



UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MEDICO – VETERINARIE

Corso di laurea magistrale in Produzioni Animali Innovative e Sostenibili

**RELAZIONE TRA EMISSIONI DI GAS EFFETTO SERRA E BENESSERE ANIMALE
IN ALLEVAMENTI DI BOVINE DA LATTE**

**RELATIONSHIP BETWEEN GREENHOUSE GAS EMISSION AND ANIMAL
WELFARE IN DAIRY CATTLE HERDS**

Relatore: Prof. Massimo Malacarne

Laureanda:

Greta Buzzi

Matricola 342402

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

INDICE

RIASSUNTO	4
ABSTRACT	5
INTRODUZIONE	6
1. BENESSERE ANIMALE.....	8
1.1 DEFINIZIONI DI BENESSERE ANIMALE	8
1.2 INDICI DI BENESSERE ANIMALE.....	10
1.3 ASPETTI NORMATIVI E LEGISLATIVI SUL BENESSERE ANIMALE (UE, IT).....	12
1.4 CLASSYFARM	15
2. EMISSIONI DI GAS EFFETTO SERRA.....	19
2.1 I GAS CLIMALTERANTI ED EFFETTO SERRA	19
2.2 ALLEVAMENTO BOVINO E IMPATTO AMBIENTALE	22
2.3 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE (LCA)	25
2.4 ASPETTI NORMATIVI E LEGISLATIVI LEGATI AL SETTORE ZOOTECNICO	28
3. CONTRIBUTO SPERIMENTALE.....	31
3.1 SCOPO DELLO STUDIO.....	31
3.2 MATERIALI E METODI	32
3.2.1 <i>Disegno sperimentale</i>	32
3.2.2 <i>Valutazione del benessere animale</i>	32
3.2.3 <i>Stima delle emissioni di gas effetto serra</i>	36
3.2.4 <i>Analisi statistica</i>	40
3.3 RISULTATI E DISCUSSIONE	41
3.3.1 <i>Statistiche descrittive</i>	41
3.3.2 <i>Analisi Temporale</i>	43
3.3.3 <i>Impatto della dimensione degli allevamenti</i>	46
CONCLUSIONI.....	50
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	52

RIASSUNTO

La tesi si propone di esplorare l'interconnessione tra il benessere animale e le emissioni di gas effetto serra negli allevamenti zootecnici, concentrandosi sulla regione Lombardia attraverso l'analisi di 22 allevamenti affiliati a Padania Alimenti. L'obiettivo è valutare le variazioni nel benessere animale e nelle emissioni di gas effetto serra nel corso del tempo e in base alle dimensioni degli allevamenti. La ricerca rivela una notevole variabilità nelle emissioni totali, con alcune aziende che producono latte con un impatto ambientale significativamente inferiore rispetto ad altre. Le fonti principali di emissioni sono le fermentazioni enteriche e la produzione di mangimi. La valutazione del benessere animale, basata sul protocollo Classyfarm, mostra una media del 78%, con punteggi più alti nel management aziendale e nelle misure basate sugli animali. Le dimensioni degli allevamenti influenzano significativamente il benessere animale, con aziende più grandi che ottengono punteggi migliori. L'analisi temporale rileva variazioni nelle emissioni e nel benessere animale nel corso degli anni, sottolineando l'importanza di monitorare pratiche specifiche. L'analisi dell'impatto della dimensione degli allevamenti evidenzia correlazioni significative tra le dimensioni dell'azienda e le emissioni da fermentazioni enteriche e produzione di mangimi, con aziende più grandi che mostrano punteggi complessivi più elevati nel benessere animale. La ricerca fornisce una prospettiva chiara sul legame tra benessere degli animali ed emissioni di gas effetto serra nell'allevamento del bestiame, sottolineando l'importanza di considerare le dimensioni delle aziende agricole e di implementare pratiche sostenibili. Tuttavia, per una comprensione più approfondita, si consiglia di migliorare il protocollo di valutazione e di considerare una gamma più ampia di fattori specifici per guidare le decisioni aziendali, le politiche governative e le azioni sociali verso una produzione zootecnica più equa, sostenibile e rispettosa degli animali.

ABSTRACT

This thesis explores the interconnection between animal welfare and greenhouse gas emissions in livestock farming, focusing on the Lombardia region through the analysis of 22 farms affiliated with Padania Alimenti. The aim is to assess variations in animal welfare and greenhouse gas emissions over time and based on farm sizes. For what concerns total emissions, the research reveals significant variations in the environmental impact of some farms producing milk compared to others doing the same task. The main sources of emissions are enteric fermentations and feed production. Animal welfare assessment, based on the Classyfarm protocol, shows an average of 78%, with higher scores in farm management and animal-based measures. The size of the farm notably influence the animal welfare, in fact larger farms achieve higher scores. Temporal analysis detects variations in emissions and animal welfare over the years, emphasizing the importance of monitoring specific practices. The analysis of the impact of farm size highlights the correlations between farm size and emissions from enteric fermentations and feed production, with larger farms achieving overall higher animal welfare scores. The research emphasizes how linked the animal welfare and the greenhouse gas emissions in livestock farming are, while also highlighting the importance of the size of the farms considered and the implementation of sustainable practices. However, for a more in-depth understanding, improving the assessment protocol and considering a broader range of specific factors is recommended to guide business decisions, government policies, and social actions towards fairer, more sustainable, and animal-friendly livestock production.

INTRODUZIONE

Negli ultimi 50 anni, c'è stata una notevole crescita nell'industria lattiero-casearia, come riportato dalla FAO nel 2018. Questo aumento si è accentuato ulteriormente negli ultimi decenni, poiché i produttori di latticini si sono trovati a dover competere in un mercato globale del latte e dei prodotti lattiero-caseari in crescita, con una tendenza verso un minor numero di aziende agricole di dimensioni più grandi, come osservato da Freidberg nel 2009. Questo processo di intensificazione ha avuto un impatto complesso e variabile sui sistemi che coinvolgono l'interazione tra l'uomo e l'ambiente. La crescente consapevolezza degli effetti negativi di questa intensificazione sull'ambiente, sul benessere degli animali, sullo sviluppo equo nelle aree rurali e sulla salute umana ha spinto gli sforzi per immaginare sistemi lattiero-caseari più sostenibili ed equi. (Jay et.al., 2006) (Clay et al., 2019)

Dal periodo successivo alla Seconda Guerra Mondiale, l'intensificazione dell'attività lattiero-casearia, ossia l'incremento della produzione di latte rispetto ai requisiti di mangime, manodopera, terreno o dimensione del bestiame, ha rappresentato il principale percorso di trasformazione nell'industria lattiero-casearia (Jay e Morad 2007). Questa prospettiva orientata alla massimizzazione della produzione, con l'obiettivo primario di migliorare l'efficienza per aumentare i ricavi legati all'agricoltura, continua a influenzare le politiche relative al settore lattiero-caseario nell'Unione Europea, Nord America e nell'area dell'Australia, Nuova Zelanda (Blayney 2002; McGregor e Houston 2017). Se queste tendenze persistono, si prevede che la produzione globale di prodotti lattiero-caseari aumenterà del 22% nei prossimi dieci anni, con una crescita ancora maggiore dell'intensificazione nell'industria lattiero-casearia in tutto il mondo, come indicato dalla FAO nel 2018a. (Clay et al., 2019)

È ampiamente riconosciuto che un utilizzo inconsapevole delle attuali modalità di intensificazione adottate in ambito agricolo e zootecnico è in grado di generare impatti negativi su molteplici dimensioni, quali: l'ambiente, il benessere degli animali, la salute umana.

