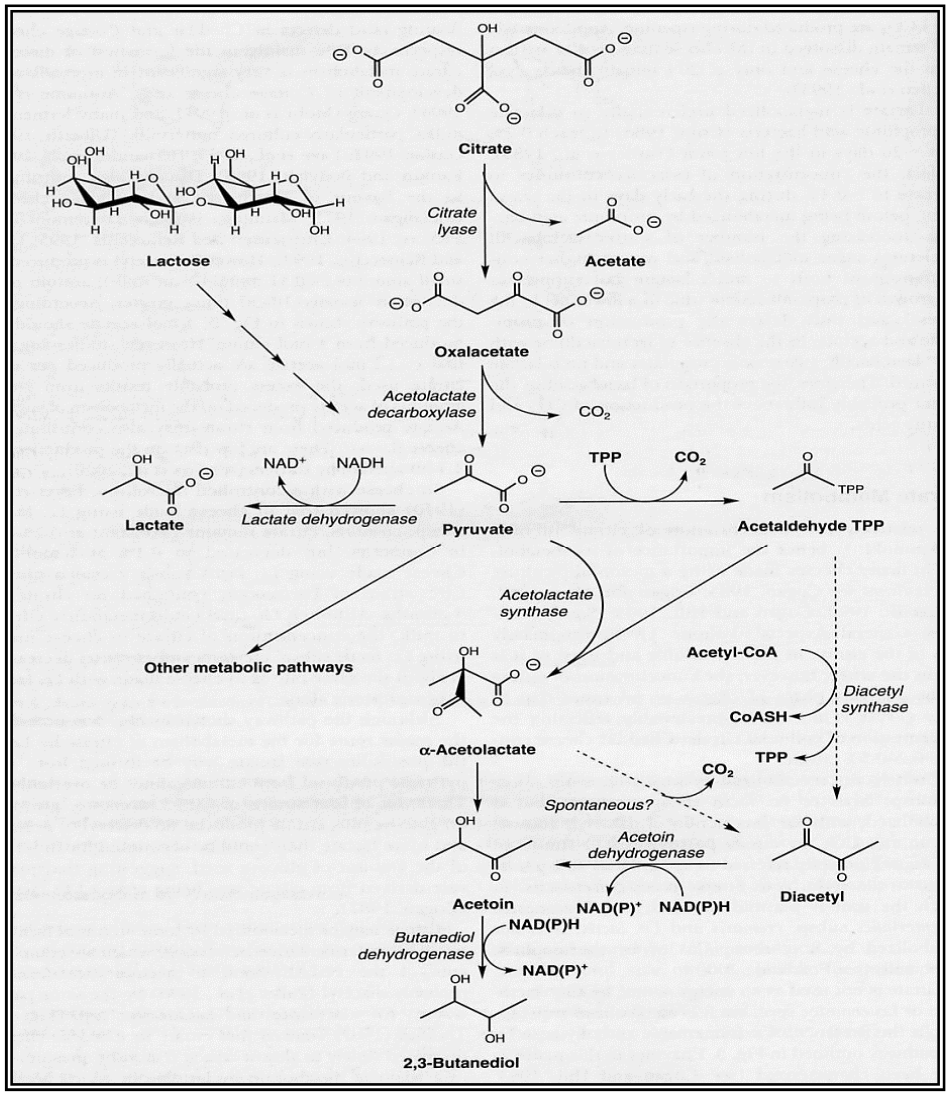
METABOLISMO DELL'ACIDO LATTICO

- Metabolismo dei formaggi muffettati (*Geotrichum candidum Penicillium camemberti*) → CO_2 e acqua → disacidificazione centripeta della pasta
- I batteri propionici → acetico, propionico (aroma), CO_2 (apertura pasta nelle paste pressate cotte)
- Batteri butirrici → butirrico (rancido, putrido), CO_2 e H_2 → rigonfiamenti
- Starter e non starter → formico , acetico , etanolo , CO_2

