



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

VALUTAZIONI DI SOSTENIBILITÀ
AMBIENTALE DEI PRODOTTI
LATTIERO-CASEARI

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT
OF DAIRY PRODUCTS

TIPO TESI: COMPILATIVA

Studente:
FRANCESCO CAMELI

Relatore:
PROF. DANIELE DUCA

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Ai miei genitori,
che hanno sempre creduto in me e nelle mie potenzialità
specialmente nei momenti di sconforto.
Se sono arrivato sin qui è solo grazie a voi.
VI DEVO TUTTO.

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE	5
ABSTRACT	6
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE.....	7
1.1 Il mercato del latte nel mondo.....	7
1.2 Alimentazione zootecnica per la produzione di latte	9
1.3 Il processo di caseificazione.....	14
1.4 Valorizzazione dei sottoprodotti	17
1.4.1 Il siero	17
1.4.2 Le deiezioni animali	19
CAPITOLO 2 LIFE CYCLE ASSESSMENT E SOSTENIBILITA AMBIENTALE	21
2.1 Che cos'è l'LCA	22
2.2 I principali impatti ambientali	23
CAPITOLO 3 STUDIO LCA DI PRODOTTI LATTIERO CASEARI E RISULTATI	26
3.1 Rassegna studi scientifici LCA.....	27
3.2 Confronto impatti ambientali degli studi LCA	43
CONCLUSIONI.....	49
BIBLIOGRAFIA	50

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-Principali surplus e deficit di latte nel mondo	9
Tabella 2 - Impatti ambientali per kg di formaggio	32
Tabella 3 - Impatti ambientali per kg di mozzarella	40
Tabella 4- Impatti ambientali mozzarella	42
Tabella 5- Confronto impatti ambientali per kg di prodotto	43
Tabella 6- Contributi domanda energetica cumulativa	45
Tabella 7- Contributi water depletion	47

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-Produzione di latte in relazione alla popolazione.....	8
Figura 2- Diagramma di flusso caseificazione.....	15
Figura 3- Schema della coagulazione del latte.....	17
Figura 4- Life cycle assessment.....	22
Figura 5- Contributo sugli impatti ambientali.....	28
Figura 6 - Impatti ambientali riferiti a 1 kg di Pecorino confezionato dal caseificio.....	30
Figura 7: Contributo impatti ambientali	33
Figura 8: Contributi impatti ambientali	36
Figura 9: Contributo sugli impatti ambientali	38
Figura 10: Valutazione impatto ambientale del Paneer	38
Figura 11: Contributi impatti ambientali mozzarella	40

ABSTRACT

Il lavoro svolto in questo elaborato ha la finalità di studiare e analizzare il ciclo di vita (LCA) dei prodotti lattiero caseari, nello specifico formaggi e mozzarelle.

L'LCA si basa sull'attuazione di un metodo di lavoro standard, che permetterà di poter quantificare i possibili impatti sull'ambiente e sulla salute umana, facendo riferimento all'intero ciclo di vita di una determinata materia prima.

A tale scopo sarà estremamente importante ripercorrere tutte le fasi del processo produttivo, dall'allevamento alla commercializzazione del prodotto finito.

La corretta gestione dell'animale in fase di stabulazione risulterà determinante: la qualità e la resa del latte, infatti, sono direttamente proporzionali al benessere animale e in particolar modo alla dieta che verrà somministrata all'animale stesso.

Successivamente verranno analizzati alcuni studi che prendono in considerazione l'LCA dei prodotti lattiero-caseari.

Confrontando gli input e gli output previsti dai processi produttivi e ricavati dagli studi appena citati, verranno tratte le relative conclusioni in merito all'impatto che i prodotti finiti avranno sull'ambiente e di conseguenza sulla salute del consumatore finale.

Capitolo 1

INTRODUZIONE

Il latte è una soluzione acquosa di lattosio, Sali minerali, e vitamine, in cui sono disperse proteine (in forma colloidale) e globuli di grasso (in emulsione).

Si parla di una materia prima di assoluta importanza, sia da un punto di vista nutrizionale, che da un punto di vista economico. Dal latte possono essere ricavati una vasta quantità di prodotti, a partire dal formaggio, uno degli alimenti più consumati al mondo.

Il Regio Decreto del 15 ottobre 1993 n. 2033 ha fornito nello specifico la definizione di formaggio: Il nome di “formaggio” o “cacio” è riservato al prodotto che si ricava dal latte intero ovvero parzialmente o totalmente scremato, oppure dalla crema, in seguito a coagulazione acida o presamica, anche facendo uso di fermenti e di sale di cucina.

Indipendentemente dal tipo di formaggio che si sta prendendo in considerazione, la qualità del prodotto finito sarà strettamente dipendente dalle caratteristiche del latte di partenza e di conseguenza una corretta gestione degli animali in fase di allevamento risulterà essere determinante. Il capitolo in esame avrà proprio la finalità di sottolineare l'importanza delle fasi antecedenti alla realizzazione del prodotto finito, partendo dalla produzione di mangimi ad uso zootecnico, fino ad arrivare al processo di caseificazione e alla valorizzazione finale dei sottoprodotti di lavorazione.

1.1 Il mercato del latte nel mondo

L'Unione europea è uno dei più importanti produttori di latte e prodotti lattiero-caseari, che rientrano nell'organizzazione comune dei mercati (OCM).

Tutti i paesi europei sono produttori di latte, non a caso tale settore rappresenta una percentuale cospicua della produzione agricola dell'UE.

Nell'Unione europea si stima una produzione annuale di latte intorno ai 155 milioni di tonnellate. I principali produttori di latte sono Germania, Francia, Polonia, Paesi Bassi, Italia e Spagna. I paesi appena citati rappresentano quasi il 70% della produzione di latte dell'UE.

Negli ultimi anni si è registrato un calo della mandria da latte, ma al tempo stesso la resa lattiera per vacca è migliorata. Nel 2020 l'UE contava circa 20 milioni di capi, con una media di 7300 kg di latte prodotti per vacca.

Inoltre, l'UE è uno dei principali esportatori di prodotti lattiero-caseari ed è il maggior esportatore mondiale di formaggio e latte scremato in polvere [1]

Secondo indagini emerse dalla FAO (Food and agriculture Organization of the United Nations) sono circa 150 milioni gli allevamenti che producono latte nel mondo, per un totale di 840 milioni di tonnellate di latte prodotto, di cui l'80% è latte bovino.

Oltre all'UE sopra menzionata, l'Asia rappresenta un'altra grande potenza per la produzione di latte. Insieme assommano praticamente alla metà della produzione di latte del pianeta. Se si somma la produzione dell'America Settentrionale, si arriva a tre quarti della produzione di latte mondiale.

Un dato interessante da analizzare è la produzione di latte confrontato con la densità di popolazione. Come si evince dalla figura 1.1, l'UE rappresenta il 7% della popolazione, ma produce un quarto del latte bovino del pianeta. Si parla quindi di una realtà con un eccesso di offerta. Stesso discorso vale per l'America del Nord, che ha una produzione di latte decisamente superiore al dato della popolazione. Africa e sud est Asiatico presentano invece una situazione esattamente opposta: la produzione interna non riesce a soddisfare il fabbisogno di latte della popolazione

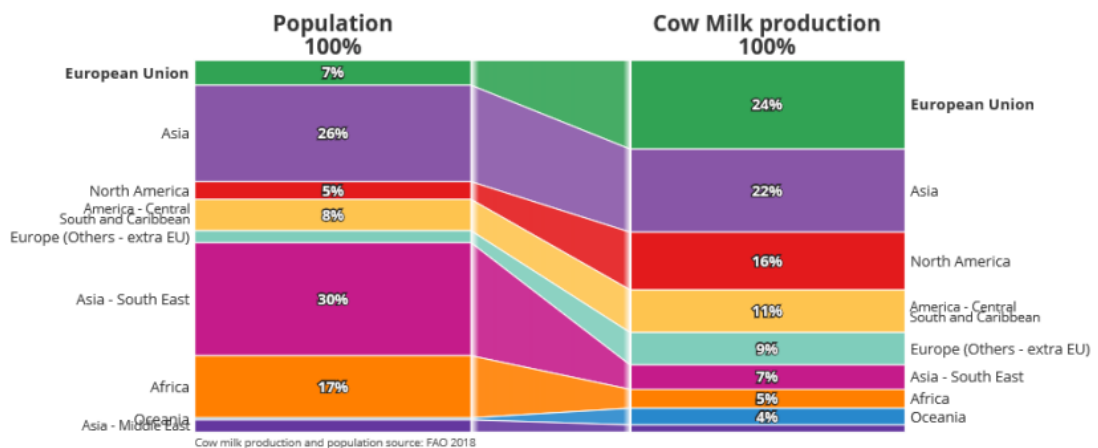


Figura 1-Produzione di latte in relazione alla popolazione

Questo sta a significare che, nonostante l'elevata produzione di latte globale, l'esportazione dei prodotti UE in paesi dove la domanda non è soddisfatta dalla produzione interna acquista un'importanza piuttosto rilevante.

La FAO ha individuato i cinque principali paesi con "surplus" e "deficit", evidenziando che alcuni paesi europei hanno forti eccedenze rispetto al loro fabbisogno, ma l'Italia è il secondo paese al mondo per fabbisogno di latte rispetto alla sua produzione. La tabella di seguito mostra quanto detto [2]

Paesi con maggiore SURPLUS	Paesi con maggiore DEFICIT
Nuova Zelanda	Cina
USA	Italia
Germania	Federazione russa
Francia	Messico
Australia	Algeria

Tabella 1-Principali surplus e deficit di latte nel mondo

1.2 Alimentazione zootecnica per la produzione di latte

Una corretta gestione dei bovini in fase di stabulazione è alla base di una produzione di latte qualitativamente e quantitativamente soddisfacente. Il benessere animale è sicuramente un aspetto da tenere in considerazione, poiché andrà ad impattare fortemente sulle caratteristiche del prodotto finito. Risulterà quindi estremamente importante tenere il più possibile puliti gli ambienti di stabulazione, assicurare un giaciglio confortevole con un'illuminazione non troppo intensa per non arrecare uno stress elevato all'animale, ma soprattutto somministrare all'animale una dieta equilibrata, con un giusto apporto di foraggi e mangimi. Per sapere la giusta formulazione di alimenti da somministrare alle bovine da latte è estremamente importante conoscere i nutrienti richiesti dalla ghiandola mammaria per la produzione di latte. Questi nutrienti includono acqua, proteine (aminoacidi), carboidrati, grassi, minerali e vitamine.

Il tutto dovrà ovviamente essere contestualizzato alle caratteristiche fisiche dell'animale preso in considerazione.

L'acqua è un elemento estremamente importante per la vita dell'animale, secondo solo all'ossigeno. Un dato rivelante da tenere in considerazione è il quantitativo di acqua presente nel latte; quest'ultimo è infatti composto dall'87% di acqua, a sottolineare quanto importante sia questo elemento per la produzione di latte e in generale per la regolazione dei normali processi metabolici dell'animale.

L'acqua è inoltre essenziale per lo sviluppo microbico ruminale, fattore estremamente importante per la digestione della fibra alimentare.

L'equazione di Murphy ha stimato il quantitativo di acqua assunta giornalmente da una vacca da latte che può variare da 92 a 138 litri.

Le proteine rappresentano un altro nutriente fondamentale. L'animale utilizza gli aminoacidi contenuti nelle proteine per sintetizzare enzimi, proteine del latte e organi specifici di difesa come le immunoglobuline. Inoltre, la produzione di caseine e proteine del siero del latte fornisce aminoacidi necessari per la crescita dei giovani vitelli

Nei mangimi le proteine vengono misurate come "proteina grezza", definita come $\%N \times 6,25$. Quest'ultimo valore deriva dal fatto che le proteine presenti nei mangimi contengono circa il 16% di azoto.

Per poter garantire un'adeguata "performance" produttiva, la dieta deve contenere un profilo amminoacidico completo, ovvero provvisto di tutti gli aminoacidi essenziali, al fine di permettere la sintesi proteica. Gli aminoacidi essenziali sono definiti tali perché non possono essere sintetizzati naturalmente dall'animale; devono quindi essere assunti mediante la dieta. Non tutti gli alimenti somministrati al bestiame sono completi da questo punto di vista, motivo per il quale sarà necessario utilizzare molteplici fonti alimentari, per integrare tutti gli aminoacidi.

Negli Stati Uniti, per esempio, mais e farina di soia costituiscono la fonte primaria di energia e proteine nella dieta delle vacche da latte.

Il mais è noto per essere carente di un aminoacido essenziale, la lisina.

I mangimi a base di soia invece, sono carenti in un aminoacido essenziale chiamato metionina. Per questo motivo, i co-prodotti della soia vengono solitamente integrati con mangimi a base di mais, per ottenere un profilo amminoacidico adeguato.

I carboidrati sono nutrienti molto importanti nella dieta dell'animale, costituiscono infatti il 70% della dieta dei bovini in lattazione. I due carboidrati maggiormente presenti nella dieta dei ruminanti sono la cellulosa e l'amido, che possono essere degradati grazie alla presenza di

batteri presenti nel rumine. Le principali fonti di carboidrati includono foraggi, fibre, cereali e zuccheri.

I foraggi come insilato di fieno, insilato di mais, ecc.... vengono generalmente somministrati in particelle di dimensioni adeguate, per favorire il processo di ruminazione dell'animale.

Un adeguato processo di ruminazione favorisce una maggior produzione di saliva, che contribuirà a mantenere il ph ruminale intorno a valori ottimali (6-6,5), permettendo la crescita di batteri e protozoi.

I grassi apportano un quantitativo energetico 2,25 volte superiore rispetto ai carboidrati e alle proteine. I grassi non vengono fermentati in modo apprezzabile nei prestomaci, per questo motivo sono utilizzati per aumentare l'apporto calorico quando i bovini sono sottoposti a stress da caldo.