L'agricoltura intensiva è basata su un concetto di modernizzazione agricola che valuta il progresso in termini di maggiore efficienza e produzione. Negli ultimi 70 anni, nei paesi dell'Unione Europea, del Nord America e dell'Australia e Nuova Zelanda, l'impulso a migliorare l'efficienza economica nella produzione di prodotti lattiero-caseari ha guidato la ricerca e le politiche nel settore, come evidenziato da McGregor e Houston nel 2017. Politiche come il Farm Bill negli Stati Uniti e la

Politica Agricola Comune (PAC) nell'UE hanno a lungo promosso la specializzazione delle aziende lattiero-casearie e sostenuto l'innovazione scientifica e tecnologica nell'agricoltura. Purtroppo questa direzione politica verso l'intensificazione - nell'intento di migliorare le condizioni di lavoro degli addetti del settore zootecnico e le condizioni di vita degli animali - si concentra sull'aumento dell'uso di tecnologie avanzate, come l'impiego di antibiotici nel settore dell'allevamento, l'utilizzo di alimenti commerciali preparati come input, e sulla progressiva sostituzione del lavoro umano con sistemi meccanizzati per l'alimentazione e la mungitura. (Blayney nel 2002) (Clay et al., 2019)

1. BENESSERE ANIMALE

Il benessere animale nelle bovine da latte è un tema cruciale nella zootecnia moderna. Il benessere animale si riferisce al modo in cui gli animali sono allevati e trattati, considerando la loro salute, il loro comportamento e le loro esigenze specie- specifiche. Garantire agli animali un buon livello di benessere è fondamentale non solo per il trattamento etico degli animali ma anche per ottimizzare la qualità delle loro produzioni e la sostenibilità dell'intero settore.

1.1 DEFINIZIONI DI BENESSERE ANIMALE

Il benessere animale, data la sua complessità, non ha ancora ricevuto una definizione univoca da parte dei ricercatori che se ne occupano. In funzione del tipo di considerazioni che tale termine suscita esistono numerose definizioni. (Calamari, 2008)

Il benessere animale è di fatto un'area di interesse ampia che comprende la fisiologia, la genetica, la nutrizione, la sociologia e molto altro. Rispetto agli anni passati, lo studio del benessere degli animali è cambiato; infatti, un tempo si concentrava principalmente sul miglioramento della vita degli animali, inteso come buona salute e livelli adeguati di produzione, mentre oggi il benessere è determinato anche valutando aspetti emotivi, etici e comportamentali dell'animale. (Von Keyserlingk & Weary, 2017)

Il rapporto Brambell (1965) è uno dei primi documenti scientifici ufficiali relativi al benessere animale; esso lo definisce che *“il Benessere ha un significato ampio che comprende sia lo stato fisico che mentale del bene-stare animale. Ogni tentativo di valutare il benessere deve quindi tenere in considerazione le prove scientifiche disponibili riguardanti le emozioni degli animali che derivano dalla loro biologia e fisiologia e anche dal loro comportamento”*.

A seguito del rapporto Brambell, la FAWC (Farm Animal Welfare Council) ha sancito nel 1979 e poi aggiornato nel 1992 le cinque libertà che devono essere garantite agli animali:

1. Dalla fame, dalla sete e dalla cattiva nutrizione garantendo all'animale l'accesso ad acqua fresca e ad una dieta che lo mantenga in piena salute;
2. Di avere un ambiente fisico adeguato, fornendo all'animale un ambiente che includa riparo e una comoda area di riposo;

3. Dal dolore, dalle ferite, dalle malattie, prevenendole o diagnosticandole e trattandole rapidamente;
4. Di manifestare le proprie caratteristiche comportamentali specie-specifiche fornendo all'animale spazio sufficiente, strutture adeguate e la compagnia di animali della propria specie;
5. Dalla paura e dal disagio, assicurando all'animale condizioni e cura che non comportino sofferenza psicologica.

Altre definizioni di benessere sono state poi esposte da Hughes (1976), che lo descrive come *“uno stato di completa salute mentale e fisica, dove l'animale si trova in armonia con il suo ambiente”*, e da Carpenter (1980), che lo definisce come la *“capacità degli animali di vivere o di adattarsi senza provare sofferenza all'ambiente fornito dall'uomo”*. (Savory & Hughes, 2010) (Party, 1980b)

Una definizione più recente è stata fornita da Broom e Johnson (1993), secondo la quale il benessere animale è *“lo stato di un individuo per quanto concerne i suoi tentativi di adattarsi all'ambiente”*; in questo modo, il benessere implica una soggettività dell'animale e non qualcosa che gli viene fornito dall'esterno. Grazie a questa definizione, si evince che sia l'ambiente di allevamento sia il management dell'animale, in quanto soggetto capace di provare sensazioni, come paura, sono importanti per parlare di benessere animale. Da qui deriva che un buon livello di benessere animale richiede differenti fattori tra cui : gestione idonea, ricoveri adeguati, alimentazione appropriata, prevenzione delle malattie e trattamenti veterinari, un approccio compassionevole alla manipolazione (handling) e alla soppressione/macellazione. (Macrì, Maria & Ferrante, 2012)

Ad oggi è importante considerare come il benessere animale non può prescindere da considerazioni di tipo etico ovvero influenzata dalla concezione che si ha dell'animale stesso e più in generale della natura e della vita.

1.2 INDICI DI BENESSERE ANIMALE

Le diverse definizioni di benessere animale e i differenti criteri per l'approccio allo studio del benessere comportano una problematica nello sviluppo di modelli di valutazione univoci. Gli animali, infatti, possono trovarsi in un livello differente di benessere : non accettabile, accettabile o ottimale. L'approccio più adatto e completo per la valutazione del benessere dovrebbe basarsi su rilevazioni che si possono categorizzare in indicatori di tipo diretto e indiretto. (Calamari, 2008)

Gli indicatori indiretti, detti "environmental factors", rilevano le caratteristiche dell'ambiente in cui vivono gli animali. Appartengono a questa categoria misurazioni riguardanti :

- Sistemi di allevamento e strutture (es. tipo di stabulazione, lettiera, ventilazione, aerazione, sistema di alimentazione)
- Relazione uomo – animale (qualità e quantità)
- Gestione (es. alimentazione, numero di mungiture giornaliere, cure individuali, manutenzione impianti). (Canelli, 2022)

Le rilevazioni di questi parametri risultano semplici, rapide ed affidabili. Tuttavia, forniscono una valutazione del rischio per lo stato di benessere degli animali e non una valutazione dell'effetto reale sul benessere. Grazie a queste misurazioni, si è in grado di individuare eventuali punti critici di un sistema, ma non necessariamente l'assenza di fattori di stress. Lo stress per gli animali dipende non solo dall'importanza e dall'intensità del fattore scatenante, ma anche dalla capacità del singolo animale a rispondere all'insulto. Tale capacità è influenzata da diversi fattori quali: genetica, esperienza individuale, stagione, presenza di molteplici fonti di stress ecc. (Friend, 1991)

Alla luce di queste informazioni: "Occorre un'accurata valutazione delle reazioni degli animali, una combinazione tra osservazioni dei comportamenti e misure fisiologiche, al fine di elaborare una misurazione corretta del livello di discomfort dell'animale" (Grandin, 1997), questa valutazione si può ottenere grazie agli indicatori diretti.

