



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

Caratterizzazione fisica e reologica del Parmigiano Reggiano.

Relatore

Prof. Pietro Rocculi

Correlatore

Prof.ssa Silvia Tappi

Dott. Gebremedhin Gebremariam Gebremical

Presentata da

Valeria Calderone

Sessione 10/2025

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Il Parmigiano Reggiano è un formaggio a pasta dura DOP, simbolo del Made in Italy agroalimentare, ottenuto esclusivamente da latte vaccino crudo e prodotto secondo un rigoroso disciplinare che ne tutela qualità e origine geografica.

L'obiettivo di questa tesi è stato duplice: in primo luogo valutare l'evoluzione delle caratteristiche reologiche di campioni ottenuti a 3 diversi tempi di stagionatura, e in secondo luogo verificare la correlazione tra i risultati di *texture* ottenuti tramite uno strumento innovativo messo a punto dall'azienda e quelli ottenuti dai metodi tradizionali.

Pertanto nella prima parte della tesi, campioni a 12, 24 e 40 mesi di stagionatura sono stati caratterizzati per composizione chimica, texture e attività dell'acqua; mentre nella seconda parte della tesi 3 metodi per misurare la texture sono stati applicati a campioni ottenuti dopo 12 mesi di stagionatura. Dai risultati è emerso che, oltre alla composizione chimica, la valutazione della texture si è mostrata efficace nel discriminare la consistenza il formaggio in funzione della stagionatura, in particolare attraverso la forza massima tramite *Three Point Bending Test* e la durezza tramite test di taglio.

Inoltre, il Fruit-TA, strumento messo a punto come metodo rapido di analisi in ambito aziendale, può essere considerato un'alternativa valida e più pratica rispetto alla misurazione tradizionale, poiché fornisce valori medi sovrapponibili e una variabilità accettabile. Sarà comunque necessario ampliare le prove includendo un numero maggiore di campioni, sia a 12 mesi sia a stagionature più avanzate, così da validare pienamente l'approccio e valorizzarne l'applicabilità pratica.

Parmigiano Reggiano, texture, stagionatura, caratteristiche chimico-fisiche.

Sommario

1. Introduzione.....	11
PARTE GENERALE.....	13
Capitolo 1- Il Parmigiano Reggiano DOP	13
1.1 La storia.....	13
1.2 Il consorzio.....	15
1.2.1 Marchio DOP (Denominazione di Origine Protetta).....	16
1.2.2 Il Disciplinare	17
1.2.2.1 Alimentazione delle bovine.....	18
1.2.2.2 Standard di produzione.....	19
1.2.2.3 Marchiatura.....	19
1.3 Processo di Produzione	20
1.3.1 Lavorazione latte	22
1.3.2 Sieroinnesto	23
1.3.3 Cagliata e ottenimento della Forma.....	24
1.3.4 Stagionatura	26
1.3.4.2 Proteolisi.....	28
1.3.4.3 Lipolisi.....	29
1.4 Caratteristiche chimico-fisiche.....	30
1.4.1 Umidità.....	30
1.4.2 pH.....	30
1.4.3 Contenuto in Sale-NaCl.....	31
1.5 Caratteristiche nutrizionali	32
1.5.1 Proteine	33
1.5.2 Lipidi.....	33
1.5.3 Carboidrati	33
1.5.4 Vitamine e Sali Minerali.....	34
PARTE SPERIMENTALE.....	35

Capitolo 2- Materiali e Metodi.....	35
2.1-Campioni di Parmigiano Reggiano	35
2.2 Preparazione dei campioni	35
2.3 Determinazioni analitiche.....	36
2.3.1 Composizione chimica del Parmigiano Reggiano	36
2.3.2 Attività dell'acqua	36
2.3.4 Three point bending test	37
2.3.5 Test di taglio	38
2.3.6 Comparazione nei metodi di misurazione della texture	39
2.3.6.1 Test di penetrazione	39
2.4 Analisi statistica	42
Capitolo 3 – Risultati e discussione	43
3.1 Effetto del tempo di stagionatura	43
3.1.1 Composizione chimico-nutrizionale dei campioni	43
3.2 Texture.....	45
3.2.3 Analisi delle Componenti Principali-PCA	48
3.3 Comparazione di metodi per la determinazione della texture.....	49
3.3.1 Test di penetrazione.....	50
3.2.3.1 Correlazione tra Texture Analysis, FTA e penetrometro.	51
Capitolo 4 – Conclusioni.....	54
Riferimenti	56

Lista di tabelle

TABELLA 1- PUNTI SALIENTI DELLA PRODUZIONE DEL PARMIGIANO (ZANNONI, 2010).	21
TABELLA 2- RISULTATI DI ANALISI CHIMICO-FISICHE DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI MESI DI STAGIONATURA.	43
TABELLA 3- RISULTATI DELLA TEXTURE DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI MESI DI STAGIONATURA.	51
TABELLA 4- CORRELAZIONE DELLE TEXTURE DEL PARMIGIANO REGGIANO A 12 MESI DI STAGIONATURA.	53
TABELLA 5- RISULTATI DELLA TEXTURE DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI MESI DI STAGIONATURA	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

TABELLA 6- CORRELAZIONE DELLA TEXTURE DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI MESI DI STAGIONATURA. ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.

Lista di figure

FIGURA 1- AREA DI PRODUZIONE DEL PARMIGIANO REGGIANO DOP SECONDO LA NORMATIVA COMUNITARIA (CONSORZIO DEL PARMIGIANO REGGIANO , 2024)	13
FIGURA 2- MINIATURA RAFFIGURANTE MONACI INTENTI A LAVORARE FORME DI FORMAGGIO – LE PRIME PRODUZIONI FURONO REALIZZATE NEI MONASTERI CISTERCENSI E BENEDETTINI TRA XII E XIII SECOLO NELLE ZONE DI PARMA E REGGIO EMILIA. (PARMIGIANO REGGIANO- IL CONSORZIO E LA SUA STORIA, S.D.)	14
FIGURA 3- A DESTRA È RAPPRESENTATO LA BOZZA DELLO STANDARD POSTO A CONFRONTO CON L'IMMAGINE A SINISTRA DOVE È RIPORTATO LO STANDARD DEFINITIVO. (MUCCHETTI, 2022).	18
FIGURA 4- MARCHIO PARMIGIANO REGGIANO (PARMIGIANO REGGIANO)	20
FIGURA 5- PROCESSO PRODUTTIVO DEL FORMAGGIO “PARMIGIANO REGGIANO DOP”	22
FIGURA 6- CALDAIA IN RAME (PARMIGIANO TERRE ALTE).....	23
FIGURA 7- SPINATURA (PARMIGIANO REGGIANO PRODOTTO DI MONTAGNA).....	25
FIGURA 8- COTTURA (PARMIGIANO REGGIANO PRODOTTO DI MONTAGNA).....	25
FIGURA 9- MESSA IN FASCERE DELLE FORME (PARMIGIANO REGGIANO PRODOTTO DI MONTAGNA).....	26
FIGURA 10- STAGIONATURA (PARMIGIANO REGGIANO PRODOTTO DI MONTAGNA)	27
FIGURA 11- INDICE DI LIPOLISI DEL FORMAGGIO PARMIGIANO-REGGIANO NEL CORSO DELLA STAGIONA-TURA: VALORE ESPRESSO COME PROPORZIONE DEL CONTENUTO TOTALE DI ACIDI GRASSI LIBERI (AGL)RISPETTO AL CONTENUTO DI GRASSO DEL FORMAGGIO (MALACARNE, 2006).	29
FIGURA 12- VARIAZIONE DELL'UMIDITÀ NEL PARMIGIANO REGGIANO NEL CORSO DELLA MATURAZIONE (MUCCHETTI & NEVIANI, 2006). ...	30
FIGURA 13- VARIAZIONE DI PH ALL'AUMENTARE DEL TEMPO DI STAGIONATURA (MALACARNE, 2006).	31
FIGURA 14- VARIAZIONE CONTENUTO NaCl NEL PARMIGIANO REGGIANO NEL CORSO DELLA MATURAZIONE (MALACARNE, 2006).	32
FIGURA 15- PREPARAZIONE DEL CAMPIONE ALLO SVOLGIMENTO DELLE ANALISI.	36
FIGURA 16- ANALISI DELL'AW-ATTIVITÀ DELL'ACQUA.....	37
FIGURA 17- THREE POINT BENDING TEST.....	38
FIGURA 18- TEST DI TAGLIO CON TEXTURE ANALYSER.....	39
FIGURA 19- TEST DI PENETRAZIONE CON TEXTURE ANALYSER.....	40
FIGURA 20- TEST DI PENETRAZIONE DI FRUIT TEXTURE ANALYSER.	41
FIGURA 21- TEST DI PENETRAZIONE CON PENETROMETRO.....	41
FIGURA 22- FORZA MASSIMA (DUREZZA) DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI STAGIONATURE.	46
FIGURA 23- FRATTURABILITÀ (1/MM) DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI STAGIONATURE.....	47
FIGURA 24- CUT TEST DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI STAGIONATURE.	48
FIGURA 25- ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI (PCA) DEI CAMPIONI DI PARMIGIANO REGGIANO A 12, 24 E 40 MESI DI STAGIONATURA.	49

FIGURA 26- TEST DI PENETRAZIONE USANDO DIFFERENTI STRUMENTI DI TEXTURE ANALYZER DEL PARMIGIANO REGGIANO A DIFFERENTI MESI DI STAGIONATURA.....	51
FIGURA 27- CORRELAZIONE TRA PENETROMETRO E TEXTURE ANALYSIS.	52
FIGURA 28- CORRELAZIONE TRA FTA E TEXTURE ANALYSIS.	52
FIGURA 29- CORRELAZIONE TRA PENETROMETRO E FTA.....	53

1. Introduzione

I formaggi appartengono alla categoria degli alimenti derivati dal latte fermentato. In origine, nascono con l'obiettivo di conservare nel tempo le proprietà del latte, ma nel corso dei secoli si sono evoluti fino a diventare prodotti dell'alta cucina, apprezzati anche per il loro elevato valore nutrizionale. Possiamo considerarli il risultato della "messa in forma" del latte: una trasformazione da liquido a solido resa possibile mediante gesti semplici e l'utilizzo di strumenti basilari (Mucchetti, 2022). Il criterio più comune per classificare i formaggi si basa sulla consistenza, direttamente correlata al contenuto di umidità del prodotto finito. Tuttavia, oggi si utilizzano anche altri parametri per differenziare le varie tipologie di formaggi, tra cui: la specie animale produttrice del latte, il rapporto umidità/proteine, il metodo di coagulazione, la temperatura di cottura e la microflora presente (Fox & McSweeney, 2004).

I formaggi possono essere suddivisi in 3 categorie principali in base alla loro consistenza: formaggi a pasta molle: rappresentano il modo più semplice di trasformazione del latte. Sono definiti "a pasta molle" per il loro elevato contenuto di acqua, che varia tra il 45% e il 55%. (Alloisio, 2011); formaggi semiduri: caratterizzati da un contenuto intermedio di umidità, compreso tra il 30% e il 45% (Corradini & Innocente, 2011); formaggi a pasta dura: hanno un'umidità relativa inferiore al 40% al termine del processo produttivo (Nocetti, Reverberi, Alloisio, & Stroppa, 2011).

Il Parmigiano Reggiano, formaggio a pasta dura, è prodotto esclusivamente nelle province di Parma, Reggio Emilia, Modena e in alcune zone delle province di Mantova e Bologna, all'interno di un'area geografica delimitata tra il fiume Po e il Reno, che comprende pianure, colline e montagne. È uno dei prodotti agroalimentari italiani più iconici e apprezzati nel mondo, simbolo dell'eccellenza del *Made in Italy* nel settore lattiero-caseario. La sua produzione avviene esclusivamente con latte vaccino crudo, parzialmente scremato per affioramento, proveniente da due mungiture consecutive (sera e mattina). Non è ammesso l'uso di additivi o conservanti. La coagulazione avviene mediante l'aggiunta di *sieroinnesto naturale* e caglio, e si tratta di una coagulazione acido-presamica (Nocetti, Reverberi, Alloisio, & Stroppa, 2011). Il rigoroso rispetto delle pratiche tradizionali garantisce l'ottenimento di un prodotto di alta qualità, rappresentativo del territorio e della tradizione.

Secondo quanto stabilito dal Disciplinare di produzione il Parmigiano Reggiano deve stagionare almeno 12 mesi, non è prevista al contrario nessuna stagionatura massima. (Disciplinare di produzione Parmigiano Reggiano). Sono comunque comuni stagionature superiori, come i 24 e i 40 mesi. Durante il processo di maturazione si verificano trasformazioni biochimiche e strutturali fondamentali che influenzano le caratteristiche fisico-chimiche, reologiche e sensoriali del

formaggio. In particolare, la proteolisi, la perdita di umidità e le modifiche della matrice caseinica influiscono su texture, sapore, aroma e shelf life (Zeppa).

Il disciplinare stabilisce anche le caratteristiche chimico-fisiche che ogni forma deve rispettare per poter essere commercializzata come Parmigiano Reggiano. Tra queste rientrano: umidità, contenuto di grasso sulla sostanza secca, amminoacidi liberi, acidi grassi ciclopropanici, assenza di additivi, composizione isotopica e minerale (Disciplinare di produzione Parmigiano Reggiano). Tra i parametri sensoriali, la texture rappresenta una delle principali caratteristiche percepite dal consumatore ed è strettamente correlata al grado di stagionatura. Con l'aumentare della maturazione, si osserva in genere un incremento della durezza, friabilità e granulosità, dovuto all'accumulo di cristalli di tirosina, alla riduzione dell'umidità e al progressivo compattamento della matrice proteica (Carini, 2013).

Dal punto di vista nutrizionale, il Parmigiano Reggiano è ricco di proteine ad alto valore biologico, calcio, fosforo, vitamine del gruppo B e composti bioattivi derivanti dalla proteolisi. Grazie alla lunga stagionatura e all'assenza di lattosio, è generalmente ben tollerato anche da soggetti con intolleranza al lattosio (Zeppa). Per quanto riguarda le caratteristiche compositive in media possiamo considerare quelle delle forme 24 mesi, che sono una via di mezzo tra le tre classi di stagionatura prevalentemente riconosciute, in queste ritroviamo: Umidità 30.8%, Proteine 33.5%, Grassi 28.4%, NaCl 1.4%, Calcio (mg/100g) 1158, Fosforo (mg/100g) 678 (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).

Oltre al valore gastronomico e nutrizionale, il Parmigiano Reggiano riveste un ruolo centrale anche dal punto di vista economico: con una produzione annua di oltre 4 milioni di forme, rappresenta una filiera che coinvolge più di 300 caseifici e migliaia di allevatori (ISMEA- Rapporto sul Parmigiano Reggiano, 2023).

L'obiettivo di questa tesi è stato duplice: in primo luogo valutare l'evoluzione delle caratteristiche reologiche di campioni ottenuti a 3 diversi tempi di stagionatura, e in secondo luogo verificare la correlazione tra i risultati di texture ottenuti tramite uno strumento innovativo messo a punto dall'azienda e quelli ottenuti dai metodi tradizionali.

