



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari

L'impatto ambientale della filiera lattiero-casearia

Docente di riferimento:

Gabriella Pasini

Laureanda:

Irene Rasom

Matricola n. 1223123

ANNO ACCADEMICO 2021- 2022

# Indice

<b>1. Introduzione</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Il contributo del settore lattiero-caseario al cambiamento climatico</b> .....	<b>6</b>
2.1 Metodologia e filtri di selezione.....	6
2.2 Panoramica generale .....	7
2.2.1 <i>Fermentazione enterica</i> .....	10
2.2.2 <i>Produzione di mangimi</i> .....	11
2.2.3 <i>Gestione del letame</i> .....	13
2.2.4 <i>Caseificio</i> .....	13
2.2.5 <i>Distribuzione e vendita al dettaglio</i> .....	15
2.2.6 <i>Consumatore</i> .....	16
<b>3. Impatti biofisici del cambiamento climatico sul settore lattiero-caseario</b> .....	<b>18</b>
3.1 Stress da calore.....	19
3.2 Variabilità colturale .....	20
3.3 Disponibilità idrica in azienda.....	22
3.4 Malattie bovine e pressione dei parassiti delle colture.....	22
3.5 Rischio per la sicurezza dei prodotti: perdite e sprechi alimentari.....	23
3.5.1 <i>Relazione tra microrganismi e l'aumento delle precipitazioni</i> .....	25
<b>4. Strategie di mitigazione</b> .....	<b>26</b>
4.1 Strategie di mitigazione per le aziende lattiero-casearie .....	27
4.2 Strategie di mitigazione per la produzione lattiero-casearia .....	29
4.3 Strategie di mitigazione per la catena del freddo .....	31
4.4 Strategie di mitigazione per i consumi .....	32
<b>Conclusioni</b> .....	<b>35</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>37</b>

## **Riassunto**

L'industria lattiero-casearia richiede notevoli risorse energetiche in tutte le fasi della produzione e della fornitura per soddisfare le esigenze dei consumatori in termini di quantità, qualità e sicurezza alimentare.

I previsti effetti futuri del cambiamento climatico causeranno gravi incertezze al settore lattiero-caseario. Adattarsi a queste condizioni imminenti è una sfida che è aggravata dal dall'urbanizzazione, dagli effetti sempre crescenti del cambiamento climatico e dal continuo aumento della domanda alimentare, come risultato della crescita della popolazione globale, Queste sfide per l'industria lattiero-casearia sono già in atto e devono essere affrontate lungo tutta la filiera lattiero-casearia prima che le loro conseguenze diventino ingestibili e abbiano un impatto su un approvvigionamento sicuro e sufficiente.

Questo elaborato intende riportare una analisi del ciclo di vita, strumento di contabilità ambientale, per valutare le emissioni durante l'intero ciclo di vita del latte e dei prodotti lattiero-caseari. A tal fine, è stata effettuata una revisione della letteratura scientifica sul contributo del settore al cambiamento climatico e sui suoi impatti biofisici sul settore lattiero-caseario nel breve termine.

In conclusione, data l'importanza di ridurre il consumo di energia nell'industria lattiero-casearia il documento suggerisce possibili azioni di mitigazione energetica, in linea con l'obiettivo di emissioni di “carbonio pari a zero” fissato dalle organizzazioni globali.

## **Abstract**

The dairy industry requires significant energy resources at all stages of production and supply to meet consumer needs in terms of quantity, quality and food safety.

The predicted future effects of climate change will cause severe uncertainty for the dairy sector. Adapting to these impending conditions is a challenge that is exacerbated by urbanisation, the ever-growing effects of climate change and the ever-increasing demand for food, as a result of global population growth.

These challenges for the dairy industry are already in place and need to be addressed throughout the dairy supply chain before their consequences become unmanageable and impact on a secure and sufficient supply.

This paper intends to report a life cycle analysis, an environmental accounting tool, to evaluate emissions during the entire life cycle of milk and dairy products. To this end, a review of the scientific literature on the contribution of the sector to climate change and its biophysical impacts on the dairy sector in the short term was carried out.

In conclusion, given the importance of reducing energy consumption in the dairy industry, the document suggests possible energy mitigation actions, in line with the goal of "zero carbon" emissions set by global organizations.

# 1. Introduzione

Alla base di questo studio vi è un'analisi dell'interazione tra gli effetti del cambiamento climatico e il settore alimentare lattiero-caseario.

Si indagherà l'impatto di questa filiera sul cambiamento climatico utilizzando come strumenti LCA (*Life Cycle Assessment*) e stimatori di emissioni come l'impronta di carbonio (*Carbon Footprint*).

Oltre a ciò, si osserveranno i problemi futuri legati agli effetti del cambiamento climatico sul settore lattiero-caseario e le possibili strategie da mettere in atto per mitigare queste difficoltà e per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS) definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite come strategia per ottenere un futuro migliore e più sostenibile per tutti.

Le motivazioni che mi hanno spinto ad approfondire tale tema hanno una duplice natura. L'interesse nei confronti della crisi climatica è stato influenzato sicuramente da un problema più che attuale: il cambiamento climatico risulta, infatti, tra le maggiori problematiche che la comunità internazionale è chiamata ad affrontare, rispondendo alle sfide poste sia per il presente che per il futuro.

I cambiamenti climatici ci sono sempre stati nella storia del Pianeta, ma il riscaldamento climatico a cui assistiamo da circa 150 anni sta risultando anomalo in quanto innescato dall'uomo e dalle sue attività. Parliamo quindi di "effetto serra antropico" che si aggiunge all'effetto serra naturale.

La relazione tra clima e cibo è a doppio senso: l'agricoltura e l'intera filiera alimentare sono tra le cause primarie del cambiamento climatico, il quale, a sua volta colpisce in modo particolarmente grave i sistemi alimentari, costituendo uno dei fattori principali dell'aumento della fame nel mondo negli ultimi anni. Infatti, circa il 30% delle emissioni globali di gas serra sono causate dai sistemi alimentari. A sua volta, la crisi climatica ha un impatto molto negativo su produzione e accesso al cibo e sulla volatilità dei prezzi alimentari, riducendo la produttività delle piante e il numero di raccolti in varie zone del mondo, aumentando l'irregolarità delle condizioni meteorologiche e causando siccità e disastri naturali.

Questo tipo di preoccupazione si ripercuote molto su noi giovani, tant'è che è stato un punto di partenza per poter studiare meglio l'interazione del cambiamento climatico con il settore agroalimentare.

Oggi l'umanità consuma più risorse di quelle che il nostro pianeta può produrre. La produzione e il consumo di cibo è una delle fonti più importanti di gas serra di origine antropica e pertanto contribuisce in modo significativo al cambiamento climatico.

L'analisi del rapporto tra cibo e dimensione ambientale degli obiettivi di sviluppo sostenibile è partita da un presupposto fondamentale: il sistema alimentare e la natura sono strettamente interconnessi.

La scelta di prendere in considerazione il settore lattiero-caseario è dovuta principalmente a un mio personale interesse ma anche per l'importanza che questo settore ha nel nostro Paese.

Infatti l'Italia è tra i paesi Europei, quello con un maggior numero di prodotti riconosciuti con la qualifica di Denominazione di Origine Protetta (DOP), Indicazione Geografica Protetta (IGP) e Specialità Tradizionale Garantita (STG).

L'industria lattiero-casearia produce vari prodotti che vengono realizzati su linee di produzione molto diverse, ma che provengono sempre dalla stessa materia prima: il latte crudo.

La produzione di latte è la fase più critica della catena lattiero-casearia e la sua quota varia dal 63% all'89% in tutte le categorie di impatto ambientale (González-Garcia et al., 2013).

Inoltre, secondo González-Garcia et al. (2013), l'impatto della produzione lattiero-casearia sulle categorie di acidificazione (AC), eutrofizzazione (EL) e potenziale di disturbo globale (GWP) è maggiore soprattutto per la lavorazione dei fertilizzanti, compresa la sua applicazione al suolo (categorie AC e EL) ed enterofermentazione (categorie GWP).

Lo scopo di questo elaborato finale è proprio quello di comprendere le connessioni tra questo settore e il cambiamento climatico.

La tesi è articolata in tre capitoli principali: il primo prende in considerazione il contributo dell'industria lattiero-casearia al cambiamento climatico analizzando tutte le fasi della catena di approvvigionamento.

Il secondo capitolo si occupa degli impatti biofisici del cambiamento climatico sul settore lattiero-caseario esaminando le difficoltà ipotizzate in un prossimo futuro non così lontano.

Il terzo ed ultimo capitolo si concentra sulle strategie da mettere in atto per mitigare i consumi nell'industria lattiero-casearia.

Grazie a questo lavoro di ricerca è stato possibile approfondire importanti fattori legati ai processi agroalimentari ed effetti del cambiamento climatico in Europa, ma non solo.

I risultati di questo elaborato verranno esposti in maniera dettagliata nelle conclusioni finali.

## 2. Il contributo del settore lattiero-caseario al cambiamento climatico

### 2.1 Metodologia e filtri di selezione

In questo lavoro sono stati presi in considerazione diversi documenti tra la letteratura più rilevante con il fine di fornire approfondimenti sull'interazione tra industria lattiero-casearia e cambiamento climatico.

Da un lato le revisioni si sono concentrate sul contributo del settore lattiero-caseario al cambiamento climatico in tutta Europa, ignorando altri impatti ambientali. D'altra parte, gli studi hanno esaminato le parti dell'industria lattiero-casearia che potrebbero essere più vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico e che potrebbero influire sulla sua salvaguardia ambientale.

Sono stati utilizzati motori di ricerca quali Scopus e Google Scholar, e finora queste due ricerche sono state molto ricche e hanno catturato un numero rilevante di articoli.

Per restringere il campo, è stato utilizzato il seguente filtro di selezione e sono stati mantenuti solo studi sottoposti a revisione paritaria in lingua inglese, articoli di revisione e rapporti scientifici internazionali relativi agli ultimi 10 anni (ovvero 2010-2020) in Europa.

Per la ricerca bibliografica sul contributo al cambiamento climatico da parte del settore lattiero-caseario, sono stati applicati i seguenti criteri:

1) studi che considerano le emissioni di *GHG* tenendo conto anche delle analisi del cambiamento dell'uso del suolo e/o dell'uso dell'acqua e dell'eutrofizzazione.

2) studi basati sulla *Life Cycle Assessment* (LCA) con una prospettiva a breve termine (2050).

Sono stati considerati solo gli studi che si sono concentrati sulla valutazione degli impatti biofisici, lasciando da parte gli studi che analizzano gli impatti socioeconomici.

Le parole chiave relative alle interazioni sono state definite e posizionate in cerchi sulla mappa mentale (Fig. 1). Questo aiuta a rappresentare visivamente entrambi i lati dell'interazione (blu e giallo) e capire come sono collegati (linea nera spessa).

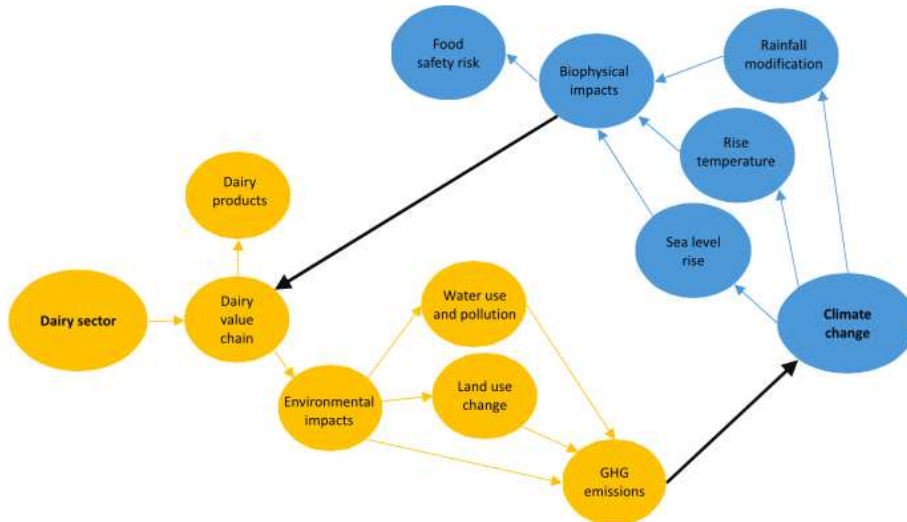


Fig. 1. Mappa mentale del settore lattiero-caseario in relazione ai cambiamenti climatici (Guzmán-Luna et al., 2022).

