



Coagulazione del latte e resa casearia nel Parmigiano Reggiano DOP: il ruolo di pH, minerali e struttura della cagliata

Uno studio dell'Università di Parma in collaborazione con il Centro Lattiero Caseario e Agroalimentare di Parma evidenzia come il latte con migliori proprietà di coagulazione presamica formi una cagliata più resistente ai passaggi tecnologici, minori perdite di grasso nel siero e una maggiore resa

Nel comparto lattiero-caseario, la qualità tecnologica del latte è una variabile decisiva almeno quanto la sua composizione chimica. Per produzioni a lunga maturazione e a elevato valore identitario, come il Parmigiano Reggiano DOP, il comportamento del latte durante la coagulazione presamica non rappresenta soltanto un parametro di laboratorio, ma un indicatore concreto di efficienza industriale, recupero della frazione caseinica e contenimento delle perdite di costituenti nobili nella fase di caseificazione. In altre parole, la capacità del latte di formare una cagliata solida, elastica e omogenea si traduce direttamente in resa, qualità della struttura e stabilità del processo.

La coagulazione presamica è la fase in cui la chimosina del caglio idrolizza la κ -caseina e avvia la formazione della rete di paracaseina che intrappola grasso e parte della fase acquosa. Questa rete, quando è ben strutturata, resiste meglio alle sollecitazioni meccaniche della rottura e della cottura della cagliata; quando invece è fragile, tende a disperdere più lipidi e solidi del siero, con conseguente calo di rendimento. Proprio per questo, le proprietà di coagulazione presamica del latte sono considerate uno dei principali indicatori della sua attitudine casearia.

Lo studio qui ripreso si colloca in questo punto di incontro fra chimica del latte, tecnologia di trasformazione e valore economico della materia prima. Gli autori hanno verificato, in condizioni reali di caseificio, se le differenze nelle proprietà di coagulazione presamica del latte fossero associate non solo a parametri reologici della cagliata, ma anche alla resa effettiva e alle perdite di grasso durante

Piero Franceschi

Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco – Università di Parma

Davide Barbanti

Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco – Università di Parma

Paolo Formaggioni

Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco – Università di Parma

Cristina Scotti

Centro Lattiero Caseario e Agroalimentare – Parma

Paola Giambiasi

Centro Lattiero Caseario e Agroalimentare – Parma

Francesca Martuzzi

Dipartimento di Scienze degli Alimenti e del Farmaco – Università di Parma

la produzione di Parmigiano Reggiano DOP. L'obiettivo è rilevante sia per la ricerca sia per gli operatori di filiera, perché permette di capire se un parametro già usato nella classificazione del latte possa avere un significato predittivo più ampio, utile anche per la gestione economica e tecnologica della trasformazione.

Per orientare correttamente la lettura dei risultati, conviene chiarire due concetti. Il primo è quello di proprietà di coagulazione presamica: nello studio vengono descritte attraverso il test lattodinamografico (**Figura 1**) e i suoi tre parametri principali, cioè il tempo di coagulazione, il tempo di rassodamento del coagulo e la consistenza del coagulo. Il secondo è quello di resa casearia, che esprime quanti chilogrammi di formaggio si ottengono da 100 chilogrammi di latte lavorato. A questi si affiancano le perdite di caseificazione, cioè la quota di grasso, proteine e minerali che non viene trattenuta nella cagliata e rimane nel siero o nel siero cotto. La ragione scientifica dell'indagine è chiara: nel latte le proprietà di coagulazione non dipendono da un solo fattore, ma da un equilibrio tra pH, calcio, fosforo, citrato, stato della micella caseinica e, in misura più indiretta, qualità igienico-sanitaria del latte. L'ipotesi dello studio è che un latte con migliore assetto minerale e acido-base renda più rapida ed efficace sia la fase enzimatica sia quella aggregativa della coagulazione, producendo una cagliata più compatta e più capace di trattenere grasso durante la caseificazione.

Questa chiave di lettura è particolarmente importante per il Parmigiano Reggiano DOP, una filiera in cui l'efficienza non è una nozione astratta ma un fattore che incide sul bilancio aziendale e sulla sostenibilità dell'intero sistema. In un prodotto a Denominazione d'Origine, infatti, la qualità non riguarda soltanto il profilo sensoriale del prodotto fina-

le, ma anche l'ottimizzazione del recupero di materia prima e la capacità di valorizzare il latte in funzione delle sue caratteristiche intrinseche. Lo studio mostra quindi come un indicatore tradizionalmente usato nella classificazione del latte possa diventare una leva di conoscenza utile anche per la gestione di filiera.

