



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI  
RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Corso di Laurea in Scienze e tecnologie alimentari

Analisi e valutazione della composizione del latte:  
approcci tecnologici e confronto con bevanda vegetale  
a base di soia

Relatore  
Prof. Simone Vincenzi

Laureanda  
Aurora Lanciato  
Matricola n. 2043901

ANNO ACCADEMICO 2023-2024



<i>Abstract</i> .....	4
<i>Introduzione</i> .....	5
<i>1 Composizione del latte e utilizzo delle sue analisi</i> .....	7
<i>2 Sfide e direzioni future</i> .....	26
<i>3 Latte animale a confronto con bevanda vegetale a base di soia</i> .....	28
<i>4 Conclusioni</i> .....	38
<i>Bibliografia</i> .....	40

## **Abstract**

This review examines current literature, recent experimental data, and advanced analytical techniques, such as Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) and multi-omics methodologies, to evaluate milk and compare it to soy-based plant beverages. LC-MS, combined with omics technologies, offers powerful tools for detailed profiling of milk's components, such as proteins, lipids, and metabolites. These techniques enable precise and continuous monitoring, which is essential for ensuring milk quality and safety.

The ability to detect adulterations is crucial for food safety, adulterations can indeed pose significant public health risks and undermine consumer trust. Advanced analytical methods improve the ability to detect these issues with high precision, ensuring product integrity and quality. Identifying the species of origin is also essential for traceability and authenticity.

Comparing animal milk with soy-based plant beverages is crucial to evaluate available alternatives and providing informed recommendations to consumers. While animal milk offers numerous health benefits, including high-quality proteins and essential nutrients, soy milk presents an alternative with a different nutritional profile and benefits. Providing accurate information about these options allow consumers to make informed dietary choices.

The goal is therefore to improve quality assurance and food safety practices and to offer valuable insights to both consumers and food industry professionals.

## Introduzione

La composizione del latte e le sue implicazioni nutrizionali rappresentano un campo di studio di primaria importanza all'interno delle scienze alimentari poiché il latte, essendo un alimento basilare nella dieta umana, svolge un ruolo cruciale sia nello sviluppo che nel mantenimento della salute. Tuttavia, le crescenti preoccupazioni legate alle allergie alimentari, alle intolleranze e alle questioni etiche relative all'allevamento degli animali, hanno contribuito alla diffusione delle bevande vegetali, come quelle a base di soia, che vengono sempre più spesso considerate alternative al latte animale.

La metodologia adottata prevede una revisione approfondita della letteratura scientifica esistente, l'analisi di dati sperimentali provenienti da studi recenti e di tecniche avanzate, così da avere gli strumenti utili per la valutazione del latte e per il confronto con la bevanda vegetale a base di soia.

L'analisi della composizione del latte, non solo consente di comprendere appieno le sue proprietà nutrizionali, ma risulta anche fondamentale per garantire la qualità e la sicurezza del prodotto finale; infatti, tecnologie avanzate come la cromatografia liquida accoppiata alla spettrometria di massa (LC-MS) e le tecniche omiche forniscono strumenti potentissimi per la profilazione dettagliata dei composti presenti nel latte. Questi metodi permettono di rilevare eventuali adulterazioni, identificare con precisione la specie d'origine e monitorare costantemente il latte in modo accurato.

Le tecniche LC-MS permettono di identificare e quantificare una vasta gamma di composti; consentono dunque l'ottenimento di dati precisi e affidabili. Le tecniche omiche offrono una visione globale, permettendo di identificare variazioni nei profili dei composti; questi approcci multidisciplinari sono fondamentali per comprendere appieno la complessità del latte e per incrementare i metodi di analisi e controllo della qualità.

L'utilizzo dell'analisi della composizione per rilevare adulterazioni interspecifiche rappresenta un aspetto cruciale per garantire la sicurezza alimentare, poiché l'adulterazione del latte può avere gravi implicazioni per la salute pubblica e compromettere la fiducia dei consumatori; le tecniche avanzate di analisi permettono di rilevare adulterazioni con grande precisione, assicurando la qualità e l'integrità del prodotto. La determinazione dell'origine della specie, inoltre, è fondamentale per

garantire la tracciabilità e l'autenticità del latte, assicurando che i prodotti rispettino gli standard di qualità e le normative vigenti.

La ricerca sulla composizione del latte, che come già detto è fondamentale per garantire una qualità elevata, presenta numerose sfide a causa della complessità del prodotto, infatti le difficoltà nell'analisi del latte richiedono un approccio multidisciplinare che integri diverse tecnologie e metodologie per migliorare l'accuratezza e la precisione delle analisi; la direzione futura della ricerca include l'integrazione di nuove tecnologie e lo sviluppo di metodi innovativi per affrontare le sfide emergenti nel campo dell'analisi del latte.

Il confronto tra il latte animale e le bevande vegetali a base di soia è essenziale per valutare le alternative disponibili e fornire raccomandazioni informate ai consumatori, poiché la composizione nutrizionale del latte animale offre numerosi benefici per la salute, tra cui un alto contenuto di proteine di alta qualità, vitamine e minerali essenziali; tuttavia, le bevande vegetali a base di soia rappresentano una valida alternativa, sicuramente più di altre bevande vegetali, ma hanno una composizione nutrizionale diversa dal latte bovino, con caratteristiche e benefici diversi ed è importante diffondere più informazioni attendibili a riguardo, così che il consumatore possa effettuare scelte consapevoli.

L'obiettivo finale è analizzare i metodi per la garanzia della qualità e della sicurezza alimentare e offrire informazioni utili ai consumatori e ai professionisti del settore alimentare; le raccomandazioni per future ricerche includono l'esplorazione di nuove tecnologie di analisi e lo sviluppo di metodologie innovative per affrontare le sfide emergenti nella composizione del latte e delle bevande vegetali.

# 1 Composizione del latte e utilizzo delle sue analisi

Il latte è un fluido biologico complesso e dinamico che svolge un ruolo cruciale nel nutrimento dei neonati e fornisce un apporto nutrizionale essenziale per gli animali e per gli esseri umani di tutte le età; il latte bovino contiene proteine, lipidi e carboidrati che offrono vari benefici per la salute.

Lo scopo dell'analisi è quello di mostrare gli aspetti più importanti, anche in termini di nutrizione, della composizione molecolare del latte.

Verrà inoltre affrontato il tema delle frodi, strettamente legato alla composizione dell'alimento; infatti, il latte è uno degli alimenti più facilmente adulterabili e il fatto che la sua composizione sia influenzata da fattori come la razza, l'alimentazione e i metodi di lavorazione rende ancora più difficile l'identificazione dei prodotti lattiero-caseari adulterati.

Il fenomeno dell'adulterazione del latte è diventato una preoccupazione globale dopo lo scandalo della melamina nei prodotti per lattanti in Cina (Pei X et al., 2011).

Il latte adulterato, infatti, non solo perde il suo valore e il profilo nutrizionale, ma può anche colpire la salute dei consumatori, causando una serie di problemi, dai disturbi gastrointestinali alle gravi reazioni allergiche, fino alla morte in casi estremi come quello cinese del 2008.

Negli anni sono emerse frodi sempre più sofisticate e difficili da rilevare, che rappresentano una grave minaccia per la salute umana; l'adulterazione con proteine vegetali o composti contenenti azoto per alterare artificialmente il contenuto proteico, l'adulterazione del latte con acqua per ridurre i costi e l'adulterazione con formaldeide, perossido di idrogeno, ipoclorito, dicromato e acido salicilico per prolungare la conservazione (Singh P & Gandhi N 2015).

A causa della composizione particolare e della vasta gamma di fattori che influenzano la qualità nutrizionale, la valutazione e la rilevazione delle adulterazioni del latte sono diventate sfide sempre più complesse, che si affidano a un grande numero di tecnologie differenti.

Recensioni recenti sulla ricerca di adulteranti nel latte si concentrano principalmente su test mirati con adulteranti noti, fornendo poche informazioni sull'implementazione di

strategie non mirate per l'analisi di routine della composizione e delle adulterazioni del latte.

In questa era digitale, dove tecnologia e salute si intersecano, si sfruttano tecniche all'avanguardia per eseguire analisi approfondite sulla caratterizzazione del latte tramite, ad esempio, LC-MS. Di seguito osserveremo come la Cromatografia Liquida combinata alla Spettrometria di Massa (LC-MS) faccia luce sui dettagli della composizione del latte, dalle proteine ai lipidi, dalle vitamine ai minerali, fino ai carboidrati; questi componenti, spesso dati per scontati nel consumo quotidiano, svolgono ruoli fondamentali nel mantenimento del nostro benessere generale.

In aggiunta, tramite l'applicazione di tecniche omiche, è possibile completare lo studio della matrice alimentare, comprendendo così la precisa organizzazione dei nutrienti, per poter apprezzare meglio come essi contribuiscano alla nostra dieta e salute.

Inoltre, valuteremo l'utilizzo di varie tecniche che sfruttano precisamente la composizione unica del latte per trovare diversi tipi di adulterazione.

### ***Caratterizzazione del latte***

Attraverso tecniche avanzate come la Cromatografia Liquida-Spettrometria di Massa (LC-MS), si può esaminare la composizione del latte a livello molecolare. Il processo comporta un'analisi approfondita delle proteine, dei lipidi, delle vitamine, dei minerali e dei carboidrati presenti nel latte, fornendo preziose informazioni sul suo profilo nutrizionale.

Le proteine vengono analizzate per la loro composizione in amminoacidi e proprietà funzionali, mettendo in luce il ruolo del latte nello sviluppo muscolare e nella salute generale dell'essere umano. L'analisi dei lipidi rivela i tipi di acidi grassi presenti, essenziali per comprendere il ruolo del latte nella salute cardiovascolare. Vitamine e minerali vengono valutati per stimare il contributo del latte all'apporto giornaliero di nutrienti, sottolineando la sua importanza in una dieta equilibrata. L'analisi dei carboidrati rivela il contenuto di zuccheri, fondamentale per gli individui che ne monitorano l'assunzione.

Questa analisi meticolosa non solo accresce la nostra comprensione del latte, ma ne evidenzia anche la rilevanza nel promuovere la salute e il benessere. Continuando la

ricerca approfondita sulla composizione del latte, si apre la strada a innovativi prodotti lattiero-caseari e avanzamenti nel campo della nutrizione.

### ***Proteine***

La profilazione delle proteine è un aspetto cruciale; quando analizziamo la composizione del latte mediante LC-MS, emergono una serie di informazioni sui suoi componenti. Le proteine, disperse nel latte in forma colloidale come micelle, svolgono ruoli fondamentali in tutti i processi biologici. Tuttavia, i metodi classici di analisi proteica consentono di studiare solo un numero limitato di proteine alla volta, riducendo così la capacità di affrontare miscele proteiche complesse come quelle presenti nel latte. La complessità del proteoma del latte è dovuta all'elevata divergenza evolutiva, alla presenza di numerose varianti genetiche e alle modifiche post-traduzionali (Gagnaire et al., 2009; Bendixen et al., 2011). Modifiche come la glicosilazione, la fosforilazione, la formazione di legami disolfuro e la proteolisi possono generare una vasta gamma di varianti proteiche differenti a partire da un singolo prodotto.

La proteomica, ossia lo studio su larga scala dell'espressione proteica, delle interazioni tra proteine e delle modifiche post-traduzionali, è passata da essere una nuova tecnologia ad essere uno strumento essenziale e potente nel campo di studio delle tecniche omiche. Le metodologie proteomiche permettono di analizzare migliaia di proteine in un singolo esperimento, offrendo la possibilità di monitorare le variazioni nell'espressione proteica in risposta a condizioni ambientali e trattamenti tecnologici. Un ulteriore obiettivo della proteomica è identificare cambiamenti nuovi nell'espressione, interazione o modifica delle proteine a seguito di un trattamento sperimentale.

Oltre al loro valore nutritivo, il ruolo delle proteine del latte nella salute, crescita e sviluppo non è ancora completamente compreso (Zhang & Carpenter 2013). Ancora meno informazioni sono disponibili sullo sviluppo della funzione del latte durante la lattazione. Un approccio per ottenere una maggiore comprensione delle diverse funzioni biologiche delle proteine del latte è la raccolta di studi sull'uso della proteomica, con particolare attenzione alle modificazioni che avvengono durante la trasformazione dei prodotti e le implicazioni per la sicurezza e la qualità dei prodotti lattiero-caseari.

Le proteine del latte forniscono nutrienti essenziali per la crescita e costituiscono un ampio repertorio di ingredienti alimentari funzionali. Molte proteine vengono completamente digerite nell'intestino per fornire amminoacidi essenziali; tuttavia, altre subiscono una degradazione parziale o minima, consentendo loro di esercitare funzionalità superiori legate alla struttura dei loro prodotti digestivi, dei peptidi. Definire il proteoma del latte è cruciale per migliorare la conoscenza della sua funzione e della sua composizione, con il potenziale di offrire nuove prospettive nel campo delle scienze lattiero-casearie e alimentari.

I recenti progressi nella proteomica hanno notevolmente aumentato il numero di proteine identificate nel latte. Di seguito verranno descritte le implicazioni di queste scoperte sulla comprensione del ruolo delle proteine del latte nei processi biologici, nei percorsi di segnalazione e nella nutrizione. Inoltre, verranno sottolineate le modifiche proteiche indotte dal calore durante i processi industriali, che spesso riducono il valore nutrizionale e la funzionalità delle proteine del latte.