Le linee guida suggeriscono di non superare l'8% di grassi sul totale della sostanza secca somministrata. [3]

La dieta somministrata alle vacche da latte dovrà quindi essere costituita da un giusto apporto di foraggi e mangimi.

Per foraggio si intende qualsiasi sostanza che serve di alimento al bestiame domestico.

I foraggi sono prodotti derivanti in maggior parte dalle coltivazioni e in minor misura dalle industrie agrarie o altre. [4]

Il "mangime" è un alimento somministrato al bestiame, inteso sia in senso lato come foraggio, sia in senso stretto come alimento che in poco volume racchiude una grande quantità di principi nutritivi. [5]

L'alimentazione dei bovini da latte si basa soprattutto sull'impiego di foraggi.

Nella razione giornaliera, la metà della sostanza secca dei foraggi è costituita da fieni.

La razione di base costituita da foraggi dev'essere poi integrata con i mangimi, al fine di bilanciare l'apporto dei vari nutrienti della dieta.

Nella formulazione della dieta è possibile l'impiego di foraggi freschi, quali prati di erba medica, trifoglio ecc....; erbai singoli o associati, composti da loietto, segale, avena, mais, frumento, sorgo, pisello e favino.

Tra gli altri tipo di foraggi utilizzati troviamo i fieni, ottenuti dall'essiccamento in campo delle essenze foraggere; paglie di cereali quali frumento, orzo, avena, segale; insilati come il trinciato di mais

Nell'ambito mangimi, quelli maggiormente utilizzati per l'alimentazione delle vacche da latte sono:

- Cereali e suoi derivati, quali mais, orzo, frumento, sorgo, sfarinati e relativi derivati sia essiccati che insilati
- Semi di soia, fava, favino, pisello proteico ecc....
- Farine di essenze foraggere

L'erba medica, appartenente alla famiglia delle leguminose, resta una delle colture principali utilizzate come foraggio per il bestiame.

Originaria degli altopiani iraniani, l'erba medica è una coltura che vive in media 3-4 anni; è costituita da numerosi steli eretti alti 0,8-1m che si sviluppano nel cespo dopo la raccolta degli steli precedenti.

Questo rapido ributto che rigenera la vegetazione dopo ogni taglio è una delle caratteristiche più apprezzate di questa foraggiera.

Il frutto è un legume a spirale, che solitamente contiene da 2 a 8 semi.

È considerata una coltura miglioratrice che di norma segue e precede il frumento, entrando in rotazioni di durata e tipo diverso. La semina all'uscita dell'inverno, dal momento in cui la temperatura raggiunge i 5-6°C è la strategia più praticata per questo tipo di coltura.

Nell'anno di semina la produttività è scarsa; la piena produttività si raggiunge nell'anno successivo alla semina. Lo stadio ottimale per il taglio è a fioritura iniziata da qualche giorno. L'erba medica viene impiegata principalmente nel foraggiamento verde o affienata; l'insilamento invece è poco diffuso. [6]

Tra le leguminose una delle colture maggiormente utilizzata come foraggio è la soia.

La soia è una pianta annuale, originaria dell'Asia centro-orientale, utilizzata nell'avvicendamento come miglioratrice, poiché migliora le caratteristiche di fertilità del terreno, permettendo quindi la coltivazione di altre colture. Negli ordinamenti colturali irrigui, la soia serve a interrompere la coltura ripetuta del mais.

È una coltura che richiede una concimazione basata sul fosforo (80-100 kg/ha); richiede inoltre l'utilizzo di discrete quantità di acqua. [7]

Le problematiche associate a questa coltura sono dovute agli innumerevoli impatti sull'ambiente e sulla biodiversità. La richiesta di acqua da parte della coltura e l'utilizzo di fertilizzanti chimici può infatti causare l'inquinamento del suolo e delle falde sotterranee.

Secondo uno studio pubblicato su “Science”, il consumo di carne e latticini è responsabile del 60% della deforestazione. La maggior parte della soia prodotta a livello globale viene infatti destinata all'alimentazione per il bestiame.

Tale studio afferma che la perdita di foreste è causata da vari fattori, tra cui la produzione di materie prime, la selvicoltura, gli incendi e l'urbanizzazione.

Si stima che poco più di un quarto della perdita globale di foreste sia dovuta alla deforestazione, causata da un eccessivo utilizzo del suolo per la produzione di materie prime, tra cui soia, carne bovina, olio di palma e legno di fibra. [8]

Tra le graminacee, l'orzo e il mais sono sicuramente tra le colture maggiormente utilizzate come foraggio per l'alimentazione zootecnica.

Nei paesi più sviluppati la granella d'orzo trova destinazione principale nella mangimistica zootecnica (85-90%).

Molte delle varietà di orzo, sia zootecnico, sia da birra, diffuse in Italia sono straniere.

Per introdurre queste varietà in Italia è necessario valutare la loro adattabilità alle nostre condizioni ambientali, in particolare la resistenza al freddo delle varietà primaverili.

L'orzo zootecnico, insieme ad altri cereali, viene utilizzato per la preparazione di mangimi concentrati per il bestiame, sfarinato tal quale, fioccato o decorticato.

Si ricorda che 1kg di granella d'orzo venne utilizzato come unità foraggera standard.

Affinché possa essere utilizzato come foraggio, l'orzo dovrà avere un alto contenuto di amido e proteine e un basso contenuto in fibre. [9]

Il mais o granturco è una coltura originaria dell'America centrale.

Il momento ottimale per la raccolta meccanizzata del mais è quando la granella ha un contenuto d'acqua del 24-26%. L'epoca più usuale per la raccolta del mais va dalla seconda metà di settembre alla fine di ottobre.

Se la granella viene utilizzata per l'alimentazione zootecnica, può essere conservata umida e insilata. Nello specifico potranno essere eseguite tre modalità di conservazione:

- Conservazione di farina umida in un silo a trincea
- Conservazione di granella intera in silos metallici
- Conservazione di granella intera in silo a trincea, previo trattamento antifungino con acido propionico

Oltre alla granella, il mais produce una grande quantità di sostanza secca, sotto forma di steli, foglie e cartocci. Questi residui potranno poi essere raccolti e utilizzati come foraggio, lettiera o combustibile.

La maggior parte del mais utilizzato per la mangimistica viene trasformato per macinazione a secco. Con questa lavorazione si ottiene la separazione dell'embrione ("germe"), della crusca dai tegumenti e sfarinati di diversa granulometria dall'endosperma.

Gli sfarinati a spezzature grosse, poi ridotti in fiocchi, sono destinati all'alimentazione umana e animale.

Il germe è invece destinato all'estrazione dell'olio, da cui si ottiene un sottoprodotto altamente proteico destinato all'alimentazione animale, il pannello. [10]

1.3 Il processo di caseificazione

La caseificazione è la prima fase del processo di preparazione del formaggio; consiste nel provocare, con aggiunta di caglio, la coagulazione della caseina contenuta nel latte riscaldato. [11]

Per poter valutare l'idoneità del latte alla caseificazione, occorrerà valutare attentamente specifici parametri:

- Contenuto in caseina: maggiore è il contenuto di caseina, maggiore è la resa del formaggio e la forza del coagulo
- Attitudine del latte alla coagulazione presamica, ovvero passaggio del latte da una fase liquida a "gel", mediante l'utilizzo di enzimi (caglio)
- Acidità titolabile (TTA) e pH: il primo parametro indica l'insieme delle funzioni acide apportate da proteine, Sali minerali, acidi organici e composti inorganici; il secondo parametro misura la concentrazione degli ioni idrogeno in soluzione, indica cioè l'acidità attuale del latte.
- Profilo microbiologico, ossia la carica microbica totale (CBT) del latte e il conseguente rapporto tra i diversi gruppi microbici.
- Assenza di residui ad azione inibente (antibiotici)

Se il latte rispetta i requisiti sopra elencati, potrà essere sottoposto alle successive trasformazioni.

Il processo di caseificazione può essere schematizzato come segue (figura 2):

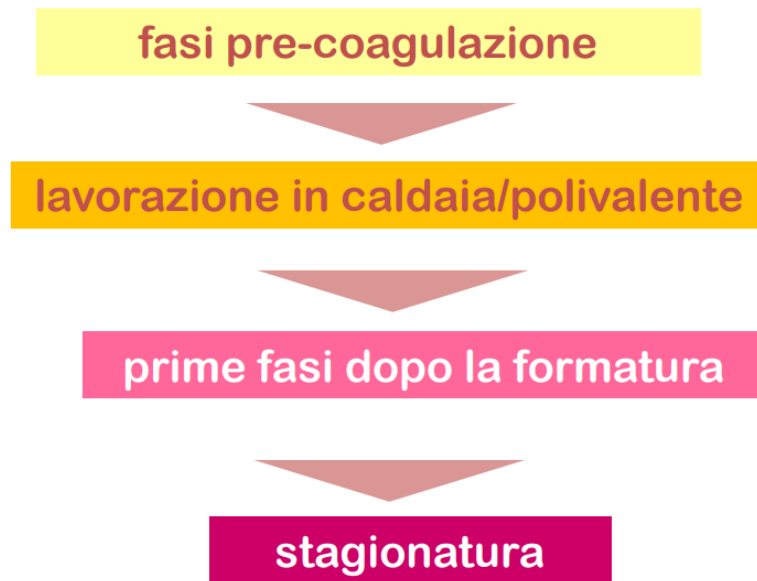


Figura 2- Diagramma di flusso caseificazione

- Fasi pre-coagulazione: dopo la raccolta, il latte viene sottoposto a filtrazione (per eliminare eventuali corpi estranei) ed analisi (per determinare la % di grassi, proteine, lattosio, cellule somatiche). Seguirà poi una successiva refrigerazione ed una facoltativa scrematura, per separare il grasso del latte e ottimizzare il rapporto tra grasso e caseina del latte in caldaia.
Il latte verrà poi sottoposto ad un trattamento termico di pastorizzazione, eseguito con uno scambiatore di calore a piastre, per 15 minuti a 71°C
- Nella seconda fase del processo il latte viene inserito all'interno di caldaie in acciaio inox, denominate polivalenti. Dopo l'aggiunta facoltativa di starter microbici, ovvero microrganismi appositamente selezionati, segue l'aggiunta del caglio, un enzima specifico per le caseine del latte. Nello specifico, l'enzima attacca la frazione esterna della micella caseinica, la k-caseina, nel sito di legame tra l'aminoacido 105 e l'aminoacido 106. L'azione del caglio comporta una destabilizzazione delle micelle caseiniche ed una conseguente aggregazione delle stesse.
In questo modo avviene la coagulazione, ovvero il passaggio del latte da una fase liquida ad una fase solida e la successiva formazione della massa caseosa o cagliata.

Seguirà poi la fase di rottura della massa caseosa o spinatura, al fine di produrre granuli caseosi e favorire lo spurgo, ovvero l'espulsione del siero dalla cagliata.

Le dimensioni dei frammenti caseosi impatteranno sulla consistenza e sull'umidità del formaggio finale: maggiore è la dimensione dei grani caseosi, maggiore è la ritenzione di siero e di conseguenza l'umidità finale del formaggio.

Alla fase di spinatura segue quella di cottura o semi-cottura.

È un'operazione tipica dei formaggi a pasta semi-cotta o cotta.

Nella fase di cottura viene innalzata la temperatura fino a 55-57°C per 10-15 minuti; è tipica di formaggi come il Parmigiano Reggiano DOP e il Grana Padano DOP

Per i formaggi a pasta cruda (es. mozzarella) non è prevista cottura.

- Dopo l'estrazione dalla polivalente, la cagliata viene immessa all'interno di apposite fucelle o fascere con lo scopo di dare la forma desiderata al formaggio.

La fase in questione viene infatti definita formatura.

Oltre a conferire un aspetto estetico gradevole alla vista del consumatore, la formatura influenza la velocità di raffreddamento della cagliata, la superficie disponibile per lo spurgo del siero e di conseguenza il grado di asciugatura del formaggio durante la maturazione.

Alla formatura segue la fase di pressatura. Quest'ultima non viene effettuata per tutti i tipi di formaggio, bensì solo per i formaggi a pasta pressata (es. Asiago DOP).

La pressatura è una fase tecnologica che permette di ottenere uno spurgo del siero piuttosto efficace oppure consente di ottenere una formatura adeguata quando la pasta all'estrazione risulta piuttosto asciutta.

L'ultima fase prima della maturazione è la salatura; questa può essere effettuata in salamoia oppure a secco.

La salatura in salamoia avviene per immersione delle forme in soluzioni di acqua e sale (16-25% NaCl); la salatura a secco invece avviene cospargendo le facce della forma con sale da cucina solido. Quest'ultima alternativa permetterà di ottenere un prodotto finito con un gusto più delicato e naturale.

- La fase finale del processo di caseificazione prende il nome di maturazione. La maturazione non è prevista in tutti i tipi di formaggio, bensì soltanto in quelli stagionati. Nella fase in questione si ha la formazione della crosta superficiale del

formaggio che ha la funzione di racchiudere e proteggere la pasta, consentendo gli scambi gassosi con l'ambiente esterno.

Durante la maturazione, inoltre, si hanno una serie di trasformazioni chimico-fisiche a carico delle componenti del formaggio: proteolisi, lipolisi (liberazione di acidi grassi, responsabili del profilo aromatico), innalzamento del pH e perdita di umidità. [12]

1.4 Valorizzazione dei sottoprodotti

La gestione dell'allevamento bovino e il processo di caseificazione, trattati nei paragrafi precedenti, determinano la produzione di una serie di sottoprodotti, che potranno essere recuperati e riutilizzati per altre attività produttive. Il paragrafo in esame ha lo scopo di analizzare sommariamente due sottoprodotti che si ottengono dalle attività sopra citate, per poter capire come valorizzarli al meglio: il siero e le deiezioni animali.