## 2.2. Panoramica generale

Nel 2019, la produzione mondiale di latte vaccino ha raggiunto le 523 tonnellate e i principali produttori di latte ed esportatori di prodotti lattiero-caseari sono rappresentati dall'Unione Europea (UE) (158 tonn), dagli Stati Uniti (99 tonn) e dall'India (91 tonn). L'Unione Europea figura come il principale produttore di formaggio al mondo con 9,5 milioni di tonnellate (OCSE e FAO, 2020).

Nell'Unione Europea il latte crudo è utilizzato principalmente per la produzione di formaggio (38%) e in misura minore per il burro (29%), la panna (12%), il latte liquido (11%) e altri prodotti come latte in polvere e yogurt (10%) (Eurostat, 2021).

Per quanto riguarda la distribuzione geografica, la produzione di latte prodotto in Europa è concentrata nella fascia lattiero-casearia etichettata ed integrata da Germania (21%), Francia (16%), Regno Unito (10%), Paesi Bassi (9%), Polonia (8%), e l'Irlanda (5%) ed insieme rappresentano il 70% della produzione totale europea (Eurostat, 2021).

Ogni prodotto ha una propria catena del valore (figura 2), che nel caso dei prodotti lattiero-caseari si compone di quattro fasi principali: produzione di latte negli allevamenti, trasformazione nei caseifici, distribuzione e vendita al dettaglio e consumo finale.

Durante queste fasi, ci sono diversi attori (Figura 2) con una certa capacità di agire e/o influenzare il processo decisionale quando si tenta di migliorare qualsiasi aspetto ambientale della catena di approvvigionamento del latte implementando eventuali strategie di



adattamento ai cambiamenti climatici. Il numero di attori coinvolti varia nella catena, creando un collo di bottiglia nella fase di vendita al dettaglio (Figura 2c).

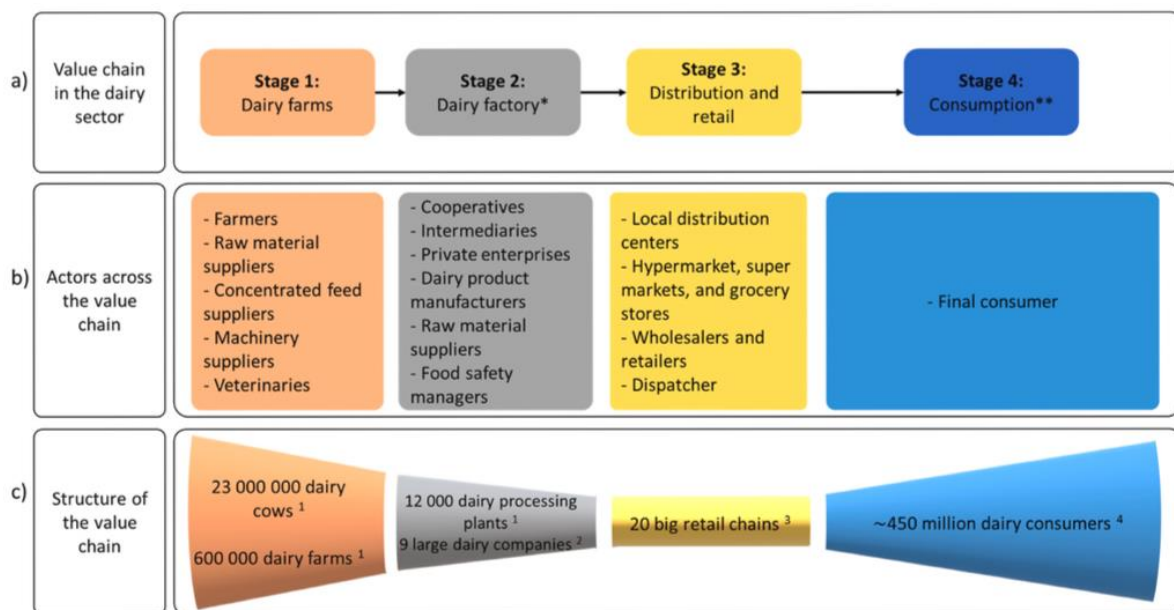


Fig. 2. Rappresentazione visiva della struttura del settore lattiero-caseario (Guzmán-Luna et al., 2022).

L'organizzazione dell'industria lattiero-casearia è dominata principalmente dalle cooperative, dove gli agricoltori e l'industria producono congiuntamente latte crudo e lo trasformano in prodotti lattiero-caseari. Esistono anche altri tipi di strutture, come i singoli produttori (dove gli agricoltori vendono il latte crudo direttamente all'industria) o i singoli gruppi intermedi (dove il prodotto grezzo viene venduto all'industria tramite un intermediario).

Dopo che il latte crudo viene trasformato in diversi prodotti lattiero-caseari per il consumo umano, questi vengono distribuiti a iper e supermercati, che detengono una quota di mercato del 64%. Il restante 16% appartiene a mercati indipendenti e il restante 20% a negozi di alimentari (Merdji, Tozanli & Kussman, 2015). Circa 450 milioni di consumatori acquistano principalmente prodotti lattiero-caseari nell'Unione Europea (Eurostat, 2021).

Tutti gli studi esaminati affermano che l'intera filiera lattiero-casearia contribuisce in maniera significativa alle emissioni globali di gas serra.

Diverse fonti di gas serra sono state identificate in tutta la filiera lattiero-casearia (Figura 3). Indipendentemente dalle motivazioni individuali, tutti gli studi hanno identificato le aziende lattiero-casearie come i maggiori contributori al riscaldamento globale, rappresentando circa l'80% della *Carbon Footprint* totale dei prodotti lattiero-caseari.

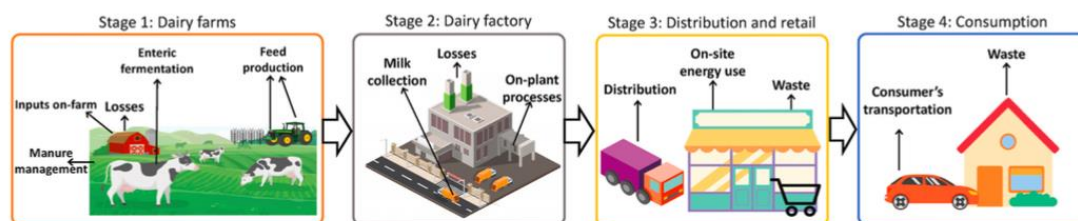


Fig. 3. Panoramica delle principali fonti di emissioni di gas serra lungo le quattro fasi della filiera lattiero-casearia (Guzmán-Luna et al., 2022).

In questo studio, la filiera lattiero-casearia è stata suddivisa in quattro fasi principali per una comoda presentazione dei modelli energetici: il caseificio, la produzione, la catena del freddo e il consumo. La Fig. 3 delinea i processi che si svolgono in ciascuna di queste quattro fasi della catena di approvvigionamento.

Dopo aver analizzato separatamente l'uso di energia in ciascuna fase di approvvigionamento lattiero-caseario, viene fornita una panoramica finale delle emissioni di carbonio derivate dall'uso di energia lungo l'intero settore lattiero-caseario.

La prima fase tiene conto del fatto che le principali fonti di gas ad effetto serra sono le emissioni di  $\text{CH}_4$  derivanti dalla fermentazione intestinale e, in misura minore, troviamo le emissioni di  $\text{N}_2\text{O}$  dai fertilizzanti usati in azienda (ad es. foraggio) e dalla produzione di mangimi al di fuori dell'azienda (ad es. mangimi concentrati).

$\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  sono emissioni che derivano anche dalla gestione del letame, mentre la  $\text{CO}_2$  deriva principalmente dall'uso di fattori di produzione nell'azienda agricola come l'uso di energia e di acqua (FAO e PIL, 2018).

La fase 2, ovvero quella nella quale il latte crudo viene raccolto e trasportato ai caseifici, contribuisce a una notevole frazione di *Carbon Footprint*, dovuta in particolar modo alla raccolta del latte crudo, alla gestione dei rifiuti e ad altri input come il consumo di energia, e l'utilizzo di prodotti durante le attività di pulizia e di imballaggio (Roibas et al., 2016).

Le fasi successive come la produzione dei prodotti lattiero-caseari, la loro distribuzione per la vendita al dettaglio e l'acquisto dei consumatori sono ulteriori stadi che emettono emissioni di gas serra. In particolar modo sono dovuti allo spreco di prodotto, all'uso della refrigerazione dei prodotti lattiero-caseari deperibili e al trasporto (Yan et al., 2011). Lo spreco di prodotto è correlato fondamentalmente alle fasi di vendita al dettaglio e consumo (FAO, 2011).

La maggior parte degli studi esprime il consumo energetico in unità di energia o come impronta di carbonio per kg di prodotto a seconda del loro obiettivo. Il motivo per cui il

consumo di energia o l'impronta di carbonio viene misurato per unità di prodotto è quello di consentire il confronto del consumo di energia tra le fasi della filiera.

Negli studi che mirano a misurare la quantità di energia elettrica o termica immessa, l'energia è solitamente espressa in MJ per kg di prodotto. Negli studi che mirano a valutare l'impatto del consumo di energia sul riscaldamento globale, valutano l'impronta di carbonio del consumo di energia, misurata in kg di anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub>) per kg di prodotto (Flysjo et al., 2014). È importante notare che l'impronta di carbonio in CO<sub>2</sub> di 1 MJ di consumo di energia può variare in modo significativo, a seconda del combustibile bruciato o del mix energetico di elettricità dalla rete. Il consumo energetico di un processo o di un prodotto può essere tradotto in impronta di carbonio solo se sono noti il mix energetico dei fattori di emissione dei combustibili o delle risorse energetiche consumate. Nel complesso, l'impronta di carbonio del consumo energetico e il consumo effettivo di energia esprimono valori diversi e non dovrebbero essere confrontati tra loro.

Un'analisi più dettagliata degli elementi che contribuiscono alle emissioni di gas serra dal punto di vista del ciclo di vita verrà fornita nei seguenti sottocapitoli.

### **2.2.1. Fermentazione enterica**

Le emissioni prodotte dalla fermentazione enterica delle vacche sono il principale contributo all'impronta di carbonio; si parla di valori che variano dal 35% al 59% delle emissioni totali di gas serra (FAO e PIL, 2018; Flysjo, Henriksson, Cederberg, Ledgard e Englund, 2011; Morais, Teixeira, Rodrigues e Domingos, 2018; Roibas et al., 2016).

La quantità di CH<sub>4</sub> prodotta dalla fermentazione enterica è legata principalmente dall'assunzione di sostanza secca (DMI). Diverse analisi hanno dimostrato come la somministrazione di sostanza secca di alta qualità possa ridurre in positivo le emissioni di CH<sub>4</sub> prodotte dalla fermentazione delle vacche (Roibas et al. 2016).

Le emissioni di metano vengono stimate dai fattori di emissione (EFs) proposti dalle linee guida proposte dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Questi si suddividono in tre livelli: il primo è un approccio semplificato che considera un fattore di emissioni predefinito (EF) per stimare il CH<sub>4</sub> annuale per vacca da latte; il secondo è più complesso in quanto include l'apporto energetico lordo e specifici fattori di conversione del metano; infine il terzo, quello più preciso, che fornisce dati più dettagliati e completi:

vengono inclusi i dati relativi alla dieta delle vacche, alla razza e anche alla sua produttività ed efficienza metabolica (IPCC, 2006; Morais et al., 2018).

Prendendo in considerazione la letteratura esaminata, l'approccio più utilizzato è stata la metodologia 1 e 2, mentre la terza è stata sfruttata da altri autori come Roibas et al. (2016) e Flysjo et al. (2011) in quanto hanno studiato la quantità di emissioni di CH<sub>4</sub> per uno specifico paese. Ad esempio, attraverso un caso studio, Roibas et al. (2016) ha esaminato il potenziale cambiamento della *Carbon Footprint* di due tipi di latte in base alla dieta delle vacche.

### **2.3.2 Produzione di mangimi**

La produzione di mangimi, che comprende sia la produzione di mangimi provenienti fuori dall'azienda agricola (come mangimi concentrati) sia la produzione di mangimi in azienda (foraggi grossolani), è un altro importante contributo al riscaldamento globale.

Anche senza includere la gestione del letame (vedi 2.3.3) la produzione di mangime è responsabile di circa il 25-30% della *Carbon Footprint* in azienda. (FAO e PIL 2018; Morais et al., 2018). Questa percentuale è principalmente associata alle emissioni di N<sub>2</sub>O causate dall'applicazione al suolo di azoto (N) sotto forma di fertilizzanti e le emissioni di N<sub>2</sub>O indiretto causate dall' NH<sub>3</sub> volatile e NO<sub>3</sub>- lisciviato.