La LC-MS svolge un ruolo significativo in questo processo, permettendo una quantificazione e una caratterizzazione precise.

Attraverso un'analisi approfondita utilizzando LC-MS, otteniamo preziose informazioni sulla composizione nutrizionale del latte. Questi dati sono fondamentali per comprendere la qualità dei prodotti lattiero-caseari e i loro potenziali benefici per la salute. La profilazione delle proteine tramite LC-MS non solo rivela i componenti del latte, ma ne evidenzia anche il valore nutrizionale per i consumatori.

Il latte è caratterizzato dalla presenza dominante di poche proteine, accompagnate da numerose proteine meno abbondanti. Sebbene queste proteine meno presenti si trovino in basse concentrazioni, possono svolgere ruoli importanti nello sviluppo e nella salute. Alcune proteine, ad esempio, facilitano la digestione e l'assorbimento di altri nutrienti presenti nel latte, mentre altre proteggono contro batteri e virus patogeni, rafforzano il sistema immunitario acquisito, influenzano lo sviluppo cognitivo, il metabolismo, regolano la sazietà, e contribuiscono allo sviluppo e alla maturazione del tratto gastrointestinale (Zhang & Carpenter 2013).

L'analisi proteomica più semplice del latte coinvolge le proteine altamente abbondanti. Nonostante il basso numero di proteine principali, esse presentano profili complessi, dovuti alla presenza di numerose varianti e modifiche post-traduzionali. Le proteine del latte possono essere divise in tre gruppi: caseine, proteine del siero e proteine della membrana dei globuli di grasso del latte.

Utilizzando l'analisi LC-MS possono essere rilevate facilmente centinaia di proteine diverse nel latte bovino intero (O'Donnell R et al 2004).

Le micelle di caseina si presentano come complessi colloidali costituiti principalmente da proteine e sali, in particolare il calcio. Le caseine, che costituiscono circa l'80% delle proteine del latte, sono suddivise in quattro principali gruppi:  $\alpha$ S1-caseina, la più abbondante tra le caseine e fondamentale per la struttura delle micelle di caseina.  $\alpha$ S2-caseina, presente in quantità minori rispetto alla  $\alpha$ S1-caseina, ma che gioca un ruolo importante nel legare calcio e fosfato.  $\beta$ -caseina, particolarmente importante per la formazione delle micelle e contribuisce alla stabilità del latte.  $\kappa$ -caseina, che si trova sulla superficie delle micelle di caseina e aiuta a stabilizzare la struttura delle micelle, prevenendo la coagulazione del latte prima del previsto.

Questi gruppi lavorano insieme per facilitare il trasporto di calcio e fosfato e per formare un coagulo nel tratto digestivo, rendendo la digestione più efficiente.

Le proteine del siero del latte, invece, sono proteine globulari più solubili in acqua rispetto alle caseine. Le principali frazioni di queste proteine sono la beta-lattoglobulina, l'alfa-lattoalbumina, l'albumina e le immunoglobuline.

Le proteine del siero sono considerate di eccezionale valore nutrizionale, poiché forniscono amminoacidi essenziali e offrono funzionalità diversificate come ingredienti alimentari. Si possono identificare molte proteine del siero nel latte bovino, associate alla funzione di difesa, coinvolte nella crescita, mantenimento e supporto immunitario. (Smolenski et al., 2007).

Le proteine della membrana dei globuli di grasso del latte costituiscono solo l'1-4% delle proteine totali del latte. Nonostante la loro bassa concentrazione svolgono un ruolo cruciale in vari processi cellulari e nei meccanismi di difesa del neonato, oltre al trasporto delle proteine di membrana, segnalazione cellulare, trasporto e metabolismo

dei grassi, trasporto, sintesi e modifica delle proteine immunitarie (Cavaletto et al., 2008).

Nell'analisi approfondita che viene affrontata, è importante considerare che alcune caratteristiche dei componenti del latte e dei prodotti lattiero-caseari subiscono modificazioni chimiche durante la lavorazione e lo stoccaggio, che possono compromettere le loro proprietà funzionali e qualità nutrizionali. Tra queste reazioni si includono la reazione di Maillard, l'ossidazione dei lipidi, la lipolisi, la proteolisi e la formazione di legami tra le diverse proteine, la degradazione del lattosio e la denaturazione di alcune proteine. La reazione di Maillard, in particolare, è la più studiata e si verifica durante i trattamenti termici; il lattosio si lega alle proteine formando la fruttosil-lisina, il primo prodotto stabile della reazione di Maillard, che successivamente si ristrutturata nella più stabile lattulosil-lisina. Questo processo porta a una riduzione della digeribilità delle proteine e della biodisponibilità della lisina (Erbersdobler & Somoza 2007).

In alcuni prodotti lattiero-caseari, come le polveri di latte e i concentrati proteici del latte, una reazione di Maillard avanzata può causare imbrunimento e formazione di prodotti ad alto peso molecolare attraverso la formazione di legami tra le proteine. Pertanto, l'analisi e la quantificazione di queste reazioni chimiche sono cruciali per valutare l'effetto della lavorazione sulla qualità del prodotto.

Il proteoma del latte è caratterizzato da una notevole dinamicità e varia continuamente in risposta a fattori come la regolazione genetica e gli stimoli ambientali. Una conoscenza accurata di tali cambiamenti potrebbe essere utilizzata per migliorare la produzione del latte, i processi di lavorazione e la qualità dei prodotti lattiero-caseari.

Le metodologie proteomiche potrebbero essere utilizzate per perfezionare le condizioni di lavorazione e selezionare le materie prime, con l'obiettivo di preservare il valore nutritivo delle proteine del latte, monitorando le modifiche indotte dalle lavorazioni subite dall'alimento.

Negli ultimi anni, i miglioramenti nelle tecnologie e i progressi nella proteomica hanno permesso una caratterizzazione più approfondita delle proteine del latte, identificando e catalogando un numero crescente di proteine. Tuttavia, la mappa del proteoma del latte bovino è ancora in fase di sviluppo e continua ad essere ampliata e perfezionata.

Ulteriori sviluppi in questi ambiti sono necessari per approfondire notevolmente la nostra conoscenza delle proteine del latte.

Occorre comunque ribadire che la composizione del latte è dinamica e varia a seconda del periodo di lattazione, dell'età, della razza, della nutrizione, dell'equilibrio energetico e dello stato di salute della mammella. Il colostro, rispetto al latte maturo, presenta differenze significative, tra cui una concentrazione di proteine del latte che può essere circa il doppio rispetto a quella del latte prodotto più tardi nella lattazione.

### ***Rilevamento adulterazione interspecifica***

L'autenticità è una questione cruciale per proteggere i prodotti lattiero-caseari tradizionali, come i formaggi realizzati con specifici tipi di latte in regioni particolari. L'aggiunta di latte di specie diverse rispetto a quelle dichiarate nelle norme di produzione è un tipo di adulterazione. Pertanto, sono desiderabili metodi analitici con alta selettività per identificare le frodi.

Le tecniche impiegate ad oggi permettono di determinare l'origine specifica del latte analizzato attraverso la profilazione lipidica, proteomica e glicomica.

Per quanto riguarda la proteomica del latte, numerosi studi hanno valutato l'autenticità del latte e dei prodotti lattiero-caseari a livello di specie. Le caseine si sono dimostrate un bersaglio promettente per identificare l'origine del latte. L'identificazione e la quantificazione dei peptidi derivanti dalle caseine consentono di caratterizzare il proteoma del latte, individuando così marcatori contro l'adulterazione, che permettono di verificare l'autenticità del prodotto in relazione all'origine (Zhang et al., 2022).

L'elettroforesi, in varie forme, è una delle tecniche più ampiamente utilizzate per l'autenticazione dei prodotti lattiero-caseari, poiché è in grado di rilevare anche solo l'1% di latte vaccino in latte di altre specie, come quello caprino (Strange et al., 1992); ad esempio, tramite la SDS-PAGE è possibile separare le caseine, consentendo una buona divisione tra i gruppi proteici dei diversi tipi di latte, tanto che è possibile rilevare fino allo 0,5% di latte vaccino eventualmente presente in formaggi di ovino e caprino (Tamime et al., 1999)

In generale, la caratterizzazione delle caseine mediante LC-MS è utilizzata per valutare le differenze genetiche tra specie e razze, fornendo importanti strumenti per contrastare l'adulterazione interspecifica (Imperiale S, Morozova K, Ferrentino G et al., 2023).

Per quanto riguarda i metodi immunochimici, noti per la loro sensibilità e la preparazione minima del campione, sono ancora ampiamente utilizzati per distinguere

tra diverse specie di latte. Gli anticorpi su misura rilevano componenti proteici specifici o creati durante i processi tecnologici (Pizzano et al., 2011).

Hurley et al. (2004, 2006) hanno impiegato formati di ELISA indiretto e sandwich per rilevare il latte vaccino in vari tipi di latte, raggiungendo limiti di rilevamento fino allo 0,001% in alcune miscele di latte. L'ELISA è economica, rapida, affidabile e adatta per un elevato numero di campioni; si rivela dunque un ottimo metodo applicabile ai laboratori di controllo qualità.

L'identificazione della specie e dell'origine del latte è rilevante anche nella produzione di formaggi. In un altro studio, sono stati analizzati formaggi prodotti con latte di vacca, pecora e capra per verificarne l'autenticità attraverso la spettrometria di massa e sviluppare possibili strumenti per contrastare l'adulterazione. Analizzando i campioni di formaggio tramite LC-MS, sono state ottenute le sequenze amminoacidiche dei peptidi, successivamente confrontate con le sequenze specifiche ottenute dalla digestione enzimatica delle caseine  $\alpha$ -s1 e  $\alpha$ -s2 delle varie specie. La sequenza di tutti i campioni è stata confrontata con diversi database e si è scoperto che la caseina  $\alpha$ -s1 differisce di 25 amminoacidi tra mucca e pecora, di 26 amminoacidi tra mucca e capra. Le differenze nella caseina  $\alpha$ -s2 sono simili: tra mucca e pecora ci sono 24 amminoacidi di differenza, tra mucca e capra 26.

Confrontando i peptidi ottenuti dalla digestione enzimatica e analizzando le differenze nei loro pesi molecolari, sono state individuate sequenze specifiche per ciascuna specie. Le sequenze specifiche delle caseine  $\alpha$ -s bovine sono particolarmente rilevanti, poiché servono a dimostrare la presenza di latte bovino nei formaggi di pecora e capra. Anche se le caseine non sono le uniche proteine presenti nel latte, rappresentano quasi l'80% delle proteine totali e sono state scelte come indicatori teoricamente appropriati per rilevare la presenza di latte bovino nei formaggi di origine diversa (Kuckova S, Zitkova K, Novotny O et al., 2019).

### ***Rilevamento di adulteranti ricchi di azoto***

L'aggiunta al latte di melamina, urea e altri adulteranti ricchi di azoto ha ricevuto notevole attenzione negli ultimi anni a causa di una serie di incidenti di sicurezza alimentare, come i richiami di cibo per animali, la morte di sei neonati e il ricovero di circa 300.000 persone in Cina nel 2008 (Pei X et al., 2011). L'aggiunta di melamina

rappresenta un modo per aumentare il contenuto apparente di proteine e, quindi, il valore economico del latte e dei prodotti derivati, ed è una pratica comune in tutto il mondo. L'urea è aggiunta al latte per aumentare il contenuto di azoto apparente e per migliorare la consistenza del latte.

Negli anni sono stati sviluppati diversi strumenti per prevenire l'adulterazione del latte con melamina e altri materiali ricchi di azoto. Il metodo per misurare l'azoto non proteico nel latte, utilizzando tecniche avanzate come HPLC e la spettrometria, è uno standard proposto al fine di escludere prodotti contenenti le sostanze illecite (Filazi et al., 2012). Per quanto riguarda la spettrometria, uno studio condotto da Khan et al. (2015) ha preparato diversi lotti di campioni di latte adulterato, ciascuno contenente urea in concentrazioni variabili tra 100 e 10 000 mg/L. I campioni sono stati analizzati mediante spettroscopia Raman; i risultati hanno dimostrato che questa tecnica, combinata con un algoritmo, è in grado di rilevare la presenza di urea con una precisione superiore al 90%. Un altro metodo basato sulla spettroscopia Raman amplificata da superfici (SERS) è stato sviluppato per la rilevazione rapida e sensibile della melamina (Yazgan et al., 2012). Questo metodo, applicato a campioni di latte scremato addizionati con melamina in concentrazioni variabili, ha ottenuto ottimi risultati, fornendo un limite di rilevamento (LOD) di 0.39 mg/L e un limite di quantificazione (LOQ) di 1.30 mg/L, mantenendo un tempo di analisi inferiore a 15 minuti.