GLICOLISI

METABOLISMO DELL'ACIDO CITRICO

- ✓Metabolizzato da lattococchi Cit+ che contengono un plasmide per il trasporto del citrato.
- ✓ Non viene metabolizzato dagli altri LAB.
- ✓ Si produce CO_2 → occhiatura.
- ✓ Si produce diacetile e acetoino



LIPOLISI

METABOLISMO DEGLI ACIDI GRASSI

- ✓ Metil chetoni

Acidi grassi liberi → (β-ossidazione) → β-chetoacidi → (Decarbossilazione - 1 C) → Metil chetoni

- ✓ Alcoli secondari

Metil chetoni → (riduzione) → Alcoli secondari

- ✓ Esteri

Acido + Alcool → Estere (metil, propil, etil)

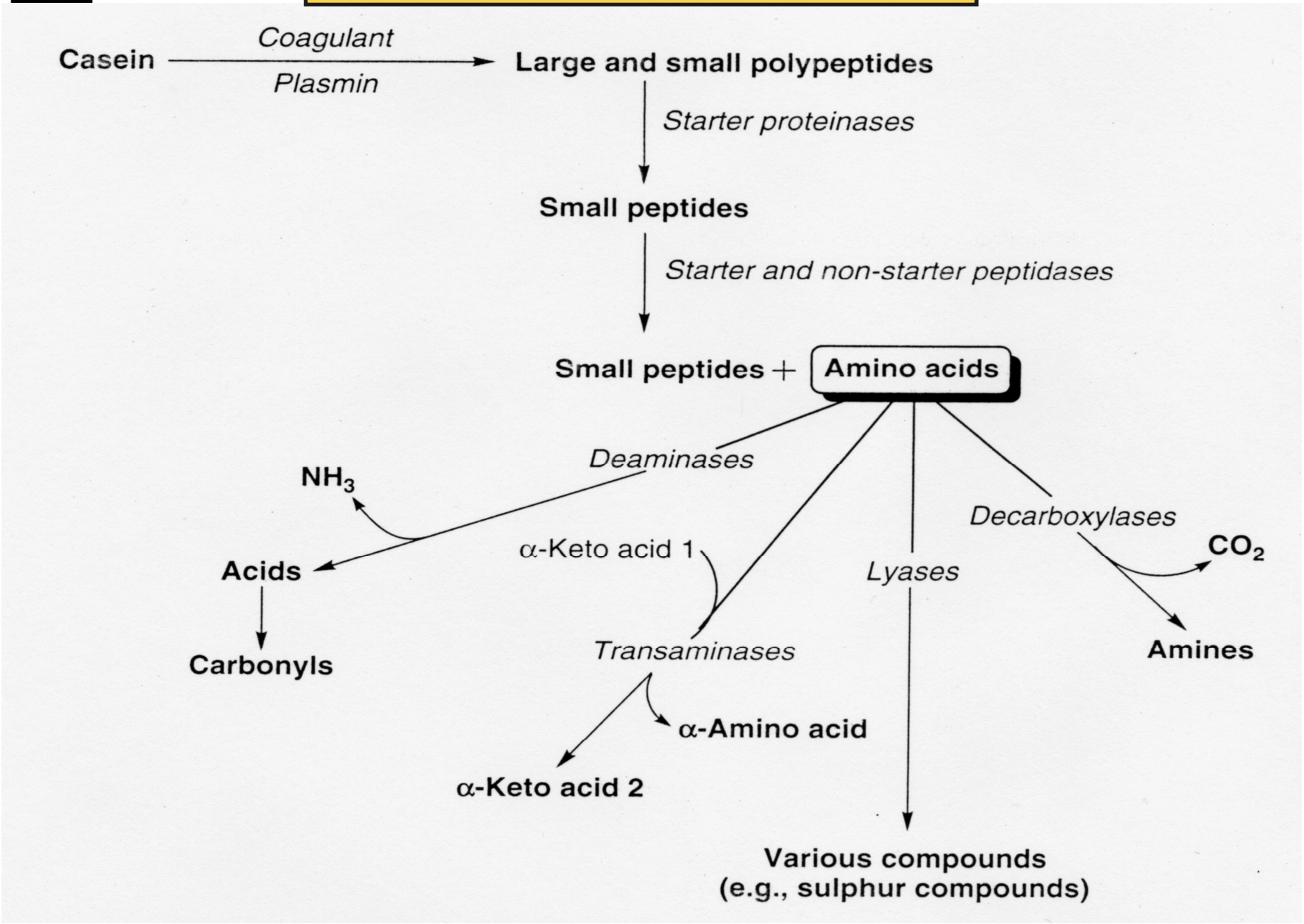
- ✓ Lattoni

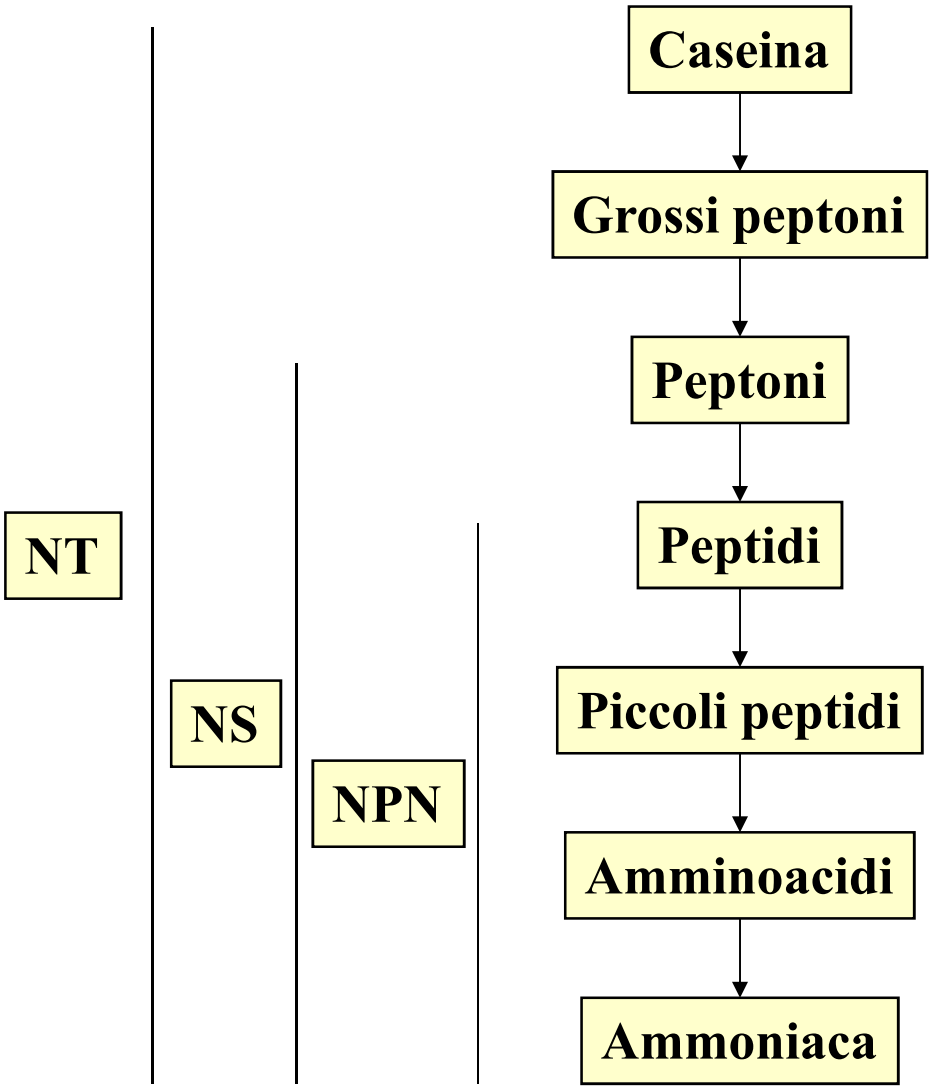
Idrossi-acido → (esterificazione - H_2O) → Lattone