1.4.1 Il siero

Il siero è il prodotto di scarto della coagulazione del latte. È costituito da acqua, grassi, lattosio (forma legami idrogeno con l'acqua grazie alle sue funzioni alcoliche) e proteine. La figura 3 mostra la separazione delle due componenti del latte in seguito a coagulazione.

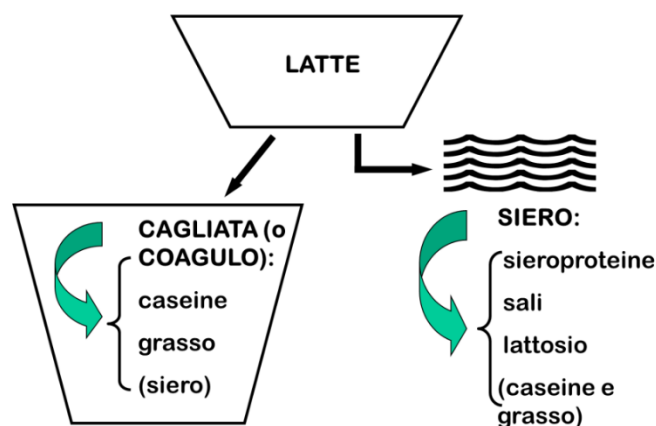


Figura 3- Schema della coagulazione del latte

Il siero che residua dalla coagulazione del latte può essere in parte recuperato per due scopi principali:

- Produzione di ricotta
- Preparazione del siero-innesto (siero-coltura)

Per la produzione di ricotta viene utilizzato generalmente il siero che resta in polivalente dopo lavorazione; quest'ultimo verrà poi acidificato mediante utilizzo di acido lattico o acido citrico e riscaldato ad una temperatura di circa 80°C, necessaria per permettere alle sieroproteine (proteine del siero) di affiorare in superficie.

Queste verranno poi raccolte, separate dalla parte liquida (scotta) e posizionate all'interno di appositi stampi. Segue poi la sosta in cella frigorifera, al fine di spurgare liquido in eccesso e abbassare la temperatura sotto i 4°C.

Il siero può essere utilizzato anche per la preparazione di colture starter.

Le colture starter sono miscele di microrganismi selezionati e deliberatamente aggiunti alla materia prima di partenza per guidare e quindi controllare il processo fermentativo.

Nello specifico il siero viene utilizzato per la preparazione della siero-coltura, uno starter microbico che rientra tra le colture miste artigianali, ovvero quelle colture che il caseificio è in grado di prodursi autonomamente; non sarà quindi necessario dipendere da un'azienda esterna specializzata.

Per la preparazione di una siero-coltura viene utilizzato il siero della lavorazione del giorno precedente, posto poi ad incubare a 45°C fino al momento del suo utilizzo.

Prima dell'incubazione il siero deve essere trattato termicamente per eliminare microrganismi patogeni potenzialmente presenti all'interno del latte crudo.

L'utilizzo di una specifica temperatura di incubazione permetterà di selezionare batteri termofili, importanti produttori di acido lattico. Saranno sufficienti circa 12 ore di incubazione affinché il siero possa essere inoculato al latte crudo presente in caldaia. [13]

1.4.2 *Le deiezioni animali*

La gestione delle deiezioni animali in fase di stabulazione è un aspetto estremamente importante. Nello specifico il letame e il liquame bovino vengono recuperati ed utilizzati come fertilizzanti, poiché l'elevato contenuto di azoto li rende particolarmente adatti a tale scopo.

Il letame è un concime di natura organica mista, derivante dall'insieme delle deiezioni solide e liquide degli animali domestici e dalla lettiera. [14]

Per liquame invece si intende un miscuglio liquido formato da sostanze grossolane, grassi, fanghi di fogna, sospensioni colloidali, sostanze disciolte, in parte organiche (feci e urine) e in parte inorganiche, che viene raccolto dalla rete di fognature. [15]

Uno studio condotto nel 2017 ha valutato il valore agronomico del letame animale, quantificando gli effetti dei fattori pedoclimatici, colturali e gestionali sulla produttività delle colture, sull'efficienza nell'uso dell'azoto e sulla sostanza organica del suolo.

Nello studio in questione sono stati effettuati 80 esperimenti a lungo termine, condotti su campi europei, nei quali è stato utilizzato letame o liquame bovino combinato con fertilizzanti minerali; sono stati poi effettuati gli stessi esperimenti di riferimento, utilizzando soltanto fertilizzanti minerali.

I risultati hanno evidenziato rese agricole più elevate (+11,3%) nell'utilizzo combinato di letame e fertilizzanti minerali azotati, rispetto al solo utilizzo di fertilizzanti minerali.

Le rese agricole risultavano invece leggermente inferiori (-9,5%) quando letame e liquame bovino venivano utilizzati da soli.

L'efficienza produttiva (rapporto tra resa e azoto applicato) del solo utilizzo di letame bovino è risultato invece leggermente inferiore a quella dei concimi minerali (-1,6%).

In conclusione, lo studio ha quindi dimostrato che il letame e il liquame bovino sono stati leggermente meno efficaci sul raccolto, rispetto ai fertilizzanti minerali a base di azoto, ma hanno determinato importanti aumenti di carbonio organico nel suolo e di conseguenza un mantenimento a lungo termine della fertilità del suolo. [16]

I reflui zootecnici possono essere utilizzati anche per la produzione di biogas.

Il biogas è un combustibile che si ottiene attraverso un processo di digestione anaerobica, ossia una fermentazione batterica dei residui organici di origine animale o vegetale, avvenuta in assenza di ossigeno. È costituito per il 50-70% da metano e per la restante parte da anidride carbonica e residui in minor quantità.

La resa energetica in termini di biogas prodotto, e quindi di energia elettrica e termica generata, varia a seconda della materia prima presa in esame.

La bioenergia è una risorsa ampiamente disponibile, perciò rappresenta una fonte molto interessante di energia rinnovabile. La biomassa risulta inoltre facilmente accessibile, il che la rende una risorsa a basso costo, con grande potenzialità in termini di potenziali applicazioni. Un recente studio, condotto a giugno 2023 in un paese con grandi risorse naturali come l'India, ha stimato il potenziale energetico rinnovabile del biogas ottenuto da letame proveniente dal bestiame.

Lo studio in esame ha stimato una produzione lorda di escrementi provenienti dal bestiame di tutti gli stati Indiani pari a 2.633 milioni di tonnellate all'anno, il che corrisponde ad un potenziale annuo di biogas di 265.542 milioni di m³

Questo importante potenziale sblocca proposte di implementazione di impianti di biogas, utili per rafforzare il settore energetico indiano. [17]

Capitolo 2

LIFE CYCLE ASSESSMENT E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

La sostenibilità ambientale è la capacità dell'ecosfera di sostenere il “metabolismo” della società umana, con la sua richiesta di risorse da utilizzare e con il rilascio nell'ambiente di prodotti non più funzionali alle sue esigenze.

La sostenibilità di un processo o di un prodotto è il risultato di un compromesso tra le diverse esigenze, caratterizzato dal fatto di non avere un esito valido ovunque e per sempre, ma strettamente dipendente dallo spazio (luogo geografico) e dal tempo (grado di sviluppo).

Inizialmente il concetto di sostenibilità aveva solo un'accezione di tipo ecologico.

Successivamente la sensibilità degli ambientalisti si è estesa ad almeno tre dimensioni: la dimensione ecologica, quella economica e quella sociale.

Le dimensioni economica e sociale dispongono di diversi metodi di valutazione che permettono la valutazione oggettiva delle variazioni indotte da ben precise scelte industriali.

Per quanto riguarda la dimensione ecologica, caratterizzata per molto tempo da valutazioni di carattere empirico (basate sull'esperienza), si sta assistendo al tentativo di attuare strumenti analitici e procedurali, al fine di raggiungere un sufficiente grado di oggettività nel calcolo delle conseguenze associate all'attività umana.

Fra gli strumenti analitici predisposti si sta affermando sempre di più l'LCA (analisi del ciclo di vita), definita dalla ISO 14040 (UNI, 1998). [18]

Il capitolo in esame tenderà di spiegare in modo semplice e chiaro cosa si intende per “analisi del ciclo di vita” (life cycle assessment) dei prodotti lattiero-caseari, mettendo in evidenza quali sono gli utilizzi e le fasi di lavoro per poter attuare l'LCA in modo corretto.

Verranno poi analizzati i principali impatti ambientali dovuti alla produzione di formaggi e prodotti lattiero-caseari in generale.

2.1 Che cos'è l'LCA

Il life cycle assessment (LCA) o analisi del ciclo di vita, è una metodologia analitica finalizzata a valutare l'impatto ambientale di un prodotto o servizio, lungo il suo intero ciclo di vita. Il calcolo dell'LCA spazia dalle fasi di estrazione della materia prima, a quelle di produzione, distribuzione, uso e remissione finale, restituendo i valori di impatto ambientale associati al suo ciclo di vita. (FIG. 4)



Figura 4- Life Cycle Assessment

L'LCA è la metodologia utilizzata come base tecnica per un'ampia gamma d'azioni volte all'aumento della sostenibilità dei prodotti e delle filiere, dal momento che aiuta a comprendere l'impatto generato verso l'ambiente.

Definito il campo di analisi dello studio, l'LCA consente di misurare l'impatto ambientale generato dai diversi processi produttivi, individuando quelli a maggior impatto e comprendendo le performance ambientali di ogni ciclo produttivo.

L'LCA rappresenta il principale strumento operativo del "Life cycle thinking", ovvero il modo di pensare alle conseguenze relative agli effetti ambientali, economici e sociali di un prodotto durante tutta la sua vita.

Il quadro concettuale sviluppato sulla base delle norme ISO 14040:2000, 14041:2000, 14042:2000, 14043:2000 e 14044:2000 aiuta la gestione ambientale e fornisce ai tecnologi uno strumento utile per soddisfare gli standard di sviluppo sostenibile attraverso la valutazione del ciclo di vita.

Tra i criteri di sviluppo sostenibile si richiede il miglioramento e la riduzione delle emissioni di gas-serra sulla salute umana, sugli ecosistemi e sulle risorse. [19]

Secondo quanto stabilito dalle norme ISO, da un punto di vista procedurale uno studio di LCA si articola in quattro fasi principali:

- Definizione dell'obiettivo e della portata, comprendente la definizione dell'obiettivo temporale dello studio e della portata temporale e geografica dell'analisi (UNI, 1998);
- Inventario o Life Cycle Inventory (LCI), ovvero la descrizione dei sistemi da confrontare in termini di materia, energia e di rilasci nell'ambiente (UNI, 1999);
- valutazione degli impatti, o Life Cycle Impact Assessment (LCIA), consistente nella classificazione e caratterizzazione degli impatti ambientali, in base all'effetto che questi possono provocare, e nel calcolo del valore che assumono i parametri scelti come indicatori dei singoli effetti o categorie d'impatto, al fine di ottenere un adeguato ecoprofilo del prodotto (BSI, 2000a);
- interpretazione e decisione, o *improvement assesment*, consistente nell'esaminare i risultati e nel comunicarli al committente e quindi in base a essi prendere una decisione (BSI, 2000b).

Le fasi sopra indicate sono da eseguire in sequenza, ma sono comunque necessarie azioni di feedback che possono portare alla riconsiderazione dei singoli passi.

Non è raro, infatti, il caso in cui un obiettivo prefissato si dimostri irraggiungibile oppure un'assunzione, posta alla base della valutazione, abbia un tale peso sul risultato da dover richiedere eventuali approfondimenti. [20]

2.2 I PRINCIPALI IMPATTI AMBIENTALI

I principali impatti ambientali relativi alla produzione di prodotti-lattiero caseari sono associati a tutta la filiera di produzione, partendo dall'utilizzazione del suolo per la produzione di foraggi per il bestiame al consumo di acqua, emissioni di anidride carbonica e metano in fase di allevamento.

Anche i processi di trasformazione, imballaggio e trasporto dallo stabilimento di produzione alla tavola del consumatore hanno la loro incidenza nel computo finale degli impatti ambientali.

L'attività umana sulla terra produce una discreta quantità di gas-serra (GHG), a cui sono associati potenziali fenomeni di cambiamento climatico.

Si stima che il 21% dei gas-serra derivanti dalle attività umane provenga dalla coltivazione, lavorazione, trasporto, consumo e smaltimento degli alimenti.

Sarà dunque di fondamentale importanza capire in quale punto della catena alimentare vengano prodotti tali gas, in modo da poter prendere decisioni finalizzate ad una loro riduzione.

In un recente report realizzato dalla FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), intitolato “Emissioni di gas-serra del settore lattiero-caseario” è stato riscontrato che il settore lattiero-caseario ha un impatto del 2.7% sul totale della produzione dei gas-serra di origine antropica mondiale.

I settori che contribuiscono maggiormente alla produzione di gas-serra a livello mondiale sono: generazione di calore/elettricità (24,6%), utilizzo del terreno (18,2%), i trasporti (13,5%) e l’agricoltura (13,5%).

Lo studio in esame ha poi confrontato la quantità di gas-serra associata ad un latticino con un altro alimento con una composizione nutrizionale simile.

Nello specifico si è visto che il valore di gas-serra associato al formaggio è pari a 5,9 kg di CO₂-Eq/Kg; quello associato al burro di arachidi è di 0,17 kg di CO₂-Eq/kg.

Il valore di gas-serra associato al formaggio è risultato 35 volte maggiore rispetto a quello del burro d’arachidi.

Il report della FAO e ulteriori studi sul latte, riguardanti i gas-serra, hanno inoltre evidenziato che le emissioni prima della vera e propria produzione di latte generano la maggior parte dei gas-serra; gran parte dei gas-serra derivano infatti dall’attività ruminale delle vacche.

Un altro aspetto da prendere in considerazione è l’apporto di energia necessario per poter trattare termicamente il latte prima del suo consumo.