Un altro metodo rapido per l'analisi dell'adulterazione del latte e la prevenzione delle intossicazioni alimentari è stato sviluppato da Hilding-Ohlsson et al. (2012). Il metodo di discriminazione voltamperometrica per il latte scremato in polvere adulterato con melamina si svolge tramite l'utilizzo di un elettrodo e studi di voltammetria su campioni di latte adulterati e non adulterati che portano alla profilazione elettrochimica dei composti presenti. I dati ottenuti creano uno spettro voltamperometrico che mostra i picchi associati ai diversi componenti nel latte. Questi picchi possono essere utilizzati per identificare gli adulteranti; infatti, i campioni di latte adulterati e non adulterati mostrano differenze significative. Con questo metodo è possibile distinguere un campione adulterato contenente l'1% di azoto proveniente da una delle due sostanze (urea o melamina).

Sono stati sviluppati anche metodi di rilevazione visiva per la melamina, ossia test colorimetrici (Ai et al., 2009). La tecnica utilizza nanoparticelle d'oro stabilizzate con derivati dell'acido cianurico per rilevare la melamina. Il principio si basa sul riconoscimento a triplo legame a idrogeno tra la melamina e i derivati dell'acido cianurico, che induce un cambiamento nello stato di assemblaggio delle nanoparticelle, alterando così le loro proprietà ottiche. Questo cambiamento si riflette in una variazione visibile del colore, consentendo una rilevazione colorimetrica immediata. Il sensore può identificare livelli di melamina fino a 2,5 µg/L in meno di un minuto, semplicemente osservando il cambiamento di colore, senza la necessità di strumentazioni avanzate o complesse; questi vantaggi rendono il metodo particolarmente promettente per il rilevamento in tempo reale e sul posto.

Hu et al. (2015) hanno dimostrato la rilevazione della melamina nel latte mediante polimeri a stampo molecolare combinati con la SERS (MIP-SERS), un biosensore innovativo in grado di determinare la presenza di melamina nel latte intero. Il limite di rilevamento (LOD) era di 1.51 mg/L e il limite di quantificazione (LOQ) di 4.90 mg/L. Un vantaggio significativo di questa tecnica è la semplicità nel trattamento del campione e i tempi brevi di esecuzione. I biosensori offrono alta specificità e accuratezza, bassi costi e facilità di gestione.

Per quanto riguarda le tecniche cromatografiche, più complesse e laboriose, ma molto efficienti, uno studio ha impiegato tecniche di cromatografia liquida ad alta prestazione con rivelatore UV per determinare la melamina e altri composti azotati nel latte, rilevando concentrazioni fino a 0,01 µg/mL (Salman et al., 2012).

### ***Rilevamento di proteine vegetali***

Grazie al suo prezzo inferiore e alla facile disponibilità sul mercato, la polvere di soia è una proteina vegetale comunemente utilizzata per aumentare il contenuto proteico del latte.

In passato il rilevamento delle proteine estranee aggiunte illecitamente al latte era limitato ai metodi basati sulle proprietà immunologiche delle proteine, come il saggio immunoenzimatico ELISA, in cui le varie frazioni delle proteine del latte o del siero potevano essere rilevate tramite anticorpi monoclonali e policlonali (Hurley et al.,

2004), oppure analizzando le differenze nelle proprietà elettroforetiche delle proteine del latte e delle proteine adulteranti.

Recentemente sono stati adottati anche altri metodi per la rilevazione di proteine vegetali: in una ricerca la cromatografia liquida ad alta prestazione (RP-HPLC) è stata impiegata per separare simultaneamente proteine di soia e siero di latte bovino, dimostrando elevata rapidità ed efficienza anche in campioni di latte fresco. Il metodo proposto ha permesso di rilevare concentrazioni di proteine di soia fino a 13 µg/g di latte, con un'analisi della durata inferiore ai 15 minuti (Krusa et al., 2000).

Haasnoot e Jolanda (2007) hanno sviluppato un saggio immunologico diretto con biosensore, in cui anticorpi policlonali purificati e immobilizzati sulla superficie del sensore, ottenuti contro proteine della soia, piselli e frumento, sono in grado di legare le proteine vegetali e di essere rilevati direttamente. Il tempo di analisi è di circa 5 minuti e i limiti di rilevamento (LOD) nel latte in polvere sono stati segnalati al di sotto dello 0,1% sul totale delle proteine presenti.

Oltre alla polvere, anche la bevanda di soia è aggiunta al latte, a causa delle sue proprietà simili al latte vaccino, sia per la vendita come latte alimentare, sia nella preparazione di latte in polvere e formaggi per massimizzare i profitti (Sharma, 2009).

Per differenziare latte bovino e bevanda di soia, sono stati sviluppati anche altri metodi tra cui: metodi basati sulle differenze nell'attività ottica degli zuccheri (metodo polarimetrico), sulle differenze nei punti isoelettrici delle principali proteine presenti (metodo di precipitazione isoelettrica) e sulle differenze nei pesi molecolari delle proteine principali dei due alimenti (metodo SDS-PAGE) (Sharma R & Rajput Y.S. 2010).

Il metodo polarimetrico si basa su una considerazione: il lattosio è lo zucchero principale nel latte bovino, ma è assente nella bevanda di soia, che contiene invece stachiosio, raffiniosio e saccarosio; questi zuccheri sono otticamente attivi e influenzano la rotazione della luce polarizzata. Gli esperimenti hanno mostrato che gli zuccheri della bevanda di soia hanno una rotazione ottica inferiore rispetto a quelli del latte bovino, quindi adulterare latte vaccino con il 10-50% di bevanda di soia riduce significativamente la rotazione ottica. Il metodo polarimetrico può rilevare adulterazioni con almeno il 10% di latte di soia in 45 minuti; non è quindi un metodo altamente sensibile o particolarmente veloce.

Considerando i punti isoelettrici differenti, le proteine principali della bevanda di soia precipitano a pH compreso tra 5,4 e 6,0, mentre le proteine del latte vaccino rimangono solubili a tale pH. Regolando il pH a 5,7 e incubando i campioni a 50°C, si osserva la coagulazione della bevanda di soia e del latte vaccino adulterato per il 10-20%, entro 10 minuti, si può quindi accertare un'adulterazione. Tuttavia, la coagulazione non è visibile nei campioni con solo il 5% di bevanda di soia, nemmeno dopo 30 minuti.

Il metodo SDS-PAGE si basa sulla differenza tra i pesi molecolari delle proteine di origine vegetale e animale. Le proteine del latte vaccino puro e del latte vaccino adulterato con 5, 10, 20 o 50% di bevanda di soia vengono separate su SDS-PAGE e osservate. Un confronto tra le frange proteiche del latte vaccino della bevanda di soia suggerisce che le proteine di peso molecolare di 20, 38, 50 e 95 KDa sono presenti nella bevanda di soia, ma assenti nel latte vaccino. Tra queste bande, le proteine di peso molecolare 20, 50 e 95 KDa sono più pronunciate nel latte adulterato. La presenza o l'assenza di queste bande indica, quindi, la presenza o l'assenza di adulterazione nel latte. Poiché il metodo SDS-PAGE si basa sul peso molecolare delle proteine, altri adulteranti comunemente usati, ad esempio zuccheri, non interferiscono nel rilevamento dell'adulterazione. I risultati del metodo SDS-PAGE diventano disponibili però in 8 ore, il che rende il metodo poco pratico, anche se efficace.

### ***Rilevamento di proteine del siero***

La crescente produzione industriale di formaggi e latticini produce grandi volumi di siero come sottoprodotto, che fornisce una fonte economica di proteine, comunemente utilizzata per l'adulterazione di latte e derivati.

Il siero di latte è composto principalmente da proteine solubili, lattosio e minerali; la principale proteina solubile nel siero del latte è la  $\beta$ -lattoglobulina, seguita da  $\alpha$ -lattoalbumina e altre proteine minori. Le proteine del siero sono generalmente adatte all'alimentazione animale grazie al loro elevato contenuto proteico e alle loro proprietà funzionali come la capacità di formare un gel.

Tuttavia, l'aggiunta di siero di latte può essere usata per alterare le proprietà del latte e dei prodotti caseari. Per rilevare la presenza di siero nel latte, sono stati sviluppati metodi sensibili e specifici basati su tecniche immunologiche e spettroscopiche. Questi metodi si basano su anticorpi monoclonali e policlonali sviluppati per identificare

proteine specifiche del siero nel latte e includono analisi ELISA e altre tecniche immunoanalitiche.

Le tecniche spettroscopiche come la spettroscopia UV-visibile e la spettroscopia NIR oppure la tecnica HPLC possono essere utilizzate per analizzare le variazioni nei profili proteici del latte causate dalla presenza di proteine del siero (Ruprichová et al., 2014). Questi metodi sono in grado di rilevare anche piccole quantità di siero nel latte; infatti, sono stati implementati per il controllo della qualità e la garanzia dell'autenticità dei prodotti lattiero-caseari (Poonia A et al., 2016).

Simona (2009) ha descritto un metodo analitico rapido basato su anticorpi per rilevare l'aggiunta fraudolenta di siero nel latte. Il test si basa sulla determinazione del Casein-GlicoMacroPeptide presente in quantità elevate nel siero in seguito alla degradazione della caseina provocata dalle proteasi aggiunte al latte durante la caseificazione. Il latte non adulterato non include tale sostanza, se non in tracce. Questo metodo isola il GMP dalla  $\beta$ -caseina e analizza campioni diluiti con kit immunologici dotati di anticorpi monoclonali specifici. Può rilevare aggiunte di siero fino all'1-2% nel latte. Tuttavia, falsi positivi possono verificarsi a causa del rilevamento di prodotti simili al GMP dovuti a proteasi psicotrope, enzimi proteolitici che possono funzionare efficacemente a basse temperature.

Un'altra metodologia interessante è la spettroscopia UV derivata, che migliora la risoluzione delle caratteristiche spettrali minori, è usata per rilevare fino al 5% di siero in latte e polveri di latte basandosi sul rapporto triptofano/tirosina (Meisel 1995). Questa tecnica lavora migliorando la risoluzione delle caratteristiche spettrali minori nello spettro UV normale, permettendo così di separare segnali individuali degli amminoacidi aromatici. Si può osservare che il rapporto triptofano/tirosina è circa 0,59 per le proteine del siero e 0,19 per le caseine; questo rapporto potrebbe quindi essere sfruttato per la rilevazione del siero nel latte, anche se, nonostante le sue potenzialità, i metodi derivati sono meno popolari per la difficoltà di interpretazione e i costi elevati.

Il metodo ELISA a sandwich rileva il GMP come indicatore di adulterazione del latte con siero di formaggio liquido. Utilizza anticorpi anti-GMP per rilevare GMP nel campione trattato con TCA e produce un colore mediante una reazione di HRP (Horse Radish Peroxidase)-avidina. Può rilevare lo 0,047% di siero e ha un limite di

quantificazione dello 0,14% (v/v). Non mostra reazioni crociate con altri componenti alimentari e può essere utilizzato per test quantitativi e qualitativi del latte, offrendo un'ottima accuratezza e riproducibilità. Il metodo è pratico per l'uso in impianti di lavorazione del latte di varie dimensioni (Chavez et al. 2012).

Gli stick c-GMP sono test rapidi che sfruttano metodi immunocromatografici per la ricerca dell'aggiunta di siero nel latte o nel latte in polvere. Il test è in grado di rilevare l'adulterazione con una sensibilità del 1% o 2% di siero nel latte fresco; è altamente affidabile grazie al metodo anticorpale e si esegue pochi minuti (Astori Tecnica, 2010).

### ***Lipidi***

I lipidi sono presenti nel latte come globuli emulsionati e forniscono acidi grassi indispensabili (Keenan TW & Patton S, 1995). Analizzare i lipidi, un componente cruciale del latte, è essenziale per svelare i grassi che contribuiscono al benessere generale dato dal consumo di tale bevanda. Attraverso un'esplorazione dettagliata dei lipidi, i ricercatori possono identificare i tipi specifici di grassi presenti, come i grassi saturi, i grassi insaturi e gli acidi grassi omega-3 e omega-6, mettendo in luce il loro impatto sulla salute.

I trigliceridi, che costituiscono circa il 95% della frazione lipidica, sono composti da acidi grassi di varie lunghezze e gradi di insaturazione. Altri lipidi presenti nel latte includono digliceridi, colesterolo, fosfolipidi e acidi grassi liberi.

Più della metà degli acidi grassi presenti nel latte sono saturi. L'acido butirrico è noto per la sua capacità di modulare la funzione genica. Gli acidi caprilico e caprico potrebbero avere attività antivirali, e si è osservato che l'acido caprilico può ritardare la crescita dei tumori (Thormar H et al 1994). L'acido laurico potrebbe possedere funzioni antivirali e antibatteriche (Sun CQ et al., 2002), e potrebbe agire come agente contro carie e placca. L'acido stearico sembra non aumentare la concentrazione di colesterolo LDL (Grundy SM., 1994).

Pertanto, alcuni acidi grassi saturi presenti nel latte sembrano avere effetti neutri o persino positivi sulla salute. Tuttavia, gli acidi grassi saturi come l'acido laurico, l'acido miristico e l'acido palmitico possono aumentare i livelli di colesterolo LDL, e diete ricche di grassi saturi sono state collegate a malattie cardiache, aumento di peso e obesità (Insel P et al., 2004).

In generale si può dire che gli studi non forniscono evidenze convincenti che il latte sia dannoso (Ness AR et al., 2000), ma, anzi, come riportato da alcuni studi, gli acidi grassi tipicamente trovati nei prodotti lattiero-caseari sono associati a un profilo LDL più favorevole (Sjogren P et al., 2004).