Pertanto nella prima parte della tesi, campioni a 12, 24 e 40 mesi di stagionatura sono stati caratterizzati per composizione chimica, texture e attività dell'acqua; mentre nella seconda parte della tesi 3 metodi per misurare la texture sono stati applicati a campioni ottenuti dopo 12 mesi di stagionatura

PARTE GENERALE

Capitolo 1- Il Parmigiano Reggiano DOP

Il Parmigiano Reggiano DOP è un formaggio a pasta dura, cotta e a lunga maturazione, prodotto esclusivamente nelle province di Parma, Reggio Emilia, Modena e in parte delle province di Mantova (a destra del fiume Po) e Bologna (a sinistra del fiume Reno). È uno dei più importanti formaggi italiani a Denominazione di Origine Protetta ed è esportato in tutto il mondo (Zannoni , 2009).



Figura 1- Area di produzione del Parmigiano Reggiano DOP secondo la normativa comunitaria (Consorzio del Parmigiano Reggiano , 2024)

È ottenuto dalla lavorazione di latte crudo e parzialmente scremato, che deve essere prodotto e trasformato esclusivamente all'interno della zona d'origine. Il latte non può subire trattamenti termici, e non è consentito l'uso di additivi o conservanti. L'unico starter microbiologico ammesso è il siero-innesto naturale derivante dalle lavorazioni del latte ottenuto nella mungitura della sera precedente al giorno di lavorazione. La produzione coinvolge circa 3.500 aziende agricole, che allevano complessivamente oltre 230.000 bovini. Il latte viene poi conferito e lavorato in circa 390 caseifici artigianali (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).

1.1 La storia

Il Parmigiano Reggiano è uno dei formaggi più antichi d'Europa e ancora oggi viene prodotto con metodi tradizionali. È anche una delle DOP italiane più importanti, sia dal punto di vista storico che

economico. Le sue origini risalgono al Medioevo, intorno al 1200, quando i monaci benedettini e cistercensi, presenti in Emilia, iniziarono a cercare un modo per produrre un formaggio che durasse a lungo nel tempo. Per farlo, sfruttarono due risorse locali molto preziose: il latte di vacca degli allevamenti e il sale proveniente dalle saline di Salsomaggiore (Zannoni, 2010).



Figura 2- Miniatura raffigurante monaci intenti a lavorare forme di formaggio – le prime produzioni furono realizzate nei monasteri cistercensi e benedettini tra XII e XIII secolo nelle zone di Parma e Reggio Emilia. (Parmigiano Reggiano- Il consorzio e la sua storia, s.d.)

Nel secolo successivo, iniziarono a comparire le prime testimonianze di caseifici che producevano il Parmigiano Reggiano, soprattutto nelle zone di Parma e Reggio Emilia. Con il tempo, la produzione si ampliò e si iniziò a vendere il formaggio anche al di fuori del territorio d'origine. Già nel 1400 veniva commerciato in regioni come la Romagna, il Piemonte e la Toscana, e da lì raggiunse anche i porti del Mediterraneo, grazie alla sua buona conservabilità. Nel Cinquecento, il Parmigiano Reggiano era ormai conosciuto anche in altre parti d'Europa. All'epoca si producevano circa 2.000–3.000 kg all'anno, con forme che pesavano circa 16 kg. In seguito, le quantità prodotte aumentarono e le forme divennero più grandi, arrivando fino a 18 kg. In questo periodo si iniziarono a creare le vaccherie vicino ai caseifici, per avere sempre a disposizione il latte fresco. Con il passare dei secoli, la produzione si estese anche ad altre zone, come la provincia di Modena, e il formaggio iniziò a essere citato in libri di cucina. Nel 1600, i produttori iniziarono a preoccuparsi per le imitazioni, e quindi si cominciò a parlare di “formaggio di Parma”, per dare un'identità territoriale al prodotto. Nei secoli successivi le tecniche di produzione sono rimaste quasi invariate, anche se all'inizio del Novecento furono introdotte alcune innovazioni, come l'uso del sieroinnesto naturale, che ha migliorato la qualità e la sicurezza del processo produttivo. Un momento importante arriva nel 1934, quando i caseifici delle province di Parma, Reggio Emilia, Modena e parte della provincia di Mantova si mettono d'accordo per creare

un marchio d'origine. Questo porterà alla nascita del Consorzio del Parmigiano Reggiano, fondato ufficialmente nel 1954 grazie alla legge n. 125 del 10 aprile, che tutela le denominazioni di origine dei formaggi. Infine, nel 1996, il Parmigiano Reggiano ottiene il riconoscimento ufficiale come DOP (Denominazione di Origine Protetta) a livello europeo, grazie al regolamento CEE 2081/1992. Questo riconoscimento garantisce che il formaggio venga prodotto secondo regole precise e solo nel territorio previsto dal disciplinare (Consorzio del Parmigiano Reggiano , 2024) (Reggiano).

1.2 Il consorzio

Nel 1928 si assistette alla creazione del primo Consorzio di tutela a Reggio Emilia su richiesta dell'associazione degli imprenditori e del consiglio principale per l'economia aziendale di Reggio Emilia; qualche anno dopo ci fu un aumento del numero di caseifici che si occupavano della produzione di Parmigiano Reggiano e così si arrivò al 1934, anno in cui i rappresentanti dei caseifici di Parma, Reggio, Modena e Mantova approvarono un marchio di origine che portò alla nascita del Consorzio interprovinciale Volontario Grana Tipico. Venne adottato un marchio ovale che riportava l'annata e la scritta "CGT Parmigiano Reggiano". (Parmigiano Reggiano- Il consorzio e la sua storia)

Nel 1954 venne redatta la legge 125 del 10 Aprile del 1954 a tutela delle denominazioni di origine tipiche dei formaggi, tale legge riconosce come "denominazioni tipiche" tutti quei formaggi prodotti nel territorio nazionale conservando metodi costanti e con caratteristiche merceologiche che derivano da particolari metodi per il processo di produzione (Tutela delle denominazioni di origine e tipiche dei formaggi., 1954). Nel 1992 fu emanato il Regolamento (CEE) n. 2081/92 del Consiglio relativo alla protezione delle indicazioni geografiche e delle denominazioni d'origine dei prodotti agricoli ed alimentari. (Regolamento (CEE) n. 2081/92 del Consiglio relativo alla protezione delle indicazioni geografiche e delle denominazioni d'origine dei prodotti agricoli ed alimentari., 1992). Nel 1996 viene ufficialmente riconosciuta la DOP europea del Parmigiano Reggiano. (Consorzio del Parmigiano Reggiano , 2024).

Il Consorzio di Tutela del Formaggio Parmigiano Reggiano, fondato nel 1934, è un'organizzazione collettiva che riunisce i produttori e i caseifici attivi nell'area geografica tradizionale di produzione, comprendente le province di Parma, Reggio Emilia, Modena e parti di quelle di Bologna e Mantova. Il suo principale obiettivo è la tutela, la valorizzazione e la promozione del Parmigiano Reggiano, garantendo il rispetto del disciplinare produttivo e la qualità del prodotto immesso sul mercato. Le attività del Consorzio si articolano in diverse funzioni fondamentali:

Tutela e vigilanza

Il Consorzio assicura che solo il formaggio prodotto all'interno delle zone geografiche stabilite e nel rispetto dei metodi tradizionali possa essere commercializzato con la denominazione "Parmigiano Reggiano". Questa attività comprende la supervisione dell'intera filiera produttiva, a partire dall'alimentazione delle bovine fino alla stagionatura del formaggio.

Controllo qualità

Ogni forma viene sottoposta a un attento esame qualitativo, effettuato da esperti del Consorzio attraverso un processo detto espertizzazione. A partire dal dodicesimo mese di stagionatura, le forme vengono valutate in base a parametri come la struttura, la consistenza e l'assenza di difetti interni. Solo le forme conformi agli standard vengono marchiate a fuoco con il logo ufficiale DOP.

Promozione e formazione

Il Consorzio promuove attivamente il Parmigiano Reggiano sia a livello nazionale sia internazionale, attraverso attività di marketing, partecipazione a fiere e iniziative di educazione alimentare. Particolare attenzione è rivolta alla sensibilizzazione dei consumatori riguardo alle caratteristiche distintive del prodotto e all'importanza dell'autenticità certificata.

Prevenzione delle frodi

La protezione del nome "Parmigiano Reggiano" da imitazioni e usi impropri rappresenta un compito prioritario. Il Consorzio opera mediante attività di vigilanza sul mercato, collaborazioni internazionali e strumenti di tracciabilità e certificazione, per salvaguardare sia i produttori che i consumatori dalle contraffazioni.

(Statuto del Consorzio)

Per facilitare il riconoscimento del vero Parmigiano Reggiano da parte dei consumatori, il Consorzio di Tutela ha implementato un sistema di marchi e certificazioni che attestano la conformità del prodotto agli standard previsti. Tali certificazioni garantiscono la tracciabilità, la qualità e il rispetto delle normative di produzione.

1.2.1 Marchio DOP (Denominazione di Origine Protetta)

Il Parmigiano Reggiano è tutelato dal marchio DOP (Denominazione di Origine Protetta) dal 1996, grazie al riconoscimento europeo che ne certifica ufficialmente l'origine e il metodo produttivo. In realtà, la sua tutela in Italia era già attiva da diversi anni prima, a dimostrazione dell'importanza che questo formaggio ha sempre avuto all'interno del nostro patrimonio agroalimentare. Il marchio DOP

garantisce che tutto il processo produttivo del Parmigiano Reggiano venga svolto secondo quanto previsto dal disciplinare di produzione, un documento ufficiale definito dal Consorzio del Parmigiano Reggiano e approvato dal Ministero dell'Agricoltura (MASAF). Questo disciplinare stabilisce regole molto precise: il latte deve provenire esclusivamente da bovine allevate nella zona d'origine, senza l'uso di additivi o conservanti, e la stagionatura minima prevista è di 12 mesi. Anche la marchiatura a fuoco avviene solo dopo un'attenta selezione delle forme da parte degli esperti del Consorzio. Tutte le fasi, dalla mungitura fino alla stagionatura finale, devono avvenire interamente all'interno della zona geografica tutelata, che comprende le province di Parma, Reggio Emilia, Modena e parte di quelle di Mantova e Bologna (Delizia , 2024).

Il Parmigiano Reggiano è spesso considerato il prodotto a indicazione geografica più rappresentativo in Italia, proprio perché racchiude al suo interno valori di tradizione, legame con il territorio e qualità artigianale. È anche un perfetto esempio di quello che gli studiosi chiamano LAFS, cioè Sistemi Agroalimentari Localizzati (Localized Agri-Food Systems). Questo concetto si riferisce a quei modelli produttivi che nascono in contesti territoriali ben definiti e che si basano sulla valorizzazione delle risorse locali, come l'ambiente, le tradizioni, le conoscenze contadine, ma anche le relazioni sociali ed economiche che si sviluppano nel tempo. Secondo Muchnik (2006), i LAFS sono fondamentali perché permettono non solo di mantenere viva l'identità dei territori, ma anche di promuovere una qualità agroalimentare legata al contesto ambientale e culturale, e non solo alla tecnica produttiva (Muchnik, 2006).

1.2.2 Il Disciplinare

Il disciplinare di produzione è un documento ufficiale che definisce in modo preciso quali caratteristiche deve avere un prodotto e quali metodi devono essere applicati affinché possa essere riconosciuto come DOP.

Nel caso del Parmigiano Reggiano, il disciplinare stabilisce tutto il processo, dalla provenienza del latte, alle tecniche di lavorazione, fino alla stagionatura e alla marchiatura. Fin dal 1955, anno in cui venne approvata la prima normativa nazionale sulla denominazione di origine dei formaggi, sono state introdotte diverse modifiche e aggiornamenti per rendere sempre più preciso e completo il disciplinare.

Questi cambiamenti hanno riguardato sia gli usi tradizionali, che sono stati via via formalizzati, sia le regole produttive, per adattarsi ai nuovi contesti normativi, tecnologici ed economici, senza però snaturare l'autenticità del prodotto. L'attuale disciplinare in vigore, approvato nel 2018, è il risultato

di questo lungo percorso e rappresenta un riferimento fondamentale per tutti i produttori, perché serve a garantire l'uniformità, la qualità e l'origine certificata del Parmigiano Reggiano (Mucchetti, 2022).

Nel corso degli anni, il disciplinare del Parmigiano Reggiano ha subito diverse modifiche e aggiornamenti, mirati a rafforzare la coerenza del processo produttivo e a tutelare la qualità del formaggio. Tra le novità più rilevanti troviamo l'introduzione di norme specifiche sull'alimentazione del bestiame, con l'obiettivo di regolare non solo la quantità di latte prodotto, ma soprattutto la sua qualità, elemento fondamentale per ottenere un prodotto conforme agli standard DOP. È stato inoltre formalizzato il sistema di marchiatura, che prevede una procedura precisa per l'attribuzione del marchio a fuoco solo alle forme che superano i controlli previsti. Questo ha permesso di garantire maggiore trasparenza e riconoscibilità del prodotto sul mercato (Mucchetti, 2022).