Nell'agricoltura convenzionale, l'uso di energia per la produzione di fertilizzanti e mangimi è importante sebbene sia associato all'uso indiretto di energia. Infatti, la produzione di fertilizzanti e mangimi è associata al 13% e al 43% del consumo totale di energia negli allevamenti convenzionali.

Il consumo di energia per la produzione di mangimi in agricoltura biologica è invece correlato al consumo energetico diretto, dovuto al pascolo all'aperto in azienda ed è associato in media al 34% del consumo totale di energia primaria, mentre il fabbisogno energetico per la produzione di fertilizzanti organici è trascurabile a <1% (Shine et al., 2020).

In tutte le aziende lattiero-casearie studiate tra convenzionali e biologiche, sul consumo totale di energia delle aziende lattiero-casearie, il 32% in media è correlato all'uso diretto di energia da attività in azienda, mentre il restante 68% è correlato all'uso indiretto di energia proveniente da attività esterne all'azienda agricola come la produzione di mangimi e fertilizzanti (Shine et al., 2020).

Un'altra importante fonte di emissioni è la CO<sub>2</sub> che in questo caso è causata dall'utilizzo di carburante per l'alimentazione di macchine agricole (inclusi rimorchi, presse per le balle di

paglia, mietitrici e pintatrici (Djekic et al.,2014) e la produzione di cereali e i loro trasporto nel deposito foraggi (Gerber et al., 2010).

Infine, un altro fattore che incide sull'impronta di carbonio, che è sempre correlata alla produzione dei mangimi, sono le emissioni dovute al cambiamento dell'uso del suolo (*Land Use Capability* ).

Si verifica la *Land Use Capability (LUC)* fuori dall'azienda agricola, quando le aree naturali vengono spostate per far posto alla crescita di colture necessarie per la produzione di mangimi concentrati e foraggi grossolani, con un impatto sul ciclo naturale del carbonio.

La produzione di mangime richiede anche acqua, che varia a seconda del luogo, dal tipo di coltura coltivata e dalla gestione del terreno coltivato (vale a dire se pluviale o irrigato).

Inoltre l'utilizzo di fertilizzanti (es. letame e sintetico) provoca ecotossicità acquatica e soprattutto determina il processo di eutrofizzazione in quanto l'azoto e il fosforo si distribuiscono nei corpi idrici riceventi.

La percentuale di azoto disciolto in acqua dipende dalle condizioni climatiche, raggiungendo il 30% nelle zone in cui le precipitazioni sono superiori all'evaporazione (IPCC, 2006). Per quanto riguarda il fosforo, il fattore di lisciviazione raggiunge il 3% (Roibas et al.2016).

L'eutrofizzazione dell'acqua associata alla produzione di mangime per vacche è stata esaminata utilizzando due diversi approcci. Da un lato González-García, Castanheira, Dias e Arooja (2013) hanno concluso che l'applicazione dei fertilizzanti contribuisce a quasi il 57% del potenziale di eutrofizzazione (EP) totale delle aziende lattiero-casearie.

Dall'altra parte, Roibas et al., (2016) hanno affrontato gli aspetti legati al fosforo e all'azoto nella produzione di mangimi, tenendo conto della componente qualitativa grigia della *Water Footprint* (WF). Questa si riferisce al volume di acqua dolce necessaria per assimilare gli inquinanti e soddisfare specifici standard di qualità dell'acqua.

Perciò, la *Water Footprint* verde rappresenta l'acqua piovana che non scorre in quanto immagazzinata o inglobata dalle piante; la *Water Footprint* blu invece si riferisce all'acqua dolce estratta dai corpi idrici per poi essere consumata (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

La produzione di mangimi dentro e fuori l'azienda contribuisce per circa il 40% dell'impronta idrica totale grigia mentre tutto il resto è associata alla componente qualitativa verde.

Per quanto riguarda N e P, Noja et al. (2018) sono arrivati alla conclusione che la produzione di mangimi fornisce un contributo del 65% all'EP totale, questo è causato principalmente all'uso di fertilizzanti. Con un approccio *Water Footprint*, la stessa attività ha contribuito per

quasi il 5% alla componente grigia della WF esaminata nella azienda lattiero-casearia, mentre il resto è stato associato alla WF blu (7%) e WF verde (88%).

### **2.2.3. Gestione del letame**

Con gestione del letame si intende la raccolta, la manipolazione e lo stoccaggio; questa risulta essere un'altra componente che contribuisce alle emissioni di gas serra, rappresentando circa il 9-15% dell'impronta di carbonio nell'azienda lattiero casearia (FAO e PIL 2018; Noja et al. 2018; Roibas et al. 2016).

Le relative emissioni dei gas ad effetto serra dipendono dal sistema di produzione di raccolta, dalla composizione del liquame e dalle condizioni climatiche (Yan et al., 2011), di conseguenza, negli allevamenti, queste sono variabili da tenere in considerazione in quanto potrebbero mostrare differenze significative nel calcolo della *Carbon Footprint* sui prodotti lattiero-caseari (Henriksson et al.2011).

Il letame è una delle principali fonti di emissioni di N<sub>2</sub>O. Queste dipendono dall'azoto contenuto nelle feci animali dovute a loro volta dall'assunzione di sostanza secca e dalla capacità degli animali di trattenere l'azoto nel corpo.

Inoltre il letame rilascia anche CH<sub>4</sub>, la sua percentuale dipende dal tipo di manipolazione e stoccaggio e dalle condizioni climatiche.

Per stimare le emissioni di CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, gli autori hanno utilizzato fattori di emissione predefiniti (EFs) sempre proposti dalle linee guida IPCC (IPCC, 2006).

### **2.2.4. Caseificio**

La revisione della letteratura ha rivelato che le emissioni di gas serra di un'azienda lattiero-casearia sono correlate alla raccolta del latte crudo, ai processi che avvengono in loco, alla fornitura del materiale di imballaggio, alle perdite di latte e al trattamento delle acque reflue.

Il latte crudo viene raccolto e trasportato al caseificio rispettando importanti condizioni di sicurezza alimentare del prodotto. Le emissioni di gas serra in questa fase sono legate alla raccolta del latte ma soprattutto al trasporto refrigerato e all'uso di refrigeranti per mantenere attive le celle frigorifere (Djekic et al., 2014).

Una volta che il latte raggiunge il caseificio, i classici processi di trattamento termico, separazione, pastorizzazione, raffreddamento, incubazione e stoccaggio refrigerato richiedono una notevole quantità di energia che contribuisce a sua volta alle emissioni di gas serra (Gonzàles-García et al., 2013). I prodotti fabbricati e le caratteristiche tecniche

dell'azienda sono altri fattori che influenzano il consumo energetico (Djekic et al., 2016; Gerber et al., 2010).

L'elettricità viene utilizzata per la refrigerazione per il raffreddamento del latte, il pompaggio per la raccolta del latte, il riscaldamento dell'acqua, il pompaggio dell'acqua, l'illuminazione, mentre l'altra principale fonte di consumo diretto di energia sono combustibili come diesel, cherosene, gas naturale, gas di petrolio liquefatto (GPL) e lubrificanti utilizzati principalmente per attività in azienda per il riscaldamento dell'acqua e l'alimentazione di macchinari meccanici (Shine et al., 2020).

La produzione lattiero-casearia richiede notevoli livelli di energia a causa degli estesi processi di riscaldamento e raffreddamento in atto.

Il fabbisogno energetico per kg di latte crudo lavorato nei caseifici può presentare variazioni che vanno da 0,8 a 1,9 MJ, a seconda dei prodotti e della scala di produzione (Xu et al., 2009).

L'impianto di lavorazione include anche processi *Clean-In-Place* (CIP) per pulire le superfici interne delle apparecchiature di lavorazione e può includere anche un processo di trattamento delle acque reflue (oppure l'acqua utilizzata viene altrimenti inviata a un sito di trattamento delle acque reflue di terze parti).

I flussi di acque reflue prodotte e le altre attività di pulizia in azienda hanno un impatto sull'ambiente. Prima di essere scaricati, questi ultimi hanno la necessità di essere trattati per rispettare i requisiti di legge, ciò comporta un ulteriore utilizzo di energia e impiego di prodotti chimici. Il trattamento delle acque reflue insieme alla gestione dei rifiuti rappresenta 1,5% della *Carbon Footprint* totale sulla produzione di 1 kg di formaggio a pasta molle (Dalla Riva et al., 2017).

L'elevata temperatura di lavorazione della pastorizzazione brucia il latte sulle superfici interne dell'apparecchiatura, richiedendo tempi di contatto prolungati con acqua e detersivi ad alte temperature per una pulizia adeguata. Il motivo per cui l'energia necessaria per il CIP è così elevata è la conseguenza dell'elevata temperatura dei fluidi necessari per pulire le superfici sporche. Ad esempio, il fabbisogno di energia termica per il processo CIP per un pastorizzatore del latte in un caseificio di medie dimensioni è stato stimato in 3,96 GJ/ciclo di pulizia (Eide et al., 2003).

Il prodotto, una volta arrivato a fine produzione, deve essere confezionato. Il tipo di confezionamento varia a seconda del prodotto lattiero-caseario (latte, yogurt, formaggio) e a seconda del trattamento (latte pastorizzato o latte UHT). L'imballaggio contribuisce del 7% alla *Carbon Footprint* totale di 1 L di latte UHT confezionato (Roibas et al., 2016).



Già negli ultimi anni, diverse aziende alimentari si stanno applicando nell'utilizzo di materiali di imballaggio più sostenibili ed ecologici, proprio per ridurre il loro impatto sull'ambiente.

Ricapitolando, il consumo di energia deriva principalmente dall'uso di elettricità e carburante. Processi come la refrigerazione, il confezionamento, l'omogeneizzazione, la standardizzazione, le pompe del latte e l'automazione degli impianti richiedono elettricità, mentre i processi di trattamento termico richiedono principalmente vapore prodotto dalla combustione di combustibili fossili ( Tomasula et al., 2014).

Ladha-Sabur et al. (2019) hanno presentato la domanda di energia di produzione tra diversi prodotti lattiero-caseari fornendo la quota di domanda di elettricità e carburante per prodotto. Sulla base dei loro dati, si può osservare che i prodotti lattiero-caseari freschi (formaggio, latte fresco, burro, panna e gelato) hanno avuto un andamento simile nel mix energetico, composto in media dal 43,9% di elettricità e dal 56,1% di combustibile utilizzato per la fase di fabbricazione. Mentre i prodotti a lunga conservazione (caseina e lattosio, latte in polvere, siero di latte in polvere e latte concentrato) mostrano analogie anche nel mix energetico, che rappresentavano mediamente l'8,1% dell'elettricità e il 91,9% del carburante. Questo aumento del rapporto di energia elettrica dei suddetti prodotti freschi è dovuto alle loro elevate esigenze di refrigerazione, mentre l'elevato rapporto di carburante nei suddetti prodotti a lunga conservazione è dovuto ai molteplici processi richiesti per la loro produzione.

### **2.2.5. Distribuzione e vendita al dettaglio**

All'uscita dallo stabilimento di produzione, la natura altamente deperibile dei prodotti lattiero-caseari freschi richiede condizioni ambientali controllate con una temperatura ottimale di stoccaggio e trasporto compresa tra 0 e 2 °C ( Mercier et al., 2017). Ciò garantisce la qualità e la sicurezza degli alimenti tra la produzione e l'acquisto da parte del consumatore. Nell'industria alimentare, la catena del freddo ha un enorme impatto sull'ambiente, rappresentando circa l'1% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> e l'uso della refrigerazione in tutto il mondo è responsabile di circa il 15% del consumo totale di elettricità (James & James, 2010). I prodotti lattiero-caseari una volta confezionati, sono pronti ad essere distribuiti nei centri di distribuzione locali e da lì, ai diversi punti vendita del territorio. In questa fase il consumo di energia è dovuto alle attività di trasporto, queste dipendono da diversi fattori: distanza percorsa, tipo di carburante utilizzato (elettrico, metano etc. ) e modalità di trasporto, che sia via terra o via mare (Djekic et al., 2014).



Secondo uno studio che ha valutato il consumo energetico dei camion refrigerati alimentati a gasolio, è emerso che i camion medi, i grandi camion rigidi e gli autoarticolati da 32 tonnellate consumano in media 2,97 MJ, 1,31 MJ e 0,94 MJ per tonnellata di prodotti trasportati e chilometro di distanza rispettivamente (Tassou et al., 2009).

Arrivati alla destinazione finale, i consumi di energia dei rivenditori sono presentati dai sistemi di condizionamento dell'aria, dall'illuminazione e dall'accensione delle celle frigorifere per garantire la dovuta sicurezza dei prodotti alimentari.