Per quanto riguarda gli acidi grassi insaturi l'acido oleico è il più abbondante nel latte; pertanto, il latte e i prodotti lattiero-caseari contribuiscono in modo significativo all'apporto dietetico di acido oleico. Questo acido grasso è considerato benefico per la salute poiché diete ricche di acidi grassi monoinsaturi tendono a ridurre sia il colesterolo plasmatico che le concentrazioni di colesterolo LDL e trigliceridi (Kris-Etherton PM et al., 1999).

Gli acidi grassi sono componenti fondamentali delle membrane cellulari; gli acidi grassi insaturi possono essere però reattivi e contribuire allo stress ossidativo attraverso radicali liberi e prodotti di perossidazione secondari, come aldeidi che potrebbero danneggiare proteine e DNA nelle cellule.

L'acido oleico (omega-9) è più stabile all'ossidazione rispetto agli acidi grassi omega-3 e omega-6 e può parzialmente sostituirli sia nei trigliceridi che nei lipidi di membrana. Un elevato rapporto tra acido oleico e acidi grassi polinsaturi può proteggere i lipidi, come LDL, dallo stress ossidativo dato, ad esempio, dal fumo di sigaretta. Studi hanno dimostrato che una dieta caratterizzata da un equilibrio tra acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi offre una migliore protezione contro le malattie cardiovascolari rispetto a una dieta ricca di soli acidi grassi polinsaturi (Lopez-Huertas E, 2010).

Il grasso del latte è ricco di acido oleico e presenta un elevato rapporto tra acido oleico e acidi grassi polinsaturi. Pertanto, una dieta ricca di grassi del latte potrebbe contribuire ad aumentare questo rapporto negli acidi grassi complessivi della dieta.

La concentrazione di acidi grassi polinsaturi nel latte è rappresentata per lo più da acido linoleico (omega-6) e l'acido alfa-linolenico (omega-3) e il rapporto tra acidi grassi omega-6 e omega-3 è basso e favorevole.

Considerando quanto sopra, un pasto equilibrato dovrebbe essere ricco di acido oleico e avere un basso rapporto tra acidi grassi omega-6 e omega-3, idealmente intorno a 1-2:1. In effetti, il grasso del latte soddisfa questa descrizione.

Un rapporto tra acidi grassi omega-6 e omega-3 di 4:1 sarebbe l'ideale, rispetto ai 10-14:1 nella maggior parte delle diete europee odierne. Popolazioni che consumano elevate quantità di acidi grassi omega-3 presentano anche un basso tasso di malattie coronariche e alcuni tipi di cancro. È plausibile che la protezione contro le malattie

cardiovascolari e il cancro sia correlata al rapporto tra acidi grassi omega-3 e omega-6 nella dieta, e quindi nel corpo (Simopoulos AP., 2002).

I fosfolipidi costituiscono circa l'1% dei lipidi totali nel latte. Questi lipidi contengono quantità relativamente maggiori di acidi grassi polinsaturi rispetto ai triacilgliceroli. Essi svolgono ruoli funzionali in diverse reazioni, come il legame con i cationi, la stabilizzazione delle emulsioni, le interazioni cellula-cellula, la differenziazione, la proliferazione, il riconoscimento immunitario, la trasduzione del segnale transmembrana e come recettori per alcuni ormoni e fattori di crescita (Keenan TW & Patton S, 1995).

Lo studio e l'analisi meticolosa dei nutrienti essenziali, come i lipidi, non solo aiuta a comprendere il valore nutrizionale del latte, ma supporta anche scelte dietetiche informate, promuovendo una dieta equilibrata e salutare.

Alcuni studi hanno incluso la determinazione del contenuto lipidico e l'identificazione di biomarcatori per l'autenticazione e la prevenzione delle adulterazioni (Li Q, Zhao Y, Zhu D et al., 2017). Per verificare l'ipotesi che i lipidi possano essere efficaci come biomarcatori per la differenziazione dei tipi di latte, è stato applicato il PLS-DA (un metodo di analisi multivariata che combina dati complessi per identificare dei modelli) per classificare i diversi tipi di latte in base ai lipidi presenti nei campioni. Il latte di capra, la bevanda di soia e il latte bovino sono stati classificati secondo i loro primi due componenti principali, che hanno un tasso di contributo nelle differenze dell'86,9%. Si può concludere che i lipidi possono essere utilizzati come biomarcatori per la differenziazione del latte di capra, latte di soia e latte bovino, ma rimane un metodo complesso, non rapido e dispendioso.

### ***Minerali e Vitamine***

Le vitamine e i minerali sono cruciali per l'essere umano; infatti, i minerali costituiscono parte della massa corporea e sono presenti in ogni tessuto, cellula e organo del corpo umano; essi sono fondamentali per la salute dell'organismo, così come le diverse varietà di vitamine, che svolgono un ruolo cruciale nel nostro benessere generale.

La gamma di vitamine presenti, tra cui la Vitamina A un nutriente essenziale per una serie di processi biologici, tra cui la visione, la crescita, la riproduzione, lo sviluppo e la regolazione del sistema immunitario, per l'integrità dell'epitelio e delle mucose nel corpo. La vitamina D svolge un ruolo essenziale in vari processi biologici. È fondamentale per l'assorbimento del calcio nell'intestino, necessario per mantenere la salute delle ossa e prevenire malattie come l'osteoporosi e il rachitismo. Inoltre, supporta la funzione muscolare, la risposta immunitaria e la riduzione delle infiammazioni. La vitamina D ha anche un impatto sulla crescita cellulare e può contribuire alla regolazione del sistema immunitario (World Health Organization 2004). Il latte contiene anche vitamina B2 (riboflavina), che è coinvolta nel metabolismo energetico e nel mantenimento della salute della pelle e degli occhi. La vitamina B12 è essenziale per la formazione dei globuli rossi e il mantenimento della funzione neurologica, e il latte è una delle poche fonti naturali di questa vitamina per i vegetariani (Rizzo G et al., 2016).

Il latte è una fonte nutrizionale ricca e complessa, contenente una varietà di minerali, oltre che di vitamine, che contribuiscono in modo significativo alla salute umana. Tra i minerali, il calcio è il più abbondante, con una concentrazione di circa 1200 mg/L. È cruciale per la formazione e il mantenimento di ossa e denti sani, rendendo il latte una delle migliori fonti alimentari di calcio. Il fosforo, presente a circa 950 mg/L, lavora in sinergia con il calcio per supportare la salute ossea e dentale. Il magnesio, con una concentrazione di circa 100 mg/L, è coinvolto in centinaia di reazioni enzimatiche nel corpo, inclusa la produzione di energia e la funzione muscolare. Il potassio, presente a circa 1500 mg/L, è essenziale per il mantenimento dell'equilibrio elettrolitico e la regolazione della pressione sanguigna, mentre il sodio (500 mg/L) e il cloro (900 mg/L) contribuiscono all'equilibrio dei fluidi corporei e alla funzione nervosa (Zamberlin Šimun et al., 2011).

In conclusione, il latte bovino fornisce un profilo bilanciato di vitamine e minerali essenziali, rendendolo un alimento che apporta anche micronutrienti fondamentali per la dieta. La sua composizione minerale, in particolare, è strettamente legata alla salute ossea e muscolare, mentre le vitamine presenti contribuiscono a vari processi fisiologici.

### ***Carboidrati***

La scomposizione dei carboidrati è un processo fondamentale per fornire al corpo l'energia necessaria. Nell'ambito della caratterizzazione del latte mediante l'analisi LC-MS, comprendere la composizione dei carboidrati riveste un ruolo chiave. Negli ultimi 20 anni, c'è stato un crescente interesse nello studio del profilo glicidico del latte, oltre al lattosio, utilizzando tecniche di cromatografia liquida-spettrometria di massa (LC-MS). La maggior parte degli studi si concentra sull'analisi degli oligosaccaridi del latte, i quali sono stati scoperti come componenti funzionali con ruoli che vanno oltre la semplice nutrizione. Gli oligosaccaridi nel latte bovino, sebbene presenti in quantità significativamente inferiori rispetto al latte umano e con una struttura più semplice rispetto a quelle presenti nel latte materno umano, hanno comunque dimostrato di avere alcune proprietà benefiche. Le loro funzioni e i benefici sono, però, meno pronunciati rispetto a quelli osservati nel latte materno umano. Le loro potenzialità includono lo sviluppo del neonato, grazie alle loro proprietà bioattive, come le funzioni immunitarie, l'attività prebiotica e la protezione contro i patogeni microbici (Zivkovic A.M. & Barile D, 2011).

Gli effetti degli oligosaccaridi del latte sulla salute e lo sviluppo del neonato li rendono un ingrediente importante da aggiungere alle formule per lattanti che non possono essere allattati al seno; per questo motivo, c'è un crescente interesse nel loro studio e nella comprensione della loro composizione.

### ***Aggiunta di zuccheri al latte***

Riguardo al profilo glicomico del latte, è emerso come la valutazione della composizione esatta degli oligosaccaridi del latte sia fondamentale per garantire un corretto apporto di zuccheri nelle formule per lattanti. Tuttavia, non sono ancora stati condotti molti studi sull'adulterazione del latte bovino focalizzati sulla composizione zuccherina per la rilevazione delle frodi.

Ad ogni modo, recentemente, il sorbitolo è emerso come un nuovo adulterante di preoccupazione. L'aggiunta di sorbitolo può alterare il contenuto di zuccheri naturali nel latte, come il lattosio, e cambiare il profilo del latte in modo che non corrisponda al prodotto originale dichiarato. Risulta piuttosto difficile da rilevare, poiché è chimicamente simile ad altri zuccheri e può non influenzare significativamente i test standard sul contenuto di zuccheri. Tecniche come HPLC e spettrometria di massa

possono identificare il sorbitolo, rilevando la sua presenza rispetto ai livelli normali di zuccheri del latte.

Di recente, metodi come la Cromatografia su Strato Sottile (TLC) sono stati sviluppati per rilevare il sorbitolo nel latte, anche in presenza di altri zuccheri, con una sensibilità di rilevazione fino allo 0,2% (Kumar R. N. et al., 2024).

### ***Conclusioni***

I metodi attuali per il rilevamento dell'adulterazione del latte sono molteplici e comprendono tecniche basate sulla misurazione del punto di congelamento, sull'analisi dell'azoto, e sulla rilevazione di proteine. Ogni metodo ha le proprie applicazioni e limitazioni, ecco perché l'integrazione di tecniche multiple e l'aggiornamento continuo delle metodologie sono cruciali per garantire l'autenticità del latte e prevenire pratiche illecite, che portano a problemi di fiducia dei consumatori nei confronti dell'industria alimentare, oltre a problemi di salute.

La ricerca è fondamentale per sviluppare metodi più sensibili, precisi ed economici, in grado di garantire la sicurezza alimentare e proteggere i consumatori dalle pratiche fraudolente nel mercato lattiero-caseario.

Si può dire dunque che abbracciare la diversità del latte attraverso tecniche analitiche avanzate svela una comprensione più profonda della sua composizione, enfatizzando la sua importanza in una dieta equilibrata e nella garanzia dell'autenticità del prodotto.

## 2 Sfide e direzioni future

Le prospettive future sull'analisi del latte, in particolare per quanto riguarda la rilevazione delle adulterazioni, sono orientate verso lo sviluppo di tecnologie avanzate e l'ottimizzazione dei metodi esistenti per migliorare la precisione, la sensibilità e la rapidità delle analisi.

Uno delle principali tendenze è l'integrazione di tecniche spettroscopiche con modelli chemiometrici avanzati, come l'uso combinato della spettroscopia Raman con reti neurali. Questi metodi non mirati permettono non solo di rilevare adulteranti in campioni di latte e derivati, ma anche di identificarli con un'elevata precisione, superando i limiti dei metodi tradizionali. Questo approccio è particolarmente promettente per il controllo di qualità nel settore lattiero-caseario, poiché offre un'analisi veloce e accurata senza la necessità di una preparazione complessa del campione (Vlasiou MC, 2023; Xia Q et al., 2023).

Inoltre, l'utilizzo di strumentazione portatile e dispositivi a basso costo, come spettrometri IR portatili, sta guadagnando terreno. Questi dispositivi, combinati con l'analisi multivariata, possono essere utilizzati direttamente sul campo per monitorare l'adulterazione del latte in tempo reale, rendendo la tecnologia accessibile anche in contesti con risorse limitate.

Per garantire l'autenticità e la sicurezza del latte, un altro aspetto emergente è la validazione e standardizzazione dei nuovi metodi analitici. Si prevede un aumento degli sforzi per sviluppare materiali di riferimento certificati e convalidare i metodi attraverso studi collaborativi internazionali, assicurando che le tecniche moderne possano essere adottate ufficialmente per i test del latte (Vlasiou MC, 2023)

Queste innovazioni, accompagnate da un crescente interesse per l'automazione e l'intelligenza artificiale, rappresentano il futuro dell'analisi del latte, con l'obiettivo di rendere le procedure più efficienti, affidabili e facili da implementare su larga scala.