Gli indicatori diretti, detti anche AMB (Animal Based Measures), si basano sull'animale e in particolare sulla sua capacità di adattarsi all'ambiente in cui è allevato. In questa categoria rientrano parametri di tipo:

- Comportamentale (etogramma specie-specifico, test comportamentali, stereotipie);
- Sanitario (patologie, mortalità, lesioni, disturbi metabolici);

- Fisiologico (immunitari, metabolici, neuro-endocrini, cardiaci);
- Di produttività (accrescimento, fertilità, quantità e qualità delle produzioni). (Macrì, Maria & Ferrante, 2012)

I vantaggi delle misurazioni dirette riguardano la capacità di valutare il benessere degli animali nel momento della valutazione; mentre gli svantaggi riguardano il potenziale ritardo nella rilevazione; infatti, il benessere è già stato condizionato al momento della rilevazione. (Canelli, 2022)

La rilevazione congiunta dei parametri di tipo diretto e di quelli di tipo indiretto è in grado di identificare le cause degli eventuali problemi di benessere. (Macrì, Maria & Ferrante, 2012)

1.3 ASPETTI NORMATIVI E LEGISLATIVI SUL BENESSERE ANIMALE (UE, IT)

Alla luce dell'aumento del commercio internazionale, della globalizzazione e delle preoccupazioni sulla salute degli animali; in Europa è da oltre una generazione che il benessere degli animali è oggetto di legislazione. (Mitchell, 2000)

Sin dagli anni '60, una delle principali sedi per la promozione del benessere degli animali è il consiglio d'Europa (The Council of Europe – COE), un'organizzazione internazionale della quale sono membri quasi tutti i governi delle nazioni europee. Nel tentativo di riconoscere l'importanza del benessere degli animali e il contributo che essi danno alla salute e alla qualità di vita umana, il COE ha adottato nel tempo diverse convenzioni sul benessere degli animali. (Vapnek & Chapman, 2010)

Le tre convenzioni COE più importanti riguardanti il benessere degli animali da allevamento sono:

- La convenzione europea per la protezione degli animali tenuti in allevamento (European Treaty Series-ETS, n° 87) del 1976, revisionata nel 1992 (EST n°145). È una convenzione quadro che introduce i principi per la gestione degli animali negli allevamenti e per gli alloggi, con un particolare focus sugli allevamenti intensivi integrando anche in funzione delle differenti specie delle raccomandazioni.
- La convenzione europea per la protezione degli animali durante i trasporti internazionali (ETS n°65) del 1968, revisionata nel 2003 (ETS n° 193). Essa copre una varietà di argomenti relativi ai trasporti, compresa la progettazione dei veicoli; la preparazione del viaggio, dal carico allo scarico; manipolazione degli animali; idoneità degli animali per i viaggi; controlli veterinari; e certificazioni.
- La convenzione europea per la protezione degli animali da macello (ETS n° 102) del 1979 disciplina il trattamento degli animali nelle operazioni di macellazione e nei macelli.
(Home - Treaty Office - www.coe.int, 2014)

Dalla metà degli anni '70, l'Unione Europea (UE) ha adottato una legislazione sempre più specifica sul benessere degli animali. La legislazione europea inizialmente si dotava di direttive, che imponevano agli stati membri di adottare misure per soddisfare i requisiti, successivamente l'UE ha sviluppato norme più dettagliate che, grazie ai principi di immediata applicabilità ed efficacia diretta, fanno parte della legislazione nazionale degli stati membri sin dal momento della loro pubblicazione. (Vapnek & Chapman, 2010)

La prima legislazione sul benessere degli animali da parte della Comunità Economica Europea (CEE) risale al 1974, grazie alla direttiva 74/577/CEE relativa allo stordimento degli animali prima della macellazione. Essa prevede che *“la Comunità dovrebbe inoltre adottare misure per evitare in generale ogni forma di crudeltà verso gli animali; che appare auspicabile, in primo luogo, che tale azione consista nel prevedere condizioni atte ad evitare ogni inutile sofferenza degli animali al momento della macellazione”*. (EU Law - EUR-Lex, n.d.)

Inizialmente, la legislazione CEE sul benessere degli animali prevedeva l'adozione o l'incorporazione delle convenzioni COE nelle leggi della comunità europea (CE). Tuttavia, non esisteva una base giuridica specifica nei trattati CEE/CE per la regolamentazione del benessere degli animali da produzione all'interno dei paesi membri. Infatti, la struttura del trattato CEE/CE prevedeva solamente la regolamentazione riguardante il commercio di prodotti agricoli. (Vapnek & Chapman, 2010)

I primi chiari riferimenti al benessere animale in campo europeo appaiono grazie al Trattato di Maastricht del 1992, nella quale si invitavano le istituzioni comunitarie a *“prestare piena considerazione del benessere degli animali”* nella stesura e la legislazione di attuazione. Successivamente il Trattato di Amsterdam del 1997 ha incluso un Protocollo sulla protezione e il benessere degli animali, esso riconosce gli animali come *“esseri senzienti”*, nonché uno status distinto dalle proprietà o dai prodotti agricoli. Infine il Trattato di Lisbona del 2004 ha ribadito il linguaggio del protocollo come segue: *“Nella formulazione e attuazione delle politiche dell'Unione [europea] in materia di agricoltura, pesca, trasporti, mercato interno, ricerca e sviluppo tecnologico e spaziali, l'Unione e gli Stati membri, poiché gli animali sono esseri senzienti, tengono pienamente conto delle esigenze del benessere degli animali, nel rispetto delle disposizioni legislative o amministrative e delle consuetudini degli Stati membri relative in particolare ai riti religiosi, alle tradizioni culturali e al patrimonio regionale.”* (Home - Treaty Office - www.coe.int, 2014)

Da allora, i regolamenti emessi dall'Europa, e dunque immediatamente applicati in tutti gli stati membri, sono molteplici. Tra i più importanti vediamo:

- Regolamento (CE) 1/2005 relativo al trasporto degli animali e alle operazioni correlate. Tale regolamento tutela il benessere attraverso obblighi riguardanti l'idoneità dell'animale al trasporto (es. non possono essere trasportati se non sono in grado di deambulare), il

- rispetto dello spazio minimo per capo all'interno del veicolo ed il divieto di superare un certo numero di ore di viaggio al giorno (variabile in funzione delle specie e dell'età);
- Regolamento (CE) 1009/2009 sulla macellazione degli animali, sia che si verifichi in macello sia in allevamento. Tale regolamento afferma che lo stordimento degli animali prima della macellazione è obbligatorio, salvo alcune pratiche religiose (Halal e Kosher) purché avvenga in macello. Lo stordimento e la macellazione avvengono con modalità differenti a seconda della specie animale: vengono descritti metodi ammessi e se necessario, anche i requisiti minimi per metodi specifici (es. elettroanestesi);
 - Regolamento (UE) 2017/625 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 15 marzo 2017, relativo ai controlli ufficiali e alle altre attività ufficiali effettuati per garantire l'applicazione della legislazione sugli alimenti e sui mangimi, delle norme sulla salute e sul benessere degli animali, sulla sanità delle piante nonché sui prodotti fitosanitari;
 - Regolamento delegato (UE) 2019/2035 della Commissione del 28 giugno 2019 che integra il regolamento (UE) 2016/429 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda le norme relative agli stabilimenti che detengono animali terrestri e agli incubatoi nonché alla tracciabilità di determinati animali terrestri detenuti e delle uova da cova; (*EU Law - EUR-Lex*, n.d.)