Si parla di un apporto energetico sicuramente significativo, così come lo sono risorse necessarie per la pulizia degli scambiatori di calore e le altre apparecchiature dell’impianto, che sono facilmente intasate durante il ciclo produttivo.

Miglioramenti apportati nella pulizia degli scambiatori di calore fornirebbero significative riduzioni dell’impatto ambientale ed energetico.

Uno studio condotto nel 2005 inerente alla pulizia delle incrostazioni formatesi sugli scambiatori di calore, aumenta il fabbisogno di capitale dell’impianto di processo, la domanda di energia, di acqua, il costo della manodopera e una perdita di tempo del processo produttivo. Le stime dei costi relativi all’utilizzo di acqua, detergenti, manodopera ed energia sono rispettivamente pari a 25,6%, 23,2%, 23,9% e 27,3%.

Lo studio ha inoltre rilevato che il consumo di acqua dolce da parte di un caseificio, in relazione alla quantità di latte lavorato è significativo.

Questo utilizzo importante di acqua deriva dalla necessità di pulire frequentemente i serbatoi di contenimento dopo ogni ciclo di riempimento e le apparecchiature di lavorazione, per mantenere la qualità dei prodotti.

Le tecnologie per il recupero dell'acqua dolce sono molto diffuse all'interno dei caseifici.

L'implementazione di queste tecnologie può avere un grande impatto nel ridurre può avere un grande impatto nel ridurre il consumo di acqua da parte dell'impianto, poiché questa verrà recuperata e riutilizzata.

Ulteriori studi sono stati effettuati in merito all'impatto ambientale relativo agli imballaggi.

Lo studio ha riferito che il consumo di energia necessario per produrre imballaggi in vetro risulta tre volte inferiore rispetto agli imballaggi di prodotti lattiero-caseari realizzati in cartone o con materiali plastici.

Lo smaltimento in discarica del vetro a fine vita risulta molto vantaggioso, poiché questo materiale non si decompone rispetto al cartone e alla plastica; tuttavia, l'incenerimento del cartone fornirebbe energia termica e costituirebbe un materiale rinnovabile a zero emissioni di gas-serra.

Un altro studio condotto nel 2001 ha confrontato i costi e gli impatti ambientali del confezionamento di latte liquido con confezioni monouso in cartone rispetto all'utilizzo di bottiglie in polycarbonato. L'analisi LCA ha rivelato che gli imballaggi usa e getta producevano una quantità di gas-serra due volte superiore rispetto alle bottiglie in polycarbonato e nel complesso una maggiore tossicità per l'uomo.

Nonostante la loro importanza, gli imballaggi contribuiscono solo in piccola parte alle emissioni di gas-serra nell'intero ciclo di vita di un prodotto lattiero-caseario; tuttavia, esiste una persistente preoccupazione pubblica dovuta ai rifiuti derivanti da imballaggi, poiché contribuiscono in maniera significativa alle emissioni di metano delle discariche. [21]

Capitolo 3

STUDIO LCA DI PRODOTTI LATTIERO-CASEARI E RISULTATI

Il seguente capitolo ha la finalità di analizzare casi studio LCA di prodotti lattiero-caseari presenti nella letteratura scientifica e poter fare degli opportuni confronti in merito agli impatti ambientali che i suddetti prodotti comportano.

Nello specifico sono stati analizzati nove studi LCA (sei formaggi e tre mozzarelle) che verranno descritti meglio nel paragrafo 3.1.

Gli studi presi in esame sono i seguenti:

- LCA GRANA PADANO D.O.P
- LCA PECORINO TOSCANO
- LCA FORMAGGIO DI CAPRA PRODOTTO IN BRASILE
- IMPATTO AMBIENTALE DI UN FORMAGGIO STAGIONATO PRODOTTO IN UN CASEIFICIO PORTOGHESE
- LCA FORMAGGIO GALIZIANO: SAN SIMON DA COSTA
- LCA DI UN'INDUSTRIA DI TRASFORMAZIONE LATTIERO-CASEARIA NEL NORD DELL'INDIA
- LCA MOZZARELLA ITALIANA
- LCA MOZZARELLA DI BUFALA
- STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DI UNA MOZZARELLA BIOLOGICA

3.1 Rassegna studi scientifici LCA

LCA GRANA PADANO D.O.P.

In Italia circa il 24% del latte vaccino è destinato alla produzione di Grana Padano, un formaggio a Denominazione di Origine Protetta a lunga stagionatura.

La produzione di Grana Padano è aumentata del 10% nell'ultimo decennio e circa il 38% della produzione totale viene esportato in Germania, Stati Uniti, Francia e nel resto del mondo.

Lo studio in esame ha valutato l'impatto ambientale derivato dalla produzione di Grana Padano, utilizzando la metodica del Life cycle assessment "dalla culla al caseificio".

Lo studio ha coinvolto un caseificio italiano che produce circa il 3,6% della produzione totale di Grana Padano e un gruppo di cinque aziende agricole che vendevano il latte al suddetto caseificio.

L'unità funzionale utilizzata per lo studio è 1 kg di Grana Padano stagionato 12 mesi.

Inoltre, sono stati considerati anche gli impatti ambientali relativi ai co-prodotti: siero di latte, panna, burro e latticello.

Sono state condotte due analisi di sensibilità: la prima aveva lo scopo di esplorare l'effetto di diversi metodi di assegnazione basati sul contenuto di sostanza secca e sul valore nutritivo del formaggio; la seconda ha invece considerato gli impatti ambientali dovuti alla produzione di formaggio.

La produzione di latte è risultata la fase che ha dato il maggior contributo sull'impatto ambientale del formaggio (93.5-99.6% a seconda delle categorie d'impatto).

Se si esclude la produzione del latte dal confine del sistema, il trasporto di latte e l'utilizzo di corrente elettrica sono i principali responsabili dell'impatto ambientale del processo di produzione del formaggio.

I risultati evidenziati dallo studio scientifico mostrano un valore relativo all'impatto ambientale "cambiamento climatico" pari a 10.3 kg CO₂EQ per kg di formaggio.

La produzione di latte è sicuramente una delle fasi maggiormente impattanti sul cambiamento climatico, con un valore di 1.461 kg CO₂EQ, quindi un'incidenza del 14% sul valore totale.

Il contributo relativo al consumo di energia elettrica ha un'incidenza del 30% circa sul valore dell'impatto ambientale "cambiamento climatico".

Quest'ultimo contributo non prende in considerazione la fase di produzione di latte, bensì soltanto il processo di produzione del formaggio.

La figura 5 mostra i contributi relativi alle diverse categorie d'impatto ambientali, riferiti al sottosistema caseario (esclusa la fase di produzione di latte).

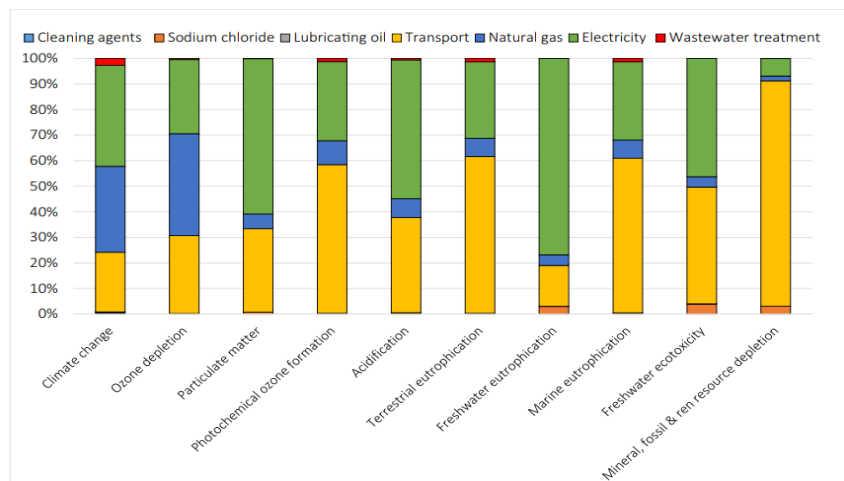


Figura 5- Contributo sugli impatti ambientali (Bava et al., 2018)

Lo studio ha poi concluso che l'applicazione di strategie di mitigazione a livello di azienda lattiero-casearia è sicuramente la scelta migliore per ridurre l'impatto ambientale del Grana Padano.

Soprattutto, nel caso di prodotti rinomati e di alto valore commerciale come il Grana Padano, i caseifici dovrebbero impegnarsi per migliorare la sostenibilità ambientale della produzione di latte, attraverso il supporto tecnico e la diffusione di buone pratiche ed incentivi economici alle aziende stesse.

Il trasporto del latte dalle aziende ai caseifici è uno dei principali responsabili dell'impatto ambientale. Quest'ultimo potrebbe essere ridotto attraverso l'organizzazione di adeguati percorsi di raccolta del latte. [22]

LCA PECORINO TOSCANO

L'articolo in esame, dal titolo "Environmental hotspot and improvement scenarios for Tuscan Pecorino cheese using Life Cycle Assessment", applica il metodo LCA per valutare gli impatti ambientali del formaggio "Pecorino" toscano e analizzare possibili scenari di miglioramento. L'analisi segue il solito approccio "dalla culla al cancello", ovvero prende in considerazione tutti i processi ai quali il latte è sottoposto, dall'allevamento ovino intensivo, al trasporto del latte fino ad arrivare alla produzione di Pecorino.

L'unità di misura considerata nello studio è 1 kg di formaggio "Pecorino" confezionato nel caseificio e pronto per essere distribuito.

Concentrandosi principalmente sugli impatti ambientali relativi al cambiamento climatico, i risultati hanno evidenziato che questi ammontano a circa 22,13 kg CO₂ eq per unità funzionale. Gli impatti ambientali sono inoltre correlati alle emissioni derivanti dalla fermentazione enterica delle pecore e alla produzione di mangimi utilizzati nell'allevamento ovino, al consumo di acque reflue e all'utilizzo di corrente elettrica durante la produzione di formaggio. A livello numerico, l'impatto ambientale legato al processo di trattamento delle acque reflue ammonta all'8,6% rispetto al dato totale del cambiamento climatico, con un valore di 1.87 kg CO₂ eq per unità funzionale.

Contributi elevati alla categoria del "cambiamento climatico" sono inoltre associati al consumo di elettricità, con un contributo del 4,1% (0.89 kg CO₂ eq per kg di formaggio).

Le categorie di impatto analizzate nella figura 6 mostrano come la fase di allevamento sia quella maggiormente influente, seguita dalla produzione di formaggio; gli impatti più bassi sono invece legati al trasporto di latte dalla stalla al caseificio, il cui contributo alle diverse categorie d'impatto ambientale è inferiore alle 0,8%.

I risultati inoltre sottolineano che i principali impatti sono dovuti alla produzione di mangimi a livello industriale. Il contributo principale a livello percentuale è legato alla produzione di soia, frumento e fieno, che rappresentano rispettivamente il 31,1%, il 30% e il 22,4%, mentre contributi inferiori sono legati alla produzione di avena orzo e mais.

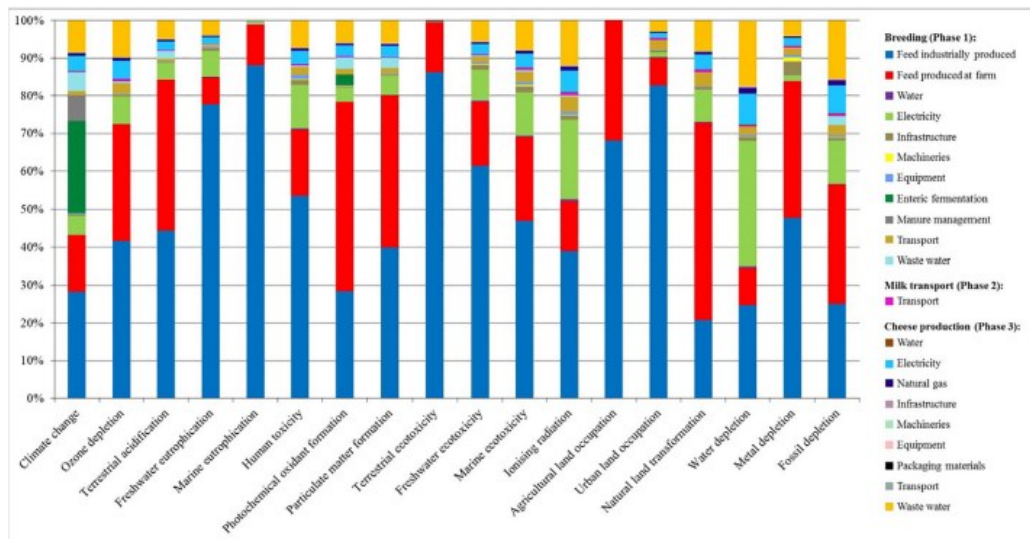


Figura 6 - Impatti ambientali riferiti a 1 kg di Pecorino confezionato dal caseificio
(Mondello et al., 2018)

In accordo con altri studi LCA correlati al settore lattiero-caseario, lo studio in esame sottolinea l'incidenza delle pratiche agricole sul cambiamento climatico nella fase di produzione di latte (allevamento); nelle fasi di trasporto del latte e produzione di formaggio, invece, gli impatti sui cambiamenti climatici sono maggiormente legati alla produzione e utilizzo del diesel, al trattamento delle acque reflue e al consumo di energia elettrica.

Infine, l'articolo in esame prende in considerazione possibili scenari di miglioramento, finalizzati alla riduzione degli impatti ambientali.

L'adozione di un diverso sistema di miglioramento (da intensivo ad estensivo) può rappresentare una buona opzione migliorativa, nonché l'utilizzo di un impianto fotovoltaico come fonte di energia elettrica alternativa utilizzabile in fase di produzione del "Pecorino".