Uno studio ha esaminato il consumo totale di energia di un significativo numero di supermercati (322.000) e si è riscontrato un valore del 35-50% dovuto principalmente alla refrigerazione, mentre il restante è dovuto ad altre attività in loco, come impianti di condizionamento ed illuminazione (James e James, 2010).

Chiaramente, in tutto ciò bisogna anche affrontare un argomento di attuale importanza: lo spreco alimentare, in questo caso da parte dei rivenditori che non riescono a vendere tutti i prodotti prima della data di scadenza (FAO, 2011).

Un documento di ricerca ha valutato il contributo dello spreco alimentare al cambiamento climatico in sei supermercati, concludendo che lo spreco medio annuo è di 90 tonnellate di cibo, queste a loro volta producono 140 tonnellate di CO<sub>2</sub> per supermercato considerando che il reparto lattiero-caseario ha contribuito per ben il 6% del totale.

### **2.2.6. Consumatore**

Nella fase di consumo, l'utilizzo dell'energia è richiesto principalmente per il trasporto dai punti vendita al dettaglio alle abitazioni e per la refrigerazione.

Inoltre, devono essere prese in considerazione le abitudini e le scelte del consumatore, come la frequenza degli acquisti e le modalità di trasporto (Flysjo, 2011).

La domanda media di elettricità per kg di latte refrigerato è stimata in 0,35 MJ/kg. Per quanto riguarda la distanza percorsa per fare la spesa, il percorso medio è stato stimato pari a 10,9 km per viaggio con 175 viaggi effettuati ogni anno per famiglia di 3 persone negli Stati Uniti (Thoma et al., 2013).

Altre cause che influenzano l'impatto ambientale sono i rifiuti e i flussi di acque reflue associate ai rifiuti caseari, alla gestione degli imballaggi e lo stesso trattamento delle acque reflue.

Come accennato nei precedenti paragrafi, lo spreco alimentare è un problema molto serio, tant'è che non coinvolge solo la fase di distribuzione ma anche e soprattutto il singolo consumatore.

Ogni giorno a livello globale vengono sprecate 1,13 milioni di tonnellate di prodotti alimentari, corrispondenti a 178 g di cibo pro capite al giorno. Questo spreco alimentare totale comprende il 9% di prodotti lattiero-caseari in media globale, mentre nelle nazioni ad alto reddito questo tasso stimato è molto più alto, pari al 17% (Chen et al., 2020).

La perdita di prodotti lattiero-caseari rappresenta circa il 20% del totale dei prodotti lattiero-caseari prodotti. La stima delle perdite dalla fase dell'impianto lattiero-caseario alla fase di consumo corrisponde al 17–30% nella fase di produzione, al 9–12% nella fase di trasporto, al 2–9% a livello di vendita al dettaglio, con il contributo più elevato nei rifiuti prodotti a livello di consumo corrispondono a una quota del 53–71% del totale dei prodotti lattiero-caseari sprecati (Brÿsÿcic, 2020).

Bisogna considerare che lo spreco si porta dietro una grande quantità di risorse naturali ed emissioni di gas serra che sono servite per produrre i tali prodotti, perciò lo spreco alimentare e il consumo energetico vanno di pari passo. Serve un'enorme quantità di energia per produrre, distribuire e cuocere alimenti che, nonostante siano ancora commestibili, diventano fin dall'origine un surplus inutilizzato. Lo stesso spreco alimentare è, di conseguenza, anche spreco energetico.

Ultimo fattore da prendere in considerazione è il processo di digestione dell'uomo in seguito all'assunzione di prodotti lattiero-caseari. Muñoz et al.,(2008) dimostrano come la stessa digestione dell'uomo insieme al trattamento delle acque reflue contribuisce per il 3% alla *Carbon Footprint* totale. Valore simile a quello ottenuto da Schmidt e de Saxce (2016), in cui hanno valutato l'impronta di carbonio della totalità dei prodotti di un'azienda lattiero-casearia e hanno determinato che le deiezioni umane contribuiscono per 1,5% della CF totale.

Come ultimo, Djekic et al. (2019) hanno analizzato le emissioni di gas ad effetto serra dovute all'assunzione settimanale media di latte e yogurt in Serbia. Utilizzando come strumenti, LCA e un'indagine sui consumi, si è stimata una media di 2,24 - 2,26 kg di CO<sub>2</sub> per persona a settimana. Perciò oltre ad analizzare le fasi di produzione dei prodotti, bisogna tenere in considerazione anche i modelli dietetici dei consumatori ed altri fattori ad esso legati in quanto anche quest'ultimi contribuiscono all'impatto ambientale dei prodotti lattiero-caseari. Sebbene questo elaborato non si focalizzi sull'aspetto dietetico, c'è necessità di ricordare che lo studio di Gonzàles-Garcia et al.,(2018) ha portato a conclusione che le diete basate

sull'assunzione di prodotti lattiero-caseari sono quelle a più impatto ambientale. I valori stimati variano da 3,6 a 6,3 kg di CO<sub>2</sub> per persona al giorno dalla fattoria al consumatore. Infine, è importante sottolineare che esiste una ricerca limitata sul consumo energetico dei prodotti lattiero-caseari nelle fasi di consumo e si può prevedere che questo varierà in modo significativo a causa dei diversi climi globali e comportamenti dei consumatori.

### **3. Impatti biofisici del cambiamento climatico sul settore lattiero-caseario**

Il presente capitolo si propone di descrivere gli impatti biofisici del cambiamento climatico sul settore lattiero-caseario.

I modelli meteorologici globali sono cambiati radicalmente nell'ultimo decennio, con segnalazioni di temperature estreme, siccità e cambiamenti stagionali come estati più calde e periodi piovosi più umidi e prolungati. Queste condizioni meteorologiche estreme sono legate ai cambiamenti climatici ( Hellberg et al., 2016).

L'impatto del cambiamento climatico sulla produzione lattiero-casearia ha sia effetti diretti sugli animali stessi che effetti indiretti sulla produzione agricola, aumentando così l'esposizione a parassiti e agenti patogeni (Silanikov et al., 2015).

Nel 2018, il clima caldo e secco in Europa ha causato una diminuzione della produzione di cereali. Inoltre, il clima caldo provoca stress alla salute degli animali e alla produzione di latte (Augère-Granier, 2018).

Le future condizioni climatiche avranno come protagonisti, organismi, parassiti e malattie. Si prevede che il cambiamento climatico alteri la distribuzione e l'impatto dei microrganismi sugli ospiti umani, animali e vegetali (Beber, 2019). Questa sezione andrà a delineare i fattori più critici del cambiamento climatico, come l'aumento della temperatura, umidità, vento, precipitazioni e malattie sul settore lattiero-caseario.

Poiché questi effetti varieranno in Europa a seconda della regione geografica, il settore lattiero-caseario non sarà colpito in modo uniforme.

Le review prese in considerazione per questo studio, hanno seguito sei regioni biogeografiche e le loro tendenze attese: 1) Atlantico (Europa-Nord occidentale), 2) regioni montuose, 3)

zone costiere, 4) boreale (Europa settentrionale), 5) continentale (Europa centrale e orientale, 6) Mediterraneo (Europa meridionale).

Negli ultimi decenni sono state condotte ricerche per modellare gli impatti biofisici del cambiamento climatico e dei rischi emergenti sul settore agricolo, prendendo in considerazione anche il settore lattiero-caseario (IPCC, 2014).

Gli autori hanno determinato quali saranno gli impatti futuri causati dal cambiamento climatico valutando la loro gravità sul settore lattiero-caseario secondo due approcci dominanti:

- 1) approccio bottom-up: vengono definiti gli impatti locali basandosi sugli attori coinvolti nelle catene del valore dei prodotti (es: agricoltori)
- 2) approccio dall'alto verso il basso: vengono definiti gli impatti globali e regionali utilizzando scenari climatici globali o ridimensionati in modelli di impatto e indici agronomici. (IPCC, 2014).

L'IPCC (2014) afferma che l'attuazione di entrambi gli approcci sia un'opzione promettente per fornire un processo decisionale efficiente e per poter sviluppare misure di adattamento vantaggiose.

I paragrafi successivi descriveranno gli impatti biofisici attesi a causa del cambiamento climatico sul settore lattiero-caseario utilizzando gli approcci precedentemente descritti.

### **3.1 Stress da calore**

Come qualsiasi altro animale in allevamento, le vacche da latte hanno difficoltà ad affrontare le alte temperature e sono suscettibili allo stress da calore (EFSA, 2020).

Questa problematica porta alla riduzione della produzione di latte, all'aumento della mortalità e alla diminuzione del tasso di fertilità.

Si prevede che l'aumento delle temperature dovute al cambiamento climatico accentuerà lo stress da calore (Agenzia europea dell'ambiente, 2019). Le regioni più vulnerabili come il Mediterraneo sono già colpite da un riscaldamento più intenso nei mesi estivi (Hempel et al., 2019).

L'indicatore più diffuso per valutare gli effetti delle variabili climatiche sui ruminanti è il *Temperature Humidity Index (THI)* che utilizza come variabili la temperatura e l'umidità relativa (National Research Council, 1971).

Lo stress da calore di una vacca Holstein con una resa media (cioè fino a 35 kg/giorno) inizia ad un THI = 68, che corrisponde approssimativamente a  $\pm 25^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 15\%$  di umidità relativa (Hempel et al., 2019).

Sempre Hempel, che approfondì gli impatti dello stress da caldo sulla produzione delle vacche da latte entro il 2050, ha concluso che il numero di eventi di stress da caldo (definiti come il numero di ore in cui la vacca sperimenta uno stress almeno moderato ( $\text{THI} \geq 72$ ) nelle regioni mediterranee sarà più alto rispetto all'Europa centrale. In uno scenario pessimistico si parla di almeno 500 eventi di stress da calore, rispetto a un massimo di 50 eventi.

Conclude anche che, questa problematica prevista nei mesi estivi in tutte le regioni si prolunga anche nei mesi primaverili e autunnali nelle regioni del Mediterraneo.

Fodor et al. (2018) hanno proiettato alla metà del 21° secolo l'influenza dello stress da calore sulla produzione di latte delle vacche nel Regno Unito (Europa Nord- occidentale secondo la classificazione dell'Agenzia europea dell'ambiente).

Entrambi gli studi hanno previsto un calo della produzione di latte vaccino quando il valore di THI segnava 68, ciò segna un decremento medio fino al 2,8% rispetto all'attuale produzione di latte in Europa (Hempel et al., 2019) e un decremento del 2,4% nella regione dell'Atlantico (Fodor et al., 2018).

Oltre ad avere un impatto sulla resa del latte, diversi autori hanno affermato che l'aumento delle temperature potrebbe anche influenzare la qualità del latte (Misiou e Koutsoumanis 2021, Hempel et al., 2019) e il conteggio delle cellule somatiche (Feliciano et al., 2020).

### **3.2 Variabilità colturale**

I sistemi di coltivazione sono strettamente collegati al settore lattiero-caseario poiché forniscono mangime alle vacche da latte.

I cambiamenti di temperatura e precipitazione sono effetti del cambiamento climatico che si prevede abbiano un impatto sulla resa, sulle stagioni di crescita e sulla qualità delle colture (EFSA, 2020).

Considerando le sei regioni biogeografiche precedentemente nominate, gli studi concludono che gli impatti biofisici dei cambiamenti climatici sulle colture non si verifichino uniformemente nelle regioni, e anzi per alcune zone potrebbero rappresentare un'opportunità.

Il Nord Europa è stato identificato come una delle regioni in cui la resa delle colture sarà influenzata positivamente dagli effetti del cambiamento climatico. Mentre, al contrario, si prevedono impatti negativi nell'Europa meridionale.

Ad esempio, le rese di grano entro il 2030 sono state proiettate in base a due modelli climatici: nel Nord Europa è stato riscontrato un incremento del 20 %, mentre nell'Europa meridionale è stato rilevato un decremento compreso tra -5 e -20 % (Agenzia europea dell'ambiente, 2017).

Nel rapporto dell'Agenzia europea dell'ambiente (2019), gli autori hanno anche proiettato i cambiamenti delle rese di mais irrigato dalle piogge entro il 2050 utilizzando 11 modelli climatici e hanno trovato lo stesso risultato: la resa di mais nelle regioni dell'Europa meridionale dovrebbero diminuire fino al 50% in meno in confronto con le rese riportate nel 2010, mentre le rese nel Nord Europa sono attese in aumento del 5% rispetto alla baseline del 2010. La stessa tendenza alla riduzione della resa del mais nelle regioni meridionali e un incremento nelle regioni settentrionali sono previste da Hristov et al., (2020).