Attualmente vi sono diverse leggi in vigore in Italia; tra le più rilevanti troviamo due decreti. Il primo, il D.Lgs. 26 marzo 2001, n.146 (attuazione della direttiva 98/58/CE) relativa alla protezione degli animali negli allevamenti, è stato modificato dalla Legge 27/12/2004, n.306 e dalla Legge 26/02/2007, n.17, con relative linee guida ministeriali di applicazione e chiarimento. Mentre il secondo, il D.lgs. 7 luglio 2011, n. 126 recante "Attuazioni della direttiva 2008/119 CE che stabilisce le norme minime per la protezione dei vitelli". (*Gazzetta Ufficiale*)

1.4 CLASSYFARM

Il ministero della salute, con il supporto di CReNBA (Centro di Referenza Nazionale per il Benessere Animale), ha sviluppato e reso disponibile Classyfarm, un sistema di valutazione e categorizzazione del rischio per il benessere animale e la biosicurezza negli allevamenti bovini. Il sistema si basa su un insieme di dati raccolti attraverso specifiche checklist di autovalutazione e sulla successiva elaborazione e validazione dei dati. Lo scopo delle checklist è quello di rendere semplice, omogenea e validata la verifica delle condizioni di benessere negli allevamenti italiani. L'obiettivo, oltre alla rilevazione di eventuali punti critici, è inoltre quello di categorizzare in fasce di rischio le aziende e di poterle confrontare con le medie provinciali, regionali e nazionali. Gli allevamenti possono dunque essere categorizzati in tre livelli di rischio:

- Livello 1 : rischio alto, condizione insufficiente/negativa/di pericolo o stress; indica la possibilità che una parte degli animali stia vivendo o possa incorrere in una situazione negativa ("distress"), dovuta all'impossibilità di godere a pieno di una o più delle 5 libertà;
- Livello 2: Rischio controllato o condizione accettabile, normale e compatibile con la possibilità che tutti gli animali della mandria possano soddisfare le proprie 5 libertà e non subire condizioni di stress;
- Livello 3: Rischio basso o condizione ottimale, positiva e di beneficio, dovuta non solo al pieno adattamento dell'animale al suo ambiente e al rispetto delle 5 libertà, ma anche alla possibilità di poter vivere esperienze positive, appaganti e soddisfacenti in grado di produrre "eustress". (IZSLER – CReNBA, 2019)

La procedura di valutazione del benessere animale del sistema Classyfarm tiene conto delle numerose indicazioni presenti nei rapporti e nelle pubblicazioni scientifiche dei più significativi gruppi ed organismi di ricerca europei, tra cui l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA), nonché degli standard minimi stabiliti dal D.Lgs 146/2001 (sulla protezione degli animali da reddito) e dal D.Lgs 126/2011 (sulla protezione dei vitelli). Il metodo si basa sull'analisi di due gruppi di dati: quelli relativi ai rischi derivati dalle condizioni ambientali (management, strutture, attrezzature e condizioni microclimatiche), e quelli risultanti dalla rilevazione dei più significativi indicatori diretti di benessere (Animal- Based Measures, ABM).

Nella valutazione in autocontrollo (svolta dal veterinario aziendale o dall'allevatore), ovvero il primo gruppo, è diviso in tre aree di rischio: Area A: "Management aziendale e personale"; Area

B: “Strutture ed attrezzature”; Area dei “Grandi rischi e sistemi di allarme”. Mentre, il secondo gruppo è raccolto nell’area C “ABMs”. Infine, si unisce una valutazione relativa alla biosicurezza. (IZSLER – CReNBA, 2019)

Nel particolare le diverse aree tematiche sono rappresentate da:

AREA A “Management aziendale e personale”: La gestione aziendale riveste un ruolo cruciale nel contesto del benessere animale, coinvolgendo una serie di operazioni che interessano direttamente il personale incaricato del trattamento degli animali. Nonostante istintivamente le caratteristiche strutturali di un allevamento possano apparire di primaria importanza per quanto concerne le condizioni di benessere degli animali, è importante notare che tali condizioni sono in realtà più significativamente influenzate dalla gestione quotidiana delle attività di routine da parte del personale. Le azioni e le decisioni degli operatori, sia nell'interazione diretta con gli animali che in termini di aspetti indiretti, possono contribuire a promuovere il benessere persino in strutture apparentemente meno adeguate, oppure, al contrario, possono causare situazioni di disagio anche in strutture moderne e all'avanguardia.

AREA B “Strutture ed attrezzature”: Le strutture e le attrezzature zootecniche, insieme al management e alla gestione dell’igiene ambientale, costituiscono una fonte potenziale di rischio per il benessere degli animali e per la soddisfazione delle loro esigenze fisiologiche ed etologiche. Pertanto, numerosi studi, linee guida e pareri scientifici si concentrano principalmente sulla valutazione dell'adeguatezza delle strutture di stabulazione. Tra l'idoneità dell'ambiente e il benessere dell'animale, c'è la capacità dei bovini e dei bufalini di adattarsi alle strutture disponibili. Di conseguenza, al fine di individuare le condizioni ottimali per ciascun allevamento, è essenziale identificare i punti critici strutturali che hanno il maggiore impatto al fine di apportare miglioramenti e ridurre il rischio di lesioni o comportamenti anomali. Inoltre, è importante sottolineare che un allevamento dovrebbe disporre di strutture aggiuntive adeguate per la gestione di situazioni particolari, come il box per il parto o un'area per l'infermeria.

AREA C “Animal based measures”: L'analisi dei potenziali impatti negativi sul benessere degli animali dovuti a inadeguate strutture e pratiche gestionali può essere effettuata attraverso la valutazione di indicatori di benessere basati sull’animale (ABM) che possono essere misurati direttamente sull'animale (ad esempio, la zoppia) o in modo indiretto tramite la raccolta di dati aziendali disponibili (come la prevalenza della mortalità annuale), i quali sono stati

scientificamente accertati come correlati al benessere animale. Infatti, gli animali che sperimentano un disagio presentano segni fisici specifici che possono essere osservati, interpretati e valutati al fine di comprenderne lo stato di malessere.

AREA “Grandi rischi e sistemi di allarme”: Il management aziendale, l'igiene ambientale e le attrezzature zootecniche, così come i sistemi di allarme per situazioni di grande rischio, rappresentano tutti dei potenziali fattori di pericolo per il benessere degli animali. La presenza o l'assenza di tali dispositivi preventivi non ha un'immediata influenza sul benessere degli animali, ma in caso di situazioni di pericolo significative (ad esempio, guasti agli impianti elettrici), possono fare la differenza nel preservare la salute, il benessere e persino la vita degli animali e delle persone, impedendo o limitando gli effetti avversi estremi. Pertanto, è compito dell'operatore valutare la prevenzione dei grandi rischi al fine di proteggere il benessere degli animali. I criteri rientranti in questa categoria dovrebbero includere, come pratica consigliata, procedure aziendali documentate o, quanto meno, dimostrare una preparazione effettiva per far fronte agli eventi avversi contemplati dai criteri stabiliti.