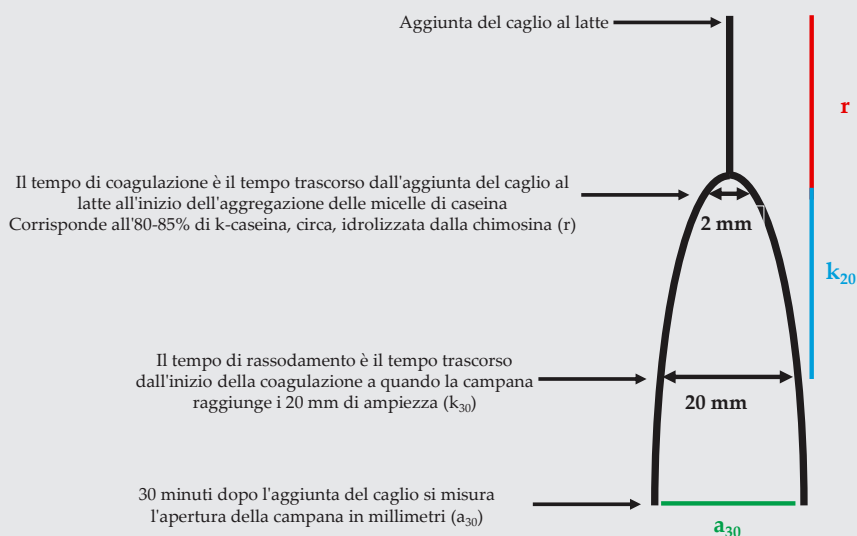
Metodologia

La ricerca è stata condotta in condizioni di campo, su 10 caseifici ubicati nelle province di Parma e Reggio Emilia, nell'arco di due anni consecutivi. In totale sono stati realizzati 60 processi di caseificazione, con 20 prove sperimentali e tre lavorazioni parallele per ogni prova: latte con proprietà di coagulazione ottimali, discrete e mediocri. La classificazione è stata definita a partire dai risultati del test lattodinamografico, raggruppando i profili in tre classi operative.

Per ogni lavorazione sono stati prelevati tre tipi di campione: latte intero della mungitura serale, latte in caldaia (ottenuto da latte parzialmente scremato della sera e latte intero del mattino) e siero cotto residuo dopo l'estrazione del formaggio. I campioni sono stati raffreddati, trasportati in laboratorio e sottoposti ad analisi chimiche, minerali, igieniche e tecnologiche. In particolare sono stati misurati composizione, conta cellulare, carica batterica, pH, acidità titolabile, calcio, fosforo, magnesio, citrato, cloruri, parametri di coagulazione e proprietà reologiche della cagliata; sono state inoltre calcolate resa casearia e perdite stimate di proteine, grasso e minerali.

Dal punto di vista statistico, i dati sono stati elaborati mediante analisi della varianza utilizzando un modello lineare generalizzato per il calcolo dei valori delle medie stimate e il confronto post hoc di Bonferroni. Sono state inoltre calco-

Figura 1. Grafico a campana ottenuto mediante test lattodinamografico, dove "r" è il tempo di coagulazione, misurato in minuti, "k₂₀" è il tempo di rassodamento della cagliata, misurato in minuti, e "a₃₀" è la consistenza della cagliata, misurata in millimetri a 30 minuti dall'aggiunta del caglio.



late le correlazioni di Pearson tra proprietà di coagulazione, caratteristiche minerali, parametri reologici, resa e perdite di caseificazione. L'impostazione sperimentale è importante perché riduce il rischio che le differenze osservate siano dovute a fattori casuali: il contenuto di proteine e caseina è stato reso il più possibile omogeneo tra i gruppi, così come il rapporto grasso/caseina in caldaia, consentendo di attribuire con maggiore affidabilità gli effetti osservati alle proprietà di coagulazione del latte.

Risultati

I risultati mostrano innanzitutto che le tre classi di latte avevano composizioni molto simili sul piano proteico, ma differivano per alcuni indicatori chiave della frazione minerale e dell'equilibrio chimico. Nel latte in caldaia con proprietà di coagulazione ottimali si osservano valori più elevati di calcio, fosforo e acido citrico, insieme a pH più basso e acidità titolabile più alta rispetto al latte con proprietà di coagulazione mediocri. Al contrario, i cloruri sono più alti nel latte con coagulazione peggiore. Queste differenze suggeriscono che il discrimine tecnologico non risiede tanto nella quantità di caseina, quanto nel modo in cui il sistema minerale e il bilancio acido-base rendono la micella caseinica più o meno predisposta alla coagulazione.