I cambiamenti climatici influenzeranno anche le stagioni di crescita, il che significa un ritardo o un anticipo delle date di raccolta delle colture. Questa variazione sulle stagioni di crescita delle colture sarà positiva in alcune aree ma negativa in altre. Si prevede infatti che l'allargamento della stagione vegetativa nel nord Europa rappresenti un'opportunità in quanto potrebbero essere introdotte nuove colture grazie a condizioni climatiche favorevoli con disponibilità idrica positiva anche in questa regione (Agenzia europea dell'ambiente, 2017).

Battilani et al., (2016) hanno previsto una distribuzione geografica della coltivazione di mais verso nord, raggiungendo in un prossimo futuro latitudini fino a 60° nord.

All'opposto, a causa di siccità e ondate di caldo previste nella stagione estiva, la coltivazione di alcune colture potrebbe non essere possibile in questa stagione e passare alla stagione invernale, modificando la raccolta nelle zone mediterranee (Agenzia europea dell'ambiente, 2017).

Infine, un'altra variabile causata dal cambiamento climatico che potrebbe influire sulla filiera lattiero-casearia è l'innalzamento del livello del mare. Questo effetto potrebbe provocare la sommersione dei terreni agricoli costieri e dei delta a causa dell'inondazione di acqua salata, provocando così uno spostamento dell'agricoltura verso altre aree (Falloon e Betts, 2010; IPCC, 2014).

Inoltre, si prevede che l'innalzamento del livello del mare causerà l'infiltrazione di acqua marina nei serbatoi di acqua dolce, con ripercussioni sulla salute delle colture essenziali per

l'alimentazione delle vacche da latte, sull'agricoltura costiera e sulla disponibilità di acqua dolce per le regioni costiere agricole (EFSA, 2020).

### **3.3. Disponibilità idrica in azienda**

La disponibilità di acqua è fondamentale per gli allevamenti da latte, sia per le attività agricole ma anche per altre attività come la pulizia delle strutture e l'abbeveraggio delle vacche. Per quanto riguarda quest'ultimo punto, fornire acqua in quantità e qualità è vitale affinché l'animale possa gestire ambienti caldi e alleviare lo stress da caldo (Gauly et al., 2013). Tuttavia, le modifiche attese nei modelli delle precipitazioni e gli aumenti della temperatura influenzeranno il ciclo dell'acqua, portando carenze idriche o scarsità d'acqua (Rojas-Downing et al., 2017).

Un cambiamento di queste variabili climatiche aumenterà i tassi di evapotraspirazione e, di conseguenza, il fabbisogno idrico delle colture dovrebbe aumentare.

In Europa si prevede che la gravità e la frequenza della siccità si verificheranno in tutta Europa, ma in maniera significativa nelle regioni dell'Europa meridionale e sudorientale (Agenzia europea dell'ambiente, 2017).

Inoltre, vi sono anche prove di cambiamenti delle ricariche delle acque sotterranee, che variano in tutti gli stati d'Europa. Mentre nelle aree orientali, le ricariche annuali sono previste in aumento (+ 50%), e in Europa meridionale dovrebbero diminuire (- 25%) entro la fine del secolo rispetto al 2010.

In questo contesto, gli allevamenti situati nelle aree semi-aride, che dipendono dal pompaggio delle acque sotterranee, potrebbero vedere un aumento dei costi per estrarre le acque necessarie nelle attività in azienda (Ciscar et al., 2018). Oltre a ciò, l'innalzamento delle temperature influisce sul ciclo dell'acqua e, quindi, sull'approvvigionamento di acqua dolce.

### **3.4 Malattie bovine e pressione dei parassiti delle colture**

Si prevede che l'aumento della temperatura media globale aumenterà il tasso di riproduzione e distribuzione di alcuni agenti patogeni, con ripercussioni negative sulla salute sia delle vacche da latte che delle colture (EFSA, 2020).

Per quanto riguarda i rischi emergenti per le vacche, i nematodi e i virus gastrointestinali sono le principali minacce che causano considerevoli perdite di animali nelle mandrie (Gauly et al., 2013).

Un recente rapporto dell'EFSA (2020) ha identificato 34 problemi principali relativi alla salute degli animali causati dai cambiamenti climatici nel prossimo futuro. I moscerini pungenti di *Culicoides imicola* (vettore della febbre catarrale degli ovini, una malattia virale trasmessa tra ruminanti) hanno ottenuto il punteggio più alto in termini di impatto e probabilità di emergenza nel prossimo futuro.

Samy e Peterson (2016) hanno stimato la distribuzione globale del virus della febbre catarrale in Europa in condizioni di cambiamento climatico utilizzando come strumenti i modelli climatici globali e quattro RCP (*Representative Concentration Pathways*) e hanno previsto che il probabile aumento della temperatura di 5°C fosse correlato allo scenario ad alte emissioni (RCP 8.5) creerà le condizioni adatte per il virus della febbre catarrale nel nord Europa entro il 2050, andando così a diffondersi in regioni dove prima non era presente. Tutto questo causerà focolai che porteranno ad alti tassi di mortalità delle vacche.

Oltre ai rischi per gli animali, la combinazione degli effetti del cambiamento climatico come l'aumento delle temperature e la modifica delle precipitazioni rappresenteranno rischi emergenti per i parassiti delle colture come le micotossine (Chaya e Cummins, 2021).

I parassiti delle colture aggraveranno la preoccupazione degli agricoltori nel fornire mangimi di qualità e soprattutto sicuri per gli animali. Una possibile conseguenza a questo sarà un uso aggiuntivo o maggiore di pesticidi con il tentativo di far fronte alla pressione dei parassiti (EFSA, 2020).

Battilani et al., (2016) hanno sviluppato un modello per prevedere la contaminazione da aflatossina B1 nelle colture di mais e grano in Europa sotto gli effetti del cambiamento climatico in due scenari: uno ottimistico (aumento della temperatura di 2°C) e uno pessimistico (aumento della temperatura di 5°C) fino all'anno 2050.

In entrambi i casi hanno identificato che la contaminazione da aflatossine nel mais espanderà i suoi limiti geografici verso nord. Il Mediterraneo e l'Europa orientale sono le zone che presentano un rischio più elevato, il che significa che potrebbe esserci in futuro un aumento dell'esposizione degli animali all'aflatoxina B1 a causa di mangimi contaminati. Un problema molto serio in quanto avrà ripercussioni sulla salute degli animali e sulla sicurezza del consumo di latte, in particolar modo su quello crudo.

### **3.5 Rischio per la sicurezza dei prodotti: perdite e sprechi alimentari**

Nell'industria alimentare, la sicurezza dei prodotti è fondamentale per fornire garanzie di salubrità ed evitare che l'alimento possa essere un pericolo per la salute umana.



Gli effetti del cambiamento climatico influenzeranno anche l'aspetto legato alla sicurezza degli alimenti (ad esempio con un aumento dei pericoli chimici e biologici) determinando così potenziali perdite e sprechi alimentari lungo la catena del valore.

Si prevede che i pericoli legati agli alimenti influenzeranno la sicurezza del latte crudo e di tutti i prodotti lattiero-caseari. I pericoli biologici comunemente identificati nel latte crudo sono patogeni che causano la nota infiammazione chiamata mastite. La mastite è generalmente causata da batteri patogeni quali *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis* e in misura minore da *Listeria* spp. (Feliciano et al., 2020).

Si suppone che il cambiamento climatico aumenterà la presenza di mastiti nelle vacche in lattazione, il che significa un aumento di questi rischi biologici nel latte crudo (EFSA, 2020).

La sicurezza del latte crudo è anche indirettamente influenzata dalle pratiche degli allevatori, come lo stoccaggio inadeguato del mangime, le condizioni igieniche in azienda (es. attrezzature per la mungitura) e durante il suo trasporto allo stabilimento lattiero-caseario, pertanto i controlli di sicurezza alimentare vengono effettuati all'ingresso dello stabilimento per evitare la sicurezza microbica.

I trattamenti di pre-lavorazione (come ad es. filtrazione) sono trattamenti solitamente utilizzati prima di iniziare i principali trattamenti di trasformazione (es. separazione e pastorizzazione) che aiutano nella rimozione di alcuni microrganismi presenti nel latte crudo. L'importante processo di pastorizzazione permette di rimuovere o ridurre i patogeni a livelli accettabili. Tuttavia, alcuni pericoli microbici, possono sopravvivere ai trattamenti termici e contaminare i prodotti lattiero-caseari.

Inoltre, si prevede che la sicurezza dei prodotti lattiero-caseari sia compromessa dalla presenza di pericoli legati a contaminanti in azienda come le micotossine. Queste potrebbero avere un impatto diretto sui prodotti a base di latte attraverso la contaminazione dei mangimi delle vacche e questi potrebbero essere ancora più impattanti in condizioni di cambiamento climatico (Chaya e Cummins, 2021).

La presenza dei pericoli legati agli alimenti nelle catene del valore dei prodotti lattiero-caseari è legata anche alle perdite e agli sprechi (FAO, 2011).

In base alle attuali tendenze di produzione e consumo, si prevede che lo spreco alimentare quotidiano globale generato pro capite aumenterà del 19% nei paesi ad alto reddito entro il 2050 rispetto al 2018 (Kaza et al., 2018).

In questo contesto, i prodotti lattiero-caseari contribuiranno in modo significativo a questo previsto incremento di sprechi poiché sono una delle catene del valore con i più alti tassi di spreco di prodotto (FAO, 2011).

### 3.5.1 Relazione tra microrganismi e l'aumento delle precipitazioni

La combinazione dell'aumento delle precipitazioni e dell'applicazione di rifiuti caseari al terreno può portare all'inquinamento del suolo e delle acque sotterranee a causa di composti organici elevati come proteine e lattosio.

Lo studio di Donnison et al. (2009) riferisce che maggiori concentrazioni di *Campilobacter* e di *Escherichia coli O157: H7* sono state trasferite dal suolo al drenaggio durante le precipitazioni elevate. Si è scoperto che questi agenti patogeni defluiscono dal terreno mantenuto a 10°C per 3-4 settimane dopo l'applicazione di uno scarto di latte inoculato.

Le forti piogge portano all'allagamento dei serbatoi dei rifiuti caseari e questo diventa un mezzo per disperdere i microrganismi, diffondendosi in nuove aree (Hofstra, 2011).

Gli effluenti contaminati possono essere trasportati nel suolo e in fonti di acqua potabile per animali e esseri umani (Donnison et al., 2009).

Anche il vento e la polvere dovrebbero cambiare in base alle previsioni future. Si prevede che ci sarà un aumento dello 0,6-12% nella velocità del vento, provocando così fenomeni come i cicloni, questi aumenteranno dell'1-8% nel tempo con il riscaldamento globale.

È probabile che il cambiamento climatico sollevi la polvere a causa della desertificazione e dell'aumento della velocità del vento. I venti ad alta velocità separano le particelle dal suolo sollevandole nell'atmosfera e trasportandole su lunghe distanze. Perciò queste particelle contaminate possono essere trasferite in nuove aree e causare la diffusione di malattie.

Uno studio ha rilevato che la conta batterica nei campioni atmosferici sono 1,7-2,7 volte superiori durante le tempeste di polvere (Hellberg et al., 2016).

Dopo più di un mese di esposizione alla sabbia asciutta con un'umidità relativa del 40-55%, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, presenti negli scarti del latte, hanno tassi di sopravvivenza migliori rispetto a *Salmonelle* spp. e *Pseudomonas* spp. (Griffin, 2007).

Tuttavia, sono necessarie ulteriori analisi per comprendere i meccanismi della sopravvivenza microbica in combinazione con il cambiamento climatico per ridurre i rischi per la salute e la sicurezza umana. L'industria lattiero-casearia è un settore vulnerabile ai cambiamenti climatici, data la sua sensibilità alla stagionalità.

Ciò che si può trarre è che gli scenari del cambiamento climatico influenzeranno negativamente l'industria lattiero-casearia. È essenziale ampliare le attuali conoscenze sulla relazione tra fattori climatici e prevalenza e dispersione microbica nell'ambiente.

Una volta comprese queste relazioni, possono essere utilizzate per sviluppare o migliorare interventi che superano i rischi del cambiamento ambientale-climatico.

È importante sottolineare che i progressi in questo settore richiedono anche che scienziati di varie discipline lavorino insieme per affrontare le complesse interazioni tra clima, ecosistemi e rischi biologici.

## **4. Strategie di mitigazione energetica per l'industria lattiero-caseario**

Il consumo di energia nella filiera lattiero-casearia mostra che ogni fase della filiera differisce in termini di processi e attrezzature utilizzate, energia, produzione di emissioni e quota nell'utilità energetica totale della catena.