<p>PARMIGIANO REGGIANO.</p> <p><i>Caratteristiche:</i> Formaggio semigrasso a pasta dura, cotta ed a lenta maturazione, prodotto con coagulo ad acidità di fermentazione, dal latte di vacca proveniente da animali in genere a periodo di lattazione stagionale e la cui alimentazione base è costituita da foraggi di prato polifita o di meilicchio. Viene impiegato il latte delle mangiature della sera e del mattino, riposato e parzialmente scremato per allungamento. Si fabbrica nel periodo compreso tra il 15 aprile e l'11 novembre.</p> <p>Forma cilindrica, scalzo leggermente convesso o quasi dritto, facce piane leggermente orlate.</p> <p>Dimensioni: diametro da 35 a 45 cm., altezza dello scalzo da 18 a 24 cm., con variazioni, per entrambi, in più o in meno, in rapporto alle condizioni tecniche di produzione.</p> <p>Peso medio: per forma e per partita, Kg. 30, con variazioni in più o in meno, in rapporto alle condizioni tecniche di produzione.</p> <p>Nessuna forma deve avere peso inferiore a Kg. 24.</p> <p>Confezione esterna: tinta scura ed olatura.</p> <p>Colore della pasta: paglierino inalterabile.</p> <p>Aroma e sapore della pasta caratteristici: fragrante, delicato non piccante.</p> <p>Struttura della pasta: finemente granulosa, frattura radiale a scaglio, fondente al palato.</p> <p>Occhiatura appena visibile.</p> <p>Spessore della crosta: circa mm. 6.</p> <p>Maturazione naturale per un periodo comprendente almeno due estati di stagionatura.</p> <p>Resistenza alla maturazione: da 3 a 4 anni.</p> <p>Uso: formaggio da tavola o da grattugia.</p> <p>Grasso sulla sostanza secca: minimo 32 per cento.</p> <p><i>Zona di produzione:</i> territori delle provincie di Bologna alla sinistra del fiume Reno, Mantova alla destra del fiume Po, Modena, Parma, Reggio nell'Emilia.</p>	<p>PARMIGIANO REGGIANO</p> <p>dont l'usage est, par conséquent, réservé au fromage, produit en Italie, répondant au standard suivant :</p> <p><i>Caractéristiques :</i> fromage demi-gras à pâte pressée, cuit et à maturation lente, obtenu par coagulation avec acidité de fermentation, moyennant du lait de vache fourni par des bêtes d'ordinaire en période de lactation saisonnière, dont l'alimentation base est constituée par des fourrages de prairies à plantes variées ou à luzerne. On emploie le lait qui a été tiré le soir et le matin après repos et écrémage partiel spontané sous l'influence de la pesanteur. On le confectionne pendant un laps de temps qui va du 15 avril au 11 novembre.</p> <p>Forme: cylindrique, tronc légèrement convexe ou presque droit, faces planes, légèrement ourlées.</p> <p>Dimensions: hauteur du tronc 18-24 cm., diamètre 35-45 cm. Les variations, en plus ou en moins, sont liées aux conditions techniques de la production.</p> <p>Poids moyen: chaque meule d'un même stock, environ 30 kgs. Les variations, en plus ou en moins, sont liées aux conditions techniques de la production. Aucune meule ne doit peser moins de 24 kg.</p> <p>Confection extérieure: couleur foncée et huilage.</p> <p>Couleur de la pâte: jaune paille inaltérable.</p> <p>Arôme et saveur caractéristiques de la pâte: parfum délicat non piquant.</p> <p>Structure de la pâte: fine et granuleuse, fracture radiale en écailles, fondante au palais.</p> <p>Ouverture: à peine visibles.</p> <p>Épaisseur de la croûte: 6 mm. environ.</p> <p>Maturation: naturelle, pendant un laps de temps comprenant au moins deux étés de mise en cave.</p> <p>Résistance à la maturation: de 3 à 4 ans.</p> <p>Usage: fromage de table ou à râper.</p> <p>Matière grasse par rapport à l'extract sec: 32 % au minimum.</p> <p><i>Zones de production:</i> provinces de Bologne à gauche du fleuve Reno, Mantoue à droite du fleuve PO, Modène, Parme, Reggio Emilia.</p> <p>Rome, le 5 novembre 1956</p> <p><i>Le Président:</i> prof. MARIO SCAPACCINO <i>Le Secrétaire:</i> dr. VITTORIO CERVI</p>
<p>Standard del PR in allegato alla Legge 125/1954.</p>	<p>Standard finale di Stresa, pubblicato in GURI 1957.</p>

Figura 3- A destra è rappresentato la bozza dello standard posto a confronto con l'immagine a sinistra dove è riportato lo standard definitivo. (Mucchetti, 2022).

1.2.2.1 Alimentazione delle bovine

Secondo quanto stabilito dal disciplinare di produzione del Parmigiano Reggiano, l'alimentazione delle bovine da latte è soggetta a regole molto precise. La razione alimentare giornaliera deve essere composta per almeno il 50% della sostanza secca da foraggi, assicurando così un apporto adeguato di fibra, essenziale per la salute dell'animale e la qualità del latte. Di questi foraggi, almeno il 50%

deve provenire direttamente dall'azienda agricola produttrice, a garanzia del legame con il territorio. Inoltre, non più del 25% del totale può derivare da aree esterne al comprensorio di produzione, per limitare l'influenza di fattori esterni e preservare la tipicità locale. Il disciplinare vieta esplicitamente l'impiego di insilati (come silomais o insilati di erba), in quanto possono alterare la microflora del latte crudo e compromettere i processi naturali di trasformazione. Sono inoltre esclusi molti sottoprodotti industriali e vietato l'uso di grassi aggiunti nei concentrati (come olio di palma o grassi idrogenati), in modo da mantenere la composizione del latte il più naturale possibile (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).

1.2.2.2 Standard di produzione

La zona di produzione del Parmigiano Reggiano è rigorosamente delimitata e comprende i territori delle province di Parma, Reggio nell'Emilia, Modena, Mantova (limitatamente all'area alla destra del fiume Po) e Bologna (alla destra del fiume Reno). Questa delimitazione geografica è uno degli elementi chiave per la tutela dell'identità territoriale del prodotto. Il latte viene conferito al caseificio due volte al giorno. Il latte della mungitura serale viene lasciato riposare tutta la notte in vasche larghe e basse, dove subisce un processo naturale di parziale scrematura per affioramento. Al mattino successivo, il latte scremato viene miscelato con il latte intero della mungitura mattutina, ottenendo così una miscela equilibrata per la lavorazione. Uno degli elementi distintivi del processo produttivo è l'impiego del sieroinnesto naturale, una coltura di fermenti lattici autoctoni ottenuta dall'acidificazione spontanea del siero residuo della lavorazione del giorno precedente. Questo permette di mantenere una flora microbica tipica e coerente con il territorio. La coagulazione del latte avviene esclusivamente con caglio di vitello ed è effettuata all'interno di caldaie troncoconiche in rame, ciascuna delle quali produce fino a due forme di formaggio per ciclo. Per garantire la massima igiene e qualità, ogni caldaia viene utilizzata una sola volta al giorno. Dopo la formatura e la salatura in salamoia, le forme passano alla fase di stagionatura, che deve durare almeno 12 mesi. Durante questo periodo, il formaggio sviluppa gradualmente la sua struttura, complessità aromatica e consistenza tipica (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).

1.2.2.3 Marchiatura

I segni distintivi del Parmigiano Reggiano sono rappresentati da due tipologie di marchi: i marchi di origine e i marchi di selezione, che garantiscono la tracciabilità, la qualità e l'autenticità del prodotto. La marchiatura di origine viene applicata direttamente durante le prime fasi di produzione. È composta da una placca di caseina, un'etichetta commestibile e unica per ogni forma, che riporta i

codici identificativi (tra cui il numero progressivo della forma e un codice alfanumerico). Inoltre, mediante apposite fasce marchianti posizionate all'interno dello stampo, viene impressa sulla crosta la tipica dicitura a puntini "Parmigiano Reggiano", insieme alla matricola del caseificio, al mese e all'anno di produzione. Successivamente, al compimento dei 12 mesi di stagionatura, ogni forma viene sottoposta all'espertizzazione, un processo di controllo effettuato dagli esperti del Consorzio di Tutela. Le forme che risultano conformi agli standard di qualità previsti dal disciplinare ricevono la marchiatura di selezione: un bollo ovale impresso a fuoco che reca la dicitura "Parmigiano Reggiano – Consorzio di Tutela", insieme all'anno di produzione. Questo marchio rappresenta una vera e propria garanzia per il consumatore, poiché certifica l'avvenuto controllo e la qualità del prodotto (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).



Figura 4-Marchio Parmigiano Reggiano (Parmigiano Reggiano)

1.3 Processo di Produzione

Il processo produttivo per l'ottenimento del Parmigiano Reggiano nel XVI secolo era proprio di piccoli caseifici, le tecnologie utilizzate sono rimaste invariate fino al XX secolo in cui si assistette a piccole variazioni che comunque non variano l'essenza del prodotto, facendo sì che comunque rimanesse molto forte il legame con il territorio e la storia.

Tabella 1- Punti salienti della produzione del Parmigiano (Zannoni, 2010).

Fattori	Cambiamenti nel XX secolo
Mucche locali	Holsten Frisone
Mungitura manuale	Mungitura meccanica
Latte	Conservato con refrigerazione moderata
Scrematura del latte mediante montatura	In grandi tini
Bollitore di rame	
Acidificazione del latte	Uso di siero di latte inoculato
Caglio di vitello	In polvere o liquido prodotti in fabbrica
Riscaldamento a fuoco diretto	Con il vapore
Taglio	
Cucina	
Stampaggio	
Salatura a secco	Con immersione in Salamoia
Maturazione	In ambiente climatizzato

Le innovazioni che negli anni sono state applicate si suddividono in innovazioni di prodotto e innovazioni di processo:

- Le innovazioni di prodotto hanno l'obiettivo di ottenere tutta una serie di caratteristiche per migliorare il prodotto al fine di soddisfare le esigenze dei consumatori.
- Nel processo produttivo le principali trasformazioni applicate riguardano l'uso del sieroinnesto introdotto nel 1800 dalla scuola zootecnica e casearia di Reggio Emilia, questo portò numerosi vantaggi in quanto i LAB deputati alla fermentazione prevalgono sui batteri pericolosi; la salatura ad immersione, detta salamoia, è stata introdotta invece nel 1915 per favorire una distribuzione più omogenea del sale all'interno del prodotto. La selezione genetica delle vacche e del foraggio aveva l'obiettivo di scegliere le specie più redditizie, qualitativamente migliori e standardizzare il prodotto finale. (Mancini, Arfini, & Guareschi, 2019)

Il Parmigiano Reggiano, in quanto prodotto a Denominazione di Origine Protetta (DOP), è espressione di un forte legame tra il territorio di produzione, le pratiche zootecniche, le competenze umane e le caratteristiche qualitative del latte. Questo stretto rapporto tra fattori ambientali e know-how locale contribuisce in modo determinante alla tipicità e alla qualità del prodotto (Lovarelli, Tamburini, Garimberti, D'Imporzano, & Adani, 2022). Nel processo produttivo, il flow sheet –

ovvero l'insieme delle fasi operative – deve seguire indicazioni rigorose, tra cui le disposizioni relative alla composizione della dieta delle vacche da latte, che hanno un impatto diretto sulle caratteristiche del latte utilizzato (Summer , Franceschi, Formaggioni , & Malacarne, 2014), La supervisione dell'intero processo è affidata al Consorzio del Parmigiano Reggiano, che vigila sul rispetto del disciplinare e delle norme qualitative.

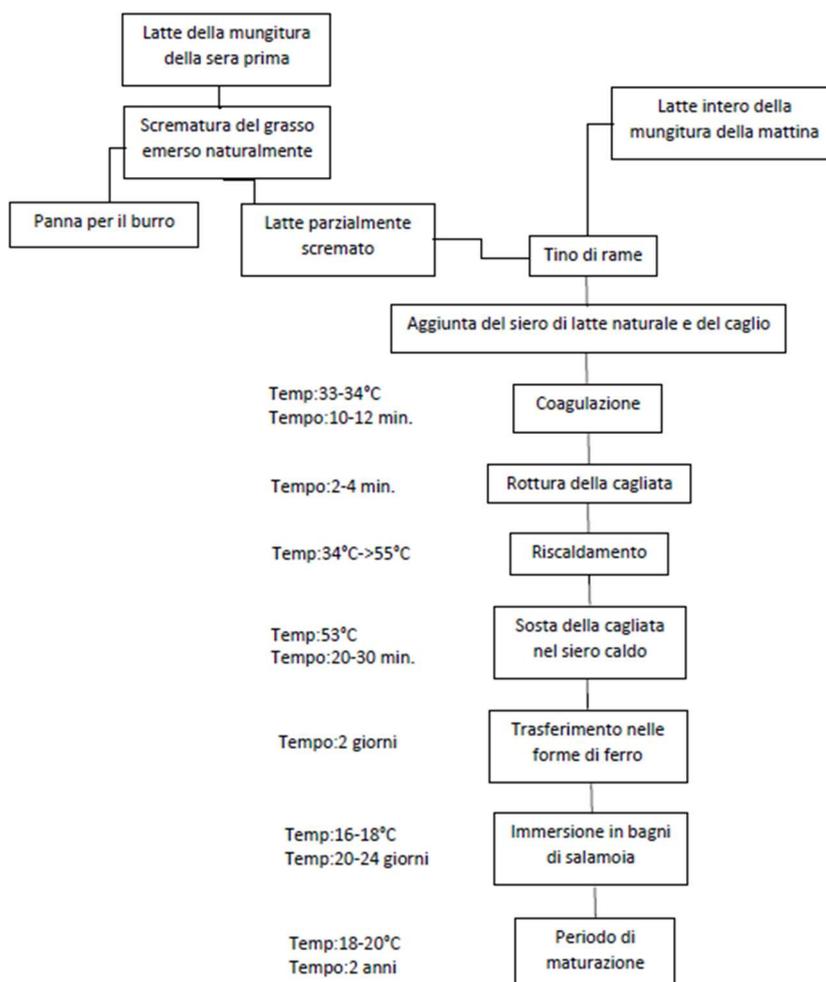


Figura 5-Processo produttivo del formaggio “Parmigiano Reggiano DOP”.

1.3.1 Lavorazione latte

Secondo quanto stabilito dal disciplinare di produzione del Parmigiano Reggiano, la lavorazione del formaggio prevede l'impiego di una miscela composta dal latte della mungitura serale e da quello della mungitura mattutina del giorno successivo. La raccolta del latte avviene due volte al giorno e, all'arrivo in caseificio, i due tipi di latte seguono percorsi differenti:

- Il latte della sera precedente viene versato in apposite vasche di affioramento, con capacità di 11-12 quintali (o anche superiori), dove resta a riposo durante la notte. In questo periodo avviene l'affioramento naturale del grasso, che viene parzialmente eliminato. Questa operazione è fondamentale per ottenere un latte parzialmente scremato, condizione necessaria per raggiungere un rapporto ottimale tra grasso e caseine, parametro che incide significativamente sulla resa casearia, sulle caratteristiche sensoriali del formaggio e sulla velocità del processo di maturazione.
- Il latte della mattina, invece, viene trasferito direttamente in caldaia senza subire processi di scrematura, rimanendo quindi latte intero.

Successivamente, il latte parzialmente scremato della sera viene spillato manualmente dalle vasche di affioramento e aggiunto in caldaia al latte intero del mattino, completando così la miscela.

Le caldaie utilizzate sono tradizionalmente in rame, con una capacità complessiva di circa 1200 litri, dei quali 1000-1100 vengono effettivamente riempiti con la miscela di latte. Da ciascuna caldaia si ottengono due forme di Parmigiano Reggiano. (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).



Figura 6-Caldaia in Rame (Parmigiano Terre Alte)

1.3.2 Sieroinnesto

Il sieroinnesto è una coltura naturale formata da batteri lattici termofili (cioè che resistono bene alle alte temperature), che viene preparata ogni giorno usando il siero cotto della lavorazione del giorno

precedente. Questo sistema viene tramandato giorno dopo giorno ed è una parte importante della tradizione del Parmigiano Reggiano.

Il sieroinnesto ha una composizione molto ricca e varia di batteri, e questo contribuisce a dare al formaggio il suo sapore unico e tipico.

Le sue funzioni principali sono:

- Aiutare la coagulazione del latte (cioè il passaggio da liquido a cagliata) abbassando il pH fino a circa 6,40, rendendo così il latte più adatto all'azione del caglio;
- Aggiungere batteri utili al latte, che servono per iniziare velocemente la fermentazione del lattosio (lo zucchero del latte) e quindi per far acidificare la cagliata;
- Favorire la stagionatura del formaggio: durante la maturazione, alcuni batteri muoiono e rilasciano enzimi (proteasi) che aiutano a rompere le proteine del formaggio, contribuendo allo sviluppo di gusto e consistenza.

La qualità del sieroinnesto viene controllata ogni giorno dal casaro, che lo valuta con i sensi (aspetto, odore, comportamento nel latte) e, periodicamente, con analisi in laboratorio. La quantità di sieroinnesto usata può cambiare ogni giorno, in base al tipo di latte, alla temperatura e alla tecnica usata durante la lavorazione (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).