Sul piano tecnologico, il latte con proprietà ottimali mostra un tempo di coagulazione più breve, un tempo di rassodamento del coagulo inferiore e una consistenza del coagulo significativamente maggiore. Anche le misure meccaniche del coagulo confermano il quadro: la resistenza al taglio e la resistenza alla compressione risultano più elevate nei campioni con coagulazione ottimale o discreta rispetto a quelli con coagulazione mediocre. In termini pratici, questo significa che la cagliata ottenuta da latte migliore sopporta con più efficacia le fasi di rottura e cottura, riducendo la dispersione di grasso e migliorando la tenuta strutturale durante il processo.

Il legame tra composizione del latte e proprietà di coagulazione emerge in modo molto netto dalle correlazioni. Calcio, fosforo e acido citrico risultano negativamente correlati con il tempo di coagulazione e positivamente correlati con la consistenza del coagulo; il calcio e il fosforo mostrano anche una correlazione negativa con il tempo di rassodamento. In parallelo, la consistenza del coagulo si associa positivamente alla resistenza al taglio e alla compressione. Questo insieme di relazioni rafforza l'interpretazione fisiologico-tecnologica proposta dagli autori: un sistema più ricco di calcio e fosforo disponibili e con migliore equilibrio acido-base accelera la fase enzimatica e favorisce l'aggregazione delle micelle, producendo una cagliata più consistente.

Sul piano della resa, il latte con coagulazione ottimale raggiunge 8,79 kg di formaggio per 100 kg di latte, contro 8,08 kg/100 kg del latte con coagulazione mediocre. La differenza è rilevante perché, su grandi volumi di lavorazione, pochi decimi di punto percentuale si traducono in quantità economiche molto significative. Il dato più inte-

ressante è che la variazione di resa è accompagnata soprattutto da una riduzione delle perdite di grasso, che passano dal 16,72% nei lotti peggiori al 14,23% in quelli migliori. Al contrario, le perdite di proteine e dei minerali non mostrano variazioni significative fra i gruppi, segnalando che il principale vantaggio tecnologico del latte con migliori proprietà di coagulazione riguarda soprattutto il trattamento della frazione lipidica.

Questi risultati possono essere interpretati alla luce dei due momenti fondamentali della coagulazione. Nella fase primaria, un pH più acido accelera l'azione della chimosina e quindi la rottura della κ -caseina; nella fase secondaria, una maggiore disponibilità di calcio favorisce l'aggregazione delle micelle di paracaseina. Il risultato combinato è una cagliata più rapida a formarsi e più robusta da lavorare. Nel caso specifico, il contenuto superiore di citrato, fosforo e calcio nel latte con coagulazione ottimale sembra orientare il sistema verso una migliore efficienza di trasformazione, mentre i cloruri più elevati e il profilo minerale meno favorevole del latte con coagulazione mediocre si associano a un comportamento meno performante.

Un ulteriore elemento interpretativo riguarda la qualità igienico-sanitaria della materia prima. Viene osservato che i conteggi cellulari restano comunque inferiori a soglie tali da compromettere in modo marcato la resa, ma suggeriscono che lievi processi infiammatori della mammella possano contribuire alle differenze di composizione minerale e di coagulazione. Questo punto è importante per la filiera perché conferma che la qualità tecnologica del latte non va letta solo in termini di proteina e grasso, ma anche come espressione di uno stato fisiologico complessivo dell'animale e dell'azienda.

Conclusioni

Lo studio dimostra che le proprietà di coagulazione pre-samica del latte hanno un impatto reale e misurabile sulla resa casearia nel Parmigiano Reggiano DOP. I lattini con coagulazione ottimale producono più formaggio e disperdono meno grasso nel siero cotto rispetto ai lattini con coagulazione mediocre. Questo risultato non è un semplice dato analitico, ma un'indicazione operativa: il latte più idoneo alla trasformazione è quello che, a parità di proteina e caseina, mostra un assetto minerale e acido-base favorevole alla rapida formazione di una cagliata forte e resistente.

Dal punto di vista scientifico, la ricerca rafforza un orientamento già presente in letteratura, secondo cui il test di coagulazione del latte non è soltanto un indicatore descrittivo, ma può rappresentare un vero proxy dell'attitudine alla caseificazione. La novità, qui, sta nell'aver verificato questa relazione in condizioni di campo, dentro una filiera complessa e fortemente tipizzata, riducendo così la distanza tra laboratorio e realtà industriale. È un aspetto non secondario, perché molti studi precedenti avevano trovato relazioni meno nette o addirittura assenti in sistemi sperimentali diversi, proprio per effetto delle