PROTEOLISI

Enzima	Sorgente principale	Substrato principale	Prodotto principale
Chimosina	Caglio	Caseina αs1 Caseina β	Polipeptidi
Pepsina	Caglio	Caseina αs1 Caseina β	Peptidi
Plasmina	Latte	Caseina β Caseina αs2	Caseina γ Proteoso peptoni Polipeptidi
Proteasi (extra / intra cellulari)	Batteri lattici	Caseina αs1 Caseina β	Polipeptidi Peptidi
Peptidasi (amino-di-carbossi)	Batteri lattici	Polipeptidi Peptidi	Aminoacidi
Decarbossilasi	Micrococchi Streptococchi Brevibacterium	Aminoacidi	Ammine
Deaminasi	Lattobacilli Geotricum	Aminoacidi	Aldeidi Ammoniaca Acido organici
Transaminasi	Batteri lattici Micrococchi Streptococchi	Aminoacidi	Nuovi amminoacidi
Liasi	Brevibacterium Pseudomonas Penicilium	Aminoacidi	Fenolo Indolo Composti solforati

PROTEOLISI


Casein
Coagulant
Plasmin
Large and small polypeptides
Starter proteinases
Small peptides
Starter and non-starter peptidases
Small peptides +
Amino acids
Deaminases
NH3
Acids
Carbonyls
α-Keto acid 1
Transaminases
α-Amino acid
α-Keto acid 2
Lyases
Various compounds
(e.g., sulphur compounds)
Decarboxylases
CO2
Amines



Proteolisi

E' il fenomeno principale
- si formano sapori con odore e sapore
- agisce sul pH
- modifica la struttura della pasta
- agisce sul valore di aW

Coeff. di maturazione (%)
N sol / N tot

Formaggi molli IM > 20
Formaggi semicotti IM < 18
Formaggi duri IM > 30

La velocità della proteolisi è influenzata da:

- temperatura (a 21 °C è due volte più rapida che a 0 °C)
- umidità del formaggio (aumenta con l'aumentare dell'umidità)
- pH (l'azione degli enzimi è influenzata dal pH)
- lipolisi (una rapida lipolisi rallenta la proteolisi poiché gli acidi grassi liberi inibiscono i batteri)
- quantità di caglio
- quantità di sale (rallenta alcune proteasi)
- polimorfismo genetico delle caseine

Enzimi proteolitici

- Dal caglio → Chimosina → rottura β-caseina (peptidi amari), αs1, αs2, κ
- Dal latte → plasmina → rottura β-caseina (γ_1, γ_2, γ_3)
- Da cellule somatiche → catepsine B, D, G, H, L
- LAB → agiscono negli stadi finali → necessitano di aminoacidi

(%)	N sol/N tot	N amminico/N sol	N ammoniacale/N sol
Gruyere	16-20	32-37	10-14
Camembert	30-40	9-12	21-27
Brie	40-50		10-20
Crescenza	10-15		5-6
Asiago	10-27		
Pecorino romano	25-35	10-12	19-22
Grana	20-40		20-26
Taleggio	35-50	15-22	5-10
Roquefort	45-55	40-45	9-15
Gorgonzola	65-70	35-45	6-14
Robiola	35-45	20-30	3-6
Provolone	17-30	7-15	4-6
Italico	9-15		4-6
Fontal	16-20		2-4
Emmental	25-35	30-50	7-10
Feta	20-30	10-12	3-10
Cheddar	40-60	30-50	7-12

Crosta

• Formaggio indurito e modificato non edibile → perdita di circa il 10% di prodotto → evitarne la formazione o sostituirla con strutture artificiali
• Fondamentale per regolare gli scambi con l'esterno → assente nei formaggi freschissimi
• Pelle e buccia nelle prime fasi (robiola, mozzarella, caciocavallo etc.)
• Sotto la crosta l'unghia o sottocrosta