[23]

LCA FORMAGGIO DI CAPRA PRODOTTO IN BRASILE

Lo studio in esame, dal titolo “Environmental Life Cycle Assessment of goat cheese production in Brazil: a path towards sustainability”, analizza gli impatti ambientali relativi alla produzione di latte e formaggio di capra, mediante la valutazione del ciclo di vita.

È stato condotto uno studio LCA “dalla culla al cancello” relativo ad un’industria lattiero-casearia del comune brasiliano di São Gonçalo, Rio de Janeiro.

L’utilizzo di uno specifico software di modellazione, il Simapro 8.3.3.0, ha permesso di effettuare una valutazione realistica relativa agli impatti ambientali.

Dai risultati emersi dal suddetto studio, la produzione di latte contribuisce in modo piuttosto significativo agli impatti ambientali del formaggio di capra, analogamente a quello bovino.

I punti critici evidenziati dallo studio includono l’utilizzo di fertilizzanti, letame e pesticidi; l’uso del terreno per la coltivazione della soia come alimento per il bestiame; l’acidificazione del suolo e il cambiamento climatico causato dai gas-serra.

La parziale sostituzione della soia con fieno ed erba nei mangimi somministrati al bestiame risulta essere una scelta conveniente, poiché sono stati osservati impatti ambientali inferiori, specialmente per le seguenti categorie d’impatto: cambiamento climatico (57,6%), utilizzo del suolo (47,1%) ed esaurimento delle risorse minerali, fossili e rinnovabili (40,4%).

Nonostante tanti altri studi abbiano proposto una sostituzione della soia nella dieta dell’animale per la riduzione degli impatti, gli aspetti ambientali vengono spesso trascurati. Pertanto, saranno necessari studi più completi dal punto di vista ambientale, che prendano in considerazione l’analisi del ciclo di vita relativo alla coltura scelta in sostituzione della soia.

L’utilizzo di sottoprodotti, come il siero di latte di capra, può rappresentare un’alternativa valida per ridurre l’impatto ambientale associato alla produzione di formaggio di capra, oltre a consentire la creazione di un nuovo prodotto con una crescente domanda di mercato.

La tabella 2 mostra gli impatti ambientali relativi a un kg di formaggio di capra, insieme ai fattori che condizionano le varie categorie d’impatto.

Impact categories	Unit	Electricity	Chymosin Enzyme	Calcium chloride	Lactic acid	Goat Milk	Sodium chloride	Equipments	Total
Climate change	kg CO ₂ eq	2.77E-01	6.75E+00	5.46E-01	2.61E+00	5.16E+01	7.00E-02	1.80E-03	6.19E+01
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	3.02E-08	9.38E-07	3.41E-08	3.15E-07	1.07E-06	6.54E-09	3.41E-12	2.39E-06
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	1.17E-07	2.41E-06	2.35E-07	6.26E-07	-2.44E-05	5.55E-08	-5.30E-11	-2.09E-05
Human toxicity, cancer effects	CTUh	1.44E-08	7.88E-07	3.48E-08	1.43E-07	8.12E-07	7.65E-09	-6.95E-12	1.80E-06
Particulate matter	kg PM2.5 eq	2.15E-04	6.73E-03	6.94E-04	1.78E-03	3.13E-02	7.24E-05	6.16E-08	4.08E-02
Ionizing radiation HH	kBq U235 eq	3.58E-02	5.61E-01	3.53E-02	1.57E-01	8.51E-01	9.07E-03	0.00 E+00	1.65 E+00
Ionizing radiation E (interim)	CTUe	9.90E-08	2.12E-06	1.25E-07	5.53E-07	2.96E-06	3.08E-08	0.00 E+00	5.89E-06
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	6.94E-04	1.96E-02	1.84E-03	7.41E-03	1.14E-01	2.58E-04	2.81E-06	1.44E-01
Acidification	molc H+ eq	1.57E-03	5.70E-02	6.63E-03	1.38E-02	1.56E-01	5.50E-04	2.31E-06	2.35E-01
Terrestrial eutrophication	molc N eq	2.74E-03	8.95E-02	1.63E-02	2.61E-02	5.75E-01	9.66E-04	8.36E-06	7.10E-01
Freshwater eutrophication	kg P eq	1.03E-04	2.94E-03	2.65E-04	7.55E-04	9.93E-03	5.02E-05	1.01E-08	1.41E-02
Marine eutrophication	kg N eq	2.47E-04	7.04E-03	8.09E-04	3.45E-03	3.64E-01	1.16E-04	-6.96E-06	3.75E-01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	3.39 E+00	6.90 E+01	5.23 E+00	1.63 E+01	7.27 E+02	1.27 E+00	-2.21E-03	8.22 E+02
Land use	kg C deficit	8.29E-01	1.04 E+01	9.08E-01	2.09 E+00	1.01 E+03	1.49E-01	0.00 E+00	1.03 E+03
Water resource depletion	m ³ water eq	5.27E-04	1.05E-02	2.78E-03	1.62E-03	2.17E-02	3.60E-05	0.00 E+00	3.72E-02
Mineral, fossil & ren res depletion	kg Sb eq	7.91E-06	2.80E-03	4.50E-05	1.28E-04	9.58E-03	1.21E-05	4.34E-10	1.26E-02

Tabella 2 - Impatti ambientali per kg di formaggio (Cabral et al., 2020)

Il cambiamento climatico, scaturito principalmente dalla produzione di gas-serra, risulta essere una delle categorie d'impatto più importanti, con un valore di 61.9 kg CO₂ EQ.

I risultati evidenziano inoltre che la produzione di latte di capra ha un'incidenza dell'83% circa rispetto al valore totale del cambiamento climatico, con un valore di 51.6 kg CO₂ EQ.

Un'altra categoria d'impatto particolarmente importante è l'utilizzo del suolo, con un valore d'impatto pari a 1030 kg C deficit.

Questo valore deriva dall'intenso sfruttamento a cui il terreno è sottoposto, specialmente in ambito di azienda agricola, per la produzione di foraggi e mangimi destinati all'alimentazione zootecnica.

Anche in questo caso, i risultati ottenuti dallo studio evidenziano l'elevato contributo della produzione di latte di capra rispetto alla categoria d'impatto considerata, con un valore di 1010 kg C deficit, ovvero un'incidenza del 98% sul valore totale dell'impatto. [24]

IMPATTO AMBIENTALE DI UN FORMAGGIO STAGIONATO PRODOTTO IN UN CASEFICIO PORTOGHESE

Lo studio in esame, dal titolo “Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill”, ha effettuato una valutazione dal punto di vista ambientale, al fine di quantificare le conseguenze relative al ciclo di vita di un formaggio stagionato prodotto in un caseificio portoghese.

La linea di produzione del suddetto caseificio presenta due prodotti principali: formaggio stagionato e siero di latte in polvere.

I diversi oneri ambientali sono stati ripartiti tra i due prodotti sulla base di un criterio economico e uno allocativo.

Le attività legate al settore lattiero-caseario determinano un contributo piuttosto significativo ai diversi impatti ambientali, quali l’acidificazione (91%), l’eutrofizzazione (86%), il riscaldamento globale (82%), sfruttamento del suolo (99%) e formazione di foto-ossidanti (69%) dovuta alle emissioni interne all’azienda agricola, come il metano proveniente da fermentazioni enteriche degli animali, ammoniaca derivante dalla gestione del letame e emissioni di combustibile dovute all’utilizzo di macchine agricole.

Per quanto riguarda la produzione di formaggio, i contributi ambientali più importanti sono legati all’impoverimento abiotico (55%), deplezione dello strato di ozono (51%) e domanda energetica cumulativa (55%), principalmente dovuta all’importante dispendio di energia dei diversi processi produttivi e della distribuzione di merci in ingresso.

La figura 8 mostra i contributi relativi ai diversi impatti ambientali per kg di formaggio maturo.

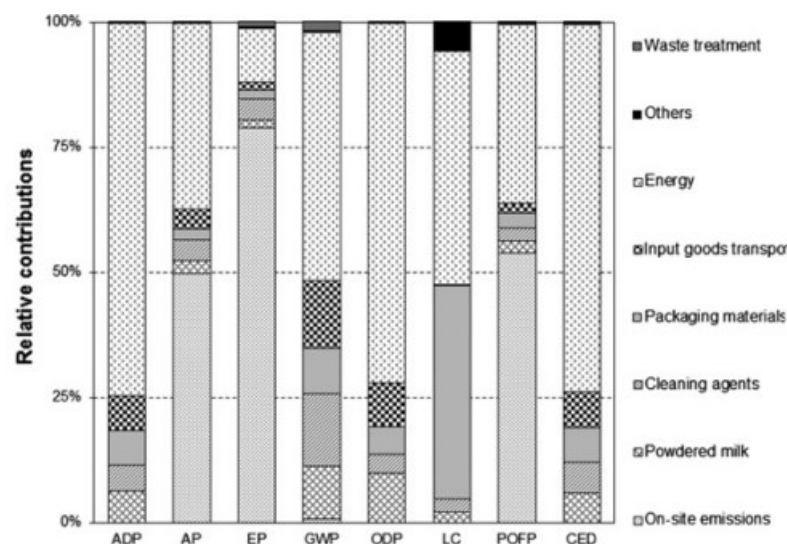


Figura 7 - Contributo impatti ambientali (González-García, Castanheira, et al., 2013)

Il potenziale di riscaldamento globale (GWP), ovvero il contributo di un gas serra relativamente all'effetto della CO₂, rappresenta uno dei principali impatti ambientali.

I risultati emersi dallo studio evidenziano un valore relativo a tale impatto pari a 7.49 kg CO_{2EQ} per kg di prodotto.

I processi maggiormente incidenti sul valore totale del potenziale di riscaldamento globale sono principalmente tre: la produzione di detersivi (15%), la consegna delle merci in ingresso (14%) e in misura maggiore dal fabbisogno energetico produttivo (49%), causato da emissioni di anidride carbonica fossile derivanti dalla combustione di gasolio nei camion e dalla produzione di energia elettrica che dipende in gran parte da fonti non rinnovabili.

I risultati evidenziati dall'articolo scientifico mostrano un valore di "domanda energetica cumulativa" pari a 68.3 MJ_{EQ}.

Questo valore è influenzato principalmente dalla produzione di fabbisogno energetico (74%): energia elettrica prelevata dalla Rete Nazionale e olio combustibile per il riscaldamento delle caldaie.

Lo studio in esame propone delle alternative applicabili al fine di ridurre gli impatti ambientali, ovviamente entro i limiti del caseificio.

È stato proposto l'utilizzo di combustibili eco-sostenibili nelle caldaie e l'impiego di nuovi camion con minori emissioni di scarico.

Secondo i risultati ottenuti dallo studio l'attuazione di questi accorgimenti renderebbe possibile la limitazione di alcune categorie d'impatto (acidificazione, eutrofizzazione, riscaldamento globale e formazione di foto-ossidanti) senza un investimento economico eccessivamente elevato. [25]

LCA DI UN FORMAGGIO GALIZIANO: SAN SIMON DA COSTA

Il formaggio è uno dei prodotti maggiormente consumati in Spagna.

Dati alla mano, risulta essere il secondo latticino maggiormente consumato nella penisola iberica, con circa 6,2 kg all'anno a persona.

Questo aspetto è sicuramente determinato dalla presenza di oltre cento tipologie diverse di formaggio presenti sul mercato. Tuttavia, solo ventisei tipi di formaggio presentano il marchio DOP.

Lo studio in esame, dal titolo "Environmental Life Cycle Assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa" si propone di effettuare la valutazione ambientale del ciclo di vita di uno dei formaggi galiziani DOP maggiormente apprezzati dal popolo spagnolo: il San Simon da Costa.

Il suddetto prodotto è l'unico formaggio spagnolo affumicato con legno di betulla ottenuto esclusivamente con latte crudo vaccino.

L'analisi LCA "dalla culla al cancello" ha permesso di identificare i punti critici lungo tutta la filiera del prodotto.

Come per gli altri studi analizzati, la produzione di latte presso l'azienda lattiero-casearia rappresenta la fase maggiormente incidente sulle categorie di impatto ambientale considerate, con contributi compresi tra il 63% e l'83%.

La produzione di mangimi (specialmente foraggio), le emissioni interne all'azienda determinate dalla fermentazione enterica del bestiame e la gestione del letame sono le attività agricole che incidono maggiormente a livello di impatto ambientale.

Le emissioni di NH_2 derivanti dallo stoccaggio di letame sono responsabili dei fenomeni di acidificazione ed eutrofizzazione, rispettivamente con un contributo del 79% e del 24%.

Le emissioni di metano, invece, hanno un'incidenza sul potenziale di riscaldamento globale e la formazione di foto-ossidanti rispettivamente del 39% e del 57%.

Per quanto riguarda la produzione di mangimi per gli animali, il suo contributo sul profilo ambientale del prodotto varia dal 34% all'86%, a seconda della categoria d'impatto considerata.

La fase vera e propria di produzione del formaggio non è certamente da trascurare; in particolare le fasi da tenere sotto controllo sono tre: il processo di affumicatura del formaggio, il sistema di riscaldamento e il trattamento delle acque reflue.

Dato che il caseificio non dispone di un sistema di recupero del siero di latte a causa della sua modesta produzione, il flusso di siero di latte mescolato con il sistema di acque reflue, viene

inviato all'impianto di depurazione comunale, comportando importanti emissioni eutrofizzanti.

La figura 8 mostra i principali contributi alle diverse categorie di impatto ambientale relativi al formaggio San Simon da Costa.