È prevedibile che in futuro gli sviluppi nelle tecniche analitiche si concentreranno non solo sul miglioramento dei metodi analitici esistenti, ma anche sulle fasi preliminari della preparazione dei campioni, che tendono ad essere difficili da automatizzare. Il futuro delle tecniche di autenticazione del latte abbraccia il campo dell'analisi delle

miscele utilizzando metodi automatizzati, possibilmente in combinazione con tecniche di separazione, evitando così protocolli complessi per la preparazione dei campioni. Questo è applicabile alla tecnica PCR, che necessita di protocolli di preparazione dei campioni rapidi e generali prima di poter essere utilizzata come metodo di rilevamento di routine per i prodotti lattiero-caseari. Per risolvere casi complessi, è necessario considerare più di un analita per rilevare l'adulterazione. Allo stesso modo, una combinazione di diverse tecniche analitiche per determinare caratteristiche diverse di una merce potrebbe essere più utile che fare affidamento su un unico metodo. Data la complessità di alcuni problemi, le statistiche univariate dovranno essere sostituite da algoritmi statistici complessi per supportare il riconoscimento di nuovi modelli e la classificazione dei prodotti genuini e fraudolenti.

Infine, sono necessari ulteriori sforzi per la validazione dei recenti metodi analitici. Questa validazione di nuove procedure, così come lo sviluppo e la valutazione di nuovi materiali di riferimento tramite prove collaborative, continueranno a essere una questione importante. In futuro, è anche prevedibile che l'evoluzione dei metodi ufficiali per il test del latte si baserà su tecniche strumentali moderne. Il naso elettronico è una di queste tecnologie, relativamente economica, rapida e facile da usare. Tuttavia, sono necessarie modifiche e sviluppi poiché esistono ancora problemi riguardanti i sensori utilizzati nella strumentazione del naso elettronico, come l'avvelenamento dei sensori e la mancanza di specificità. Se questi ostacoli possono essere superati, è possibile che la tecnologia del naso elettronico possa trovare molte applicazioni industriali nell'autenticazione del latte e nell'assicurazione della qualità. Il futuro sembra essere legato allo sviluppo crescente di soluzioni analitiche che combinano potenti dispositivi analitici e software di elaborazione dei dati (Balivo A et al., 2023; Mu F et al., 2020)

### **3 Latte animale a confronto con bevanda vegetale a base di soia**

I prodotti a base di soia sono stati consumati per più di un millennio, ma solo negli ultimi quindici anni hanno trovato una diffusione significativa nelle culture e nelle diete occidentali. La bevanda di soia rappresenta una fonte proteica economica e priva di lattosio, che la rende un sostituto potenziale del latte vaccino. Nonostante la bevanda di soia, comunemente indicata (anche se erroneamente a livello normativo) come “latte di soia”, abbia proteine meno digeribili e contenga più antinutrienti rispetto al latte vaccino, essa offre una soluzione per chi soffre di intolleranze o allergie e costituisce un'opzione per chi segue una dieta vegana.

Di seguito viene presentato un confronto tra il latte vaccino e la bevanda a base di soia, analizzandone attentamente sia i benefici che gli svantaggi. Questo confronto mira a fornire una guida utile per fare scelte nutrizionali più consapevoli e adatte alle esigenze personali.

Il latte vaccino, tradizionalmente apprezzato per il suo elevato contenuto di proteine di alta qualità, calcio e vitamina D, può risultare problematico per coloro che soffrono di intolleranze al lattosio, allergie alle proteine del latte o per chi segue una dieta vegana. D'altra parte, la bevanda a base di soia si configura come un'alternativa vegetale priva di lattosio, con un profilo proteico simile al latte animale, ma con una biodisponibilità inferiore. Essa può inoltre contenere fattori anti-nutrizionali e presentare un sapore non gradito a tutti.

Considerando questi aspetti, il confronto permette di orientarsi tra le due opzioni in base alle preferenze personali, alle necessità dietetiche e a eventuali restrizioni.

#### ***Benefici e svantaggi del latte vaccino***

Il latte vaccino è un alimento completo, come descritto nel primo capitolo di questa tesi: è una fonte ricca di proteine di alta qualità, facilmente digeribili, che contengono tutti gli amminoacidi essenziali necessari per la crescita e il mantenimento dei tessuti. Inoltre, è ricco di calcio, importante per la salute delle ossa, di vitamine come la B12, essenziale per la produzione di globuli rossi, e di vitamina D, cruciale per l'assorbimento del calcio. Grazie all'elevata concentrazione di calcio e vitamina D, il latte è un alleato nella prevenzione dell'osteoporosi (World Health Organization 2004).

Il consumo quotidiano di latte fornisce una quantità significativa di molti dei nutrienti necessari giornalmente. I componenti del latte partecipano al metabolismo in vari modi: fornendo aminoacidi essenziali, vitamine, minerali e acidi grassi, o influenzando l'assorbimento dei nutrienti. Il grasso del latte è diversificato, con uno spettro ampio di acidi grassi e lipidi. Un'assunzione moderata di grasso del latte non ha effetti negativi sulla salute; al contrario, molti componenti del grasso del latte hanno ruoli importanti nel corpo. Le proteine del latte sono particolarmente ricche di aminoacidi che stimolano la sintesi muscolare e alcuni peptidi hanno effetti positivi sulla salute, ad esempio sulla pressione sanguigna, l'infiammazione, l'ossidazione e lo sviluppo dei tessuti.

Il latte vaccino contiene anche agenti antimicrobici che favoriscono la salute dell'organismo (Haug A et al., 2007). Tra le proteine antimicrobiche del latte bovino, la lattoperossidasi, la lattoferrina e il lisozima sono particolarmente preziose. Le proteine del latte, come il siero e le caseine, contengono peptidi immunomodulatori che stimolano la proliferazione dei linfociti, aumentano la produzione di anticorpi, migliorano la fagocitosi e regolano la sintesi delle citochine (Malik M et al., 2024).

Tuttavia, problemi come le intolleranze e le allergie evidenziano la necessità di alternative al latte vaccino; oltre il 68% della popolazione mondiale ha, infatti, una ridotta capacità di digerire il lattosio dopo l'infanzia (NIDDK 2022).

L'incapacità di digerire il lattosio provoca disturbi gastrointestinali come diarrea, gonfiore e crampi. È importante osservare che per le persone intolleranti al lattosio sono disponibili alternative, come prodotti privi di lattosio e l'uso dell'enzima lattasi; tuttavia, per le persone con allergie e i vegani, il latte vegetale rimane l'unica scelta.

Il latte vaccino presenta, quindi, anche diversi svantaggi, soprattutto per una parte della popolazione.

La controversia riguardante le varianti genetiche della  $\beta$ -caseina è alimentata dall'ipotesi secondo cui il latte A1 potrebbe generare un peptide chiamato beta-casomorfina-7 (BCM-7) durante la digestione, il quale potrebbe avere effetti negativi sulla salute, specialmente sull'apparato digerente e cardiovascolare. Tuttavia, le evidenze scientifiche su questi effetti sono ancora in fase di valutazione, e molti studi sostengono la necessità di ulteriori ricerche per dimostrare concretamente queste affermazioni (Kaskous 2020).

L'intolleranza al lattosio e l'allergia alle proteine del latte sono due condizioni cliniche che colpiscono un numero considerevole di pazienti; essi rimangono spesso sotto-diagnosticati e, frequentemente, non trattati (Keith JN, 2020). Poiché la CMA (Cow's Milk Allergy) è una vera allergia, la rilevazione precoce è invece fondamentale per evitare i latticini. Sebbene l'eliminazione dei latticini sia il trattamento attuale di scelta per la CMA, stanno emergendo nuove strategie per non arrivare alla totale esclusione di questi prodotti.

L'elevato contenuto di fosfati nella caseina consente una maggiore concentrazione naturale di calcio nel latte rispetto al calcio in soluzione da solo. La biodisponibilità del calcio rende la caseina una buona fonte di calcio e proteine nella dieta. Il latte cotto negli alimenti sembra essere meno allergenico, il che potrebbe spiegare perché fino al 70% dei pazienti con CMA tollerano le proteine del latte nei prodotti da forno e nello yogurt, ma non nel latte liquido (Keith JN, 2020).

Le reazioni mediate da IgE sono risposte immunitarie che si verificano entro 24 ore dall'ingestione di un allergene alimentare, a seguito della formazione di anticorpi specifici (Yu W et al., 2016). La fase iniziale, detta "sensibilizzazione", porta allo sviluppo di IgE contro l'allergene; successive esposizioni scatenano la liberazione di mediatori infiammatori e l'attivazione dei leucociti. I sintomi variano da lievi a potenzialmente letali, come l'anafilassi (Jo J et al., 2014; Suomalainen H et al., 1994).

Un altro aspetto fondamentale negli svantaggi nella produzione di latte, è che questo richiede generalmente più energia rispetto alla produzione della bevanda a base di soia. La produzione di latte vaccino comporta, infatti, una serie di processi ad alto consumo energetico, come l'allevamento del bestiame, la coltivazione del foraggio e la gestione degli animali, che richiedono grandi quantità di terra, ingenti risorse idriche e generano emissioni di gas serra, contribuendo significativamente al cambiamento climatico.

### ***Benefici e svantaggi della bevanda di soia***

La bevanda a base di soia è una delle alternative vegetali più diffuse al latte vaccino. Viene prodotto dalla macinazione dei semi di soia e dall'estrazione del loro contenuto in forma liquida. Negli ultimi anni, questa bevanda ha guadagnato popolarità non solo tra i

vegani, ma anche tra coloro che cercano di ridurre il consumo di latticini per motivi di salute.

I prodotti a base di soia hanno acquisito importanza nutrizionale e preferenza tra i vegetariani e i vegani grazie al loro contenuto relativamente elevato di proteine. La bevanda derivata dai semi di soia contiene circa 7 g di proteine per tazza (circa 250mL), anche se la qualità delle stesse è differente da quelle animali; inoltre è una delle poche fonti vegetali di proteine "complete", considerando che contiene amminoacidi essenziali in quantità adeguate, con effetti positivi sull'organismo (Krans, 2017). Il latte di soia è ricco di isoflavoni (daidzeina, genisteina e glicitina), composti che agiscono come modulatori ormonali, interagendo con i recettori degli estrogeni nel corpo e che offrono un effetto protettivo contro molteplici malattie e disturbi come il cancro, le malattie cardiovascolari, l'osteoporosi e alcuni sintomi della menopausa; è ricco di fibre, minerali (calcio, ferro e zinco), di vitamina B, di potassio e calcio, e ha un basso contenuto di grassi saturi (Rizzo & Baroni, 2018). L'indice glicemico basso e l'alto contenuto di fibre lo rendono ideale per le persone con diabete. La bevanda di soia è anche priva di lattosio, una caratteristica che lo rende perfetto per coloro che soffrono di intolleranza al lattosio; inoltre, è una fonte di proteine di alta qualità; contiene anche grassi insaturi benefici per la salute cardiovascolare.

La coltivazione della soia richiede meno risorse rispetto all'allevamento di bovini, riducendo così l'impatto ambientale della produzione. Infatti, la produzione della bevanda di soia coinvolge principalmente la coltivazione della soia e la sua trasformazione in bevanda, processi che, seppur energivori, risultano in media meno impattanti rispetto all'allevamento di bovini. La soia, essendo una coltura vegetale, ha un'impronta ecologica generalmente inferiore dell'allevamento animale.

Nonostante i suoi benefici, il latte di soia presenta alcune limitazioni legate sia al suo profilo nutrizionale che al processo produttivo.

Alcune persone possono sviluppare reazioni allergiche alla soia, simili a quelle causate dal latte vaccino. La soia contiene composti come l'acido fitico e gli inibitori della tripsina, che possono ridurre la biodisponibilità di alcuni minerali e proteine. Gli oligosaccaridi rimangono indigeribili nel tratto gastrointestinale umano, causando

produzione di gas; sono stati registrati anche alcuni casi di reazioni allergiche negli esseri umani al latte di soia (Jeske et al. 2017).

Il latte di soia può avere, inoltre, un sapore di fagioli (beany flavor) e una texture meno cremosa rispetto al latte vaccino, caratteristiche non sempre gradite dai consumatori (Saini A, & Morya SA, 2021).

### ***Tecnologie di produzione e modifiche delle proprietà nel latte***

La lavorazione del latte vaccino coinvolge una serie di processi che possono influenzare le sue proprietà nutrizionali e sensoriali. I trattamenti termici e le tecnologie avanzate vengono utilizzate per migliorare la sicurezza alimentare e prolungare la durata di conservazione, ma possono anche comportare alcune modifiche nei valori nutrizionali.

La pastorizzazione è un processo termico che riscalda il latte a temperature di 72°C per 15 secondi ed è fondamentale per eliminare i patogeni presenti nel latte crudo (Olin Ball C, 1943). La pastorizzazione non altera significativamente la qualità delle proteine, ma può causare una lieve denaturazione. Questa denaturazione può influenzare la struttura delle proteine del siero di latte, come la lattoglobulina, che diventano meno solubili. Le vitamine idrosolubili, come la vitamina C e alcune vitamine del gruppo B (in particolare B1 e B2), possono subire una riduzione a causa dell'esposizione al calore (Lewis MJ & Deeth HC, 2008). La vitamina C, essendo molto sensibile al calore, può subire una perdita significativa, ma il latte non rappresenta una fonte primaria di questa vitamina nella dieta. Gli enzimi naturalmente presenti nel latte, come la lipasi e la fosfatasi alcalina, vengono inattivati durante la pastorizzazione, anche se è una conseguenza vantaggiosa per la stabilità del prodotto, poiché previene la degradazione dei grassi e delle proteine nel tempo (Bezie A, 2019).