AREA “Biosicurezza”: Le direttive generali di biosicurezza dovrebbero essere costantemente adottate, poiché costituiscono una barriera efficace contro l'introduzione e la diffusione di nuove malattie all'interno dell'allevamento. Queste direttive comprendono una serie di linee guida da seguire sia in situazioni straordinarie, come durante l'insorgenza di focolai di malattie, sia nelle attività di routine, come la pulizia, la disinfezione e la manutenzione degli spazi destinati agli animali. Questa area verte sulla valutazione di tutte le procedure atte a prevenire la diffusione di nuove malattie nell'ambiente dell'allevamento. Inoltre, vengono esaminate la presenza di altre specie nell'azienda, le procedure per la gestione delle entrate e delle uscite di veicoli e individui esterni alla struttura, le pratiche di controllo dei roditori e le operazioni di pulizia relative agli impianti di mungitura e a tutte le strutture associate all'azienda. (IZSLER – CReNBA, 2021)

Anche in questo caso, per ogni parametro valutato è possibile identificare tre scelte:

- Insufficiente: condizioni che possono impedire a uno o più animali della mandria di soddisfare le proprie esigenze biologiche e di godere delle 5 libertà alla base del benessere animale;
- Accettabile: condizioni di vita che, salvo eccezioni, garantiscono il soddisfacimento delle 5 libertà e delle esigenze psicofisiche per tutti gli animali presenti;

- Ottimale: la presenza di particolari condizioni positive che garantiscono a tutti gli animali di godere appieno di condizioni ottimali chiaramente migliori rispetto ai minimi previsti di legge. (IZSLER – CReNBA, 2020)

Il risultato finale ottenuto mediante l'applicazione del sistema di valutazione consiste non solo nell'individuare potenziali problematiche, ma anche nell'assegnare un valore numerico ottenuto attraverso l'analisi di tutte le informazioni, che rappresenta il livello complessivo di rischio dell'allevamento. A questo si aggiunge il risultato parziale derivante da ciascuna area di valutazione, il quale fornisce un'indicazione riguardo all'importanza e al contributo di ciascuna area nell'insieme dell'indice di rischio finale. Queste informazioni sono preziose anche per indirizzare in modo adeguato le azioni preventive verso i principali punti deboli dell'allevamento, migliorando di conseguenza le condizioni di vita degli animali. Al termine di tutto il processo di valutazione, vengono prodotti due documenti:

1. Un resoconto dei dati elaborati e delle criticità emerse nell'ambito della valutazione del rischio relativo al benessere degli animali nella specie bovina, il quale include: il valore complessivo del benessere animale (livello generale di rischio) in relazione alle condizioni degli animali presenti nell'allevamento; il valore di ciascuna delle quattro aree di valutazione del benessere animale; i punti critici identificati.
2. Un resoconto dei dati elaborati e delle criticità rilevate nella valutazione del rischio legato alla biosicurezza nella specie bovina, il quale include: il valore complessivo della biosicurezza (livello generale di rischio); i punti critici individuati. (IZSLER – CReNBA, 2021)

2. EMISSIONI DI GAS EFFETTO SERRA

Le emissioni di gas ad effetto serra, o gas climalteranti (GHG – GreenHouse Gas) rappresentano una delle sfide più urgenti e critiche per l'umanità e richiedono azioni globali coordinate per mitigare i cambiamenti climatici e ridurre gli impatti negativi sul pianeta e sulle società. Le emissioni di GHG sono prodotte principalmente dalle attività umane, tra cui la combustione di combustibili fossili, l'agricoltura, la deforestazione e l'industria.

2.1 I GAS CLIMALTERANTI ED EFFETTO SERRA

L'effetto serra è un fenomeno naturale che si verifica quando determinati gas presenti nell'atmosfera terrestre intrappolano il calore proveniente dal sole, contribuendo a mantenere una temperatura media sulla Terra adatta alla vita. Tuttavia, negli ultimi decenni, l'attività umana ha aumentato significativamente la concentrazione di alcuni di questi gas, portando a un aumento dell'effetto serra, che ha conseguenze negative sul clima globale.

I principali gas responsabili dell'effetto serra, chiamati anche gas climalteranti (o GHG) insieme alle loro fonti principali, sono:

- Anidride carbonica (CO₂): La CO₂ è il gas climalterante più comune e rappresenta la principale causa del cambiamento climatico. Le attività umane, come la combustione di combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale), i cambiamenti nell'uso del suolo e la deforestazione, hanno portato a un aumento significativo dei livelli di CO₂ nell'atmosfera. Questo ha contribuito all'aumento delle temperature globali e all'acidificazione degli oceani.
- Metano (CH₄): Il metano è un gas serra più potente della CO₂, ma è presente in quantità molto minori nell'atmosfera. Le principali fonti di metano includono l'industria del bestiame, le discariche, la produzione di gas naturale e i terreni agricoli in cui si verificano processi di degradazione anaerobica della materia organica.
- Protossido di azoto (N₂O): Il protossido di azoto è un altro gas serra che deriva principalmente dalle attività agricole, come l'uso di fertilizzanti azotati e i processi di denitrificazione nei terreni.
- Gas fluorurati (HFC, PFC, SF₆): Questi gas sono prodotti industriali utilizzati in vari settori, come il condizionamento dell'aria, la refrigerazione e l'elettronica. Sono molto potenti

come gas serra, ma sono presenti in quantità relativamente basse nell'atmosfera. Tuttavia, la loro concentrazione sta aumentando a causa dell'uso crescente.

- Vapore acqueo: Anche se non viene emesso direttamente dalle attività umane, il vapore acqueo è il gas serra più abbondante nell'atmosfera e contribuisce all'effetto serra. Il suo comportamento è strettamente legato alle variazioni di temperatura e umidità nell'atmosfera.

L'effetto di questi gas serra è riscaldare la Terra. Questo riscaldamento può portare a conseguenze come l'aumento del livello del mare, eventi meteorologici estremi più frequenti, cambiamenti nei modelli di precipitazione, acidificazione degli oceani e perturbazioni negli ecosistemi.

Per affrontare il cambiamento climatico, è essenziale ridurre le emissioni di questi gas climalteranti attraverso misure come l'adozione di fonti di energia rinnovabile, l'efficienza energetica, la riduzione delle emissioni industriali e agricole e la protezione delle foreste.