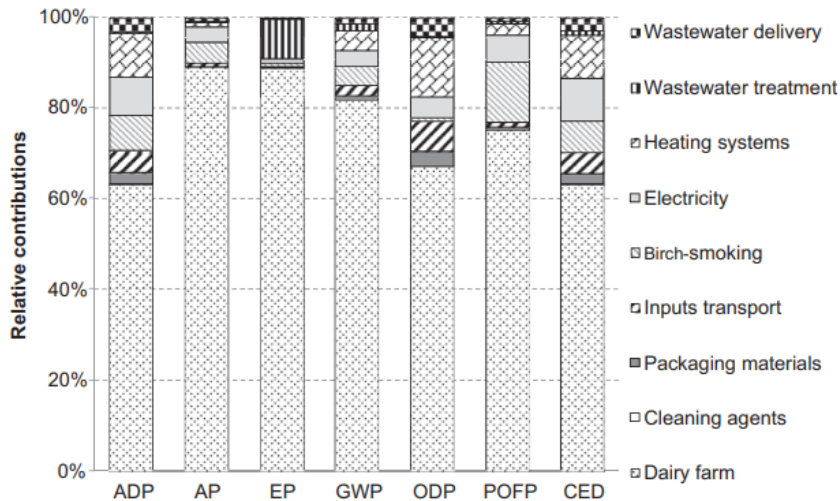


Figura 8 – Contributi impatti ambientali (González-García, Hospido, et al., 2013)

Secondo i risultati evidenziati dallo studio scientifico, il potenziale di riscaldamento globale (GWP) relativo ad 1 kg di formaggio San Simon da Costa ammonta a 10.44 kg CO₂ EQ, rappresentando quindi uno degli impatti più importanti, da tenere in particolare attenzione ai fini del computo finale degli impatti ambientali.

L'impatto ambientale relativo alla "domanda energetica cumulativa" presenta invece un valore di 71.98 MJ_{EQ}.

Nella parte conclusiva, l'articolo propone delle migliorie che potrebbero essere apportate con lo scopo di ridurre l'impatto ambientale.

Nello specifico, lo studio indica la possibilità di inviare il flusso di siero di latte ad un caseificio vicino, per la sua conversione in siero di latte in polvere.

Secondo i risultati ottenuti, sarebbe possibile ottenere discrete riduzioni del profilo ambientale del San Simon da Costa, specialmente considerando le categorie d'impatto dell'eutrofizzazione e della riduzione dello strato di ozono. [26]

LCA DI UN'INDUSTRIA DI TRASFORMAZIONE LATTIERO CASEARIA NEL NORD DELL'INDIA

L'India è il più grande produttore di latte al mondo e contribuisce in modo significativo alla produzione di latte globale.

Recentemente, a causa della pandemia COVID-19, si è verificato un aumento della domanda di latte e altri prodotti lattiero-caseari, proprio per il suo elevato valore nutritivo.

Tuttavia, il settore lattiero-caseario è responsabile di enormi emissioni di gas-serra (GHG) e impatti ambientali in generale.

Lo studio in esame, dal titolo “Life Cycle Assessment (LCA) of dairy processing industry: a case study of North India”, ha analizzato l'impatto ambientale di diversi prodotti lattiero-caseari indiani durante la fase di lavorazione e confezionamento.

Inoltre, l'articolo esplora anche i diversi fattori che sono alla base degli impatti ambientali, per i quali viene utilizzato l'approccio Life Cycle Assessment, mediante l'uso di un software specifico denominato SimaPro.

Dalle analisi effettuate nello studio in esame emerge che il consumo di energia elettrica e di combustibile per l'energia termica, l'utilizzo di acqua dolce e diversi prodotti chimici, insieme ai materiali d'imballaggio, sono alcuni dei principali fattori che contribuiscono maggiormente all'impatto ambientale del settore lattiero-caseario.

I risultati dello studio evidenziano che paneer (formaggio tipico indiano), gelato e burro sono i principali prodotti che contribuiscono al cambiamento climatico.

L'articolo confronta i tre prodotti sopra menzionati, come si evince dalla FIGURA 9, per spiegare il contributo che questi hanno sui principali impatti ambientali.

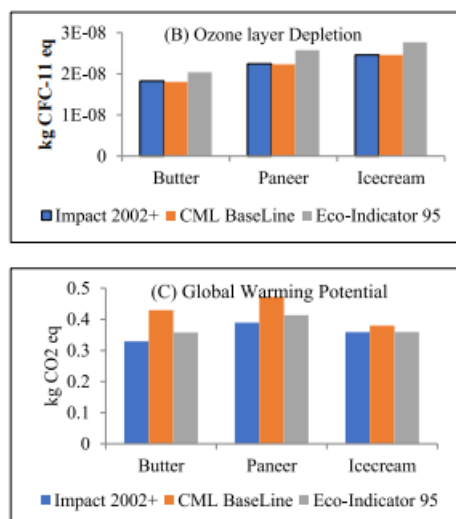


Figura 9 - Contributo sugli impatti ambientali (Kumar et al., 2021)

Prendendo in considerazione il Paneer (formaggio fresco vegetariano della tradizione indiana), è stato osservato che questo ha una notevole incidenza sul riscaldamento globale.

In termini numerici, il Paneer è il prodotto che maggiormente contribuisce al riscaldamento globale, con 0.3894 kg di CO₂ eq.

Lo studio afferma che l'80% dell'impronta di carbonio deriva dalla produzione di latte crudo. Durante il processo di lavorazione del formaggio, il combustibile utilizzato per il riscaldamento, il consumo di energia elettrica e gli imballaggi sono i fattori maggiormente impattanti a livello ambientale, come mostra la figura 10.

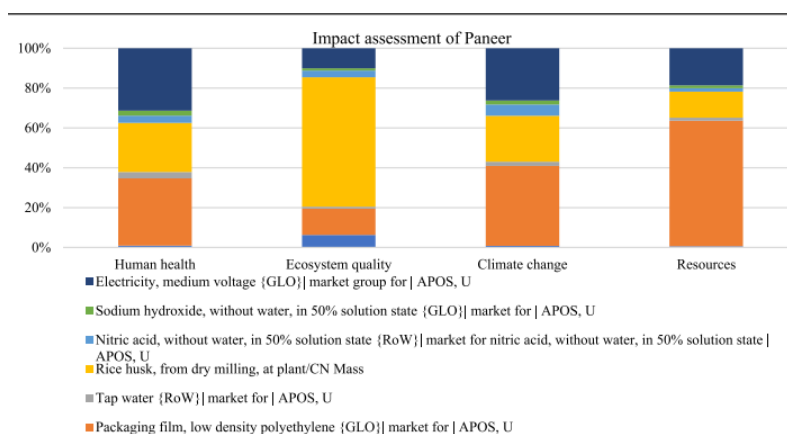


Figura 10 - Valutazione impatto ambientale del Paneer (Kumar et al., 2021)

Prendendo in considerazione la categoria d'impatto ambientale "cambiamento climatico", i risultati dello studio hanno mostrato un'incidenza del 40 % per i materiali d'imballaggio, un

20% circa per i tegumenti del riso derivanti da processo di macinazione e una percentuale superiore al 30% per il consumo di energia elettrica.

Lo studio fornisce inoltre delle raccomandazioni politiche all'industria lattiero-casearia indiana, al fine di migliorare il proprio profilo ambientale e progredire verso uno sviluppo sostenibile. [27]

LCA MOZZARELLA ITALIANA

Lo studio in esame, dal titolo “Environmental Life Cycle of Italian mozzarella cheese: Hotspot and improvement opportunities” ha analizzato il ciclo di vita della mozzarella italiana mediante approccio LCA, con la finalità di stimare gli impatti ambientali associati al consumo del prodotto stesso.

Nello specifico, lo studio ha analizzato le differenze inerenti al processo produttivo di mozzarelle prodotte a partire da latte crudo e mozzarelle prodotte dalla cagliata.

Per raccogliere informazioni soddisfacenti, è stato intervistato il terzo maggior produttore italiano di mozzarella, in modo tale da ottenere dati di produzione specifici.

L'inventario indicato nel seguente articolo ha preso in considerazione input di produzione inerenti a tutto il ciclo di vita del prodotto, a partire dalle attività agricole, allevamento, trasporto, elettricità, gas naturali, prodotti chimici utilizzati ecc., fino ad arrivare allo smaltimento del prodotto stesso ed eventuali scarti.

L'unità funzionale utilizzata come riferimento nello studio è 1kg di mozzarella prodotta in Italia e consumata sia in Italia che all'estero (umidità di base 62,5%).

La produzione di foraggio come alimento per il bestiame, le emissioni animali dovute alla fermentazione enterica, sono stati i principali fattori impattanti per quanto riguarda la fase di produzione del latte.

L'elettricità, i gas naturali, i materiali d'imballaggio (cartone e plastica), il trasporto e il trattamento delle acque reflue hanno influito sulla produzione di emissioni in sede di azienda agricola e di lavorazione del latte nel caseificio.

Gli effetti post-caseificio sono stati determinati dal consumo di energia elettrica per lo stoccaggio della mozzarella, il trasporto del prodotto finito e il trattamento dei rifiuti.

La figura 11 mostra le categorie d'impatto ambientale relative ad un kg di mozzarella, considerando tutto il ciclo produttivo della stessa

Impact category	Unit ¹	Mean
Climate change	kg of CO ₂ equivalents	6.66
Ozone depletion	kg of CFC-11 equivalents	7.25E-07
Terrestrial acidification	kg of SO ₂ equivalents	9.55E-02
Freshwater eutrophication	kg of P equivalents	1.14E-03
Marine eutrophication	kg of N equivalents	4.75E-02
Human toxicity	kg of 1,4-DCB equivalents	4.72E-01
Photochemical oxidant formation	kg of NMVOC	1.90E-02
Ecotoxicity	kg of 1,4-DCB equivalents	8.23E-02
Land occupation	m ² a	4.4
Water depletion	m ³	6.03E-01
Cumulative energy demand	MJ	45.1

Tabella 3 - Impatti ambientali per kg di mozzarella (Dalla Riva et al., 2017)

I risultati dello studio hanno mostrato che le emissioni medie inerenti al consumo di mozzarella prodotta da latte crudo sono state pari a 6,66 kg di CO₂ eq, con una domanda energetica cumulativa pari a 45,1 MJ per kg di prodotto.

La mozzarella prodotta da una cagliata acquistata, invece, presentava emissioni maggiori rispetto alla mozzarella prodotta da latte crudo, a causa del maggior trasporto al quale il prodotto è sottoposto.

La figura 11 mostra i contributi relativi agli impatti ambientali della mozzarella: la colonna di sinistra fa riferimento agli impatti ambientali prendendo in considerazione tutto il ciclo di vita del prodotto (dalla culla alla tomba); la colonna di destra, invece, prende in considerazione il prodotto in uscita dall'azienda, fino alla fine vita. [28]

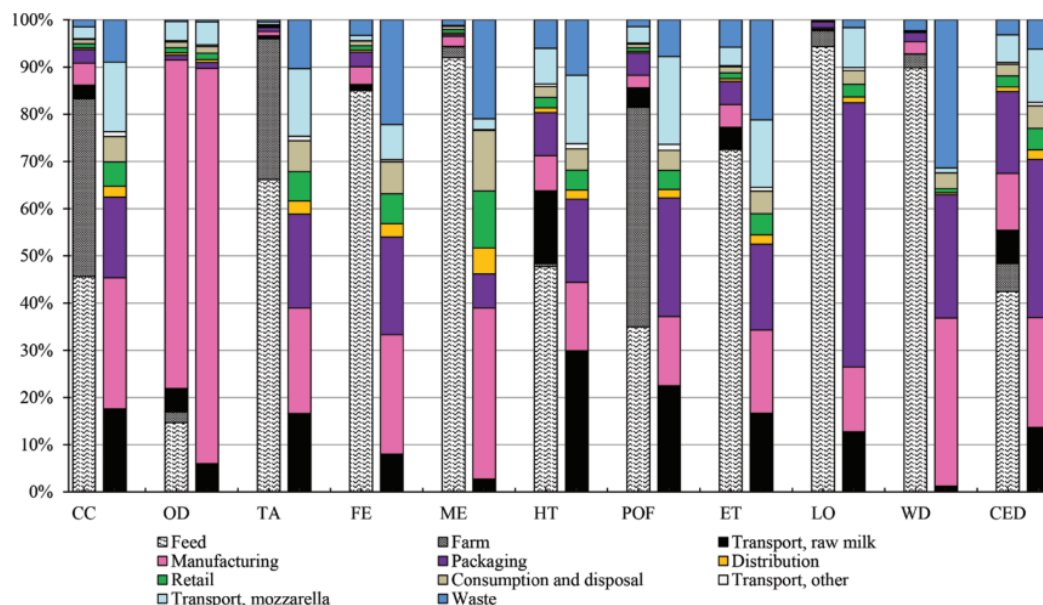


Figura 11 - Contributi impatti ambientali mozzarella (Dalla Riva et al., 2017)

LCA MOZZARELLA DI BUFALA

Lo studio in esame, dal titolo “Environmental sustainability assessment of buffalo mozzarella cheese production chain: A scenario Analysis”, contribuisce a migliorare la conoscenza circa l’impatto ambientale inerente alla filiera di produzione della mozzarella di bufala.

L’analisi ha coinvolto sei aziende agricole situate in Italia nord-orientale, specializzate nella produzione di latte di bufala, e un caseificio dove il latte viene trasformato in mozzarella.

Per lo studio in esame è stato adottato un approccio LCA “dalla culla all’impianto”, che considera, a livello di azienda agricola, uno scenario “latte” che rifletteva la situazione reale degli allevamenti e uno scenario “carne bovina”, che includeva la produzione di carne di bufalo.

A livello di impianto di produzione sono stati analizzati due scenari: uno scenario “mozzarella”, che considerava solo la produzione di mozzarella e uno scenario “formaggio”, che ha preso in considerazione la produzione di ricotta, formaggi stagionati e mozzarella.

Le unità funzionali prese come riferimento nello studio sono 1 kg di latte corretto in grasso e proteine e 1 kg di mozzarella confezionata.