La lavorazione UHT (Ultra High Temperature) consiste nella sterilizzazione del latte a temperature superiori a 135°C per pochi secondi e prolunga significativamente la sua durata di conservazione rispetto alla pastorizzazione, ma può alterare il sapore e ridurre leggermente la biodisponibilità di alcuni nutrienti (Deeth HC, 2020). Le alte temperature dell'UHT possono causare una maggiore denaturazione delle proteine rispetto alla pastorizzazione. Questo può ridurre leggermente la digeribilità di alcune proteine e modificare la struttura del latte, conferendogli una texture diversa e un sapore

più "cotto" o "caramellato" a causa delle reazioni di Maillard tra gli zuccheri e le proteine. Le vitamine termolabili, come la vitamina C e alcune vitamine del gruppo B, subiscono una riduzione più significativa rispetto alla pastorizzazione tradizionale. I minerali, come il calcio e il fosforo, rimangono per lo più stabili, anche se la loro biodisponibilità può essere influenzata (Fox PF et al., 2015).

L'omogeneizzazione è un processo meccanico che riduce la dimensione dei globuli di grasso nel latte, disperdendoli uniformemente, migliora la stabilità e la cremosità del latte, influenzando positivamente la percezione del consumatore; l'effetto impedisce quindi la separazione del grasso e migliora la consistenza. La riduzione della dimensione dei globuli di grasso aumenta la superficie esposta agli enzimi digestivi, facilitando la digestione dei lipidi. Tuttavia, questo può portare a un'ossidazione più rapida dei grassi insaturi, con potenziali effetti sul sapore (ad esempio, può svilupparsi un gusto di "grasso rancido") e può rendere il latte meno adatto a processi come la produzione di formaggi, poiché la riduzione dei globuli di grasso può influenzare la coagulazione (Zamora A et al., 2007).

### ***Tecnologie di produzione e modifiche delle proprietà nella bevanda di soia***

Per quanto riguarda la bevanda di soia, essa viene spesso riscaldata per disattivare enzimi come la lipossigenasi, responsabile del sapore di fagioli (Mandal S, Dahuja A & Santha IM, 2014). La fermentazione può essere utilizzata per migliorare la digeribilità delle proteine e ridurre i composti anti-nutrizionali come l'acido fitico e migliorare la biodisponibilità dei composti bioattivi, aumentando il valore nutrizionale della bevanda di soia (Jaffe G, 1981). Come per il latte vaccino, la bevanda di soia viene sottoposta a omogeneizzazione per stabilizzare i globuli di grasso, migliorando la texture e prevenendo la separazione.

Le tecnologie di produzione sono essenziali sia per il latte vaccino sia per il latte di soia, ma hanno un impatto significativo sulle proprietà fisiche, nutrizionali e sensoriali. Queste modifiche possono influenzare la composizione chimica, la stabilità, la biodisponibilità dei nutrienti e le caratteristiche organolettiche (sapore, colore e consistenza) dei prodotti (Kwok KC & Niranjana K, 1995).

Le fasi principali della produzione del latte di soia includono l'estrazione del latte e la macinazione umida dei semi di soia. Durante la macinazione umida, si verificano cambiamenti fisici e chimici, e l'ossidazione dei lipidi, catalizzata dall'enzima lipossigenasi, può causare sapori indesiderati. Per migliorare il sapore e la consistenza del latte di soia, alcuni metodi di produzione prevedono la fermentazione con batteri lattici (Snyder JE & Wilson LA, 2003).

L'estratto viene poi filtrato per rimuovere eventuali residui insolubili; successivamente, a seconda delle necessità, possono essere aggiunti agenti aromatizzanti, zucchero, emulsionanti o stabilizzatori. In generale, processi come il miglioramento della stabilità, l'omogeneizzazione e la pastorizzazione per prolungare la durata di conservazione vengono completati alla fine del flusso di produzione, in modo che gli estratti rimangano una sospensione colloidale stabile o un'emulsione (Jeske et al. 2017).

La pastorizzazione, l'omogeneizzazione e altri trattamenti possono influenzarne le proprietà nutrizionali e sensoriali, ma il trattamento termico è essenziale nel latte di soia per inattivare gli enzimi responsabili del sapore sgradevole e per migliorare la sicurezza microbiologica. Uno dei principali problemi del latte di soia è il sapore di "fagiolo" o "beany flavor", dovuto alla presenza dell'enzima lipossigenasi che ossida i grassi insaturi, generando composti volatili responsabili del sapore sgradevole. Il trattamento termico a temperature elevate può disattivare questo enzima, riducendo così l'intensità del sapore (Roland WSU et al., 2017)

Tecniche innovative come il riscaldamento ohmico e l'ultra-omogeneizzazione ad alta pressione (UHPH) stanno migliorando la qualità della bevanda di soia, riducendo gli off-flavours e migliorando la stabilità (Li X et al., 2018)

Il trattamento termico riduce i livelli di composti anti-nutrizionali presenti nella soia, come l'acido fitico e gli inibitori della tripsina. L'acido fitico può interferire con l'assorbimento di minerali come il calcio, il ferro e lo zinco, mentre gli inibitori della tripsina riducono la digestione delle proteine. Il riscaldamento diminuisce la concentrazione di questi composti, migliorando la biodisponibilità dei nutrienti (Jaffe G, 1981).

L'omogeneizzazione aiuta a stabilizzare la sospensione dei globuli di grasso e delle proteine nel latte di soia, migliorando la consistenza del prodotto. Ciò è particolarmente

importante per evitare la separazione delle fasi, problema comune nella bevanda di soia non trattata (Poliseli-Scopel FH et al., 2012).

Tecnologie come la lavorazione ad alta pressione (HPP) o i campi elettrici pulsati vengono utilizzate per migliorare la stabilità microbiologica senza alterare significativamente le proprietà sensoriali e nutrizionali. Questi trattamenti non termici preservano le vitamine sensibili al calore, mantenendo intatte le proprietà nutritive della soia.

Come discusso in precedenza, il latte di soia presenta diversi inconvenienti, come fattori anti-nutrizionali, il sapore di fagioli o off-flavor e una scarsa stabilità. Durante il processo convenzionale di riscaldamento del latte di soia, si distruggono la maggior parte dei fattori anti-nutrizionali, ma composti come l'acido fitico, che influisce sulla disponibilità di calcio, non diminuiscono significativamente durante la lavorazione termica.

Optare per alternative al latte vaccino può, inoltre, comportare carenze minerali, soprattutto di calcio, iodio e fosforo. Anche se il latte di soia viene fortificato con minerali, questa misura potrebbe non risolvere completamente il problema: studi indicano che il calcio assorbito da composti fortificanti come il  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  è significativamente inferiore rispetto a quello assorbito dal latte vaccino (Craig & Fresán, 2021).

Altri fattori anti-nutrizionali presenti nel latte di soia includono l'inibitore della tripsina di Kunitz (KTI) e l'inibitore di Bowman-Birk (BBI). Il KTI e il BBI sono responsabili dell'attività inibitoria della tripsina (TIA) e dell'attività inibitoria della chimotripsina (CIA); essendo due enzimi proteolitici, la loro inibizione può compromettere la digestione delle proteine, portando a malassorbimento, carenze nutrizionali e malattie pancreatiche. Per la disattivazione della TIA nella bevanda di soia, diverse tecnologie sono state applicate, tra cui alte pressioni, ultrasuoni, microonde, fermentazione e irradiazione. Tuttavia, i metodi più utilizzati restano i trattamenti termici, come il processo di ebollizione convenzionale, la lavorazione a iniezione di vapore e il trattamento UHT; il trattamento UHT disattiva il 90% della TIA, mentre il trattamento con microonde può ridurre la TIA fino al 70% e migliorare la digeribilità delle proteine (Saini A & Morya, SA, 2021).

Il latte di soia fresco ha una durata di conservazione molto breve, dovuta principalmente al pH neutro (7,0 – 7,5) combinato all'attività microbica. Tecniche come il trattamento UHT possono prolungare la durata di conservazione del latte di soia fino a diversi mesi, a seconda della composizione e del corretto utilizzo di emulsionanti e stabilizzanti.

La stabilità della bevanda di soia è influenzata dalla dimensione dei globuli di grasso, dalla fase dell'emulsione, dal pH e dalla temperatura di conservazione. Il fenomeno della "chalkiness", che dà una sensazione di polvere in bocca, è causato dalla presenza di particelle fini e granulari che si separano in due strati. Tuttavia, la stabilizzazione può essere migliorata con la centrifugazione o la filtrazione e l'aggiunta di stabilizzanti. La pastorizzazione del latte di soia a 85°C, seguita da due omogeneizzazioni, aiuta a prevenire questo problema (Kuntz D et al., 2006).

La bevanda di soia rappresenta una valida alternativa essendo ricca di proteine e facile da processare. Tuttavia, ha ancora alcuni svantaggi, come la breve durata di conservazione, la scarsa stabilità, il sapore di fagioli e i fattori anti-nutrizionali.

### ***Conclusioni***

La bevanda di soia e il latte sono due opzioni popolari per l'alimentazione quotidiana, ciascuna con i suoi benefici. Il latte fornisce proteine di alta qualità, calcio e vitamine D e B12, essenziali per la salute e il benessere quotidiano. La bevanda di soia, d'altro canto, è priva di lattosio e colesterolo, è una buona fonte di proteine vegetali, fitoestrogeni e vitamine del gruppo B, risultando utile per chi segue una dieta vegana o ha intolleranza al lattosio.

Entrambi i prodotti subiscono modifiche significative in seguito ai processi di lavorazione, che possono influenzare la loro composizione nutrizionale e sensoriale. Tuttavia, entrambi i prodotti beneficiano di tecnologie emergenti che mirano a preservare le proprietà nutrizionali e migliorare la stabilità e il sapore, rendendoli adatti a un pubblico sempre più attento alle proprie esigenze alimentari ed etiche.

Entrambe le bevande offrono benefici nutrizionali significativi, ma presentano anche alcune limitazioni legate a intolleranze, allergie e processi produttivi. Il latte vaccino fornisce una fonte ricca di proteine e calcio, ma può essere problematico per chi soffre

di intolleranze, allergie o segue una dieta vegana. Tuttavia, l'adozione di alternative al latte vaccino può portare a carenze minerali.

D'altra parte, la bevanda di soia è una valida alternativa priva di lattosio e ricca di proteine vegetali, con un contenuto adeguato di proteine e amminoacidi essenziali. La biodisponibilità è però inferiore, e il valore DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) più basso può ridurre i benefici nutrizionali rispetto a quelli offerti dal latte vaccino (Moore SS, Costa A, Pozza M et al., 2023). Inoltre, il latte di soia può contenere fattori anti-nutrizionali e avere un sapore non gradito a tutti.

Le tecnologie di produzione, come la pastorizzazione e il trattamento UHT, migliorano la sicurezza e la durata di conservazione di entrambi i prodotti, ma possono anche influenzare i nutrienti e le proprietà sensoriali.

Un altro dei vantaggi della bevanda vegetale rispetto al latte bovino è il ridotto impatto ambientale, cioè il minore consumo energetico, per unità di produzione.

Le principali sfide nell'ambito delle bevande vegetali a base di soia includono il miglioramento del profilo sensoriale, la rimozione di fattori anti-nutrizionali o di sapori indesiderati e la qualità delle proteine. Tra queste, la qualità inferiore delle proteine potrebbe essere migliorata estraendo le proteine da altri legumi. Per affrontare le altre sfide, è necessario uno sforzo concertato da parte dei ricercatori e delle industrie per sviluppare bevande tecnologicamente fattibili, funzionali e nutrizionalmente superiori; questo ambito di ricerca offre quindi ampie opportunità per biochimici vegetali, nutrizionisti e tecnologi alimentari per sviluppare prodotti alimentari superiori.

In conclusione, sia la bevanda di soia che il latte vaccino offrono benefici nutrizionali distintivi, a seconda delle esigenze individuali. Il latte di soia è ideale per chi cerca una fonte vegetale di proteine e per chi è intollerante al lattosio, mentre il latte vaccino fornisce nutrienti essenziali. Non è necessario escludere completamente uno dei due; entrambi possono essere inclusi nella dieta in base alle preferenze personali e alle necessità nutrizionali. L'importante è scegliere in modo equilibrato e consapevole, adattando la scelta alle proprie esigenze specifiche.

## 4 Conclusioni

Questa tesi ha esplorato in dettaglio la composizione del latte con un focus sui diversi approcci tecnologici e un confronto con la bevanda vegetale a base di soia.

L'analisi della composizione del latte ha evidenziato le sue principali componenti, come proteine, lipidi, minerali, vitamine e carboidrati. Sono stati affrontati anche i metodi per rilevare gli adulteranti, mettendo in luce come le tecniche di analisi contribuiscano a garantire la qualità e l'autenticità del prodotto. L'analisi dei lipidi e dei minerali ha mostrato la ricchezza del latte in nutrienti essenziali.