Secondo il rapporto della FAO del 2017, le emissioni globali totali di gas serra provenienti da tutti i settori economici hanno ammontato a 51 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente (Gt CO₂ eq/anno). Le emissioni direttamente attribuibili all'agricoltura, comprese le attività zootecniche, hanno raggiunto 6,1 Gt CO₂ eq/anno. In termini percentuali, l'agricoltura e la zootecnia hanno contribuito rispettivamente all'11% e al 9% delle emissioni globali di CO₂ equivalente causate da tutte le attività umane connesse all'uso del suolo. La principale fonte di emissioni globali di CO₂ eq è stata il settore energetico, responsabile di circa i due terzi dell'intero bilancio, principalmente a causa dell'utilizzo di combustibili fossili nella produzione di energia. Nel frattempo, i processi industriali hanno contribuito all'8% del totale (FAO, 2020). (De Vivo & Zicarelli, 2022)

Secondo i dati forniti dall'ISPRA nell'annuario delle emissioni in atmosfera del 2018, nel contesto delle emissioni antropiche totali, le attività agricole costituiscono il 7% (di cui l'attività zootecnica rappresenta il 75%), i trasporti il 25%, la produzione di energia il 45%, i processi industriali il 20%, mentre la gestione dei rifiuti contribuisce al 4% delle emissioni totali. I dati dell'ISPRA del 2018 indicano inoltre che il contributo delle emissioni dovuto all'agricoltura, che include anche la componente legata all'allevamento, si è mantenuto costantemente intorno ai 35-30 mila megatonnellate all'anno e ha mostrato una stabilità negli ultimi decenni, dal 1990 fino a oggi, con una leggera tendenza alla diminuzione. Nel frattempo, il settore energetico, pur essendo numericamente il più rilevante, ha registrato un aumento a partire dal 2000, seguito da una

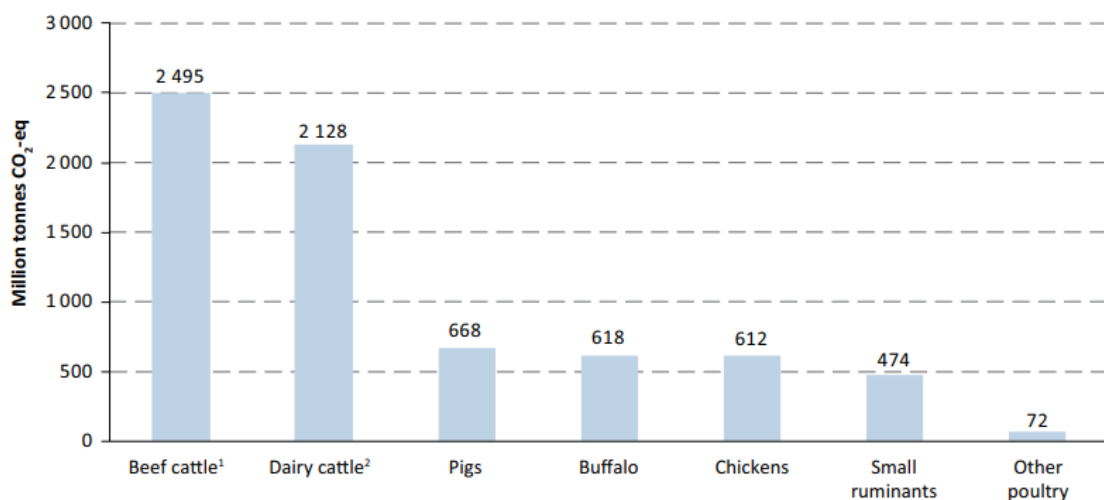
diminuzione a partire dal 2005, tendenza che continua ancora oggi. È importante notare che, se consideriamo questi dati in termini percentuali, la quota di incidenza del settore agricolo, inclusa la zootecnia, sembra aumentare, ma questo non è dovuto a un effettivo aumento delle emissioni agricole, bensì alla diminuzione delle emissioni in altri settori. (De Vivo & Zicarelli, 2022)

Secondo la FAO, il contributo dell'agricoltura alle emissioni di gas serra è in diminuzione nel corso del tempo. Nel decennio degli anni '90 (1990-1999), tale contributo era in media del 29%, mentre negli anni 2000 (2000-2009) si è ridotto al 25%, e nell'attuale decennio (2010-2017) è sceso al 20%. Questa tendenza discende da due fattori principali: da un lato, gli aumenti delle emissioni tra il 1990 e il 2017 sono stati più significativi nel settore energetico, passando da 25 a 37 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente, rispetto ai settori delle colture e del bestiame, che sono passati da 5,2 a 6,1 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente. Dall'altro lato, le emissioni legate all'uso dei terreni agricoli hanno registrato una diminuzione sostanziale nello stesso periodo, passando da 6,9 a 5,0 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente (FAO, 2020). (De Vivo & Zicarelli, 2022)

Nel contesto delle emissioni di gas serra dovute alle attività zootecniche, è importante considerare non solo il metano ruminale, prodotto durante il processo digestivo dei ruminanti, ma anche le emissioni derivanti dalle deiezioni degli animali allevati, sia ruminanti che non ruminanti, e dalla loro gestione. Le deiezioni in condizioni aerobiche producono protossido di azoto (N₂O), mentre in condizioni anaerobiche durante lo stoccaggio producono anche metano (CH₄). Le emissioni di N₂O dovute alle deiezioni stoccate dipendono da vari fattori, tra cui il contenuto di azoto e carbonio delle deiezioni, le modalità di stoccaggio, la durata e il tipo di trattamento prima dello stoccaggio. Un dato interessante è che, dopo il 2002, l'incremento percentuale del metano nell'atmosfera è stato inferiore rispetto all'incremento percentuale del numero di ruminanti, il che suggerisce che l'associazione tra il metano atmosferico e l'aumento del numero di ruminanti è da considerarsi un'associazione spuria (Zicarelli, 2018). (De Vivo & Zicarelli, 2022)

2.2 ALLEVAMENTO BOVINO E IMPATTO AMBIENTALE

I bovini costituiscono la principale fonte di emissioni all'interno del settore zootecnico, contribuendo con circa 4,6 gigatonnellate di CO₂-eq, il che corrisponde al 65% delle emissioni totali del settore. Sia i bovini da carne che quelli da latte emettono quantità simili di gas effetto serra. Al contrario, suini, pollame, bufali e piccoli ruminanti presentano livelli di emissioni molto più bassi, contribuendo ciascuno con una percentuale compresa tra il 7% e il 10% delle emissioni totali del settore (si veda la Figura 1). (Gerber et al., 2013)



*Includes emissions attributed to edible products and to other goods and services, such as draught power and wool.

¹ Producing meat and non-edible outputs.

² Producing milk and meat as well as non-edible outputs.

Source: GLEAM.

Figura 1. Stime globali delle emissioni per specie animale

Le emissioni globali da parte delle filiere zootecniche, suddivise per categorie di emissione, si possono essere illustrate mediante la figura 2. Come è possibile notare, la maggior parte delle emissioni di GHG (GreenHouse Gases - gas effetto serra) del settore zootecnico ha origine principalmente da quattro tipi di processi:

1. Emissioni di metano dalle fermentazioni enteriche (rappresentano circa il 40% delle emissioni del settore): I ruminanti, tra cui bovini, bufali e ovicapri, generano metano (CH₄) durante il processo digestivo. Durante questo processo, l'amido, la cellulosa e le proteine vengono scomposti da microrganismi presenti nel rumine e trasformati in amminoacidi e zuccheri. Gli zuccheri, a loro volta, subiscono una successiva trasformazione nel rumine, dando luogo ad acidi grassi volatili e idrogeno (H₂). Per prevenire l'accumulo tossico di idrogeno, gli archeobatteri metanogeni convertono l'idrogeno in metano, che viene poi espulso tramite eruttazione. Anche i

monogastrici, come i suini, producono metano nell'intestino cieco, ma la loro contribuzione è significativamente inferiore rispetto a quella dei ruminanti. I bovini emettono la maggior parte del CH₄ enterico (77%), seguiti dai bufali (13%) e dai piccoli ruminanti (10%).