I risultati evidenziati dallo studio hanno mostrato che l’impatto ambientale di 1 kg di mozzarella di bufala confezionata, considerando gli scenari proposti e in base alla modalità di allocazione considerata, varia da 29 a 34 kg di CO₂eq per quanto riguarda il riscaldamento globale e da 211 a 248 g SO₂eq per il dato dell’acidificazione.

I risultati hanno mostrato, inoltre, che la maggior parte delle emissioni e dei gas serra prodotti, sono dovuti al latte di bufala.

L’articolo propone una strategia per la mitigazione degli impatti ambientali, intervenendo principalmente a livello di azienda agricola.

Le aziende agricole dovrebbero incrementare il proprio potenziale produttivo, considerato inferiore rispetto alla media nazionale.

Simulando una produzione di latte in linea con le medie nazionali, le emissioni verrebbero ridotte di circa il 40%. [29]

STRATEGIE PER LA RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DI UNA MOZZARELLA BIOLOGICA

L'articolo in esame, dal titolo "Strategies for reducing the environmental impacts of organic mozzarella cheese production", indaga le prestazioni ambientali inerenti alla produzione di 1 kg di mozzarella biologica, eseguendo una valutazione del ciclo di vita con metodologia LCA. Secondo tale studio, la produzione di latte biologico è la fase maggiormente impattante a livello ambientale, specialmente per quanto riguarda il cambiamento climatico.

I principali contribuenti in questa specifica fase della filiera alimentare sono risultati essere le fermentazioni enteriche causate dall'attività digerente dell'animale e le emissioni dovute alla gestione del letame depositato al pascolo.

Il latte crudo ha avuto contributi rilevanti in tre categorie d'impatto: cambiamento climatico (92,3%), acidificazione terrestre (43,2%) e formazione di foto-ossidanti (65,9%).

Le emissioni del latte crudo, provenienti dalla gestione degli animali, sono associate principalmente alla produzione di metano a livello enterico e ossido di azoto derivante dal letame.

In ambito caseificio, invece, il consumo di elettricità e acqua sono stati i fattori che hanno contribuito maggiormente a livello di impatto ambientale.

La tabella 4 mostra le diverse categorie d'impatto relative a 1 kg di mozzarella.

Impact categories	Unit	Total
Climate change - CC	kg CO _{2eq}	8.17
Ozone depletion - OD	kg CFC- 11 _{eq}	5.44E-08
Terrestrial acidification - TA	kg SO _{2eq}	4.34E-03
Freshwater eutrophication - FE	kg P _{eq}	1.72E-04
Photochemical oxidants formation - POF	kg NMVOC	5.0E-03
Particulate matter formation - PMF	kg PM10 _{eq}	1.45E-03
Water depletion - WD	m ³	0.113
Fossil depletion - FD	kg oil eq	0.177

Tabella 4 - Impatti ambientali mozzarella (Alves et al., 2019)

Lo studio in analisi propone strategie a livello di stabilimento di produzione, incluso l'acquisto di nuove attrezzature, una modifica della capacità produttiva e un adeguato sfruttamento dei sottoprodotti per ottenere nuovi alimenti.

L'utilizzo di un sistema di raffreddamento durante la pastorizzazione del latte ha inoltre contribuito a ridurre il consumo di acqua del 60%. [30]

3.2 Confronto impatti ambientali degli studi LCA

La parte conclusiva dell'elaborato è finalizzata ad un confronto tra gli studi LCA fino ad ora analizzati, per poter comprendere quali sono gli impatti ambientali comuni ai diversi prodotti lattiero-caseari presi in esame.

Gli impatti ambientali che verranno confrontati nel suddetto capitolo sono i seguenti:

- CAMBIAMENTO CLIMATICO
- DOMANDA ENERGETICA CUMULTIVA, ovvero l'energia legata all'intero ciclo di vita del prodotto;
- ESAURIMENTO DELLE RISORSE IDRICHE (consumo d'acqua)

Il cambiamento climatico è stato quantificato in ciascuno degli studi fino ad ora analizzati, utilizzando lo stesso metodo di lavoro; questo rende possibile il confronto della totalità degli articoli LCA, portando ad un risultato soddisfacente.

Tutti gli articoli LCA hanno evidenziato che la produzione di latte crudo (comprendente le attività annesse all'azienda agricola, quali coltivazione, produzione di mangimi, allevamento...) e la quantità di energia consumata durante il ciclo produttivo, sono i fattori maggiormente incidenti sul valore finale dell'impatto ambientale.

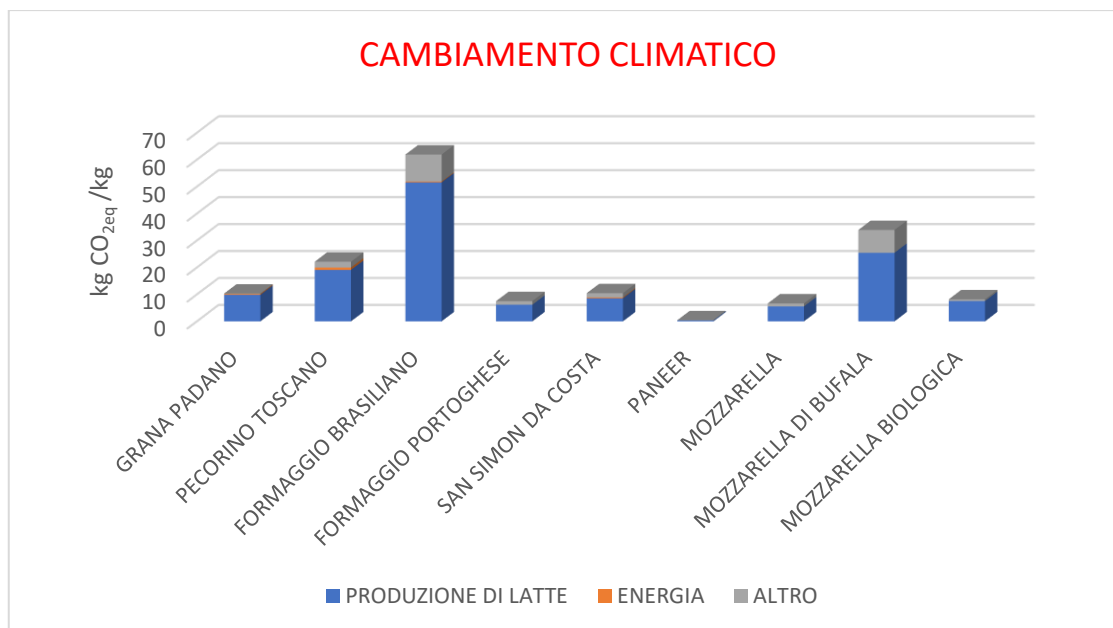
La tabella 5 mostra i dati relativi al cambiamento climatico di ogni articolo LCA analizzato, comprendente i contributi sopra citati rispetto al valore totale.

Contributi	Grana Padano	Pecorino Toscano	Formaggio Brasi	Form. Portoghese	San Simon da Costa	Paneer	Mozzarella ita	Mozzarella di bufala	Mozzarella biologica
Produzione di latte	9.85	19.08	51.60	6.14	8.56	0.32	5.54	25.43	7.54
Energia	0.32	0.89	0.28	n.s.	0.32	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Altro	0.14	2.16	10.02	1.35	1.56	0.07	1.12	8.48	0.63
Totale (kg CO ₂ eq.)	10.30	22.13	61.90	7.49	10.44	0.39	6.66	33.90	8.17

Tabella 5- Confronto impatti ambientali per kg di prodotto

All'interno della categoria "Altro" rientrano tutti i fattori produttivi non associati al consumo di energia e alla produzione diretta di latte, ovvero trasporto di latte crudo, agenti di pulizia, consumo di acqua, materiali utilizzati per il packaging e attività relative alla produzione di formaggio.

Per rappresentare graficamente il dato del cambiamento climatico e i relativi contributi inerenti a tutti gli studi LCA, è stato creato un istogramma sul piano cartesiano, avente in ascissa il nome del prodotto in esame e in ordinata l'unità di misura del cambiamento climatico, ovvero kg CO₂eq.



I valori rappresentati dal grafico fanno riferimento all'unità funzionale, ovvero 1 kg di prodotto.

Dai risultati evidenziati dal grafico, il formaggio proveniente dal caseificio brasiliano presenta il valore d'impatto ambientale più elevato, nettamente superiore rispetto agli altri prodotti proposti.

Come si può evincere dal grafico, il prodotto con il minor impatto relativo al cambiamento climatico è il Paneer, con un valore di 0,39 kg CO₂ eq.

Un dato comune alla maggioranza degli studi LCA è l'elevata incidenza della produzione di latte rispetto al valore totale del cambiamento climatico, poiché la maggior parte delle emissioni di metano e gas-serra in generale provengono dalle attività relative all'azienda agricola e all'allevamento.

Il dato relativo all'impatto ambientale del Grana Padano D.O.P. mostra un'incidenza estremamente elevata della produzione di latte rispetto al valore totale dell'impatto (95,6%).

Ciò è dovuto dal fatto che sono necessari circa 13 kg di latte per produrre 1 kg di formaggio.

Nonostante tutti gli studi LCA menzionino il consumo di energia elettrica come importante fattore di contribuzione agli impatti ambientali, spesso negli articoli non sono presenti valori numerici esatti relativi al consumo energetico.

Per gli articoli LCA che non riportano il valore relativo al consumo di energia, è stato considerato solo il dato della produzione di latte, annoverando l'energia all'interno della categoria "altro".

La DOMANDA ENERGETICA CUMULATIVA (CED) rappresenta la misura totale delle risorse energetiche richieste per la fornitura di un prodotto o di un servizio e si riferisce ai valori di energia primaria per tutte le attività relative al ciclo di vita del prodotto.

Essa tiene conto non solo dell'uso di energia fossile e nucleare (fonte non rinnovabile) ma anche di quella da biomassa e di quella prodotta da impianti eolici, fotovoltaici, geotermici e idroelettrici.

Tra gli articoli LCA proposti, ne sono stati selezionati tre, aventi un riferimento ben preciso sulla domanda energetica cumulativa: il formaggio stagionato Portoghese, il San Simon da Costa e la mozzarella italiana.

La tabella 6 mostra i dati relativi alla DOMANDA ENERGETICA CUMULATIVA dei tre articoli sopra citati.

Per comodità sono state considerate solo due categorie di contributo: produzione di latte e caseificio (compreso di attività connesse al post-produzione).

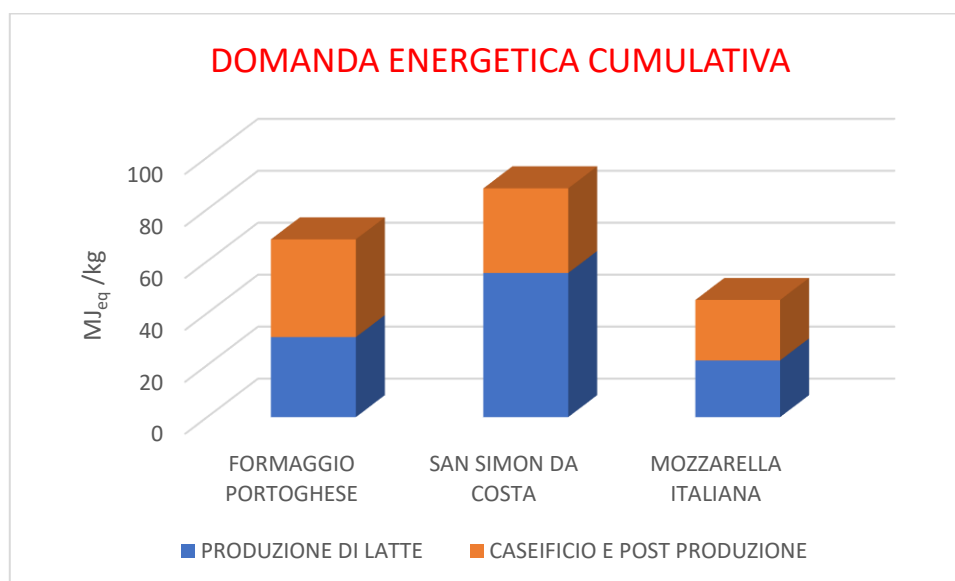
La categoria "caseificio e post produzione" fa riferimento a tutti i fattori non associati direttamente alla produzione di latte, quali consumo di energia, agenti di pulizia, materiali utilizzati per il packaging, trasporto di latte crudo ecc....

CONTRIBUTI (MJ _{eq})	FORMAGGIO PORTOGHESE	SAN SIMON DA COSTA	MOZZARELLA ITALIANA
PRODUZIONE DI LATTE	30.8	55.48	21.84
CASEIFICIO E POST PRODUZIONE	37.63	32.58	23.26
TOTALE	68.43	88.06	45.1

Tabella 6-contributi domanda energetica cumulativa

Per rappresentare graficamente il dato relativo alla domanda energetica cumulativa con i relativi contributi, è stato realizzato un istogramma avente in ascissa il nome del prodotto considerato e in ordinata il valore della domanda energetica cumulativa espressa in MJ_{eq}.

I valori considerati nel suddetto grafico fanno riferimento all'unità funzionale, ovvero un kg di formaggio (o mozzarella).



Come si può evincere dal grafico, il contributo relativo alla categoria “caseificio e post produzione” risulta essere più o meno equivalente nei tre i prodotti analizzati, al contrario del dato relativo alla produzione di latte che risulta essere piuttosto variabile.

Dai risultati emersi dal grafico, il formaggio galiziano San Simon da Costa presenta il valore d’impatto ambientale più elevato rispetto agli altri due prodotti, con una domanda energetica cumulativa pari a 88,06 MJ_{eq}.

La produzione di latte si dimostra ancora una volta un contributo estremamente incidente al valore finale dell’impatto ambientale considerato.