Sono state discusse anche le sfide future nel campo dell'analisi di latte, con un'enfasi sull'importanza di migliorare la precisione delle tecniche analitiche e di gestire le modifiche tecnologiche che impattano la garanzia di qualità del prodotto finale. Tra le direzioni future suggerite c'è infatti l'adozione di metodi analitici avanzati per mantenere elevati standard di qualità.

Infine, il confronto tra latte animale e bevanda di soia ha rivelato vantaggi e svantaggi distintivi di ciascuno. Il latte vaccino è ricco di proteine di alta qualità, calcio e vitamine, ma può contenere lattosio e colesterolo. La bevanda di soia rappresenta un'alternativa senza lattosio e colesterolo, ricca di proteine vegetali e fitoestrogeni, ma contiene acido fitico, che può limitare l'assorbimento di alcuni minerali. L'analisi delle tecnologie di produzione ha dimostrato come i processi di lavorazione influiscano sulle loro proprietà nutrizionali e sensoriali.

In sintesi, sia il latte vaccino che la bevanda di soia offrono benefici specifici in base alle esigenze nutrizionali e alle preferenze individuali. La scelta tra i due prodotti non dovrebbe escludere nessuno dei due, ma piuttosto considerare le caratteristiche e le necessità personali. Le future ricerche potrebbero approfondire le tecniche di fortificazione della bevanda di soia e le innovazioni nella lavorazione del latte, nonché condurre studi a lungo termine per valutare ulteriormente i benefici nutrizionali e la qualità di entrambi i prodotti.



# Bibliografia

1. Imperiale, S., Morozova, K., Ferrentino, G. et al. Analysis of milk with liquid chromatography–mass spectrometry: a review. *Eur Food Res Technol* 249, 861–902 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04197-3>
2. Dawan, J., Ahn, J. Application of DNA barcoding for ensuring food safety and quality. *Food Sci Biotechnol* 31, 1355–1364 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01143-7>
3. Tagliacruzchi, D., Helal, A., Verzelloni, E. et al. Bovine milk antioxidant properties: effect of in vitro digestion and identification of antioxidant compounds. *Dairy Sci. & Technol.* 96, 657–676 (2016). <https://doi.org/10.1007/s13594-016-0294-1>
4. Amelin, V.G., Shogah, Z.A. & Tretyakov, A.V. Analyzing Dairy Products: Measuring Milk Fat Mass Fraction and Detecting Adulteration Using the PhotoMetrix Pro® Smartphone App. *J Anal Chem* 79, 50–56 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1061934824010039>
5. Moore, S.S., Costa, A., Pozza, M. et al. How animal milk and plant-based alternatives diverge in terms of fatty acid, amino acid, and mineral composition. *npj Sci Food* 7, 50 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00227-w>
6. Shuai, Y., Sui, H., Tao, G., Huo, Q., Li, C., Shao, N. (2022). Food Contaminants. In: Zhang, L. (eds) *Nutritional Toxicology*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0872-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0872-9_5)
7. Lorenzo, J.M. The Current State of the Food Science and Technology Field. *Curr Food Sci Tech Rep* 1, 31–34 (2023). <https://doi.org/10.1007/s43555-023-00001-9>
8. Saini, Arushi & Morya, Sonia. (2021). A Review based study on Soymilk: Focuses on production technology, Prospects and Progress Scenario in last Decade. 10.486-494. 10.22271/tpi.2021.v10.i5g.6254.
9. Farré, M. (2022). Omics Approaches in Food and Environmental Analysis. In: Picó, Y., Campo, J. (eds) *Mass Spectrometry in Food and Environmental Chemistry. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 119. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/698\\_2022\\_893](https://doi.org/10.1007/698_2022_893)
10. Keenan TW, Patton S (1995). The structure of milk. In *Handbook of milk composition* Edited by: Jensen RG. Academic Press, USA: 5–50
11. SINGH, Harjinder; GALLIER, Sophie. Nature's complex emulsion: The fat globules of milk. *Food Hydrocolloids*, 2017, 68: 81-89.
12. MARTINI, Mina; SALARI, Federica; ALTOMONTE, Iolanda. The macrostructure of milk lipids: the fat globules. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2016, 56.7: 1209-1221.
13. SOETAN, K. O., et al. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African journal of food science*, 2010, 4.5: 200-222.
14. QUINTAES, Késia Diego; DIEZ-GARCIA, Rosa Wanda. The importance of minerals in the human diet. *Handbook of mineral elements in food*, 2015, 1-21.
15. Sethi S, Tyagi SK, Anurag RK. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *J Food Sci Technol*. 2016 Sep;53(9):3408-3423. doi: 10.1007/s13197-016-2328-3. Epub 2016 Sep 2. PMID: 27777447; PMCID: PMC5069255.
16. Cifuentes A (2009) Food analysis and foodomics. *J Chromatogr A* 1216(43):7109
17. Abd El-Salam, M.H. (2014), Application of proteomics to the areas of milk production, processing and quality control – A review. *Int J Dairy Technol*, 67: 153-166. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12116>
18. O'Connell, J. E., & Fox, P. F. (2003). "Milk Proteins: Chemistry and Functionality." *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press.
19. Haenlein, G. F. W. (2004). "Overview of Milk Fat Composition and Its Implications for Dairy Products." *Journal of Dairy Science*, 87(2), 328-339.
20. Jensen, R. G., Ferris, A. M., & Lammi-Keefe, C. J. (1991). The composition of milk fat. *Journal of dairy science*, 74(9), 3228–3243. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78509-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78509-3)
21. Gagnaire, V., Jardin, J., Jan, G., & Lortal, S. (2009). Invited review: Proteomics of milk and bacteria used in fermented dairy products: From qualitative to quantitative advances. *Journal of dairy science*, 92(3), 811-825.
22. Bendixen, E., Danielsen, M., Hollung, K., Gianazza, E., & Miller, I. (2011). Farm animal proteomics—a review. *Journal of proteomics*, 74(3), 282-293.
23. Zhang, Qiang & Carpenter, Catherine. (2013). Proteomics in Milk and Milk Processing. 10.1007/978-1-4614-5626-1\_13.
24. O'donnell, R., Holland, J. W., Deeth, H. C., & Alewood, P. (2004). Milk proteomics. *International Dairy Journal*, 14(12), 1013-1023.
25. Yang, Y., Bu, D., Zhao, X., Sun, P., Wang, J., & Zhou, L. (2013). Proteomic analysis of cow, yak, buffalo, goat and camel milk whey proteins: quantitative differential expression patterns. *Journal of Proteome Research*, 12(4), 1660-1667.
26. Smolenski, G., Bond, J. J., Wheeler, T. T., Roy, N. C., McNabb, W. C., & McCoard, S. A. (2007). Regulation of milk protein synthesis in the bovine mammary gland: A proteomic approach. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 67, 407.
27. Cavaletto, M., Giuffrida, M.G., Conti, A. (2008). Milk Fat Globule Membrane Components—A Proteomic Approach. In: Bösze, Z. (eds) *Bioactive Components of Milk. Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol 606. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-74087-4_4)
28. Erbersdobler, H. F., & Somoza, V. (2007). Forty years of furfural – Forty years of using Maillard reaction products as indicators of the nutritional quality of foods. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(4), 423-430. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600154>
29. Thormar H, Isaacs EE, Kim KS, Brown HR: Interaction of visna virus and other enveloped viruses by free fatty acids and monoglycerides. *Ann N Y Acad Sci* 1994, 724:465-71.
30. Sun CQ, O'Connor CJ, Robertson AM: The antimicrobial properties of milkfat after partial hydrolysis by calf pregastric lipase. *Chem Biol Interact* 2002, 140:185-98.
31. Grundy SM: Influence of stearic acid on cholesterol metabolism relative to other long-chain fatty acids. *Am J Clin Nutr* 1994, 60:986S-990S.
32. Insel P, Turner RE, Ross D: Nutrition Second edition. American dietetic association, Jones and Bartlett, USA; 2004
33. Ness AR, Smith GD, Hart C: Milk, coronary heart disease and mortality. *J Epidemiol Community Health* 2000, 55:379-382

34. Sjogren P, Rosell M, Skoglund-Andersson C, Zdravkovic S, Vessby B, de Faire U, Hamsten A, Hellenius ML, Fisher RM: Milk-derived fatty acids are associated with a more favorable LDL particle size distribution in healthy men. *J Nutr* 2004, 134:1729-35
35. Kris-Etherton PM, Pearson TA, Wan Y, Hargrove RL, Moriarty K, Fishell V, Etherton TD: High-monounsaturated fatty acid diets lower both plasma cholesterol and triacylglycerol concentrations. *Am J Clin Nutr* 1999, 70:1009-15
36. Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56(8), 365-379. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6)
37. Lopez-Huertas E. (2010). Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. *Pharmacological research*, 61(3), 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.10.007>
38. Jensen RG, Newburg DS: Bovine milk lipids. In *Handbook of milk composition* Edited by: Jensen RG. Academic Press, USA; 1995:543-575).
39. Rizzo, G., Laganà, A. S., Rapisarda, A. M. C., La Ferrera, G. M. G., Buscema, M., Rossetti, P. & Vitale, S. G. (2016). Vitamin B12 among vegetarians: status, assessment and supplementation. *Nutrients*, 8(12), 767.
40. World Health Organization. (2004). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*, 2nd ed. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/42716>
41. Khan, I. T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., & Jaspal, M. H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in health and disease*, 18(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
42. Zamberlin, Šimun & Neven, Antunac & Havranek, J. & Samarzija, Dubravka. (2011). Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo / Dairy*. 62.
43. Khan, I. T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., & Jaspal, M. H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in health and disease*, 18(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
44. Voulgaridou, G., Papadopoulou, S. K., Detopoulou, P., Tsoumana, D., Giaginis, C., Kondyli, F. S., Lymperaki, E., & Pritsa, A. (2023). Vitamin D and Calcium in Osteoporosis, and the Role of Bone Turnover Markers: A Narrative Review of Recent Data from RCTs. *Diseases (Basel, Switzerland)*, 11(1), 29. <https://doi.org/10.3390/diseases11010029>
45. Weaver, C. M., & Heaney, R. P. (2006). *Calcium in human health*. Humana Press.
46. Heaney, R. P. (2009). The roles of calcium and phosphorus in bone health. *Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis*.
47. Cashman, K. D. (2006). Milk minerals (including trace elements) and bone health. *International Dairy Journal*, 16(11), 1389-1398.
48. Sharma, A., & Prestridge, S. (2008). Potassium intake and cardiovascular health: Efficacy and safety. *Journal of Clinical Hypertension*, 10(6), 412-419.
49. Guéguen, L., & Pointillart, A. (2000). The bioavailability of dietary calcium. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(sup2), 119S-136S.
50. Holick, M. F. (2007). Vitamin D deficiency. *New England Journal of Medicine*, 357(3), 266-281.
51. Powers, H. J. (2003). Riboflavin (vitamin B-2) and health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(6), 1352-1360.
52. Zivkovic, A. M., & Barile, D. (2011). Bovine milk as a source of functional oligosaccharides for improving human health. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 2(3), 284–289. <https://doi.org/10.3945/an.111.000455>
53. Pei, X., Tandon, A., Alldrick, A., Giorgi, L., Huang, W., & Yang, R. (2011). The China melamine milk scandal and its implications for food safety regulation. *Food policy*, 36(3), 412-420.
54. Filazi, A., Sireli, U. T., Ekici, H., Can, H. Y., & Karagoz, A. (2012). Determination of melamine in milk and dairy products by high performance liquid chromatography. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 602-608. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4926>
55. Khan K M, Krishna H, Majumder S K and Gupta P K (2015) Detection of urea adulteration in milk using near-infrared Raman spectroscopy. *Food Analytical Methods* 8 93–102.
56. Yazgan N N, Boyacı I H, Topcu A and Tamer U (2012) Detection of melamine in milk by surface-enhanced Raman spectroscopy coupled with magnetic and Raman-labeled nanoparticles. *Analytical and Bio-analytical Chemistry* 403 2009–2017.
57. Singh, P., & Gandhi, N. (2015). Milk Preservatives and Adulterants: Processing, Regulatory and Safety Issues. *Food Reviews International*, 31(3), 236–261. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.994818>
58. Li Q, Zhao Y, Zhu D et al (2017) Lipidomics profiling of goat milk, soymilk and bovine milk by UPLC-Q-Exactive Orbitrap Mass Spectrometry. *Food Chem* 224:302–309
59. Kuckova S, Zitkova K, Novotny O et al (2019) Verification of cheeses authenticity by mass spectrometry. *J Sep Sci* 42:3487–3496. <https://doi.org/10.1002/jssc.201900659>
60. Kumar, R. N., Mounika, P., Rao, P. S., Singh, R., Arora, S., & Sharma, V. (2024). Development of a thin layer chromatography-based method to detect sorbitol presence in milk and its applicability in formalin preserved milk samples. *Journal of Food Science and Technology*, 61(5), 870-878.
61. Zhang, H., Abdallah, M. F., Zhang, J., Yu, Y., Zhao, Q., Tang, C., Qin, Y., & Zhang, J. (2022). Comprehensive quantitation of multi-signature peptides originating from casein for the discrimination of milk from eight different animal species using LC-HRMS with stable isotope labeled peptides. *Food Chemistry*, 390, 133126. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133126>
62. Strange ED, Malin EL, Van-Hekken D, LandBasch JJ (1992) Chromatographic and electrophoretic methods used for analysis of milk proteins. *Journal of Chromatography A* 624 81–102
63. Tamime A Y, Barclay M N I, Law A J R, Leaver J, Anifantakis E M and O'Connor T P O (1999) Kishk—a dried fermented milk/cereal mixture. 2. Assessment of a variety of protein analytical techniques for determining adulteration and proteolysis. *Lait* 79 331–339
64. Pizzano R, Nicolai M A, Manzo C and Addeo F (2011) Authentication of dairy products by immunochemical methods: a review. *Dairy Science & Technology* 91 77–95
65. Hurley I P, Coleman R C, Ireland H E and Williams J H H (2004) Measurement of bovine IgG by indirect competitive ELISA as a means of detecting milk adulteration. *Journal of Dairy Science* 87 543–549
66. Hurley I P, Coleman R C, Ireland H, John E and Williams H H (2006) Use of sandwich IgG ELISA for the detection and quantification of adulteration of milk and soft cheese. *International Dairy Journal* 16 805–812
67. Hilding-Ohlsson A, Fauerbach J A, Sacco N J, Bonetto M C and Corton E (2012) Voltamperometric discrimination of urea and melamine adulterated skimmed milk powder. *Sensors* 12 12220–12234