1.3.3 Cagliata e ottenimento della Forma

La coagulazione acido-presamica del latte avviene esclusivamente grazie all'azione combinata dei batteri lattici (LAB) introdotti con il sieroinnesto naturale e del caglio di vitello. L'uso di caglio microbico è espressamente vietato dal disciplinare del Parmigiano Reggiano (Disciplinare di produzione Parmigiano Reggiano). Dopo l'aggiunta del caglio, il latte viene riscaldato fino a una temperatura di circa 32–35°C, per favorire l'avvio delle reazioni di coagulazione. I tempi di coagulazione possono variare in base alle caratteristiche del latte e della lavorazione, e vengono controllati manualmente dal casaro, che verifica la consistenza della massa con una valutazione tattile. Quando la coagulazione è completata, si passa alla spinatura, una fase fondamentale nella produzione del Parmigiano Reggiano. Durante questa operazione, la cagliata viene frammentata in piccoli granuli con l'aiuto di uno strumento chiamato spino. Questa fase è importante perché consente una corretta perdita di umidità, preparando la massa alla successiva cottura. I granuli ottenuti devono essere di dimensioni simili e il più possibile uniformi, per garantire una lavorazione omogenea (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).



Figura 7-Spinatura (Parmigiano Reggiano prodotto di montagna)

Terminata la spinatura, si procede con la cottura della cagliata, che ha lo scopo di asciugare e impastare i granuli. La temperatura viene gradualmente aumentata fino a 54–55°C, in base alla lavorazione, al grado di disidratazione desiderato e nel rispetto della microflora termofila naturalmente presente (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).



Figura 8-Cottura (Parmigiano Reggiano prodotto di montagna)

Dopo la cottura, la cagliata viene lasciata in riposo nella caldaia: i granuli si depositano lentamente sul fondo, compattandosi grazie alla forza di gravità, alla pressione del siero che li sovrasta e alla loro naturale coesione. In questa fase continua la perdita di umidità, e la durata può variare da 50 minuti a un'ora e mezza. Terminato il riposo, si passa all'estrazione della massa caseosa, che avviene manualmente con l'uso di una pala in legno. La massa viene raccolta in una tela, che viene lasciata sospesa all'interno della caldaia, immersa nel siero caldo per circa 5–10 minuti. Successivamente, la

massa viene divisa a mano in due parti uguali, che daranno origine alle due forme gemelle. Entrambe vengono avvolte in una tela pulita e lasciate sospese sopra la caldaia per altri 10–15 minuti, per continuare a scolare. (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011)

Infine, ogni forma viene trasferita in uno stampo (fascera) del diametro di 25–26 cm, appoggiato su un tavolo in legno chiamato spersola, dove rimane per 2–3 giorni. Al mattino del terzo giorno, le forme vengono spostate nel salatoio, dove restano immerse in salamoia (una soluzione di acqua e sale), dando così inizio alla fase di salatura (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).



Figura 9-Messa in fascere delle forme (Parmigiano Reggiano prodotto di montagna)

1.3.4 Stagionatura

Secondo quanto stabilito dal disciplinare di produzione, la stagionatura minima del Parmigiano Reggiano è di 12 mesi, calcolati a partire dal momento della formatura (cioè da quando il formaggio viene messo negli stampi). Durante la stagionatura, le condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa) del magazzino vengono controllate con attenzione. In particolare:

- Fino a circa 10–12 mesi di stagionatura, le temperature medie del magazzino sono:
 - o 18–20°C in estate
 - o 12°C in inverno
 - o con un'umidità relativa (U.R.) compresa tra 80% e 85%
- Da 1 a 2 anni di stagionatura, le condizioni cambiano leggermente:
 - o 16–18°C in estate
 - o 10°C in inverno
 - o con 80–85% di U.R. costante

Durante tutta la stagionatura, le forme di formaggio devono essere curate regolarmente. Le principali operazioni sono la voltatura (girare le forme) e la spazzolatura per mantenerle pulite. Questi interventi sono più frequenti nei primi 12–15 mesi, quando il formaggio è più delicato e richiede maggiore attenzione (Nocetti , Reverberi , Alloisio, & Stroppa , 2011).



Figura 10- Stagionatura (Parmigiano Reggiano prodotto di montagna)

La maturazione del Parmigiano Reggiano è il risultato di un complesso insieme di processi biochimici, guidati dall'azione combinata di enzimi provenienti dal latte, dal caglio e dai microrganismi. La loro attività è fortemente influenzata dalle condizioni ambientali, che evolvono costantemente durante la trasformazione della cagliata da massa fresca a formaggio stagionato pronto per il consumo. Parametri come temperatura, umidità relativa (U.R.), ventilazione delle celle di stagionatura e diffusione del sale all'interno della forma regolano direttamente l'attività enzimatica e microbica. Quest'ultima, a sua volta, dipende sia dalla composizione della microflora presente nella cagliata, sia dalla tipologia e dalla quantità di caglio impiegato durante la lavorazione (Mucchetti & Neviani, 2006).

La produzione di formaggio non può avvenire senza l'impiego di specifiche specie di batteri lattici, che svolgono un ruolo fondamentale nella fermentazione del lattosio e nella formazione dell'acido lattico. Oltre a contribuire all'acidificazione, questi microrganismi partecipano anche alla sintesi di composti aromatici che influenzano il profumo e il sapore del formaggio durante la maturazione.

Nel caso del Parmigiano Reggiano, i principali batteri lattici termofili coinvolti sono:

- *Streptococcus thermophilus*
- *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* e *bulgaricus*
- *Lactobacillus helveticus*

(Cogan & Parente, 2004)

Questi microrganismi, introdotti principalmente tramite il sieroinnesto naturale, sono essenziali per l'equilibrio microbico e per l'evoluzione biochimica che caratterizza la stagionatura. Essi agiscono sia direttamente, attraverso la loro attività metabolica, sia indirettamente, grazie al rilascio di enzimi successivo alla loro autolisi. Il formaggio è un alimento biochimicamente dinamico, soggetto a profonde trasformazioni durante la maturazione (McSweeney & Sousa, 2000). Le proteine, i grassi e i carboidrati vengono metabolizzati da enzimi di origine microbica e da quelli residui del caglio. In particolare, la proteolisi rappresenta il processo più rilevante: contribuisce sia alla formazione del sapore e dell'aroma, sia alla definizione della consistenza della pasta. Altri processi, come la lipolisi, il metabolismo del lattosio residuo, del citrato e la sintesi di composti volatili, svolgono un ruolo complementare nella costruzione del profilo aromatico del Parmigiano Reggiano (Grappin & Beuvier, 1997) (McSweeney & Sousa, 2000).

1.3.4.2 Proteolisi

L'evento biochimico più importante che si verifica durante la maturazione del formaggio è la proteolisi. Un parametro comunemente utilizzato per la sua quantificazione è l'indice di maturazione, che rappresenta la quantità di caseina che viene idrolizzata durante il processo di maturazione. I principali enzimi proteolitici coinvolti nel processo di proteolisi del Parmigiano Reggiano provengono dal latte (proteasi endogene e da microrganismi avventizi), dal caglio, dai batteri lattici termofili aggiunti al sieroinnesto naturale e dalle cellule somatiche. La loro attività è influenzata dalle condizioni di lavorazione applicate durante la caseificazione e la stagionatura (Franceschi, Malacarne, Formaggioni, Faccia, & Summer, 2021).

Secondo alcuni studiosi tale fenomeno può essere diviso in Proteolisi primaria e secondaria.

- La proteolisi primaria deriva principalmente dal caglio residuo, anche se i batteri lattici non hanno un'elevata attività proteolitica possiedono degli enzimi proteasi che gli permettono di degradare la caseina.

- La proteolisi secondaria avviene principalmente a opera di batteri lattici che liberano amminoacidi, l'entità di questo fenomeno si valuta in funzione della quantità di azoto.

(Grappin, Rank, & Olson , 1985)

1.3.4.3 Lipolisi

La lipolisi è il processo biochimico mediante il quale i trigliceridi vengono scissi in glicerolo, acidi grassi liberi (FFA) e mono- o diacilgliceridi, grazie all'azione di enzimi lipolitici come lipasi ed esterasi. Nei formaggi, la lipolisi è un evento cruciale durante la maturazione, poiché gli acidi grassi a catena corta e media derivanti da questo processo contribuiscono direttamente allo sviluppo dell'aroma, oppure fungono da precursori di ulteriori composti aromatici (Collins, McSweeney, & Wilkinson, 2003).

Durante la maturazione del Parmigiano-Reggiano, gli enzimi lipolitici, in particolare le lipasi di origine batterica, liberano quantità variabili di acidi grassi liberi. La successiva degradazione ossidativa di questi acidi grassi può portare alla formazione di composti carbonilici a basso peso molecolare, che contribuiscono significativamente all'aroma del formaggio, soprattutto quando derivano da acidi grassi insaturi. Nella figura 12 è rappresentato l'andamento della lipolisi nel Parmigiano-Reggiano, I dati evidenziano come, nel corso dei primi due anni di stagionatura, la percentuale di acidi grassi liberi aumenti progressivamente, passando da meno dell'1% al primo mese, fino a raggiungere il 3,3% dopo 18 mesi e il 4,2% a 24 mesi di maturazione (Malacarne, 2006).

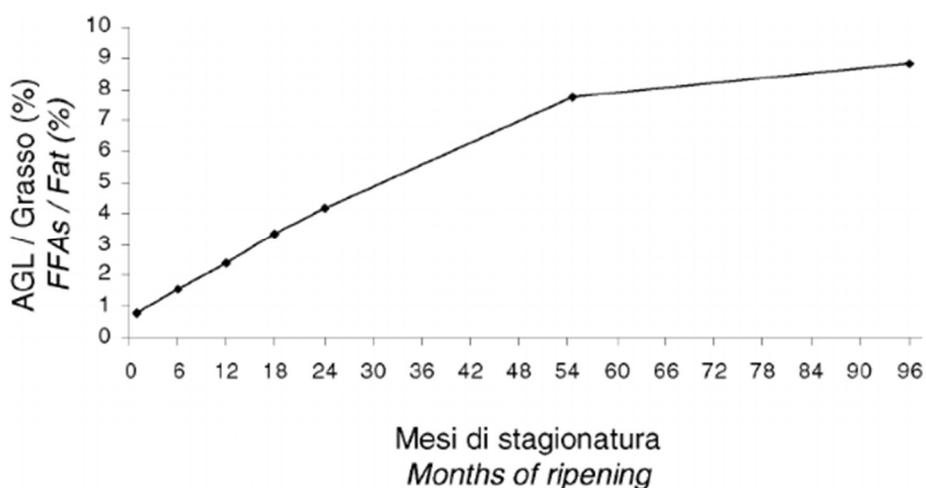


Figura 11-Indice di lipolisi del formaggio Parmigiano-Reggiano nel corso della stagionatura: valore espresso come proporzione del contenuto totale di acidi grassi liberi (AGL)rispetto al contenuto di grasso del formaggio (Malacarne, 2006).

1.4 Caratteristiche chimico-fisiche

1.4.1 Umidità

Durante la stagionatura del Parmigiano Reggiano si osserva una progressiva diminuzione dell'umidità del formaggio. Subito dopo l'estrazione della massa caseosa dalla caldaia, l'umidità si aggira intorno al 39%. Con il progredire della maturazione, tale valore si riduce sensibilmente: si rilevano valori medi del 32% e del 31% rispettivamente a 18 e 24 mesi di stagionatura, considerati stadi di maturazione "commerciale". Il calo più marcato dell'umidità si verifica nei primi 6 mesi, durante i quali si registra una perdita di circa 6 punti percentuali, fino a raggiungere un valore intorno al 33%. Nelle forme a lunga stagionatura, classificate come "vecchie" (38 mesi) e "stravecchie" (55 e 96 mesi), l'umidità continua a diminuire, raggiungendo il valore minimo di circa 27% a 55 mesi. Questo dato è interpretato come rappresentativo dell'umidità strettamente legata alla caseina, presente sotto forma di acqua di solvatazione, e quindi non più eliminabile con la sola stagionatura (Malacarne, 2006).

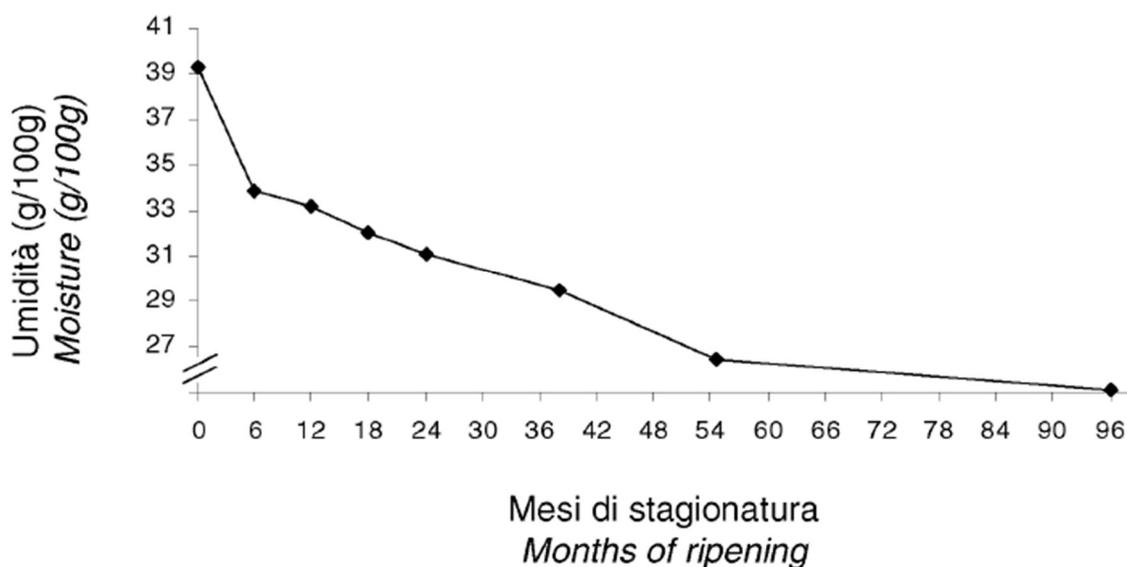


Figura 12-Variatione dell'Umidità nel Parmigiano Reggiano nel corso della maturazione (Mucchetti & Neviani, 2006).

1.4.2 pH

Durante la stagionatura del Parmigiano Reggiano, il valore del pH del formaggio, misurato direttamente nella pasta, mostra un andamento caratteristico: inizialmente tende ad aumentare,

partendo dall'estrazione fino a circa 6 mesi di stagionatura. In questa fase, l'aumento del pH è attribuibile principalmente alla formazione di composti azotati a carattere basico, come l'ammoniaca, prodotti durante la proteolisi, e al catabolismo dell'acido lattico. Dal sesto mese fino ai 24 mesi, il pH si stabilizza intorno a valori di 5,37–5,38. Tuttavia, dopo i due anni di stagionatura, si osserva una progressiva diminuzione del pH, che raggiunge il valore di 5,22 nelle forme stagionate fino a 55 mesi. Questo calo viene associato alla continua liberazione di acidi grassi, che diventa l'elemento predominante nel metabolismo del formaggio una volta che la proteolisi si arresta (Malacarne, 2006). Le osservazioni sono in parte confermate da altri studi, come quello di Zapparoli e Dugoni, i quali evidenziano un incremento del pH nei primi 5–6 mesi, seguito da un calo già a partire dal nono mese. Tuttavia, in questo studio il decremento si manifesta più tardi, dopo il ventiquattresimo mese, coerentemente con la progressiva prevalenza delle reazioni lipolitiche nel tempo (Zapparoli & Dugoni, 1997).