2. Emissioni di metano e protossido di azoto dalla gestione dei reflui (rappresentano circa il 10% delle emissioni del settore): La liberazione di gas avviene sia nella fase di stoccaggio che in quella di spandimento dei reflui. Il metano si genera a causa della decomposizione anaerobica della sostanza organica, e ciò è particolarmente evidente nei residui sotto forma di liquame. L'azoto contenuto nei residui viene principalmente convertito in ammoniaca (NH₄), la quale viene rilasciata nell'atmosfera e può successivamente trasformarsi in N₂O, che rappresenta un tipo di emissione indiretta.

3. Emissioni di CO₂ e N₂O dalla produzione e dal trasporto degli alimenti per il bestiame (rappresentano circa il 45% delle emissioni totali) : L'espansione dei terreni agricoli dedicati alla coltivazione di piante per la produzione di mangimi o per il pascolo, a spese delle terre incolte naturali, provoca l'ossidazione del carbonio (C) presente nel terreno e nella vegetazione, risultando nella liberazione di anidride carbonica (CO₂). Entrambi questi gas sorgono anche dall'uso di combustibili fossili nell'ambito della produzione di fertilizzanti e nel processo di produzione e trasporto degli alimenti destinati agli animali da allevamento. Le emissioni di ossido di azoto (N₂O) derivano dall'impiego di fertilizzanti, sia sintetici, come quelli a base di urea, sia organici, nella coltivazione di alimenti per il bestiame, oltre all'uso di liquami durante il pascolo o nel loro trattamento e diffusione come fertilizzanti per le colture vegetali.

4. Emissioni di CO₂ dal consumo di energia (rappresentano circa il 20% delle emissioni totali): Il consumo energetico coinvolge l'intera catena di produzione nell'ambito dell'allevamento, dando luogo a emissioni di anidride carbonica (CO₂). Nel processo di produzione di mangimi, il consumo energetico riguarda la creazione di fertilizzanti e l'impiego di macchinari per la gestione, la raccolta, la lavorazione e il trasporto. L'energia viene utilizzata direttamente all'interno delle strutture zootecniche per sostenere le attività meccanizzate, ma è anche coinvolta in modo indiretto nella fase di costruzione degli edifici e delle attrezzature. Inoltre, la trasformazione e il trasporto dei prodotti derivanti dall'allevamento richiedono ulteriori quantità di energia. (Gerber et al., 2013) (Malacarne, 2022)

Per quanto riguarda le emissioni della filiera della bovina da latte, è possibile osservare le emissioni per categoria in figura 3. (Gerber et al., 2013)

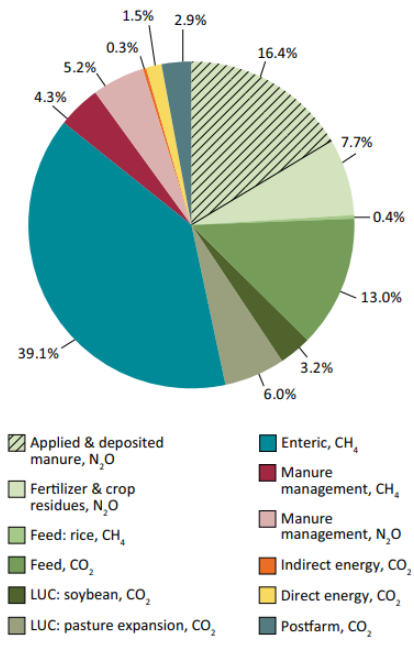


Figura 2. Emissioni globali provenienti dalle filiere zootecniche per categoria di emissioni

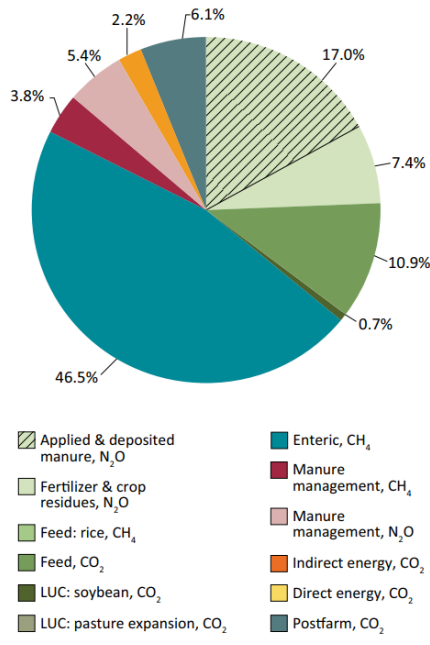


Figura 3. Emissioni globali derivanti dalla filiera delle bovine da latte

2.3 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE (LCA)

La valutazione del ciclo di vita (LCA, dall'inglese Life Cycle Assessment) è una metodologia utilizzata per valutare l'impatto ambientale di un prodotto, un servizio o un processo lungo l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime alla produzione, all'uso e infine allo smaltimento.

L'adozione della metodologia LCA sta crescendo costantemente. Questa tendenza è motivata dalla crescente richiesta da parte di politici, produttori e consumatori di informazioni complete e affidabili al fine di individuare prodotti e pratiche agricole sostenibili sia dal punto di vista ambientale che economico. L'approccio LCA, definito negli standard ISO 14040 e 14044, è ora ampiamente accettato in diversi settori, compresa l'agricoltura, come un metodo per valutare l'impatto ambientale della produzione e per identificare i processi che consumano molte risorse ed emettono molte emissioni nel corso del ciclo di vita di un prodotto. (Opio et al., 2013b)

Il principale punto di forza dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) è la sua abilità nel fornire una visione completa dei processi produttivi, considerando l'utilizzo delle risorse e gli impatti ambientali, e prendendo in considerazione vari parametri. Inoltre, l'approccio LCA offre un quadro per individuare strategie efficaci per ridurre l'impatto ambientale complessivo ed è noto per la sua capacità di valutare come i cambiamenti all'interno di un processo produttivo possono influenzare l'equilibrio complessivo degli impatti ambientali nel ciclo di vita. Questo permette di individuare ed evitare misure che semplicemente trasferiscono problemi ambientali da una fase del ciclo di vita all'altra. (Opio et al., 2013b)

Tuttavia, l'uso dell'LCA presenta anche sfide significative, specialmente quando applicato all'ambito agricolo. In primo luogo, la grande quantità di dati richiesta può limitare la valutazione completa di catene alimentari complesse e processi biologici. La disponibilità limitata di dati può costringere gli esperti a semplificare, il che potrebbe comportare una perdita di precisione. Un secondo problema risiede nel fatto che le scelte metodologiche e le assunzioni, come la definizione dei confini del sistema, le unità funzionali e le tecniche di allocazione, possono essere soggettive e influenzare i risultati. Queste complessità richiedono un'analisi approfondita della sensibilità. (Opio et al., 2013b)

Lo studio dell'impatto ambientale con LCA prevede quattro fasi (come mostra figura 4):