Nel valore d’impatto relativo al San Simon da Costa, la produzione di latte ha un maggior contributo rispetto alle attività connesse al caseificio e al post-produzione.

Per gli altri due prodotti invece, le due categorie di contribuzione sono equivalenti, con una leggera predominanza legata alle attività di caseificio e post-produzione nel caso del formaggio portoghese.

L’esaurimento delle risorse idriche (water depletion) è una categoria d’impatto di primaria importanza, associata all’attività umana e ai cambiamenti ambientali, determinando così una drastica riduzione della quantità di acqua utilizzabile.

L’esaurimento delle risorse idriche è dovuto principalmente agli enormi volumi d’acqua necessari per le coltivazioni delle colture, utilizzate poi per la formulazione di foraggi e

mangimi per il bestiame; inoltre, il volume di acqua necessario per far funzionare l'impianto di produzione assume una certa importanza nel computo totale dell'impatto.

Anche in questo caso, tra gli articoli LCA proposti ne sono stati selezionati tre, aventi un riferimento ben preciso sul dato relativo all'esaurimento delle risorse idriche.

La tabella 7 mostra i dati relativi all'esaurimento delle risorse idriche degli articoli sopra citati, comprendente le categorie di contributo rispetto al valore totale.

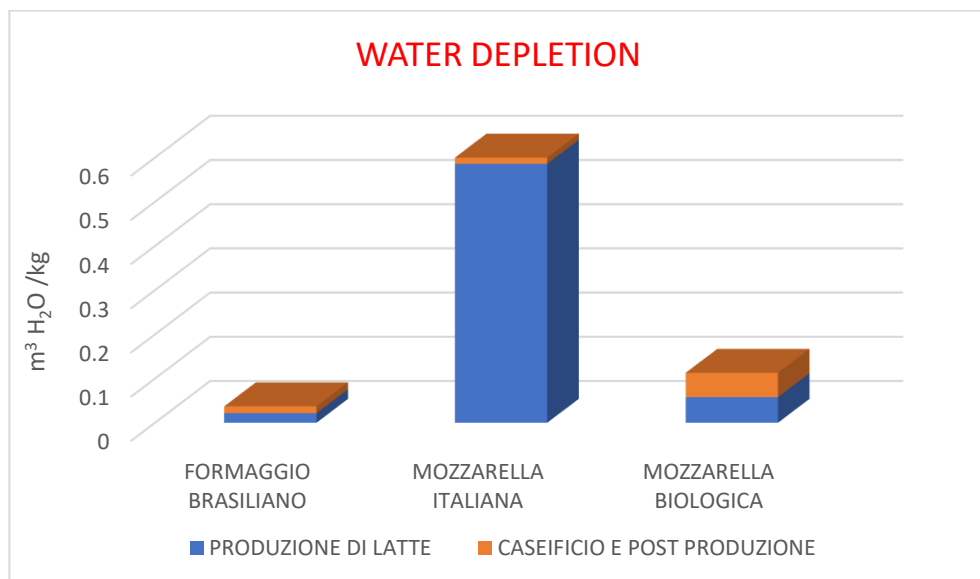
CONTRIBUTI	FORMAGGIO BRASILIANO	MOZZARELLA ITALIANA	MOZZARELLA BIOLOGICA
PRODUZIONE DI LATTE	0.0217	0.586	0.058
CASEIFICIO E POST PRODUZIONE	0.0155	0.014	0.055
TOTALE (m3)	0.0372	0.6	0.113

Tabella 7-Contributi water depletion

La categoria di contribuzione "caseificio e post produzione" fa riferimento all'utilizzo di acqua per l'impianto di produzione del formaggio, al packaging, ai prodotti di scarto della produzione, consumo di energia elettrica.

Per rappresentare graficamente i dati relativi all'esaurimento delle risorse idriche con i relativi contributi, è stato realizzato un istogramma avente in ascissa il nome del prodotto considerato e in ordinata del valore della "water depletion" espressa in m³ di acqua.

I valori rappresentati nel grafico fanno riferimento all'unità funzionale, ovvero 1 kg di prodotto.



Il suddetto grafico sembrerebbe mostrare un valore di “water depletion” relativo alla mozzarella italiana decisamente superiore rispetto agli altri due prodotti, con un valore di 0,6 m³ di H₂O per kg di prodotto.

Questo risultato è spiegato dal fatto che lo studio LCA relativo alla mozzarella italiana tiene conto del latte come input produttivo nel computo totale dell’impatto ambientale; nel caso della mozzarella biologica invece, il latte non viene preso in considerazione nel suddetto calcolo, portando ad un valore decisamente inferiore.

La produzione di latte ha un’incidenza molto elevata sulla totalità dell’impatto, dovuto principalmente ad attività annesse all’azienda agricola, in particolar modo la produzione di foraggi.

Nel caso del formaggio brasiliano e della mozzarella biologica, i contributi sul valore totale dell’impatto sono pressoché equivalenti.

CONCLUSIONI

L'analisi del ciclo di vita di un prodotto è un aspetto estremamente importante al fine di poter quantificare le principali categorie d'impatto relative a tutta la filiera produttiva.

Tutti gli articoli LCA analizzati hanno posto particolare attenzione all'impatto ambientale relativo al cambiamento climatico.

I risultati emersi in tutti gli studi hanno mostrato il rilevante contributo della produzione di latte crudo, rispetto al valore totale dell'impatto considerato.

Spesso quando si parla di latte crudo, si pensa esclusivamente alla produzione di latte da parte dell'animale, non considerando invece tutte le attività annesse all'azienda agricola e all'allevamento, comprendenti quindi i consumi energetici, termici e idrici.

Tutte queste attività, che si concretizzano poi nella produzione di latte, hanno evidenziato un grande dispendio energetico, in termini di risorse e un contributo estremamente rilevante nella maggior parte delle categorie d'impatto ambientale.

Nonostante gli articoli scientifici analizzati fossero abbastanza esaustivi d'informazioni generali, la mancanza di alcuni dati numerici dettagliati non ha reso possibile il confronto completo relativo agli impatti ambientali considerati.

Questo può essere dipeso dal fatto che gli autori degli studi LCA hanno utilizzato strumenti di analisi e software differenti per la valutazione del ciclo di vita dei prodotti.

In alcuni casi, gli studi LCA analizzati hanno considerato differenti confini di sistema, portando così a risultati diversi tra di loro e non confrontabili.

Nonostante ciò, è stato sviluppato un elaborato che rendesse l'idea dei principali punti cardine da prendere come riferimento per valutare gli impatti ambientali associati al prodotto.

La scelta di utilizzare prodotti provenienti da differenti paesi è servita per mettere in risalto la diversità dei prodotti analizzati, i quali dipendono strettamente dai territori di produzione.

Nonostante il metodo LCA sia uno strumento in continuo sviluppo, la presenza di studi in letteratura scientifica non risulta essere estremamente elevata.

Proprio per questo motivo, trovare articoli LCA che siano precisi ed esaustivi, in termini di input, output ed impatti ambientali risulta piuttosto complesso.

In futuro, il diffondersi di questo strumento di analisi, renderà sicuramente possibile un confronto più dettagliato dei diversi studi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. europea. [Online]. Available: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/animal-products/milk-and-dairy-products_it. [Consultato il giorno 5 10 2023].
- [2] Confagricoltura. [Online]. Available: https://www.confagricoltura.it/media/1065/d-1/t-file/Settori-produttivi-latte-2020_-1.pdf. [Consultato il giorno 9 10 2023].
- [3] Erikson P.S., Kalscheur K.F. «Nutrition and feeding of dairy cattle,» in *Animal Agriculture*, 2020, pp. 157-180.
- [4] [Online]. Available: www.treccani.it/vocabolario/foraggio. [Consultato il giorno 13 10 2023].
- [5] [Online]. Available: www.treccani.it/enciclopedia/mangime. [Consultato il giorno 13 10 2023].
- [6] Sodi F. [Online]. Available: <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/erbamedica.htm>. [Consultato il giorno 13 10 2023].
- [7] [Online]. Available: <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/soia.htm>. [Consultato il giorno 13 10 2023].
- [8] Curtis P.G., Slay C.M., Harrys N.L., Tyukavina A., Hansen M.C. «Classifying drivers of global forest loss,» *Science*, vol. 361, pp. 1108-1111, 2018.
- [9] Sodi F. [Online]. Available: <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/orzo.htm>. [Consultato il giorno 13 10 2023].
- [10] Sodi F. [Online]. Available: <https://www.agraria.org/coltivazionierbacee/mais.htm>. [Consultato il giorno 13 10 2023].
- [11] [Online]. Available: <https://www.treccani.it/vocabolario/caseificazione/>. [Consultato il giorno 13 10 2023].

- [12] Aquilanti L. *Appunti e slides del corso di microbiologia degli alimenti; la caseificazione*, 2022-2023.
- [13] Aquilanti L. *Appunti del corso di microbiologia degli alimenti; le colture starter*, 2022-2023.
- [14] «EnciclopediaTreccani,»[Online]Available: <https://www.treccani.it/vocabolario/letame/>.
- [15] «EnciclopediaTreccani,»[Online].Available:<https://www.treccani.it/vocabolario/liquame/>.
- [16] Zavattaro L., Bechini L., Grignani C., van Evert F.K., Mallast J., Spiegel H., Sànden T., Pecio A., Cerever J.V.C., Guzman G., Vanderlinden K., D'Hose T., Ruyschaert G., ten Berge H.F.M «Agronomic effects of bovine manure: A review of long-term European field experiments,» *European Journal of Agronomy* , vol. 90, pp. 127-138, 2017.
- [17] Nehra M., Jain S., «Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: A case study of India» *Bioresource Technology Report*, vol 22, 2023
- [18] «Enciclopedia Treccani, »[Online]Available: https://www.treccani.it/enciclopedia/631-650_ita.pdf
- [19] Dr. Farjana S.H., Dr. Mahmud M.A.P., Dr. Huda N., «Chapter 1- Introduction to life cycle assessment» *Life Cycle Assessment for Sustainable Mining*, pp. 1-13, 2021
- [20] «Enciclopedia Treccani, »[Online]Available: https://www.treccani.it/enciclopedia/631-650_ita.pdf
- [21] Milani F.X., Nutter D., Thoma G., «Invited review: Environmental impacts of dairy processing and products: A review » *Journal of Dairy Science*, vol 94, pp.4243-4254, 2011
- [22] Bava L., Bacenetti J., Gislou G., Pellegrino L., D'Incecco P., Sandrucci A., Tamburini A., Fiala M., Zucali M. «Impact assessment of traditional food manufacturing: The case of Grana Padano cheese» *Science of the Total Environment*, vol 626, pp. 1200-1209, 2018
- [23] Mondello G., Salomone R., Neri E., Patrizi N., Badianoni S., Lanuzza F. «Environmental hot-spots and improvement scenarios for Tuscan “Pecorino” cheese using Life Cycle Assessment» *Journal of Cleaner Production*, vol 195, pp.810-820, 2018

- [24] Cabral C.F.S., Veiga L.B.E., Araujo M.G., de Souza S.L.Q., «Environmental Life Cycle Assessment of goat cheese production in Brazil: a path towards sustainability» *LWT: Food Science and Technology*, vol 129, 2020
- [25] Gonzalez Garcia S., Castanheira E.G., Dias A.C. Arroja L., «Environmental performance of a Portuguese mature cheese-making dairy mill» *Journal of cleaner producer*, vol 41, pp.65-73, 2013
- [26] Gonzalez Garcia S., Hospido A., Moreira M.T., Feijo G., Arroja L., «Environmental Life Cycle Assessment of a Galician cheese: San Simon da Costa» *Journal of cleaner producer*, vol 52, pp. 253-263, 2013
- [27] Kumar M., Choubey V.K., Deepak A., Gedam V.V., Raut R.D., «Life cycle assessment (LCA) of dairy processing industry: A case study of North India» *Journal of cleaner producer*, vol 326, 2021
- [28] Dalla Riva A., Burek J., Kim D., Thoma G., Cassandro M., De Marchi M., «Environmental life cycle assessment of Italian mozzarella cheese: Hotspots and improvement opportunities» *American Dairy science Association*, 2017
- [29] Berlese M., Corazzin M., Bovolenta S., «Environmental sustainability assessment of buffalo mozzarella cheese production chain: A scenario analysis» *Journal of cleaner producer*, vol 238, 2019
- [30] Alves E.C., Soares B.B., de Almeida Neto J., Rodrigues L.B., « Strategies for reducing the environmental impacts of organic mozzarella cheese production» *Journal of cleaner producer*, vol 223, pp. 226-237, 2019.
- [31] «Organizzazione Nazioni Unite.» Available: <https://unric.org/it/che-cosa-sono-i-cambiamenti-climatici/> [Consultato il giorno 14 11 2023].

RINGRAZIAMENTI

Concludo l'elaborato ringraziando tutti coloro che mi sono stati vicini in questo percorso, contribuendo al raggiungimento di questo traguardo.

Per prima cosa desidero ringraziare il mio relatore, il professor Daniele Duca, per la disponibilità e la professionalità che ha messo a mia disposizione, sempre aperto a confronti e chiarimenti da me richiesti.

Ai miei genitori, che mi hanno permesso di realizzare questo piccolo sogno. Grazie per tutti i vostri sacrifici e le vostre rinunce, spero possiate essere fieri di me. Questo traguardo è interamente dedicato a voi.

A mio fratello e mia sorella, che mi hanno visto crescere e conoscono ogni mia piccola sfaccettatura.

A mia nonna, che mi è sempre stata vicina, seppure a volte non fisicamente. Grazie per tutto quello che hai fatto per me.

Agli amici di sempre e a quelli conosciuti durante questo percorso. Tutti voi, nel vostro piccolo avete contribuito alla formazione della mia persona.

Un ringraziamento doveroso va a me stesso, per aver avuto il coraggio di rimettermi in gioco dopo due anni.