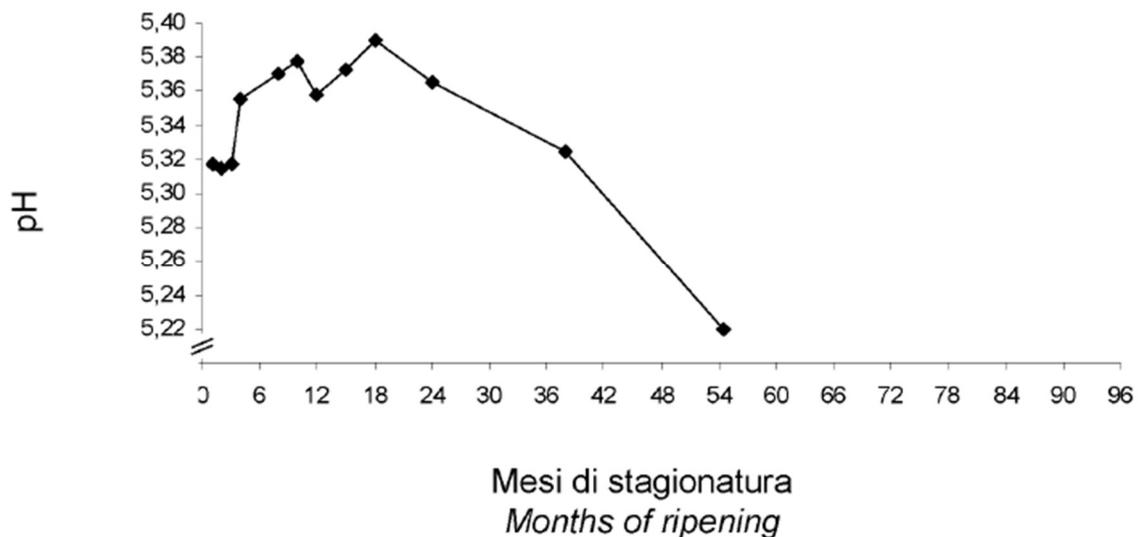


Figura 13-Variazione di pH all'aumentare del tempo di stagionatura (Malacarne, 2006).

1.4.3 Contenuto in Sale-NaCl

Nel corso della stagionatura del Parmigiano Reggiano, il contenuto di cloruro di sodio (NaCl) mostra un andamento crescente, sia se espresso sul tal quale, sia — in modo più significativo dal punto di vista biochimico — in rapporto alla quantità di acqua presente nel formaggio. Quest'ultimo parametro, noto come "salinità della fase acquosa", è particolarmente rilevante perché influisce direttamente sull'attività enzimatica, soprattutto quella degli enzimi proteolitici coinvolti nei processi di maturazione. Subito dopo l'estrazione dalla caldaia, il contenuto di NaCl sull'acqua del formaggio è molto basso (0,10 g/100g), ma aumenta rapidamente fino al primo mese, raggiungendo 2,64 g/100g,

in corrispondenza del completamento della salatura. Successivamente, la concentrazione di sale continua a salire, sebbene in modo più graduale, a causa della progressiva perdita di umidità. A 24 mesi la salinità dell'acqua raggiunge i 4,80 g/100g, per poi crescere ulteriormente fino a 6,01 g/100g a 38 mesi, 6,20 g/100g a 55 mesi e infine 7,85 g/100g a 96 mesi di stagionatura. Questo incremento continuo della salinità nella fase acquosa è una diretta conseguenza del calo dell'umidità nella pasta, che concentra i sali residui, modificando così l'ambiente chimico nel quale avvengono le reazioni enzimatiche e contribuendo a modulare la velocità e l'intensità dei fenomeni di maturazione (Malacarne, 2006).

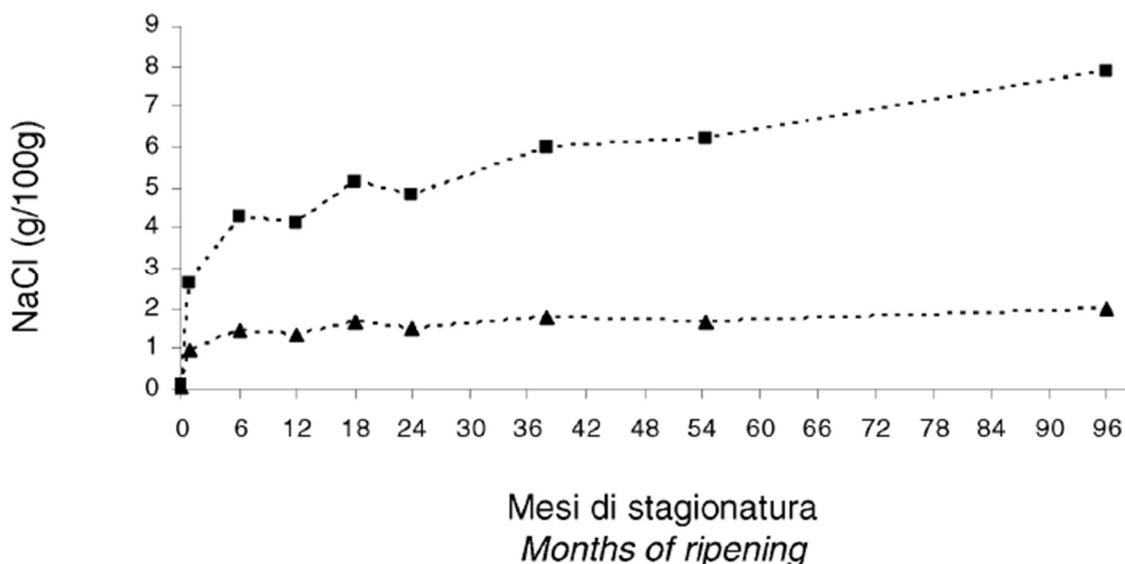


Figura 14-Variazione contenuto NaCl nel Parmigiano Reggiano nel corso della maturazione (Malacarne, 2006).

1.5 Caratteristiche nutrizionali

Il Parmigiano Reggiano è un formaggio stagionato caratterizzato da una composizione nutrizionale molto concentrata. Per ogni 100 grammi di prodotto, si trovano circa il 32% di proteine e il 30% di lipidi, rendendolo una fonte significativa di nutrienti essenziali. La quota d'acqua si aggira intorno al 31%, il che contribuisce a rendere il formaggio particolarmente ricco di sostanze secche e ad alto valore energetico, con un apporto calorico intorno alle 400 kcal per 100 grammi (Arsenio, Bernasconi, Cioni, & Nocetti, 2015).

1.5.1 Proteine

Le proteine presenti nel Parmigiano Reggiano hanno un'elevata qualità biologica, addirittura superiore a quella della carne bovina con un indice pari a 93, a confronto con valori inferiori riscontrabili in altri alimenti proteici come la carne di manzo (69), di vitello (62) o il pane (50) (Garini, Verducci, Scaglioni, & Bernasconi, 2007). Contengono tutti gli amminoacidi essenziali in proporzioni ideali per il nostro organismo e, grazie al processo di maturazione, risultano più digeribili rispetto ad altri alimenti proteici, questa caratteristica rende il formaggio facilmente digeribile: 100 grammi di Parmigiano Reggiano vengono digeriti in circa 40 minuti, inoltre durante la stagionatura si sviluppano peptidi bioattivi che possono avere effetti positivi sulla salute (Arsenio, Bernasconi, Cioni, & Nocetti, 2015). Dal punto di vista proteico, il Parmigiano Reggiano contiene una miscela costituita da caseina intera, peptidi di diversa lunghezza e amminoacidi liberi. Durante la digestione, queste tre forme vengono assorbite a velocità differenti permettendo un rilascio graduale degli amminoacidi e un migliore utilizzo metabolico (Strata, 1993).

1.5.2 Lipidi

Il contenuto lipidico, pari in media al 29,7%, è inferiore a quello proteico, rendendo il Parmigiano un formaggio semigrasso. Tuttavia, dal punto di vista nutrizionale, i grassi presenti sono molto preziosi. Nel corso della stagionatura, parte della componente lipidica si modifica, portando al rilascio di acidi grassi liberi che risultano più facilmente assorbibili. Una buona parte dei grassi saturi è costituita da acidi a corta e media catena (da C4 a C10), facilmente metabolizzabili e capaci di fornire energia rapidamente, poiché seguono vie metaboliche diverse rispetto agli acidi a lunga catena (Strata, 1993) (Arsenio & Strata, Alimentazione ed esercizio fisico, 1995). Inoltre, all'interno della frazione grassa si trovano fosfolipidi ad azione antiossidante – come la fosfatidilserina, la sfingomieline e il suo derivato sfingosina – oltre a isomeri coniugati dell'acido linoleico (CLA), ai quali sono attribuiti effetti protettivi contro lo sviluppo di tumori, proprietà antiossidanti e un ruolo positivo nella regolazione del metabolismo e del sistema immunitario (Branti & Teschemacher, 1994).

1.5.3 Carboidrati

Il contenuto di carboidrati è estremamente basso. Analisi condotte tramite cromatografia ad alta risoluzione su campioni provenienti da diverse zone e con diverse stagionature hanno rilevato un livello di lattosio compreso tra valori non rilevabili e 0,39 mg/100 g. Questo consente di classificare il Parmigiano Reggiano tra i formaggi privi di lattosio, secondo le linee guida europee relative alla formulazione dei lattici per l'infanzia (Coppa, 2007).

1.5.4 Vitamine e Sali Minerali

Tra le vitamine del gruppo B, spiccano in quantità rilevanti la B2, la B6 e la B12. Per quanto riguarda le vitamine liposolubili, si mantiene una buona concentrazione di vitamina A (Strata , 1993) (Arsenio & Strata, Alimentazione ed esercizio fisico , 1995). Sebbene le concentrazioni vitaminiche possano variare con la stagionatura, esse risultano generalmente sufficienti a coprire una parte importante del fabbisogno giornaliero, sia nei bambini che negli adulti (Garini, Verducci, Scaglioni , & Bernasconi, 2007) (Arsenio & Strata, 1995) (Strata , 1993).

In merito ai sali minerali, il Parmigiano Reggiano si distingue per il suo elevato contenuto di calcio, pari a 1155 mg per 100 g, presente sotto forma di lattato, quindi altamente biodisponibile. La presenza di caseinofosfopeptidi (CPP), rilasciati durante la proteolisi, favorisce l'assorbimento intestinale del calcio, fondamentale per la salute ossea (Arsenio & Strata, 1995) (Strata , 1993).

PARTE SPERIMENTALE

Capitolo 2- Materiali e Metodi

2.1-Campioni di Parmigiano Reggiano

In questa sperimentazione sono state valutate 184 punte di Parmigiano Reggiano stagionate 12 mesi, 62 punte di Parmigiano Reggiano stagionate 24 mesi e 43 punte di Parmigiano Reggiano stagionate 40 mesi provenienti da diversi caseifici appartenenti al consorzio e conferiti presso il Campus di Scienze degli Alimenti di Cesena a intervalli di tempo, divisi in più gruppi sulla base del caseificio di produzione.

2.2 Preparazione dei campioni

Tutte le analisi sono state svolte utilizzando come campioni le porzioni centrali della forma ricevuta; come prima fase sono state rimosse due zone della forma ad una distanza di 6 cm dalla crosta ‘laterale/verticale’ e di 3 cm da quella ‘superficiale/orizzontale’, come mostrato nella figura 15, dopo di che sono stati ricavati 12 pezzi per ogni forma per poter svolgere 4 tipologie di analisi differenti, per ognuna di queste sono state prese in considerazione 3, tali campioni sono caratterizzati da misure ben definite:

- 3 campioni dalle dimensioni di 6x2x2 cm al fine di svolgere come test il *three point bending* (TPB);
- 3 campioni di dimensioni 2x2x2 per svolgere il test di taglio;
- 3 campioni di dimensioni 2x2x2 per svolgere il test di penetrazione;
- 3 campioni di dimensioni 2x2x2 per svolgere il test di penetrazione con il *fruit texture analysis*;
- 3 campioni di dimensioni 2x2x2 per svolgere il test di penetrazione con il penetrometro manuale.

Dopo avere tagliato i campioni nelle varie misure, questi sono stati condizionati a temperatura ambiente (25°C) per circa un’ora, passaggio fondamentale al fine di avere una standardizzazione di tutti i campioni e di garantire un risultato dell’analisi corretto.



Figura 15- Preparazione del campione allo svolgimento delle analisi.

2.3 Determinazioni analitiche

2.3.1 Composizione chimica del Parmigiano Reggiano

Per i campioni di Parmigiano Reggiano con stagionature di 12, 24 e 40 mesi, sono stati determinati il contenuto in proteine, sale, acqua e grassi del Parmigiano Reggiano è stato determinato utilizzando i Metodi Ufficiali AOAC (Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, OMA). Tali metodi rappresentano un riferimento riconosciuto a livello internazionale per l'analisi chimica e microbiologica degli alimenti e garantiscono risultati affidabili e comparabili. La loro validità è ulteriormente confermata dall'adozione, da parte di organismi internazionali come ISO, IDF, IUPAC e Codex Alimentarius, di numerosi protocolli AOAC come standard ufficiali per la caratterizzazione dei prodotti alimentari. In questo studio, l'applicazione dei metodi AOAC ha consentito di ottenere una valutazione accurata della composizione chimica del Parmigiano Reggiano, parametro fondamentale per comprendere l'evoluzione delle sue caratteristiche in funzione della stagionatura.

2.3.2 Attività dell'acqua

Per i campioni di Parmigiano Reggiano con stagionature di 12, 24 e 40 mesi, l'attività dell'acqua è stata misurata utilizzando un igrometro a punto di rugiada AcquaLab-Water Activity Meter mod. SERIES 3TE (Decagon Device, Inc., Nelson Court, NE), posizionando 5 g di campione opportunamente grattugiato sul fondo del porta-campione, ed effettuando 3 repliche per ogni campione.



Figura 16- Analisi dell'*aw*-attività dell'acqua.

2.3.4 Three point bending test

Per i campioni di Parmigiano Reggiano con stagionature di 12, 24 e 40 mesi, la texture è stata misurata tramite il Three Point Bending Test (TPB). Per questa analisi è stato usato lo strumento Texture Analyser TA.HDi500 (Stable Micro Systems, Surrey, U.K.) equipaggiato con il *3-Point Bending Rig* (figura 20).

I due supporti regolabili del piatto di base dello strumento sono posti ad una opportuna distanza per sorreggere il campione (40 mm); questa distanza deve essere mantenuta costante durante tutta la prova. Il piatto di base viene fissato nella piattaforma di lavoro, la quale è sistemata e bloccata in una posizione tale che la lama superiore sia equidistante dai due supporti inferiori. Il campione viene posto nel centro del supporto appena prima di compiere l'analisi.

Una volta avviato il test, la forza aumenta fino al momento in cui il campione viene fratturato e si rompe in due pezzi.