Crosta

• **attiva** → con microrganismi che partecipano attivamente alla maturazione (Mucor, Geotricum, Penicillium, ecc.) → maturazione centripeta
• **passiva** → hanno azione protettiva e di regolazione degli scambi gassosi e idrici con l'esterno → maturazione centrifuga
• una buona crosta è sottile, ben differenziata, consistente, dura, elastica e con scarso sottocrosta (unghia)
• possibili trattamenti → affumicatura, lavaggio, paraffinatura ecc.
• sviluppo di microrganismi → trattamenti appropriati
• le croste attive si formano naturalmente o per inoculo

Crosta fiorita

- prodotti in genere a pasta molle con feltro superficiale
- maturazione centripeta con formazione di ammoniaca ed amaro se eccessiva

Crosta lavata

- la crosta viene lavata con acqua e sale → prima le muffe che con il sale disacidificano poi lieviti e batteri del rosso
- caratteristica di Fontina, Taleggio, Puzzone di Moena, Pont l'Eveque, Reblochon, Abondance, Beaufort
- presente anche in altri formaggi in forma parziale quali Murazzano, Castelmagno

Crosta pulita

- la crosta viene pulita a fondo così da evitare lo sviluppo di muffe
- si fanno anche trattamenti con olio ("cappatura")
- caratteristica di Grana Padano, Parmigiano Reggiano, Valtelina Casera, Formai de Mut, Asiago, Montasio

Crosta ammuffita

- presenza di muffe superficiali, anche colorate
- azione delle muffe sulla pasta con proteolisi spinta
- tipica di Toma, Bra tenero, Chantal, Salers

Crosta trattata

- alcune croste subiscono trattamenti particolari
- Fiore sardo con olio e grasso di pecora (cappatura marrone); Pecorino di Farindola con olio, aceto e pomodoro (cappatura rossa); Pecorino di Pienza con olio e pomodoro (cappatura rossa)
- uso di cenere di ginepro, spezie, erbe aromatiche, foglie di vite, cera d'api, frumento

Additivi

- batteriostatici
  - ✓ lisozima (E1105) → lisa la parete dei G+ per l'attività β(1-4)glucosamminidasica che scinde il legame tra il C1 dell'acido N-acetil maramico ed il C4 della N-acetl glucosammina -> nei G+ circa il 50% della parete ha struttura mucopolisaccaridica, mentre nei G- è il 1-10%; molto sensibile Clostridium tyrobutyricum; poco i lattici
  - ✓ esametilentetrammina (E239)
  - ✓ nitrati (E251-252) → 200 ppm → attivo sul gonfiore butirrico
  - ✓ acido sorbico e sorbati (E200-203)
  - ✓ pimaricina (E235)
  - ✓ nisina (E234)
- coadiuvanti coagulazione
  - ✓ cloruro calcio (E509) →max 0.02%; può dare amaro in eccesso
- coloranti
  - ✓ annatto (E160a) →per formaggio e burro →1-20 g/hL
  - ✓ β carotene (E160b) → più cari → per burro
  - ✓ paprika (E160c)
  - ✓ estratto di barbabietola (E162)
  - ✓ clorofille (E140-142)
  - ✓ ossido di titanio (E171)
  - ✓ ossidi di ferro (E172)
  - ✓ litolrubina (E180)
  - ✓ carbone vegetale (E153)
- modificatori pH
  - ✓ acido citrico (E330)
  - ✓ acido lattico (E270)
  - ✓ Glucono-delta-lattone (E575)
  - ✓ acido acetico (E260)

Additivi

- trattamento superficiale
  - ✓ paraffina (E234)
- emulsionanti/stabilizzanti
  - ✓ alginati (E400-404)
  - ✓ carragenine (E407)
- acido benzoico e benzoati (E200-219)
- silicati (E551-559)
- fosfati (E338-341 450-452)
- carbonato di calcio (E170)
- carbonato di magnesio (E504)
- cloruro di calcio (E509)
- anidride carbonica (E290)
- azoto (E941)
- sali fusione
  - ✓ citrati (E331-332)
  - ✓ polifosfati (E450-455)

Tipologie di formaggi

A pasta molle
(Taleggio, Robiola, Gorgonzola, Italico, Crescenza)
maturazione da pochi giorni a diversi mesi
umidità 40-55%
coagulazione lenta
acidità elevata
spurgo spontaneo