68. Ai, K., Liu, Y., & Lu, L. (2009). Hydrogen-bonding recognition-induced color change of gold nanoparticles for visual detection of melamine in raw milk and infant formula. *Journal of the American Chemical Society*, 131(27), 9496-9497.
69. Hu Y, Feng S, Gao F, Li-Chan E C, Grant E and Lu X (2015) Detection of melamine in milk using molecularly imprinted polymers–surface enhanced Raman spectroscopy. *Food Chemistry* 176 123–129.
70. Salman M, Hamed E S S, Al-Amoudi M S, Salman L, Alghamdi M T and Bazaid S A (2012) Identification and determination of melamine in milk by high performance liquid chromatography–UV-Detector. *Der Pharma Chemica* 4 737–748
71. Krusa M, Torre M and Marin M L (2000) A reversed-phase high performance liquid chromatographic method for the determination of soya bean proteins in bovine milks. *Analytical Chemistry* 72 1814–1818
72. Haasnoot W and Jolanda G (2007) Luminex based triplex immunoassay for the simultaneous detecting soy, pea and soluble wheat protein in milk powder. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 3771– 3777
73. Sharma R (2009) Detection of milk adulteration with soymilk using SDS-PAGE. In *Lecture Compendium on “Recent Advances in Analytical Techniques and Innovative Approaches for Quality Assurance and Safety of Dairy Foods”*, pp 87–91. Arora S, Sharma V, Lal D, Kumar R, eds. Karnal: NNDRI
74. Sharma R and Rajput Y S (2010) Methods for detection of soymilk adulteration in milk. *Milchwissenschaft* 65 157–160
75. Ruprichová, L., Králová, M., Borkovcová, I., Vorlová, L., & Bedáňová, I. (2014). Determination of whey proteins in different types of milk. *Acta Veterinaria Brno*, 83(1), 67-72
76. Poonia, Amrita & Jha, Alok & Sharma, Rajan & Singh, Harikesh & Rai, Ak & Sharma, Nitya. (2016). Detection of adulteration in milk: A review. *International Journal of Dairy Technology*. 70. 10.1111/1471-0307.12274.
77. Simona O (2009) Identification of glycomacropeptide as indicator of milk and dairy drinks adulteration with whey by immune chromatographic assay. *Romanian Biotechnological Letters* 14 4146– 4151.
78. Meisel H (1995) Application of fourth derivative spectroscopy to quantification of whey protein and casein in total milk protein. *Milchwissenschaft* 50 247–251
79. Chavez N A, Jauregui J, Palomares L A, Macias K E, Jimenez M and Salinas E (2012) A highly sensitive sandwich ELISA for the determination of glycomacropeptide to detect liquid whey in raw milk. *Dairy Science and Technology* 92 121–132
80. Astor Tecnica. (2010). *Stick c-GMP*. Retrieved from <https://www.astorioscar.com/index.php>
81. Vlassiou, M.C. Cheese and Milk Adulteration: Detection with Spectroscopic Techniques and HPLC: Advantages and Disadvantages. *Dairy* 2023, 4, 509-514. <https://doi.org/10.3390/dairy4030034>
82. Xia, Q., Huang, Z., Zhang, P., Bu, H., Bao, L., & Chen, D. (anno). Nontargeted detection and recognition of adulterants in milk powder using Raman imaging and neural networks. *Analyst*, 2023, 148, 412
83. Balivo, A.; Cipolletta, S.; Tudisco, R.; Iommelli, P.; Sacchi, R.; Genovese, A. Electronic Nose Analysis to Detect Milk Obtained from Pasture-Raised Goats. *Appl. Sci.* 2023, 13, 861. <https://doi.org/10.3390/app13020861>
84. Mu, F.; Gu, Y.; Zhang, J.; Zhang, L. Milk Source Identification and Milk Quality Estimation Using an Electronic Nose and Machine Learning Techniques. *Sensors* 2020, 20, 4238. <https://doi.org/10.3390/s20154238>
85. NIDDK (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Disease) (2022) Definition and facts for lactose intolerance. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/digestive-diseases/lactose-intolerance/definition-facts>.
86. Craig, W. J. & Fresán, U. International analysis of the nutritional content and a review of health benefits of non-dairy plant-based beverages. *Nutrients* 13, 842 (2021).
87. Moore, S.S., Costa, A., Pozza, M. et al. How animal milk and plant-based alternatives diverge in terms of fatty acid, amino acid, and mineral composition. *npj Sci Food* 7, 50 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00227-w>
88. K.G. Weckel. Vitamin D in Milk—A Review. *Journal of Dairy Science*. Volume 24, Issue 5, 1941. Pages 445-462. ISSN0022-0302. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(41\)95429-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(41)95429-2).
89. Haug, A., Høstmark, A.T. & Harstad, O.M. Bovine milk in human nutrition – a review. *Lipids Health Dis* 6, 25 (2007). <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-25>
90. Kaskous S (2020) A1-and A2-milk and their effect on human health. *J Food Eng Technol* 9(1): 15–21. <https://doi.org/10.32732/jfet.2020.9.1.15>
91. Keith, J.N. Lactose Intolerance and Milk Protein Allergy. *Curr Treat Options Gastro* 18, 1–14 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11938-019-00265-y>
92. Yu W, Hussey Freelan DM, Nadeau KC. Food allergy: immune mechanisms, diagnosis and immunotherapy. *Nat Rev Immunol*. 2016;16(12):751–65
93. Jo J, Garssen J, Knippels L, Sandalova E. Role of cellular immunity in cow’s milk allergy: pathogenesis, tolerance induction and beyond. *Mediat Inflamm*. 2014;2014:249784.
94. Suomalainen H, Soppi E, Isolauri E. Evidence for eosinophilic activation in cow’s milk allergy. *Pediatr Allergy Immunol*. 1994;5(1):27–31.
95. Krans B (2017) Comparing milks: almond, dairy, soy, rice, and coconut. [Healthline.com. www.healthline.com/health/milk-almond-cow-soy-ice](http://www.healthline.com/health/milk-almond-cow-soy-ice)
96. Rizzo G, Baroni L (2018) Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients* 10(1):43. <https://doi.org/10.3390/nu10010043>
97. Katz AC (2018) Milk nutrition and perceptions. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the university honors scholar designation at Johnson & Wales University, pp 4–12. [http://scholarsarchive.jwu.edu/student\\_scholarship/29](http://scholarsarchive.jwu.edu/student_scholarship/29)
98. Jeske S, Zannini E, Arendt EK (2017) Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods Hum Nutr* 72(1):26–33
99. Saini, A., & Morya, S. A. (2021). Review based study on Soymilk: Focuses on production technology, Prospects and Progress Scenario in last Decade. *Pharma Innov*, 5(10).
100. Olin Ball C, Short-Time Pasteurization of MilkC. *Industrial & Engineering Chemistry* 1943 35 (1), 71-84
101. Lewis, M. J., & Deeth, H. C. (2008). Heat treatment of milk. *Milk processing and quality management*, 168-204.
102. Bezie, A. (2019). The effect of different heat treatment on the nutritional value of milk and milk products and shelf-life of milk products. A review. *J. Dairy Vet. Sci*, 11(5), 555822.
103. Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., O’Mahony, J. A., Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., & O’Mahony, J. A. (2015). Vitamins in milk and dairy products. *Dairy chemistry and biochemistry*, 271-297.
104. Saini, A., & Morya, S. A. (2021). Review based study on Soymilk: Focuses on production technology, Prospects and Progress Scenario in last Decade. *Pharma Innov*, 5(10)
105. Lee, H., Zavaleta, N., Chen, S. Y., Lonnerdal, B., & Slupsky, C. (2018). Effect of bovine milk fat globule membranes as a complementary food on the serum metabolome and immune markers of 6-11-month-old Peruvian infants. *NPJ Science of Food*, 2, 1–9.

106. Malik, M., Jan, Y., Kaur, J., Bashir, O., Panda, B.P. (2024). Milk as a Functional Food. In: Bashir, K., Jan, K., Ahmad, F.J. (eds) *Functional Foods and Nutraceuticals: Chemistry, Health Benefits and the Way Forward*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-59365-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-59365-9_14)
107. Deeth, H. C. (2020). The effect of UHT processing and storage on milk proteins. In M. Boland & H. Singh (Eds.), *Milk proteins* (3rd ed., pp. 385-421). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00010-4>
108. Zamora, A., Ferragut, V., Jaramillo, P. D., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2007). Effects of ultra-high pressure homogenization on the cheese-making properties of milk. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 13-23.
109. Mandal, S., Dahuja, A. & Santha, I.M. Lipoxygenase activity in soybean is modulated by enzyme-substrate ratio. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 23, 217–220 (2014). <https://doi.org/10.1007/s13562-013-0203-0>
110. Jaffe, G. Phytic acid in soybeans. *J Am Oil Chem Soc* 58, 493–495 (1981). <https://doi.org/10.1007/BF02582411>
111. Li, X., Ye, C., Tian, Y., Pan, S., & Wang, L. (2018). Effect of ohmic heating on fundamental properties of protein in soybean milk. *Journal of Food Process Engineering*, 41(3), e12660.
112. Snyder, J. E., & Wilson, L. A. (2003). SOY (SOYA) BEANS | Processing for the Food Industry. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (2nd ed., pp. 5383-5389). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/011110-X>
113. Polisel-Scopel, F. H., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2012). Comparison of ultra high pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.004>
114. KUNTZ, D. & NELSON, A. & STEINBERG, M. & WEI, L.. (2006). Control chalkiness in soymilk. *Journal of Food Science*. 43. 1279 - 1283. 10.1111/j.1365-2621.1978.tb15287.x.



## Ringraziamenti

Ci sono momenti nella vita in cui il cuore si riempie di gioia e gratitudine, e questo è sicuramente uno di quei momenti. La strada che mi ha condotto fino a qui è stata segnata da impegno, dedizione, ma anche da persone che mi hanno sostenuta e accompagnata lungo il percorso.

In primis, un grazie dal profondo del cuore a Giulia, che è stata il mio punto fermo, il mio sostegno nei momenti di dubbio, la persona con cui ho condiviso risate, lacrime e sogni. Grazie, Giulia, per tutto il tempo che mi hai dedicato, facendomi sentire così compresa, importante e rendendo la nostra amicizia così preziosa. Non ci sono parole per descrivere quello che siamo diventate insieme.

A Emanuele, compagno di studi e di mille sfide, con cui ho affrontato innumerevoli avventure e ostacoli impegnativi. Abbiamo superato le difficoltà, con il coraggio e la determinazione che solo chi condivide un sogno può comprendere; abbiamo vissuto insieme ore di confronto, di paura e infinite discussioni sui più disparati argomenti. Grazie per la tua costanza, il tuo supporto e la tua amicizia. Senza di te, tutto questo sarebbe stato molto più difficile.

Un pensiero speciale va a Tommaso, Antonio e Federico, miei compagni di corso, con i quali ho condiviso questa straordinaria avventura. Abbiamo riso, scherzato, discusso e imparato insieme, e non avrei potuto desiderare un gruppo migliore con cui vivere quest'esperienza. Avete contribuito a rendere questi anni universitari un sogno da cui non vorrei svegliarmi.

Alla mia famiglia, ai miei amici, grazie per aver creduto in me, anche nei momenti in cui io faticavo a farlo. Mi avete aiutata a continuare con tutte le mie forze.

C'è una persona speciale che oggi mi manca più di quanto possa esprimere: il nonno Rinaldino. So che dalle nostre montagne mi stai guardando e spero di renderti orgogliosa.

Nonno, oggi sei con me, come lo sei stato ogni giorno di questo percorso.

Infine, a chi, con gesti silenziosi e sostegno incondizionato, mi ha dato il coraggio di intraprendere questo percorso, anche se oggi seguiamo strade diverse. È stato un contributo inestimabile, e per questo sarò per sempre grata.

Questo percorso è il risultato della mia determinazione combinata alla fiducia e all'amore di tutte le persone che mi stanno vicina. Grazie, con tutto il cuore.