Le impostazioni operative sono state le seguenti:

- Cella di carico: 25 kg;
- Calibrazione *probe*: 30 mm, 100g;
- Velocità pre-test: 10 mm/s;

- Velocità del test (discesa della sonda): 0,83 mm/s;
- Velocità post-test: 1 mm/s.

L'analisi è stata condotta fino alla rottura del campione, avente in questo caso forma di parallelepipedo, con dimensioni pari a 6 x 2 x 2 cm.



Figura 17- Three point bending test.

Dal dinamogramma di quest'analisi sono stati ottenuti i seguenti parametri:

- Forza massima (kg) dal valore corrispondente al picco massimo della curva;
- Fratturabilità (1/mm), ottenuta dal rapporto tra 1 e la distanza espressa in mm dal punto 0, ovvero la distanza in mm dal punto in cui il macchinario registra un contatto con il campione (in quanto inizia ad esercitare una forza maggiore rispetto l'istante precedente) fino al momento in cui avviene la rottura del campione (graficamente questo punto coincide con il valore della curva);

2.3.5 Test di taglio

Con questa tipologia di test lo sforzo che si applica ha una componente di sforzo di taglio e una piccola componente di sforzo di compressione, la sonda utilizzata è una lama piatta posta perpendicolarmente al campione a discesa costante fino a che non si arriva ad 1 cm dalla superficie del campione, come mostrato nella figura 19.



Figura 18- Test di taglio con Texture Analyser.

I campioni utilizzati per questo tipo di test sono quelli aventi dimensioni 2 cm x 2 cm.

Le impostazioni utilizzate per il test di taglio sono state le seguenti:

- Cella di carico: 25 kg;
- Calibrazione *probe*: 30 mm, 100 g;
- Velocità pre-test: 10 mm/s;
- Velocità del test (discesa della sonda): 0.83 mm/s;
- Velocità post-test: 1.00 mm/s.

Per ogni campione sono state eseguite 3 repliche.

Dal dinamogramma ottenuto da questo test, è stato estrapolato il parametro relativo alla durezza (N) del prodotto, che rappresenta la massima resistenza che il prodotto appone alla rottura. Questo valore è rappresentato graficamente come il picco di forza massima registrato durante il test.

2.3.6 Comparazione nei metodi di misurazione della texture

Per i soli campioni di 12 mesi di stagionatura, la texture è stata valutata con 3 differenti test, per valutare la loro correlazione.

2.3.6.1 Test di penetrazione

Il test di penetrazione si basa sull'utilizzo di una sonda cilindrica con una testa a forma di lama di coltello tipica dei formaggi, la lama entra all'interno del campione (1 cm di profondità) e si misura la forza necessaria alla penetrazione, quindi la tenacia della superficie del campione e della sua struttura interna (Chen, Larkin, Clark, & Irwin, 1979). Tale test è stato eseguito sui campioni di dimensioni 2x2x2 cm con tre strumenti diversi: il texture analysis Stable Micro Systems TA-I-Di, il fruit texture

analysis GUSS e con il penetrometro, come mostrato nelle figure 16, 17 e 18. Le impostazioni operative sono state le seguenti:

- Cella di carico: 25 kg;
- Calibrazione *probe*: 30 mm, 100g;
- Velocità pre-test: 10 mm/s;
- Velocità del test (discesa della sonda): 0,83 mm/s;
- Velocità post-test: 1 mm/s.

Questi valori valgono per i due macchinari in cui la forza esercitata è stata calcolata in kg, e con la stessa unità di misura si è tenuto conto della forza applicata con il penetrometro.



Figura 19- Test di penetrazione con Texture Analyser.



Figura 20- Test di penetrazione di Fruit texture Analyser.



Figura 21-Test di penetrazione con Penetrometro.

2.4 Analisi statistica

I dati sperimentali sono stati analizzati in triplicato mediante analisi della varianza (ANOVA) utilizzando il software SPSS (versione 20.0, IBM, Armonk, USA). Per l'individuazione delle differenze statisticamente significative tra le medie dei campioni, relative a ciascun strumento di misurazione, è stato applicato il test post hoc di Duncan, considerando un livello di significatività di $p < 0,05$.

La relazione tra i campioni appartenenti a diverse stagionature è stata valutata attraverso l'analisi multivariata delle componenti principali (PCA), mentre la correlazione tra i tre strumenti impiegati è stata indagata tramite la costruzione di una matrice di *scatterplot*. In quest'ultima, l'inserimento di una linea di regressione ha permesso di evidenziare con maggiore chiarezza l'andamento e la tendenza dei dati.

Capitolo 3 – Risultati e discussione

3.1 Effetto del tempo di stagionatura

3.1.1 Composizione chimico-nutrizionale dei campioni

La tabella 2 riporta i valori di attività dell'acqua e di contenuto in acqua, grassi, sale e proteine dei campioni di Parmigiano Reggiano ai tre diversi tempi di stagionatura. L'attività dell'acqua e il contenuto di acqua rappresentano due parametri distinti, che descrivono aspetti diversi della presenza di acqua negli alimenti. L'attività dell'acqua (a_w) esprime la disponibilità e la mobilità dell'acqua all'interno della matrice, ovvero quanto essa sia libera di partecipare a reazioni biochimiche o di essere utilizzata dai microrganismi. L'acqua non è tutta ugualmente accessibile, poiché una parte risulta legata a proteine, sali e lipidi, e questa interazione riduce la sua disponibilità. Di conseguenza, più l'acqua è trattenuta da legami forti, minore sarà il valore di a_w . Questo parametro è fondamentale perché i microrganismi hanno esigenze molto specifiche in termini di attività dell'acqua: i batteri patogeni, ad esempio, richiedono valori piuttosto alti, mentre lieviti e muffe riescono a crescere anche a valori inferiori.

Il contenuto di acqua, invece, indica semplicemente la quantità totale di acqua presente nel prodotto, espressa su base umida (in rapporto al peso del prodotto tal quale) o su base secca (in rapporto alla sostanza secca). Si tratta quindi di un parametro di natura quantitativa, che non fornisce informazioni sulla reale disponibilità dell'acqua.

Nel caso del Parmigiano Reggiano, il prolungarsi della stagionatura determina una progressiva perdita di acqua per evaporazione. Tale fenomeno comporta una diminuzione sia del contenuto totale di acqua sia dell'attività dell'acqua. Questo avviene perché la frazione di acqua che si perde è quella cosiddetta "libera", mentre l'acqua che rimane nella matrice è quella maggiormente legata ai componenti strutturali del formaggio. Sia l'attività dell'acqua che il contenuto in acqua diminuiscono con il passare dei mesi di stagionatura, anche se tra 24 e 40 mesi il valore di a_w rimane invariato. Questa diminuzione ha conseguenze rilevanti: da un lato contribuisce ad aumentare la stabilità microbiologica, garantendo sicurezza e prolungata shelf-life, dall'altro influisce sulla struttura del formaggio, favorendo la formazione della tipica texture compatta e granulosa che caratterizza il Parmigiano Reggiano maturo.

Tabella 2- Risultati di analisi chimico-fisiche del Parmigiano Reggiano a differenti mesi di stagionatura.

Mesi	Acqua (g/100g)	Grassi (g/100g)	Sale (g/100g)	Proteine (g/100g)	aw
12	32,38±0,9 ^a	31,3 ±1,45 ^c	1,43±0,16 ^c	30,16±0,9 ^c	0.93±0.01 ^a
24	29,55±0,8 ^b	32,01±1,48 ^b	1,55±0,19 ^b	31,92±1 ^b	0.90±0.02 ^b
40	26,42±0,9 ^c	33,7±1,71 ^a	1,64±0,22 ^a	33,46±1,09 ^a	0.89±0.02 ^b

Lettere diverse indicano differenze significative ($p < 0,05$) secondo il test di Duncan.

Il contenuto degli altri componenti, quali grassi, sale e proteine, risulta significativamente aumentare con il tempo di maturazione. Questo andamento è legato, per tutti e tre i componenti, alla perdita di acqua che avviene durante la stagionatura. La quantità assoluta di grasso, proteine e sale rimane infatti pressoché invariata, ma la riduzione della componente acquosa fa sì che la loro concentrazione percentuale sul peso complessivo aumenti.

Oltre all'aspetto quantitativo, tuttavia, il progredire della stagionatura comporta importanti modificazioni qualitative: le proteine subiscono processi di proteolisi che liberano peptidi e amminoacidi, i quali contribuiscono sia al profilo sensoriale sia alla formazione della tipica struttura granulosa e friabile del Parmigiano Reggiano maturo.

L'aumento della concentrazione salina non solo incide sul profilo gustativo, rendendo il Parmigiano Reggiano più saporito con il tempo, ma influisce anche sulla conservabilità, perché il sale contribuisce a limitare lo sviluppo microbico e a favorire la stabilità del prodotto nel lungo periodo.

Infine, l'incremento relativo del contenuto lipidico, contribuisce a modificare la struttura del Parmigiano Reggiano, che con il tempo diventa più friabile e granuloso, oltre a favorire lo sviluppo del tipico profilo aromatico grazie alla liberazione di acidi grassi con struttura chimica che ne determina l'impatto aromatico.

Questo andamento è legato, per tutti e tre i componenti, alla perdita di acqua che avviene durante la stagionatura. La quantità assoluta di grasso, proteine e sale rimane infatti pressoché invariata, ma la riduzione della componente acquosa fa sì che la loro concentrazione percentuale sul peso complessivo aumenti.

Oltre all'aspetto quantitativo, tuttavia, il progredire della stagionatura comporta importanti modificazioni qualitative: le proteine subiscono processi di proteolisi che liberano peptidi e amminoacidi, i quali contribuiscono sia al profilo sensoriale sia alla formazione della tipica struttura granulosa e friabile del Parmigiano Reggiano maturo.

L'aumento della concentrazione salina non solo incide sul profilo gustativo, rendendo il Parmigiano Reggiano più saporito con il tempo, ma influisce anche sulla conservabilità, perché il sale contribuisce a limitare lo sviluppo microbico e a favorire la stabilità del prodotto nel lungo periodo.

Infine, l'incremento relativo del contenuto lipidico, contribuisce a modificare la struttura del Parmigiano Reggiano, che con il tempo diventa più friabile e granuloso, oltre a favorire lo sviluppo del tipico profilo aromatico grazie alla liberazione di acidi grassi con struttura chimica che ne determina l'impatto aromatico.

3.2 Texture

Oltre il test di penetrazione sopra descritto, i test effettuati sono stati: *cutting test*, TPB e fratturabilità.

Nel complesso, la letteratura evidenzia che:

- la forza massima di penetrazione correla positivamente con la percezione sensoriale di durezza;
- la forza di taglio è associata alla resistenza al morso percepita;
- il modulo elastico, determinato con test TPB, risulta correlato con la friabilità e la croccantezza tipiche dei formaggi stagionati.

(Chen, Larkin, Clark, & Irwin, 1979).

Nella Tabella 5 sono riportati i valori medi e le relative deviazioni standard dei diversi test effettuati sui campioni.

Tra i parametri considerati, il risultato più evidente riguarda il test di three point bending (TPB), che misura la forza massima necessaria a provocare la rottura del campione. Si osserva infatti un incremento progressivo della forza massima con l'avanzare della maturazione: i campioni a 12 mesi mostrano valori medi di 2,92 N, che aumentano a 4,10 N nei campioni a 24 mesi, fino a raggiungere 4,99 N nei campioni stagionati 40 mesi. Questo andamento mette in luce una maggiore resistenza meccanica del Parmigiano Reggiano con il progredire della stagionatura, fenomeno attribuibile alla riduzione del contenuto di umidità e alla conseguente maggiore compattezza della struttura caseinica. Anche il test di taglio (Cut test) evidenzia un chiaro effetto della stagionatura: i campioni a 12 mesi presentano un valore medio di durezza sensibilmente inferiore (0,70) rispetto a quelli a 24 (0,94) e 40 mesi (0,96), che non risultano significativamente diversi tra loro. Ciò suggerisce che la principale variazione si verifichi nella fase iniziale della maturazione, mentre oltre i 24 mesi l'aumento di durezza tende a stabilizzarsi.

Diversamente, la fratturabilità non mostra differenze significative tra i tre gruppi, con valori che rimangono pressoché costanti (0,23–0,26), indicando che questo parametro non è fortemente influenzato dall'incremento del tempo di maturazione.

Tabella 3- Risultati della texture del Parmigiano Reggiano a differenti mesi di stagionatura

Mese	Durezza (N)	Forza massima (kg)	Fratturabilità (1/mm)
12	0.70±0.23 ^b	2.92±0.84 ^c	0.26±0.10 ^a
24	0.94±0.13 ^a	4.1±0.96 ^b	0.23±0.04 ^a
40	0.96±0.11 ^a	4.99±0.71 ^a	0.24±0.06 ^a

Lettere diverse indicano differenze significative ($p < 0,05$) secondo il test di Duncan.

Osservando il grafico nella figura 22 che mostra la distribuzione della forza massima misurata con il test di three point bending (TPB) si può notare che nei campioni a 12 mesi i valori sono più bassi e variabili, segno di una consistenza ancora morbida e non del tutto uniforme. A 24 mesi si nota un aumento della resistenza, mentre a 40 mesi i valori sono ancora più alti e più stabili, il che indica una struttura più compatta e omogenea. Questi risultati si collegano direttamente alla texture del Parmigiano Reggiano. A 12 mesi il formaggio contiene più acqua e la rete proteica non è ancora completamente consolidata e questo lo rende più elastico e meno friabile. Con la stagionatura, l'acqua diminuisce e la matrice proteica si compatta grazie anche alla proteolisi, portando a un formaggio più duro e resistente. A 40 mesi la texture tipica del Parmigiano stagionato diventa evidente: il formaggio è più granuloso e friabile, caratteristiche che si riflettono nei valori più alti di forza necessaria per romperlo.

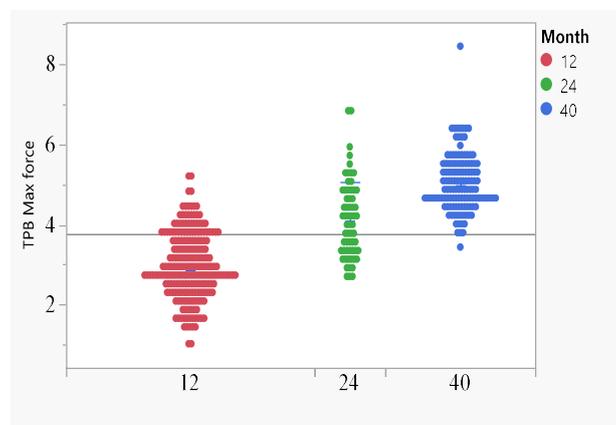


Figura 22-Forza massima (durezza) del Parmigiano Reggiano a differenti stagionature misurata attraverso TPB.

La figura 23 invece mostra la distribuzione dei valori di fratturabilità (Frac) nei campioni di Parmigiano Reggiano a 12, 24 e 40 mesi di stagionatura. Nei campioni a 12 mesi si osserva una maggiore variabilità: alcuni valori sono molto bassi, altri più alti, con punte che arrivano oltre 0,7. Questo indica che il formaggio giovane ha un comportamento meno uniforme, probabilmente perché la sua struttura non è ancora completamente stabilizzata. Nei campioni a 24 e 40 mesi, invece, i valori si concentrano in un intervallo più ristretto (circa 0,2–0,3), con minore dispersione rispetto ai 12 mesi.