differenti condizioni tecnologiche e operative. Sotto il profilo critico, va osservato che il lavoro, pur molto robusto sul piano applicativo, fotografa un solo prodotto e un preciso contesto produttivo. La generalizzazione ad altre filiere casearie, o ad altri formaggi a diversa tecnologia, richiede prudenza. Inoltre, le correlazioni individuate sono forti e coerenti, ma non sostituiscono completamente la necessità di ulteriori studi sperimentali capaci di discriminare il peso relativo di ciascun fattore, genetica animale, alimentazione, stagione, salute mammaria, microflora e gestione di caseificio, sulla risposta tecnologica del latte. Per i prossimi sviluppi, sarebbe utile integrare i parametri di coagulazione con modelli predittivi più raffinati, capaci

di collegare in tempo reale composizione del latte, qualità della cagliata e resa ottenibile. Una linea promettente riguarda anche il rafforzamento dei sistemi di pagamento del latte basati non soltanto su composizione chimica e caratteristiche igieniche, ma anche su indicatori di attitudine casearia effettiva. In questo senso, il lavoro offre un contributo prezioso: mostra che la valorizzazione del latte può essere costruita su basi scientifiche solide, trasformando un parametro tecnologico in uno strumento di governance della filiera. Per la filiera agroalimentare, questo significa maggiore efficienza, migliore allocazione del valore e una lettura più precisa del rapporto fra qualità della materia prima e identità del prodotto finito.

RIFERIMENTI RICERCA

Titolo

Relationship Between Rennet Coagulation Properties of Milk, Cheese-Making Losses, and Cheese Yield in Manufacture of Parmigiano Reggiano PDO Cheese

Autori

P. Franceschi, D. Barbanti, P. Formaggioni, C. Scotti, P. Giambiasi, F. Martuzzi

Fonte

Foods 2026, 15(3), 428;
<https://doi.org/10.3390/foods15030428>



Abstract

L'obiettivo di questo studio è stato valutare l'influenza delle proprietà di coagulazione presamica del latte (RCPs) sulla resa casearia e sulle perdite durante la caseificazione nella produzione del formaggio Parmigiano Reggiano DOP. Contenuti più elevati di acido citrico (181,10 vs. 172,13 vs. 166,47 mg/100 g) e fosforo (95,02 vs. 91,14 vs. 88,78 mg/100 g) nel latte con RCPs ottimali e discreti, rispetto al latte con RCPs mediocri, influenzano positivamente l'acidità del latte, abbassando i valori di pH (6,68 vs. 6,70 vs. 6,72, rispettivamente), il che determina una reazione più rapida tra chimosina e caseina e, di conseguenza, una riduzione del tempo di coagulazione del latte. I valori inferiori del tempo di rassodamento del coagulo e i valori superiori della consistenza del coagulo, della resistenza al taglio (68,97 vs. 64,43 vs. 44,38 g) e della resistenza alla compressione (31,48 vs. 30,49 vs. 25,70 g) per il latte con coagulazione ottimale e discreta, rispetto al latte con coagulazione mediocre, determinano una maggiore resistenza agli stress durante le fasi tecnologiche del processo di caseificazione, con conseguenti minori perdite di grasso nel siero (14,23 vs. 15,48 vs. 16,72%) e una maggiore resa casearia (8,79 vs. 8,56 vs. 8,08 kg/100 kg).

Bibliografia essenziale

1. Britten, M.; Giroux, H. E. Rennet coagulation of heated milk: A review. *Int. Dairy J.* 2022, 124, 105-179.
2. Fox, P. F.; McSweeney, P. L. H. Cheese: An overview. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter, & D. W. Everett (Eds.), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology; General aspects* (4th ed., pp. 5e21). San Diego, CA, USA: Elsevier Ltd.
3. Frederiksen, P. D.; Andersen, K. K.; Hammershøj, M.; Poulsen, H. D.; Sørensen, J.; Bakman, M.; Qvist, K.B.; Larsen, L. B. Composition and effect of blending of noncoagulating, poorly coagulating, and well-coagulating bovine milk from individual Danish Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2011, 94, 4787-4799.
4. Franceschi, P.; Malacarne, M.; Formaggioni, P.; Cipolat-Gotet, C.; Stocco, G.; Summer, A. Effect of season and cheese-factory on cheesemaking efficiency in Parmigiano Reggiano manufacture. *Foods*, 2019, 8, 315-323.
5. Bittante, G.; Penasa, M.; Cecchinato, A. Genetics and modeling of milk coagulation properties. *J. of Dairy Sci.* 2012, 95, 1-28.
6. Pretto, D.; De Marchi, M.; Penasa, M.; Cassandro, M. Effect of milk composition and coagulation traits on Grana Padano cheese yield under field conditions. *J Dairy Res.* 2013, 80, 1-5.
7. Emmons, D.B.; Dubé, C.; Modler, H.W. Transfer of protein from milk to cheese. *J. Dairy Sci.* 2003, 86, 469-485.