A pasta semidura e dura
(Grana, Pecorini, Asiago, Montasio, Emmental, Sbrinz)
maturazione media o lunga
cagliata cotta
umidità bassa

A pasta filata tenera
(Mozzarella di bufala, Fior di latte, Provola, Scamorza)

A pasta filata dura
(Caciocavallo, Provolone)

Freschi
(Robiola, Tomino, Cacioricotta)
di consumo immediato
elevato contenuto in acqua
coagulazione lenta
acidità elevata

Fusi

Sigla	*Caratteristiche*
A	Latticini freschi o stagionati (molli o duri)
B	Formaggi freschi (molli)
C	Formaggi a breve maturazione (molli o teneri)
D	Formaggi a crosta fiorita o con patina (molli o teneri)
E	Erborinati (molli o teneri)
F	Formaggi semiduri
G	Formaggi duri
H	Miscellanea

Classe		Famiglia	Tipi
Sigla	Caratteristiche		
A	Latticini freschi o stagionati (molli o duri)	A1 Latticini ottenuti per acidificazione biologica	Prescinseua
		A2 Latticini ottenuti per aggiunta i acidi	Queso Blanco
		A3 Latticini ottenuti per coagulazione acido-termica di siero ovicaprino	Ricotta di pecora o capra
		A4 Latticini ottenuti per coagulazione acido-termica di siero vaccino	Ricotta di vacca
		A5 Latticini ottenuti per coagulazione acido-termica della panna	Mascarpone
		A6 Prodotti ottenuti dal latticello	Skyr
		A7 Prodotti ottenuti dal colostro	Kolostrumkäse – Sa Casada

Classe		Famiglia	Sottogruppo	Tipi
Sigla	Caratteristiche			
B	Formaggi freschi (molli)	B1		Robiolino, Quark
		B2		Giuncata, Squaquerone
		B3	B3.1 B3.2	Caprino Tomino fresco di pecora o capra
		B4		Mozzarella
		B5		Cottage cheese

Classe		Famiglia	Sottogruppo	Tipi
Sigla	Caratteristiche			
C	Formaggi a breve maturazione (molli o teneri)	C1		Crescenza
		C2		Italico, Asiago
		C3		Caciotta di pecora
		C4		Scamorza o Provola
		C5		Feta

Classe		Famiglia	Sottogruppo	Tipi
Sigla	Caratteristiche			
D	Formaggi a crosta fiorita o con patina (molli o teneri)	D1		Camembert, Brie
		D2		Livarot, Langres
		D3		Buche de chevre, Rocamandur
		D4		Taleggio, Rusticales del Braides

Classe		Famiglia	Sottogruppo	Tipi
Sigla	Caratteristiche			
E	Erborinati (molli o teneri)	E1	E1.1 E1.2	Gorgonzola, Stilton White Stilton
		E2		Blue de Bresse
		E3	E3.1 E3.2	Blue del Moncenisio Castelmagno

Classe		Famiglia	Tipi
Sigla	Caratteristiche		
F	Formaggi semiduri	F1	Montasio
		F2	Fontal
		F3	Canestrato
		F4	Caciocavallo
		F5	Maasdam(er)
		F6	Cantal
		F7	Fontina

Classe		Famiglia	Tipi
Sigla	Caratteristiche		
G	Formaggi duri	G1	Formaggio ‘di grana’
		G2	Edam (stagionato)
		G3	Pecorino romano
		G4	Provolone
		G5	Emmental
		G6	Cheddar
		G7	Puzzone di Moena

Classe		Famiglia	Sottogruppo	Tipi
Sigla	Caratteristiche			
H	Miscellanea	H1	H1.1 H1.2	Fusi Fusi per pizza
		H2		Affumicati
		H3		Grattugiati
		H4		Misti
		H5		Stagionati o conservati con modalità particolari
		H6		Specialità lattiche
		H7		Prodotti di imitazione (o di sostituzione)