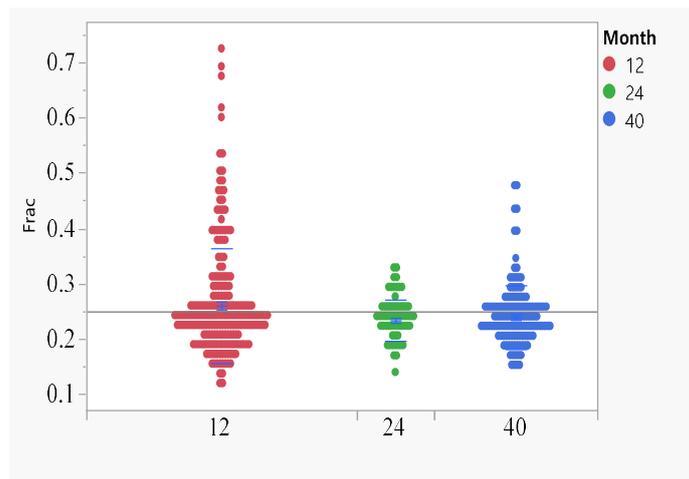


Figura 23- Fratturabilità (1/mm) del Parmigiano Reggiano a differenti stagionature.

Questo suggerisce che la fratturabilità, una volta superata la fase iniziale di maturazione, tende a stabilizzarsi e non mostra grandi differenze tra le stagionature più avanzate. Dal punto di vista della texture, la fratturabilità è collegata alla capacità del formaggio di rompersi sotto sforzo. Nei campioni giovani, più ricchi di acqua e con una rete proteica meno compatta, la struttura è meno prevedibile e più elastica, da cui deriva la maggiore variabilità. Nei campioni stagionati, invece, la disidratazione e la riorganizzazione della matrice caseinica portano a una consistenza più regolare: il formaggio risulta più duro ma con una fratturabilità uniforme, senza grandi differenze tra 24 e 40 mesi.

Infine, nella figura 31 viene mostrata la distribuzione dei valori di durezza misurata tramite test di taglio nei campioni di Parmigiano Reggiano in base al tempo di stagionatura. Il test di taglio misura la resistenza del formaggio al morso, cioè la forza necessaria per rompere la sua struttura. Come prevedibile, all'aumentare della stagionatura il Parmigiano Reggiano diventa più compatto e tenace, per cui serve una forza maggiore per ottenere il taglio. Il salto più evidente si osserva passando dai 12 ai 24 mesi: in questa fase, infatti, avvengono trasformazioni molto marcate nella microstruttura del formaggio. La proteolisi degrada le proteine, l'acqua residua diminuisce e la matrice caseinica si compatta, determinando un cambiamento netto della consistenza. Al contrario, tra i 24 e i 40 mesi le modifiche strutturali proseguono ma in maniera più graduale: la perdita di umidità è minore rispetto ai primi mesi e la rete proteica è già fortemente consolidata. Per questo motivo la differenza nella forza di taglio tra queste due stagionature risulta meno evidente rispetto a quella osservata tra 12 e 24 mesi.

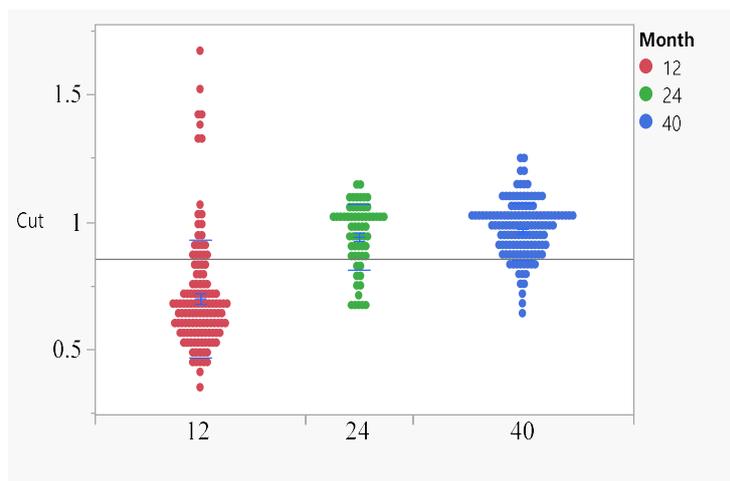


Figura 24-Risultato del test di taglio del Parmigiano Reggiano a differenti stagionature.

3.2.3 Analisi delle Componenti Principali-PCA

L'analisi delle componenti principali (PCA) è un metodo statistico che permette di riassumere molti dati in poche nuove variabili, dette componenti principali. In questo modo è possibile capire quali parametri influenzano di più le differenze tra i campioni e visualizzare più facilmente le relazioni tra di essi. Nell'ambito di questo progetto tesi questa analisi è stata condotta al fine di valutare le relazioni tra i parametri fisico-chimici e strutturali nei campioni di Parmigiano Reggiano a diverse stagionature (12, 24 e 40 mesi) (Figura 33). Le prime due componenti principali (PC1 e PC2) hanno spiegato complessivamente il 61,6% della variabilità totale, di cui il 48,6% attribuibile a PC1 e il 13,0% a PC2.

I campioni a 12 mesi (12M) si collocano prevalentemente sul lato negativo di PC1, mostrando una forte associazione con il contenuto di acqua (Acqua) e con l'attività dell'acqua (Aw). Tale risultato evidenzia come le forme più giovani siano caratterizzate da una maggiore ritenzione idrica e da una consistenza più morbida, in accordo anche con la loro parziale correlazione con la fratturabilità.

Al contrario, i campioni a 40 mesi (40M) si distribuiscono sul lato positivo di PC1, risultando strettamente associati alle proteine, ai grassi, al contenuto di sale e alla resistenza al taglio (TPB, forza massima). Ciò riflette come un prolungato periodo di stagionatura determini una matrice più asciutta e compatta, arricchita nei costituenti solidi e caratterizzata da una maggiore resistenza meccanica.

I campioni a 24 mesi (24M) occupano una posizione intermedia, prossima all'origine di PC1, a conferma del loro ruolo di fase di transizione tra il profilo tipico dei formaggi giovani (più umidi e friabili) e quello dei formaggi lungamente stagionati (più densi, ricchi di proteine e sali e con maggiore compattezza).

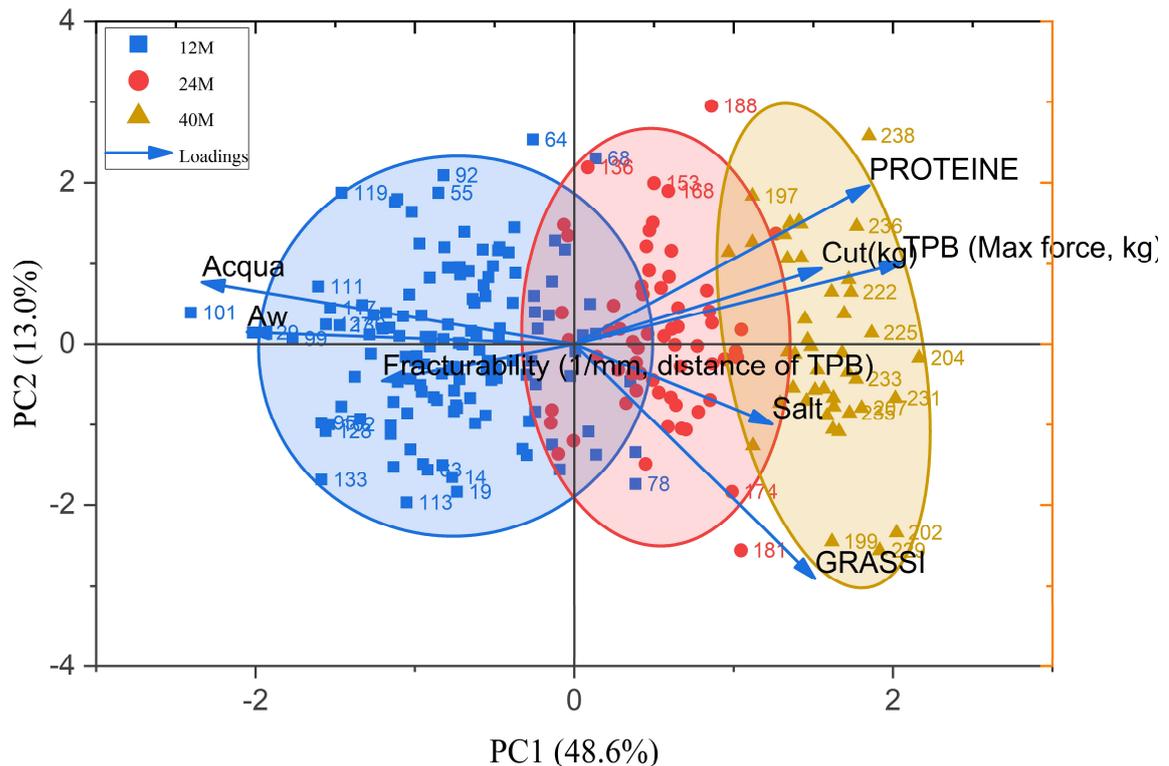


Figura 25-Analisi delle componenti principali (PCA) dei campioni di Parmigiano Reggiano a 12, 24 e 40 mesi di stagionatura.

L'orientamento dei vettori di carico mette in evidenza la forte correlazione negativa tra i parametri legati all'acqua (Acqua, Aw) e i componenti solidi (proteine, grassi, sale), nonché la resistenza meccanica. Tale relazione inversa conferma la progressiva riduzione dell'umidità durante la stagionatura, che comporta un arricchimento relativo dei macronutrienti e si traduce in una maggiore durezza e in una ridotta fratturabilità.

In sintesi, la PCA ha permesso di discriminare in maniera chiara le tre fasi di stagionatura, evidenziando la trasformazione graduale delle caratteristiche fisico-chimiche e strutturali del prodotto: nei campioni giovani prevalgono i parametri legati all'umidità, mentre con l'avanzare della maturazione diventano predominanti la concentrazione dei costituenti solidi e la compattezza della matrice.

3.3 Comparazione di metodi per la determinazione della texture

Il test di penetrazione è stato eseguito utilizzando tre strumenti differenti, con l'obiettivo di valutare l'eventuale correlazione tra il Texture Analyzer tradizionale (TA), il penetrometro (P) e il Fruit Texture Analyzer (FTA), quest'ultimo oggetto di particolare interesse durante il progetto per verificarne la validità come strumento da utilizzare in ambito aziendale.

In questo lavoro la prova è stata eseguita esclusivamente sui campioni a 12 mesi di stagionatura, confrontando i risultati ottenuti con tre strumenti diversi. Questo confronto è stato fondamentale per verificare se strumenti più semplici da trasportare e l'impiego di un probe specifico potessero fornire dati affidabili e comparabili con quelli ottenuti con apparecchiature più complesse.

3.3.1 Test di penetrazione

La texture rappresenta una delle caratteristiche sensoriali principali che influenzano significativamente l'accettabilità del formaggio. Essa è il risultato di molteplici fattori, tra cui le proprietà compositive (umidità, contenuto lipidico, proteico), le caratteristiche microstrutturali (come la rete caseinica e la distribuzione delle goccioline di grasso), i processi biochimici (proteolisi e lipolisi) e le condizioni fisiche di prova (temperatura, formato del campione).

Le misurazioni strumentali della texture sono fortemente influenzate da tali fattori: ad esempio, un elevato contenuto di umidità tende a ridurre la durezza e a incrementare la deformabilità del prodotto; il grasso agisce come plastificante, diminuendo la resistenza alla frattura; la proteolisi, attraverso la degradazione della matrice proteica, provoca una diminuzione della coesione e della durezza, alterando anche la percezione sensoriale; infine, la microstruttura, in particolare la distribuzione e la dimensione di vacuoli e globuli di grasso, determina il comportamento meccanico complessivo del formaggio.

Considerando l'interazione complessa tra questi fattori, è necessario standardizzare le condizioni di prova per ottenere risultati strumentali comparabili e affidabili. Le analisi strumentali vengono spesso integrate con valutazioni effettuate da panel sensoriali, al fine di correlare le proprietà fisiche misurate con la percezione umana.

(Chen, Larkin , Clark, & Irwin , 1979).

Le misure di penetrazione ottenute con i diversi strumenti (TA, P e FTA) evidenziano valori molto simili, sempre prossimi a 1,0, senza variazioni significative tra le tre stagionature considerate (Figura 25 e tabella 3). Questo suggerisce che la resistenza opposta dal formaggio alla penetrazione del coltello rimanga sostanzialmente invariata, indipendentemente dal grado di maturazione.

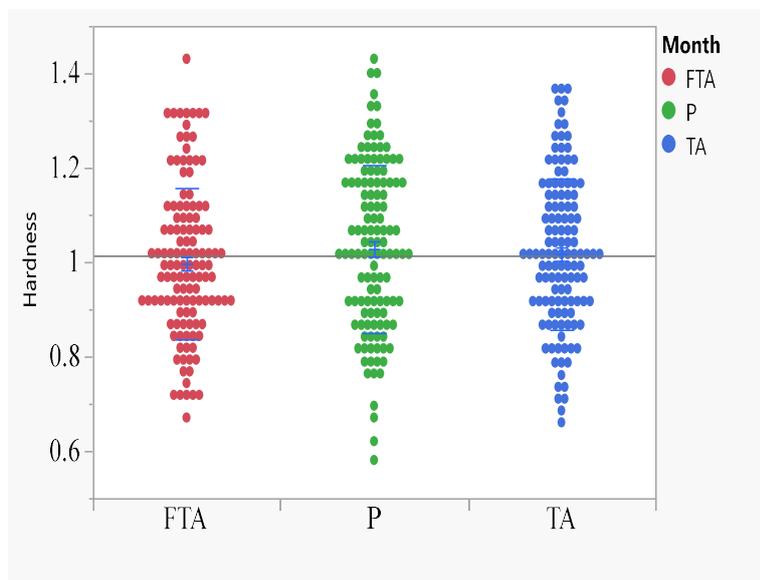


Figura 26- Test di penetrazione usando differenti strumenti di texture analyzer del Parmigiano Reggiano a differenti mesi di stagionatura.

Tabella 4- Risultati del test di penetrazione effettuato con diversi strumenti su campioni di Parmigiano Reggiano a differenti mesi di stagionatura.

Durezza in kg (Knife)	
TA	1.0±0.16 ^a
P	1.03±0.0.17 ^a
FTA	1.02±0.0.12 ^a

TA: Texture Analyser, P: penetrometro (manuale), FTA: fruit texture analyzer.

Lettere diverse indicano differenze significative ($p < 0,05$) secondo il test di Duncan

3.2.3.1 Correlazione tra Texture Analysis, FTA e penetrometro.

Per valutare la correlazione tra i risultati è stata realizzata una *scatterplot matrix* con fitting line, utile a descrivere l'andamento dei dati e le relazioni tra i tre strumenti per ogni gruppo di campioni.