Per questo motivo, le strategie di mitigazione energetica per ciascuna fase hanno un focus diverso. Verranno presentate pratiche di efficienza energetica e diverse considerazioni per tecnologie innovative che possono affrontare alcune delle sfide del consumo energetico all'interno di ogni fase della catena di approvvigionamento.

L'impatto ambientale dei prodotti alimentari può essere ridotto modificando i modelli di coltivazione, produzione, distribuzione e consumo (Roy et al., 2009).

Secondo gli studi LCA sui prodotti lattiero-caseari, le misure più popolari includono la riduzione del consumo di carburante ed elettricità all'interno del ciclo di vita dei prodotti lattiero-caseari, l'utilizzo di apparecchiature di processo efficienti dal punto di vista energetico, l'uso di risorse energetiche rinnovabili e l'ottimizzazione della logistica (Djekic et al., 2014; Üçtug, 2019).

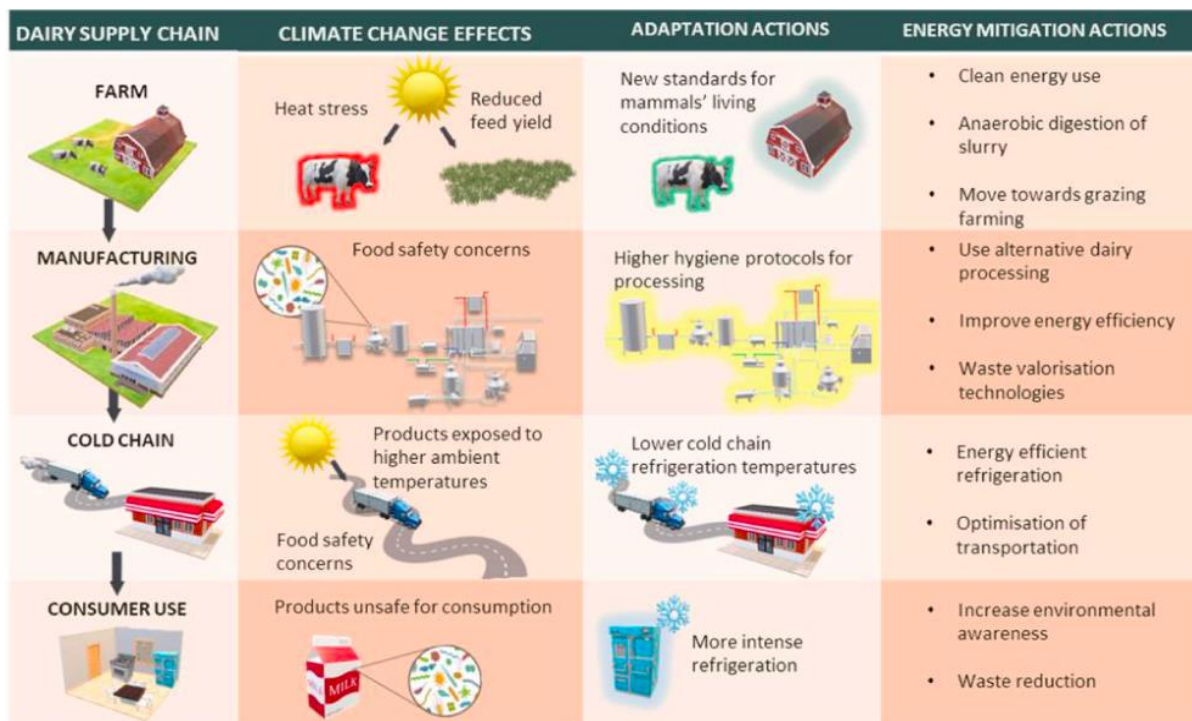


Fig. 4. Impatti del cambiamento climatico, azioni di adattamento al cambiamento climatico e pratiche di mitigazione energetica per la filiera lattiero-casearia (Maria Ioanna Malliaroudaki et al., 2022).

#### 4.1. Strategia di mitigazione per le aziende lattiero-casearie

L'installazione sempre più crescente delle tecnologie e delle automazioni agricole consente un attento monitoraggio della produzione di latte e dei processi di alimentazione. Inoltre, il monitoraggio degli animali consente di migliorare il benessere dei bovini, il che può portare a un aumento della produzione di latte e all'identificazione precoce delle malattie (Hansen et al., 2018). L'automazione negli allevamenti garantisce anche una migliore igiene, parametro importante per la sicurezza alimentare della filiera lattiero-casearia.

Sebbene queste tecnologie siano altamente raccomandate, l'installazione di apparecchiature con nuove tecnologie di automazione può richiedere un ulteriore input di energia (Todde et al., 2017).

L'automazione nelle aziende agricole dovrebbe essere abbinata a pratiche di mitigazione che possano ridurre le emissioni e il consumo di energia nelle aziende agricole.

Per mitigare le emissioni di carbonio causate dal consumo di energia, le pratiche di riduzione dell'energia per gli allevamenti possono essere classificate in pratiche di rimozione di carbonio e di riduzione delle emissioni.

La prima categoria è associata alla produzione di energia in azienda e alle pratiche di gestione del territorio che consentono lo stoccaggio o il sequestro del carbonio nel suolo, mentre la seconda mira a migliorare l'efficienza energetica delle attrezzature agricole (McEvoy, 2019). Nella prima tipologia, alcune delle pratiche più promettenti, come indicato dalla letteratura, sono la produzione di biogas dalla digestione del letame ed altri co-substrati dai rifiuti agricoli (Gebrezgabher et al., 2012). Tuttavia, i costi di capitale per la digestione anaerobica, uniti alle competenze tecniche per il funzionamento e la manutenzione, farebbero pensare al trattamento dei rifiuti fuori sede e alla produzione di biogas e/o all'utilizzo in loco di piccole tecnologie modulari per la produzione di biogas gestite tramite tecnologie digitali da un fornitore esterno di gestione dei rifiuti (Fisher et al., 2020).

Inoltre, l'elettricità per uso agricolo può essere prodotta anche dall'installazione di impianti fotovoltaici (FV) o da turbine eoliche in loco. I sistemi fotovoltaici e le turbine eoliche possono produrre elettricità rispettivamente con la luce diurna e in presenza di vento, ma tale produzione potrebbe non essere allineata alla domanda di elettricità a causa dello spostamento del carico che può essere affrontato con l'installazione di batterie per immagazzinare l'energia in eccesso (Breen et al., 2020).

Importante è notare che il mix di elettricità dalla rete è completamente esogeno alle aziende agricole (Vergè et al., 2013). Le decisioni sul mix elettrico nazionale sono estremamente complesse e vanno ben oltre l'impatto dell'energia utilizzata dall'intera catena del valore del settore lattiero-caseario (Aghajanzadeh & Therkelsen, 2019).

Infine, viene proposta l'attuazione di pratiche di prateria al fine di aumentare l'assorbimento di carbonio, sequestrando l'anidride carbonica atmosferica (FAO e PIL, 2018).

Riguardo questo, la letteratura si concentra sulle tecnologie di risparmio energetico per ridurre il consumo energetico in azienda. Diverse pratiche di conservazione dell'energia e dei costi per le aziende lattiero-casearie sono state recentemente riviste e hanno dimostrato promettenti risparmi energetici.

Alcune delle pratiche più comuni in cui le tecnologie mirano a ridurre il consumo di elettricità in azienda sono: il pre-raffreddamento del latte attraverso un refrigeratore a piastra, il miglioramento dell'isolamento del serbatoio dell'acqua calda e il passaggio ad una illuminazione a risparmio energetico, etc. (Shine et al., 2020).

Infine, per quanto riguarda la crescita del settore, si raccomanda una maggiore agricoltura biologica poiché consuma meno energia rispetto all'agricoltura convenzionale per kg di latte prodotto (Shine et al., 2020).

Si può concludere quindi che con adeguate azioni di mitigazione, l'industria lattiero-casearia può non solo diventare a zero impatto ma anche a impatto positivo, integrando altri settori come l'industria idrica dei processi di trattamento delle acque reflue. (Water UK, 2020).

## **4.2 Strategie di mitigazione per la produzione lattiero-casearia**

Gli impianti lattiero-caseari sono presenti in grande varietà sia in termini di scala che di prodotti fabbricati e, pertanto, le azioni di mitigazione dell'azzeramento netto possono differire rispettivamente per ogni tipo e scala di impianto lattiero-caseario.

La fase di produzione richiede molta energia a causa dei numerosi processi in atto, molti dei quali richiedono temperature molto elevate per processi quali pastorizzazione, evaporazione ed essiccazione. Gli impianti di produzione lattiero-casearia possono ridurre notevolmente la loro impronta di carbonio passando dall'uso di energia convenzionale a forme di energia pulita. I combustibili fossili dovrebbero essere sostituiti dai biocarburanti, mentre è preferibile che l'uso di elettricità derivi da risorse più pulite come l'energia eolica, solare, idroelettrica, geotermica o nucleare (Rad e Lewis, 2014).

La produzione di elettricità in loco dovrebbe essere presa in considerazione laddove sia fattibile la generazione locale di elettricità. Una mitigazione più ampia potrebbe essere raggiunta più in generale spostando il mix energetico complessivo dalla rete verso fonti rinnovabili insieme all'utilizzo di energia nucleare.

Alcune delle pratiche comuni seguite dai produttori lattiero-caseari per ridurre sostanzialmente il consumo di energia sono l'installazione di rigeneratori di riscaldamento e raffreddamento, l'utilizzo di apparecchiature ad alta efficienza, l'ottimizzazione dell'efficienza della combustione nelle caldaie a vapore e ad acqua calda e riparazione delle perdite di vapore (Rad e Lewis, 2014).

Le tecnologie non convenzionali per sostituire il trattamento termico convenzionale, come la pastorizzazione, sono classificate in processi di trattamento termico e non termico.

Le microonde (MW) e la radiofrequenza (RF) sono due dei più promettenti metodi di trattamento termico non convenzionale. Entrambe utilizzano l'energia elettromagnetica per fornire un riscaldamento volumetrico istantaneo, superando i limiti di trasferimento del calore per ottenere tassi di riscaldamento più elevati (Martins et al., 2019).

Dato che il costo di tali tecnologie è significativamente più elevato, la definizione della proposta di valore è fondamentale per un'applicazione di successo. Anche il fatto che MW e

RF siano tecnologie promettenti per una migliore qualità del prodotto è un vantaggio comune, tuttavia, finora, pochissime applicazioni di riscaldamento MW e RF hanno raggiunto il successo commerciale (Kingman, 2018).

Le tecniche non termiche proposte in letteratura per sostituire i processi di trattamento termico sono gli ultrasuoni (US), l'elaborazione ad alta pressione (HPP) e il campo elettrico pulsato (PEF).

L'efficienza degli US nella pastorizzazione del latte è stata valutata, mostrando risultati promettenti in termini di sicurezza alimentare ed efficienza energetica (Kotsanopoulos & Arvanitoyannis, 2015).

L'HPP è sempre più utilizzato nell'industria alimentare per prodotti con valore aggiunto (Chawla et al., 2011), mentre le tecniche termiche offrono il vantaggio di un'efficiente conservazione dei nutrienti del latte utilizzando un minor consumo di energia rispetto al trattamento convenzionale (Martins et al., 2019).

La gestione dei rifiuti svolge un ruolo importante nel risparmio energetico e nella sostenibilità (Kazancoglu et al., 2018). Gli impianti di produzione lattiero-casearia producono enormi volumi di flussi di rifiuti. Il pensiero di un'economia circolare basata sulla gerarchia dei rifiuti, può offrire opportunità per ridurre i rifiuti dell'industria lattiero-casearia o valorizzarli attraverso operazioni di riutilizzo, riciclaggio e recupero (Fisher et al., 2021).

I principali flussi di rifiuti nella produzione lattiero-casearia includono il siero di latte, ma è importante considerare anche i rifiuti evitabili come perdite, fuoriuscite, deterioramento e scarichi per la pulizia delle attrezzature (Zero Waste Scotland, 2020).

Le tecnologie di pulizia in loco (CIP) svolgono un ruolo fondamentale nel migliorare l'efficienza della pulizia, riducendo non solo il consumo di energia ma anche l'acqua utilizzata in generale e quindi i rifiuti generati. Infatti, l'installazione di un sistema CIP ad alta efficienza energetica può ridurre i costi di pulizia di circa il 35% e il consumo di energia del 40% (Marriott et al., 2018).

Per la valorizzazione, gli approcci biotecnologici si sono dimostrati applicabili alla produzione di prodotti biofarmaceutici, prodotti alimentari derivati dal siero di latte e bioplastiche (Ahmad et al., 2019).