I risultati sono riportati nelle figure 26, 27 e 28. Dall'osservazione della distribuzione emergono differenze sostanziali in termini di precisione e riproducibilità: il picnometro mostra una maggiore dispersione dei valori, con una variabilità più ampia, mentre TA e FTA producono dati più compatti e uniformi.

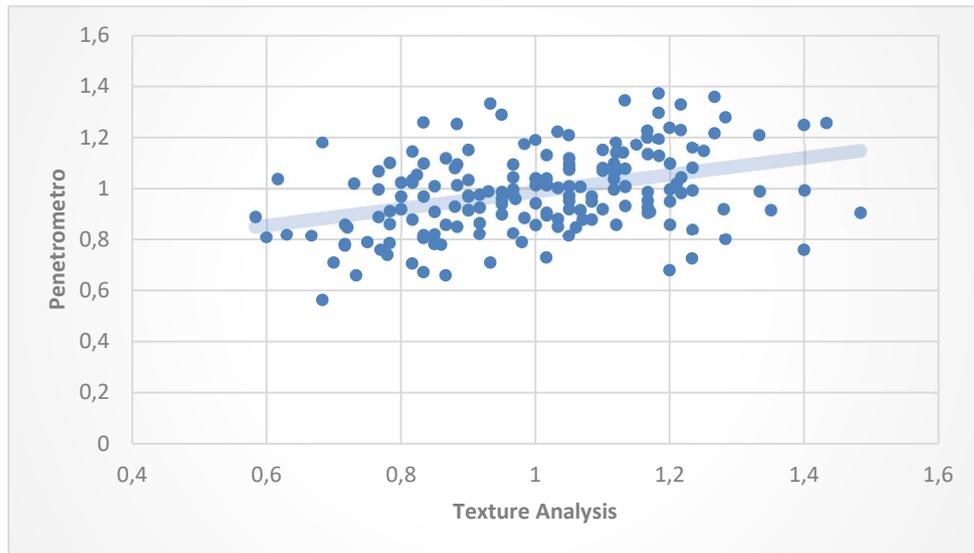


Figura 27-Correlazione tra penetrometro e texture analysis.

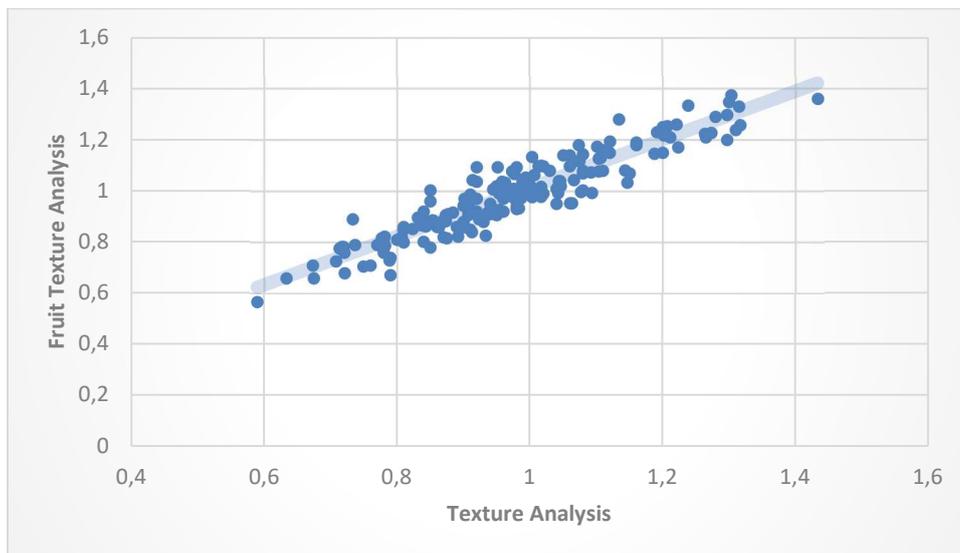


Figura 28- Correlazione tra FTA e texture analysis.

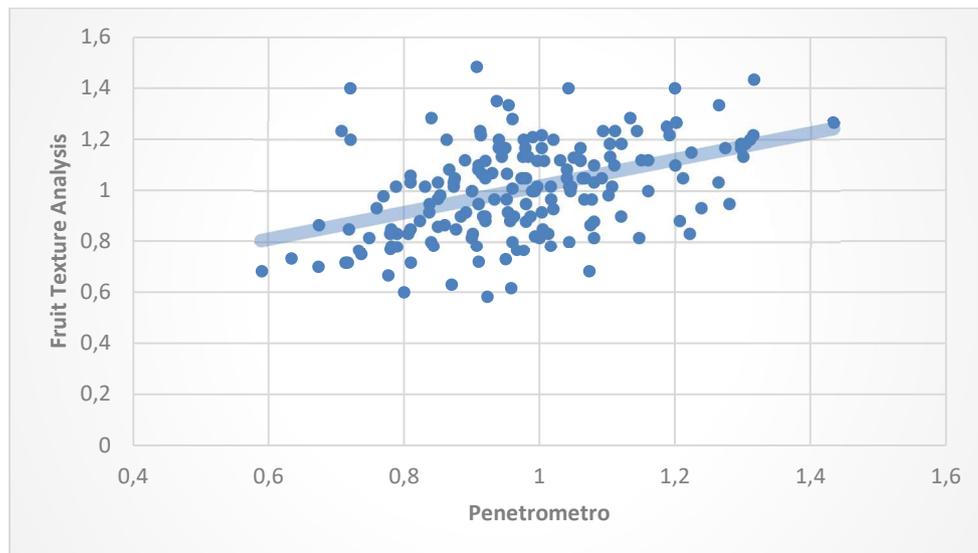


Figura 29-Correlazione tra penetrometro e FTA.

L'analisi statistica di correlazione i cui risultati sono riportati nella Tabella 4 ha confermato questi risultati, evidenziando una correlazione significativa soltanto tra TA e FTA, pari a 0.93. Ciò significa che, pur fornendo valori medi simili, i tre strumenti non garantiscono la stessa qualità e consistenza del dato sperimentale. In particolare, il Fruit-TA si conferma una valida e più pratica alternativa al TA tradizionale, mentre il picnometro, a causa della sua scarsa riproducibilità e della forte dispersione dei dati, non risulta idoneo per la valutazione della durezza del Parmigiano Reggiano.

Tabella 5- Correlazione delle texture del Parmigiano Reggiano a 12 mesi di stagionatura.

	12M FTA	12M P	12M TA
FTA	1.00		
P	0.32	1.00	
TA	0.93	0.22	1.00

TA: Texture Analyser, P: penetrometro (manuale), FTA: fruit texture analyzer.

Capitolo 4 – Conclusioni

Dai risultati emersi si può concludere che:

- riguardo al tempo di stagionatura, la diminuzione dell'attività dell'acqua risulta più marcata tra i 12 e i 24 mesi, periodo in cui si verificano i cambiamenti strutturali più rilevanti. Inoltre, i campioni a 12 mesi mostrano una maggiore variabilità rispetto a quelli più maturi, a conferma del fatto che, nelle fasi iniziali, la matrice alimentare è ancora in evoluzione e meno omogenea. Inoltre, i metodi più efficaci per discriminare la consistenza del formaggio in funzione della stagionatura sono risultati essere la determinazione della forza massima tramite Three Point Bending Test e della durezza tramite test di taglio.
- il confronto tra i tre strumenti per la misurazione della texture, ha mostrato che, considerando i valori medi, non emergono differenze significative tra di essi; tuttavia una correlazione significativa è stata riscontrata solo tra *Texture Analyser* e *Fruit Texture Analyser*. Sulla base di questi risultati, il Fruit-TA può essere considerato un'alternativa valida e più pratica rispetto al TA tradizionale, poiché fornisce valori medi sovrapponibili e una variabilità accettabile. Diversamente, il penetrometro non si è dimostrato idoneo in quanto ha prodotto dati caratterizzati da un'elevata dispersione e da una ridotta riproducibilità, limitandone l'impiego nello studio della durezza del Parmigiano Reggiano. Sarà comunque necessario ampliare le prove includendo un numero maggiore di campioni, sia a 12 mesi sia a stagionature più avanzate, così da validare pienamente l'approccio e valorizzarne l'applicabilità pratica.

Riferimenti

- Alloisio, V. (2011). *Manuale lattiero caseario-Formaggi a pasta molle*. Milano.
- Arsenio, L., & Strata, A. (1995). Alimentazione ed esercizio fisico .
- Arsenio, L., Bernasconi, S., Cioni, F., & Nocetti, M. (2015). Parmigiano Reggiano cheese: general and metabolic/nutritional aspects from tradition to recent evidences.
- Arsenio, L., Bernasconi, S., Cioni, F., & Nocetti, M. (2015). Parmigiano Reggiano cheese: general and metabolic/nutritional aspects from tradition to recent evidences.
- Branti, V., & Teschemacher, H. (1994). B-casomorphins and related peptides: recent developments.
- Carini. (2013). Physico-chemical and texture changes in Parmigiano Reggiano cheese during long ripening. *Journal of Food Science*.
- Chen, A. H., Larkin, J. W., Clark, C. J., & Irwin, W. E. (1979). Textural Analysis of Cheese.
- Cogan, T. M., & Parente, E. (2004). *Cheese- chemistry, physics and Microbiology*.
- Collins, Y. F., McSweeney, P. L., & Wilkinson, M. G. (2003). Lipolysis and free fatty acid catabolism in chees.
- Coppa, G. V. (2007). Caratterizzazione biochimica dei carboidrati contenuti nel formaggio Parmigiano-Reggiano a diversi tempi di stagionatura.
- Corradini, C., & Innocente, N. (2011). *Manuale Lattiero Caseario- Formaggi semiduri*. Milano.
- Delizia, E. (2024, luglio 22). *Il Consorzio del Parmigiano Reggiano: custode della tradizione e della qualità*. Tratto da https://www.emiliadelizia.com/the-parmigiano-reggiano-consortium-guardian-of-tradition-and-quality/?utm_source=chatgpt.com
- Disciplinare di produzione Parmigiano Reggiano. (s.d.). Capitolo III, art. 14- Cessione di forme prima del dodicesimo mese.
- Disciplinare di produzione Parmigiano Reggiano. (s.d.). STANDARD DI PRODUZIONE DEL FORMAGGIO.
- Eck, & Gillis. (1997).
- Figura, L., & Teixeira, A. (2007). *Fisica degli alimenti. Proprietà fisiche-misurazione e applicazioni*.

- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. (2004). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology -General Aspects*.
- Franceschi, P., Malacarne, m., Formaggioni , P., Faccia , M., & Summer , A. (2021). Effetti della temperatura di conservazione del latte in azienda sulle caratteristiche del formaggio Parmigiano Reggiano: composizione chimica e proteolisi.
- Garini, L., Verducci, E., Scaglioni , S., & Bernasconi, S. (2007). Nutrizione in età evolutiva. Aggiornamento sugli aspetti nutrizionali del Parmigiano Reggiano.
- Grappin, R., & Beuvier, E. (1997). *Possible implications of milk pasteurization on the manufacture and sesory quality of ripened cheese*.
- Grappin, R., Rank, T., & Olson , N. F. (1985).
- Hunter, A. E., Zannoni , M., & Noel, Y. (1996). Texture del Parmigiano Reggiano: relazioni statistiche tra parametri reologici e sensoriali.
- ISMEA- Rapporto sul Parmigiano Reggiano. (2023). *ISMEA*. Tratto da www.ismea.it
- Lovarelli, D., Tamburini , A., Garimberti , S., D'Imporzano , G., & Adani, F. (2022). *Valutazione del ciclo di vita del formaggio Parmigiano Reggiano DOP con il metodo dell'impronta ambientale del prodotto: uno studio di caso che implementa strategie migliorate di gestione dei liquami*. Tratto da PubMed: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10815482/?utm_source=chatgpt.com#B2-foods-13-00309
- Malacarne, M. (2006). Caratterizzazione chimico-fisica della maturazione del Parmigiano-Reggiano. *Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia*.
- Mancini, M. C., Arfini, F., & Guareschi, M. (2019). *Innovation and typicality in localised agri-food systems: The case of PDO Parmigiano Reggiano*. Tratto da *British Food Journal*, 121(2), 492–507: <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2018-0662>
- McSweeney, & Sousa. (2000).
- Mucchetti , G. (2022). *Parmigiano Reggiano, Grana Padano e formaggi similari*. Milano: Tecniche Nuove.
- Mucchetti , G., & Neviani, E. (2006). *Microbiologia e tecnologia lattiero-casearia*. Milano: Tecniche Nuove.

- Muchnik, J. (2006). *Sistemas agroalimentarios localizados: evolución del concepto y diversidad de situaciones*. Red Sial.
- Nocetti, M., Reverberi, P., Alloisio, V., & Stroppa, A. (2011). *Manuale lattiero caseario*. Milano: Escom.
- Parmigiano Reggiano. (s.d.). Tratto da https://www.parmigianoreggiano.com/product-guide-seals-and-marks?utm_source=chatgpt.com#1
- Parmigiano Reggiano- Il consorzio e la sua storia. (s.d.). *Parmigiano Reggiano*. Tratto da https://www.parmigianoreggiano.com/consortium-history?utm_source=chatgpt.com
- Parmigiano Reggiano prodotto di montagna . (s.d.). Tratto da <https://www.parmigianoreggianosangiorgio.it/parmigiano-reggiano-prodotto-di-montagna/>
- Parmigiano Terre Alte. (s.d.).
- Reggiano, C. d. (2024). *Parmigiano Reggiano*. Tratto da Storia e Origine : <https://www.parmigianoreggiano.com/it/prodotto-storia>
- Reggiano, C. d. (s.d.). *Cronologia del Parmigiano Reggiano*. Tratto da Musei del Cibo: <https://parmigianoreggiano.museidelcibo.it/prodotto/cronologia/>
- Regolamento (CE) n. 510/2006 del Consiglio, del 20 marzo 2006, relativo alla protezione delle indicazioni geografiche e delle denominazioni d'origine dei prodotti agricoli e alimentari, 510/2006 (2006).
- Regolamento (CEE) n. 2081/92 del Consiglio relativo alla protezione delle indicazioni geografiche e delle denominazioni d'origine dei prodotti agricoli ed alimentari., 2081 (1992).
- Statuto del Consorzio . (s.d.). Funzioni- Art.5.
- Strata, A. (1993). I formaggi nell'alimentazione dello sportivo.
- Summer, A., Franceschi, P., Formaggioni, P., & Malacarne, M. (2014). *Characteristics of raw milk produced by free-stall or tie-stall cattle herds in the Parmigiano-Reggiano cheese production area*.
- Tutela delle denominazioni di origine e tipiche dei formaggi., L. 10 aprile 1954, n. 125. (1954).
- Zannoni, M. (2009). Evolution of the sensory characteristics of Parmigiano–Reggiano.

Zannoni, M. (2010). Evolution of the sensory characteristics of Parmigiano–Reggiano cheese to the present day. *Food Quality and Preference*, 21(8), 901–905. Tratto da <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329310000054>

Zapparoli, G. A., & Dugoni, F. (1997). Quadro analitico di acidi grassi valotati, pH e umidità in formaggio Grana scelto da 1 a 20 mesi di stagionatura.

Zeppa, G. (s.d.). *Tecnologie dei prodotti lattiero caseari*.