Inoltre ci sono opportunità per la generazione di energia, producendo biocarburanti dai rifiuti di impianti lattiero-caseari. Ad esempio, gli scarti del latte possono essere usati come

substrato per la produzione di etanolo usando il lievito, mentre i flussi di effluenti ad alta resistenza possono essere usati per il recupero del metano attraverso la digestione anaerobica. L'etanolo ed il metano possono quindi essere utilizzati dall'impianto di produzione come combustibile supplementare (Ahmed et al., 2019; Rad e Lewis, 2014). Inoltre, l'elettricità può essere prodotta anche dai flussi di rifiuti tramite processi bioelettrochimici impiegando microbi come catalizzatori (Fisher et al., 2021).

### **4.3 Strategie di mitigazione per la catena del freddo**

La catena del freddo richiede cambiamenti significativi per migliorare la sostenibilità energetica. L'uso di tecnologie di refrigerazione ad alta efficienza energetica e prive di emissioni di carbonio in tutte le fasi può aumentare l'efficienza della catena del freddo con conseguenti minori emissioni di CO<sub>2</sub> (James & James, 2010).

La logistica della catena del freddo svolge un ruolo cruciale nella sicurezza alimentare dei prodotti nella catena di approvvigionamento e l'attenzione della ricerca è rivolta a nuove tecnologie come l'*Internet of Things* (IoT) per il monitoraggio dei prodotti (Shashi et al., 2018).

Il contributo della logistica nell'utilità energetica della filiera lattiero-casearia è importante poiché la produzione di questo settore è in gran parte centralizzata, questo significa che le distanze di trasporto per la distribuzione sono significative (Ladha-Sabur et al., 2019).

Pertanto, man mano che il settore cresce, si potrebbe prendere in considerazione un passaggio al decentramento comprendente percorsi di distribuzione più brevi.

Ridurre al minimo la distanza ottimizzando i percorsi di distribuzione ridurrà il consumo di carburante e le esigenze di refrigerazione.

Un modello proposto mira ad ottimizzare la domanda di energia dei percorsi di distribuzione refrigerati riducendo al minimo i percorsi di trasporto, tenendo conto delle variazioni della temperatura ambiente (Accorsi et al, 2017).

Poiché una temperatura ambiente elevata richiede una maggiore energia per la refrigerazione, hanno suggerito di considerare le condizioni metereologiche durante il trasporto, nonché la congestione del traffico durante il giorno (Accorsi et al., 2017).

Inoltre è possibile migliorare anche l'efficienza energetica dei camion refrigerati, riprogettando i compressori diesel e installando un migliore isolamento (Accorsi et al., 2017).



Per quanto riguarda la fase di vendita al dettaglio, si consiglia di conservare i prodotti in frigoriferi con porte chiuse, in quanto possono offrire una migliore refrigerazione e un risparmio energetico che arriva fino al 68% rispetto agli standard attuali dei frigoriferi con porte aperte (de Frias et al., 2020).

Si dovrebbe prendere in considerazione la sostituzione dei prodotti lattiero-caseari freschi con le loro alternative trasformate non refrigerate in modo tale da non deteriorarsi se conservate a temperatura ambiente fino a 6-9 mesi (Guzmán-Luna et al., 2021).

Ciò ridurrà sostanzialmente il carico energetico sulla catena del freddo; tuttavia la loro lavorazione è più intensiva e quindi è necessaria più energia nella produzione.

Questi prodotti possono essere opzioni più sostenibili dal punto di vista ambientale, ma ciò può essere dimostrato solo attraverso studi LCA completi.

Ad esempio, è stato riportato che il latte pastorizzato UHT (*Ultra High Temperature*) può avere un consumo energetico inferiore (Djekic et al., 2014) ma anche un consumo energetico più elevato rispetto al normale latte pastorizzato lungo il loro ciclo di vita (Nicol, 2004).

Vale la pena ricordare che il latte UHT è più comune nei climi più caldi, e questo a causa dell'elevato costo energetico associato alla refrigerazione (Mercier et al., 2017).

Ciò implica che con il cambiamento climatico e l'aumento della temperatura, i paesi che attualmente preferiscono i prodotti lattiero-caseari freschi potrebbero dover passare a prodotti a lunga conservazione.

Tuttavia, la preferenza per i prodotti lattiero-caseari dipende molto dai comportamenti dei consumatori in una specifica zona e non cambia nell'immediato perchè diventa disponibile un prodotto alternativo a minor consumo energetico (Macdiarmid, Douglas e Campbell, 2016).

#### **4.4 Strategie di mitigazione dei consumi**

Per migliorare la sostenibilità della filiera lattiero-casearia, la produzione di rifiuti e il consumo di energia a livello domestico dovrebbero essere ridotti al minimo.

Entrambi gli obiettivi possono essere raggiunti aumentando la percezione al pubblico e la loro consapevolezza ambientale e adattamento il loro comportamento al consumo.

I consumatori dovrebbero essere incoraggiati a utilizzare mezzi di trasporto a bassa impronta di carbonio, utilizzare elettrodomestici ad alta efficienza energetica come frigoriferi domestici e ridurre al minimo tutti i tipi di rifiuti dei consumatori.

Inoltre vengono suggeriti frigoriferi intelligenti che sono stati recentemente introdotti sul mercato e sono in grado di tracciare la shelf-life dei prodotti prevenendo lo spreco alimentare (Kumar & Chimmani, 2019).

In aggiunta, per aumentare la sensibilità sul consumo energetico di un prodotto, un approccio efficace consiste nell'apporre sui prodotti un'etichetta di risparmio di carburante che indichi i requisiti energetici del prodotto lungo la catena di approvvigionamento, in uno stile familiare all'unità di consumo, ad esempio una lampadina equivalente minuti (Camilleri et al., 2019).

Nel complesso, i consumatori hanno un grande impatto sulla domanda energetica della filiera agroalimentare e lattiero-casearia, sebbene possa essere considerato più impegnativo aumentare la consapevolezza ambientale dei consumatori, rispetto agli stakeholder industriali coinvolti nelle altre fasi della filiera, consapevoli della loro immagine aziendale e degli incentivi ambientali governativi.

Pertanto, cambiamenti positivi nel comportamento dei consumatori potrebbero contribuire in modo significativo all'obiettivo globale di azzerare le emissioni di carbonio.

Il passaggio per arrivare alle emissioni zero di carbonio nel settore lattiero-caseario è un processo continuo di ricostruzione che richiede tempo. Ciò non è solo attribuibile al tempo effettivo necessario per l'applicazione delle pratiche di mitigazione, ma soprattutto perché l'industria e la società devono sviluppare una consapevolezza ambientale e porre l'ambiente in cima alle loro priorità.

Il settore lattiero-caseario può ridurre sostanzialmente le proprie emissioni mediante un'adeguata gestione delle risorse, dall'energia allo spreco.

Tuttavia, a causa dell'interconnessione tra le fasi, ciò non può essere necessariamente soddisfatto fase per fase, ma piuttosto da una prospettiva olistica. Più specificatamente, alcune fasi della filiera possono diventare carbon net-positive, il che significa che le loro azioni vanno oltre il raggiungimento di zero emissioni nette di carbonio.

Ciò può essere ottenuto attraverso un'adeguata gestione dell'energia e investendo nella produzione di bioenergia (Gebrezgabher et al., 2012).

In questo modo, anche se non è realistico aspettarsi che le emissioni di carbonio di alcune fasi si riducano a zero, c'è la possibilità che le emissioni dell'intera catena di approvvigionamento diminuiscano sostanzialmente e si spostino verso livelli di carbonio pari a zero.

Ad ogni modo, si tratta di un processo a più fasi che richiede un'analisi approfondita delle prestazioni in termini di emissioni di carbonio di ciascuna fase all'intera catena.

La principale sfida derivante dal raggiungimento dell'obiettivo di zero emissioni nette di carbonio in una prospettiva olistica è come tutti i settori possono unirsi e lavorare insieme all'interno di tale obiettivo.

## Conclusioni

La domanda dei prodotti lattiero-caseari aumenterà nel breve termine. Tuttavia, anche il settore lattiero-caseario deve prepararsi agli effetti diseguali del cambiamento climatico.

Questo settore potrebbe essere indirizzato verso un gran numero di possibili percorsi in cui possono presentarsi opportunità e minacce.

Le misure per mitigare queste minacce possono rappresentare conseguenze ambientali che contribuiscono, a loro volta, al cambiamento climatico ed altri impatti ambientali.

Questo problema globale non influirà solo sulla sostenibilità ambientale di questo settore, ma anche sulla sicurezza dei suoi prodotti lungo tutta la filiera. Per iniziare a preparare questo settore agli effetti futuri del cambiamento climatico, le strategie di adattamento per garantire la sicurezza dei prodotti dovrebbe includere anche la sostenibilità ambientale.

Pertanto, è necessario sviluppare un quadro in cui siano integrati diversi strumenti, per aiutare il settore lattiero-caseario ad affrontare queste sfide e migliorare la sua sostenibilità ambientale in un'era di cambiamenti climatici.

Questo lavoro mira innanzitutto a definire e analizzare l'interazione tra il settore lattiero-caseario e il cambiamento climatico. Fornisce una comprensione di come la sostenibilità ambientale del settore potrebbe essere influenzata dagli effetti del cambiamento climatico.

Inoltre, ha permesso di guardare alle possibili direzioni in cui si muoverà il settore lattiero-caseario nel breve periodo ma anche in un prossimo futuro.

Tutti i settori in tutto il mondo dovranno raggiungere livelli netti di emissioni di carbonio pari a zero entro il 2050-2070 secondo l'accordo di Parigi.

Le aziende e le parti interessate che si adeguano all'obiettivo Net zero prima piuttosto che dopo, possono ridurre in modo significativo i rischi durante l'adattamento allo zero netto, guidando al contempo la sostenibilità ambientale.

Il settore lattiero-caseario è un settore alimentare ad alta intensità energetica e accanto ai requisiti di sostenibilità ambientale, la riduzione del consumo energetico è essenziale.

Il "net-zero carbon" è l'obiettivo finale, tuttavia è estremamente impegnativo per settori come l'industria lattiero-casearia, dove l'azzeramento delle emissioni nette complessive di carbonio è quasi impossibile da implementare direttamente. Questo perché la tecnologia e le pratiche attuali non sono in grado di affrontare l'enorme fonte di emissioni derivate dalla fermentazione enterica bovina.

Sebbene l'azzeramento netto delle emissioni di carbonio sia un obiettivo importante, non tutte le fasi della catena di approvvigionamento nel settore lattiero-caseario possono raggiungere livelli netti di emissioni di carbonio zero.

L'industria lattiero-casearia si muoverà in modo più efficiente verso emissioni di carbonio Net zero attraverso azioni di collaborazione tra le quattro fasi della filiera lattiero-casearia (azienda agricola, produzione, catena del freddo e uso domestico) nel contesto della simbiosi industriale.

Per fornire una panoramica olistica delle opportunità e passare a livelli netti di carbonio pari a zero attraverso una mitigazione energetica, questo lavoro in primo luogo alloca il consumo di energia lungo l'intera filiera lattiero-casearia e successivamente presenta le azioni di mitigazione energetica.

Gli effetti sempre più allarmanti del cambiamento climatico e della crescita della popolazione globale renderanno la sfida dell'azzeramento delle emissioni di carbonio ancora più difficile poiché la domanda di energia aumenterà ulteriormente.

Nonostante un futuro prossimo e ricco di incertezze, questo lavoro pone le basi per supportare un processo decisionale più efficace sulla definizione di strategie di adattamento ambientalmente sostenibili lungo le diverse fasi che compongono il settore lattiero-caseario.

Il settore lattiero-caseario si impegna a raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) in quanto responsabile in quantità significative di emissioni di gas serra e altri impatti ambientali (European Dairy Association, 2017).

L'analisi effettuata in questo elaborato può creare conoscenza, in modo tale che gli attori del settore lattiero-caseario possano identificare i possibili scenari che questo settore andrà ad affrontare in un'era di cambiamenti climatici, riducendo al contempo l'impatto ambientale e, di conseguenza, andando a promuovere e contribuire una produzione alimentare ambientalmente sostenibile e resiliente.

## Bibliografia

Accorsi, R., Gallo, A., & Manzini, R. (2017). A climate driven decision-support model for the distribution of perishable products. *Journal of Cleaner Production*, 165, 917–929.

Aghajanzadeh, A., & Therkelsen, P. (2019). Agricultural demand response for decarbonizing the electricity grid. *Journal of Cleaner Production*, 220, 827–835.

Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., ur Rahman, U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q., Pimentel, T. C., Scudino, H., Guimaraes, J. T., & Esmerino, E. A. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 361–372.

Battilani, P., Toscano, P., Van Der Fels-Klerx, H. J., Moretti, A., Camardo Leggieri, M., Brera, C., et al. (2016). Aflatoxin B 1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*, 6, 1–7.

Breen, M., Upton, J., & Murphy, M. D. (2020). Photovoltaic systems on dairy farms: Financial and renewable multi-objective optimization (FARMOO) analysis. *Applied Energy*, 278, 115534.

Brcsic, M. (2020). Refining consumer attitudes to milk and dairy product purchase and use to reduce food waste and improve animal welfare on-farm. *Journal of Dairy Research*, 87(S1), 9–12.

Camilleri, A. R., Larrick, R. P., Hossain, S., & Patino-Echeverri, D. (2019). Consumers underestimate the emissions associated with food but are aided by labels. *Nature Climate Change*, 9(1), 53–58.

Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2020). Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104912.

Chhaya, R., & Cummis, E. (2021). Feed to fork risk assessment of mycotoxins under climate change influences - recent developments (manuscript). *Trends in Food Science and Technology*.

Ciscar, J. C., Feyen, L., Ibarreta, D., & Soria, A. (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project.

Dalla Riva, A., Burek, J., Kim, D., Thoma, G., Cassandro, M., & De Marchi, M. (2017). Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 7933–7952.

- de Frias, J. A., Luo, Y., Zhou, B., Zhang, B., Ingram, D. T., Vorst, K., Brecht, J. K., & Stommel, J. (2020). Effect of door opening frequency and duration of an enclosed refrigerated display case on product temperatures and energy consumption. *Food Control*, 111, 107044.
- Djekic, I., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., & Tomic, N. (2014). Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production*, 68, 64–72.
- Djekic, I., Petrovic, J., Bozicković, A., Djordjevic, V., & Tomasevic, I. (2019). Main environmental impacts associated with production and consumption of milk and yogurt in Serbia – Monte Carlo approach. *The Science of the Total Environment*, 695.
- EFSA. (2020). Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety. *Plant, Animal Health and Nutritional Quality*, 17 (Issue 6).
- Eide, M. H., Homleid, J. P., & Mattsson, B. (2003). Life cycle assessment (LCA) of cleaning-in-place processes in dairies. *LWT-Food Science and Technology*, 36(3), 303–314.
- European Environment Agency. (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator based report (Issue 1).
- European Environment Agency. (2019). Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. In EEA report (issue 04/2019).
- Eurostat. (2021). Milk and milk products - 30 years of quotas.
- Falloon, P., & Betts, R. (2010). Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach. *The Science of the Total Environment*, 408(23), 5667–5687.
- FAO. (2011). Food loss and food waste: Extent, causes and prevention.
- FAO, GDP. (2018). Climate change and the global dairy cattle sector – the role of the dairy sector in a low-carbon future.
- FAO. (2020). Climate change: Unpacking the burden on food safety. Food safety and quality. In *Climate change: Unpacking the burden on food safety*.
- Feliciano, R. J., Boué, G., & Membre, J.-M. (2020). Overview of the potential impacts of climate change on the microbial safety of the dairy industry. *Foods*, 9(12), 1794.
- Fisher, O. J., Watson, N. J., Escrig, J. E., Witt, R., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M., & Gomes, R. L. (2020). Considerations, challenges and opportunities when developing data-

driven models for process manufacturing systems. *Computers & Chemical Engineering*, 140, 106881.

Fisher, O. J., Watson, N. J., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M., & Gomes, R. L. (2021). Multiple target data-driven models to enable sustainable process manufacturing: An industrial bioprocess case study. *Journal of Cleaner Production*, 126242.

Flysjö, A. (2011). Potential for improving the carbon footprint of butter and blend products. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 5833–5841.

Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgard, S., & Englund, J. (2011). The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*, 104(6), 459–469.

Flysjö, A., Thrane, M., & Hermansen, J. E. (2014). Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 34(1), 86–92.

Fodor, N., Foskolos, A., Topp, C. F. E., Moorby, J. M., Pasztor, L., & Foyer, C. H. (2018). Spatially explicit estimation of heat stress-related impacts of climate change on the milk production of dairy cows in the United Kingdom. *PloS One*, 13(5), 1–18.

Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Danicke, S., Das, G., et al. (2013). Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. *Animal*, 7(5), 843–859.

Gebrezgabher, S. A., Meuwissen, M. P. M., & Lansink, A. G. J. M. O. (2012). Energy-neutral dairy chain in The Netherlands: An economic feasibility analysis. *Biomass and Bioenergy*, 36, 60–68.

Gerber, P. J., Vellinga, T., Opio, C., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2010). Greenhouse gas emissions from the dairy sector. *Africa*.

González-García, Castanheira, D., & Arroja. (2013a). Environmental life cycle assessment of a dairy product: The yoghurt. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(4), 796–811.

González-García, S., Castanheira, E. G., Dias, A. C., & Arroja, L. (2013b). Using Life Cycle Assessment methodology to assess UHT milk production in Portugal. *The Science of the Total Environment*, 442, 225–234.

González-García, S., Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2018). Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. *The Science of the Total Environment*, 644, 77–94.



Guzman-Luna, P., Mauricio-Iglesias, M., Flysjo, A., & Hospido, A. (2021). Analysing the interaction between the dairy sector and climate change from a life cycle perspective: A review. *Trends in Food Science & Technology*.

Hansen, M. F., Smith, M. L., Smith, L. N., Jabbar, K. A., & Forbes, D. (2018). Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*, 98, 14–22.

Hempel, S., Menz, C., Pinto, S., Galan, E., Janke, D., Estelles, F., et al. (2019). Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios-uncertainties and potential impacts. *Earth System Dynamics*, 10(4), 859–884.

Henriksson, M., Flysjö, A., Cederberg, C., & Swensson, C. (2011). Variation in carbon footprint of milk due to management differences between Swedish dairy farms. *Animal*, 5(9), 1474–1484.

Hristov, J., Toreti, A., P´erez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby, C., et al. (2020). Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050.

IPCC. (2006). Emissions from livestock and manure management. In *Forestry* (Vol. 4). <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

IPCC. (2014). Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. In *Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability: Part B: Regional aspects: Working group II contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change*.

James, S. J., & James, C. (2010). The food cold-chain and climate change. *Food Research International*, 43(7), 1944–1956.

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050.

Kazancoglu, Y., Ozkan-Ozen, Y. D., & Ozbiltekin, M. (2018). Minimizing losses in milk supply chain with sustainability: An example from an emerging economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 270–279.

Kingman, S. W. (2018). *Microwave processing of materials* (Doctoral dissertation, Stellenbosch. Stellenbosch University).

Kotsanopoulos, K. V., & Arvanitoyannis, I. S. (2015). Membrane processing technology in the food industry: food processing, wastewater treatment, and effects on physical, microbiological, organoleptic, and nutritional properties of foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(9), 1147–1175.

Kumar, S. N., & Chakabarti, B. (2019). Energy and carbon footprint of food industry. In *Energy footprints of the food and textile sectors* (pp. 19–44). Singapore: Springer.

Ladha-Sabur, A., Bakalis, S., Fryer, P. J., & Lopez-quirola, E. (2019). Mapping energy consumption in food manufacturing. *June 2017 Trends in Food Science & Technology*, 86, 270–280.

Macdiarmid, J. I., Douglas, F., & Campbell, J. (2016). Eating like there's no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. *Appetite*, 96, 487–493.

Maria Ioanna Malliaroudaki, Nicholas J. Watson, Rebecca Ferrari, Luanga N. Nchari, Rachel L. Gomes<sup>[1]</sup> (2022). Energy management for a net zero dairy supply chain under climate change.

Marriott, N. G., Schilling, M. W., & Gravani, R. B. (2018). Dairy processing plant sanitation. In N. G. Marriott, M. W. Schilling, & R. B. Gravani (Eds.), *Principles of food sanitation* (pp. 295–309).

Martins, C. P. C., Cavalcanti, R. N., Couto, S. M., Moraes, J., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Gut, J. A. W., Ramaswamy, H. S., Tadini, C. C., & Cruz, A. G. (2019). Microwave processing: Current background and effects on the physicochemical and microbiological aspects of dairy products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 67–83.

McEvoy, R. (2019). *Grassland and carbon sequestration*. Teagasc, Animal & Grassland Research and Innovation Centre. Moorepark: Fermoy, Co.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600.

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time–temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 647–667.

Merdji, M., Tozanli, S., & Kussman, M. (2015). Etude sur les debouches internationaux. 1–75. [www.lactimed.eu](http://www.lactimed.eu).

Misiou, O., & Koutsoumanis, K. (2021). Climate change and its implications for food safety and spoilage. *Trends in Food Science & Technology*.

Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., Rodrigues, N. R., & Domingos, T. (2018). Carbon footprint of milk from pasture-based dairy farms in Azores, Portugal. *Sustainability*, 10(10), 1–22.

Muñoz, I., Milà i Canals, L., & Clift, R. (2008). Consider a spherical man: a simple model to include human excretion in life cycle assessment of food products. *J Ind Ecol* 12 (4):521–538.

National Research Council (1971). A guide to environmental research on animals. National Academy of Sciences.

Nicol, R. (2004). Life cycle thinking in the dairy industry. *Australian Journal of Dairy Technology*, 59(2), 126–128.

Noya, I., González-García, S., Berzosa, J., Baucells, F., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2018). Environmental and water sustainability of milk production in Northeast Spain. *The Science of the Total Environment*, 616–617, 1317–1329.

OECD/FAO. (2020). OECD-FAO agricultural outlook 2020-2029. Rome: OECD Publishing Paris, Food and Agriculture Organization of the United Nations. [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2020-2029\\_1112c23b-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2020-2029_1112c23b-en).

Rad, S. J., & Lewis, M. J. (2014). Water utilisation, energy utilisation and waste water management in the dairy industry: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 67(1), 1–20.

Roibàs, L., Martínez, I., Goris, A., Barreiro, R., & Hospido, A. (2016). An analysis on how switching to a more balanced and naturally improved milk would affect consumer health and the environment. *The Science of the Total Environment*, 566–567, 685–697.

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163.

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1–10.

Samy, A. M., & Peterson, A. T. (2016). Climate change influences on the global potential distribution of bluetongue virus. *PloS One*, 11(3), 1–12.

Schmidt, J. H., & de Saxce, M. (2016). Arla foods environmental Profit and loss accounting 2014 (issue 1860).

Shashi, S., Cerchione, R., Singh, R., Centobelli, P., & Shabani, A. (2018). Food cold chain management: From a structured literature review to a conceptual framework and research agenda. *International Journal of Logistics Management*.

Shine, P., Upton, J., Sefeedpari, P., & Murphy, M. D. (2020). Energy consumption on dairy farms: A review of monitoring, prediction modelling, and analyses. *Energies*, 13 (5), 1288.

Tassou, S., De-Lille, G., & Ge, Y. (2009). Food transport refrigeration—Approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. *Applied Thermal Engineering*, 29(8–9), 1467–1477.

Thoma, G., Popp, J., Nutter, D., Shonnard, D., Ulrich, R., Matlock, M., Kim, D. S., Neiderman, Z., Kemper, N., & East, C. (2013). Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. *International Dairy Journal*, 31, S3–S14.

Todde, G., Caria, M., Gambella, F., & Pazzona, A. (2017). Energy and carbon impact of precision livestock farming technologies implementation in the milk chain: From dairy farm to cheese factory. *Agriculture*, 7(10), 79.

Tomasula, P. M., Datta, N., Yee, W. C. F., McAloon, A. J., Nutter, D. W., Sampedro, F., & Bonnaillie, L. M. (2014). Computer simulation of energy use, greenhouse gas emissions, and costs for alternative methods of processing fluid milk. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4594–4611.

Üçtug, F. G. (2019). The environmental life cycle assessment of dairy products. *Food Engineering Reviews*, 1–18.

Vergé, X. P. C., Maxime, D., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., Arcand, Y., & Vanderzaag, A. (2013). Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 6091–6104.

Water UK. (2020). Net zero 2030 route map. <https://www.water.org.uk/routemap2030/>.

Xu, T., Flapper, J., & Kramer, K. J. (2009). Characterization of energy use and performance of global cheese processing. *Energy*, 34(11), 1993–2000.

Yan, M. J., Humphreys, J., & Holden, N. M. (2011). An evaluation of life cycle assessment of European milk production. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 372–379.

Zero Waste Scotland. (2020). The ultimate guide Managing waste in cheese manufacturing.