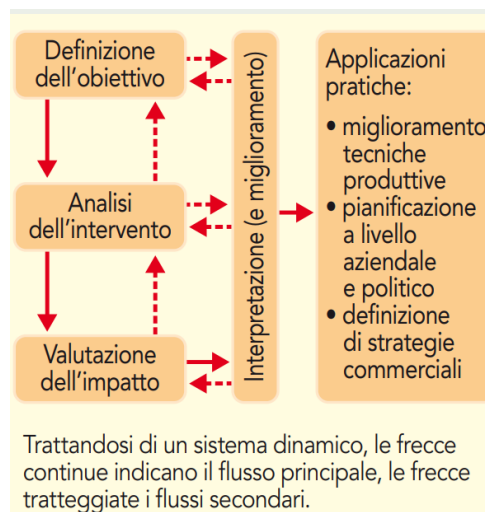


Figura 4. Le fasi di implementazione di un LCA

1. Definizione dell'obiettivo e campo di applicazione: In questa fase, è necessario definire innanzitutto l'obiettivo dello studio, seguito dalla definizione dei limiti del sistema (ad esempio, per il latte bovino, il processo può iniziare dalla produzione dei fertilizzanti e terminare al momento in cui il latte raggiunge il frigorifero del consumatore). Inoltre, bisogna stabilire un'unità di misura, chiamata "unità funzionale", che rappresenti tutte le risorse utilizzate e gli impatti sull'ambiente (come, ad esempio, un chilo di latte o un'unità di superficie di terreno utilizzato). Infine, è importante determinare come suddividere in modo equo le risorse utilizzate e gli effetti ambientali tra il prodotto principale e i coprodotti, un processo chiamato "allocazione". (Bani et al., 2012)

2. Analisi dell'inventario (LCI – Life Cycle Inventory): Questa fase coinvolge la raccolta dei dati necessari per effettuare la stima. Durante questo processo vengono acquisiti i dati di ingresso (input) e uscita (output) relativi al sistema in studio. I dati da raccogliere riguardano specificamente il sistema che viene analizzato e possono includere informazioni come il numero medio di animali in un allevamento, la loro dieta, il tipo di stabulazione utilizzato, il consumo di energia elettrica annuale, e così via. Inoltre, esistono dati di una seconda categoria che non possono essere ottenuti direttamente, spesso legati ai consumi e agli impatti indiretti. Ad esempio, si può considerare il consumo di combustibili fossili per la produzione e il trasporto dei fertilizzanti. (Bani et al., 2012)

3. Valutazione degli impatti (LCIA – Life Cycle Impact Assessment): Questa fase comporta la categorizzazione dei dati raccolti, assegnandoli a diverse categorie di impatto ambientale. Per esempio, il gas come la CO₂, il CH₄ e l'N₂O vengono assegnati alla categoria "cambiamenti climatici",

mentre il gasolio o il gas naturale utilizzati per alimentare i motori vengono inclusi nella categoria "uso di combustibili fossili", e le PM10 rientrano nella categoria "qualità dell'aria". È importante notare che la selezione delle categorie di impatto è altamente soggettiva, sia per il tipo che per il numero, e dipende dagli obiettivi dell'analisi e dalla disponibilità di dati affidabili. Inoltre, queste categorie possono essere ulteriormente raggruppate in macrocategorie (nota come endpoint) che rappresentano effetti ambientali di ampia portata come la salute umana, cambiamenti climatici, biodiversità, ecc. (Bani et al., 2012)

4. Interpretazione: Questa fase rappresenta il passo conclusivo di un'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) e implica la verifica della coerenza tra le conclusioni tratte dall'analisi e i dati raccolti insieme al metodo utilizzato. Questa verifica si estende a domande come la rappresentatività del campione esaminato, la sensibilità delle valutazioni effettuate e la reale importanza delle diverse fasi di un processo produttivo, e così via. (Bani et al., 2012)

2.4 ASPETTI NORMATIVI E LEGISLATIVI LEGATI AL SETTORE ZOOTECNICO

L'allevamento intensivo è uno dei principali fattori di impatto dell'agricoltura sull'ambiente poiché genera una quantità di sostanze inquinanti che supera notevolmente le esigenze delle colture. Questo eccesso di nutrienti viene rilasciato nell'ambiente, principalmente nell'acqua sotto forma di nitrati e fosfati, e nell'aria sotto forma di ossidi di azoto e ammoniaca.

A causa di ciò, l'Unione europea ha stabilito una serie di restrizioni e requisiti strutturali per l'agricoltura, con l'obiettivo principale di promuovere sistemi di produzione più sostenibili. In particolare, per l'allevamento di animali, sono rilevanti la Direttiva 91/676/CEE, comunemente nota come Direttiva Nitrati, e la Direttiva 2010/75/UE, che ha sostituito la Direttiva 2008/1/CE.

Inoltre, gli allevamenti intensivi devono rispettare ulteriori obblighi derivanti dalla Direttiva 2011/92/UE, questa norma i requisiti per condurre una valutazione dell'impatto ambientale (VIA) su progetti, sia pubblici che privati, che si prevedono di avere un impatto ambientale significativo, prima che vengano avviati. La Direttiva 2011/92/UE è costituita da una serie complessa di normativa estese. Il ricevimento di tali disposizioni è stato riorganizzato e completato mediante il Decreto Legislativo 152 del 2006. (Macrì, 2017)

La **Direttiva 91/676/CEE**, emanata il 12 dicembre 1991, ha come obiettivo principale la salvaguardia delle acque dall'inquinamento causato dai nitrati provenienti dalle attività agricole. Per raggiungere questo scopo, la direttiva prevede una serie di misure che spettano agli Stati membri dell'Unione Europea. Queste misure comprendono il monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee, la definizione delle cosiddette "zone vulnerabili", l'elaborazione di linee guida per le buone pratiche agricole, l'adozione di programmi d'azione e la valutazione delle azioni intraprese. L'attuazione della direttiva avviene attraverso una serie di fasi, che richiedono agli Stati membri di:

- Identificare le acque superficiali e sotterranee che sono state inquinate o che potrebbero essere inquinate, seguendo procedura e criteri specifici di stabilità nella direttiva stessa.
- Designare come "zone vulnerabili" le aree conosciute del loro territorio che scaricano nell'acqua superficiale o sotterranea soggetta all'inquinamento o che potrebbe esserlo.
- Stipulare codici di buona pratica agricola, che possono essere adottati a discrezione degli agricoltori e devono includere disposizioni specifiche.
- Sviluppare programmi d'azione che devono essere implementati da tutti gli agricoltori operanti nelle zone designate come "vulnerabili". (Coderoni & Pontrandolfi, 2016)

Le responsabilità degli allevatori in conformità con l'applicazione della Direttiva nitrati sono incluse nei programmi di azione elaborati a livello regionale in base alle direttive stabilite dalla legislazione nazionale di attuazione. In generale, questi programmi includono:

- Un limite massimo di 170 kg di azoto totale per ettaro proveniente dagli effluenti di allevamento, comprese le deiezioni degli animali al pascolo, su tutta l'area dell'azienda zootecnica e per l'intero anno.
- Periodi in cui è vietato l'uso di fertilizzanti minerali ed effluenti zootecnici.
- Divieti specifici per condizioni particolari, come terreni ghiacciati, innevati, con falda acquifera alta, soggetti a frane o saturi d'acqua, ecc.
- Distanze minime da rispettare rispetto ai corpi idrici, con criteri basati sull'importanza dei corsi d'acqua.
- Specifiche caratteristiche e capacità delle strutture di stoccaggio per affrontare i periodi in cui è vietata la diffusione degli effluenti, oppure alternativa come l'esportazione degli effluenti.
- Dosi di applicazione degli effluenti che devono essere calcolati considerando il bilancio dell'azoto, le esigenze delle colture e gli apporti di azoto da altre fonti. Solitamente, i limiti sono definiti per ciascuna coltura in termini di "MAS" (Maximum Application Standard).
- Descrizione degli obblighi amministrativi dell'utilizzatore degli effluenti, in particolare riguardo agli obblighi di comunicazione a lungo termine tramite il "Programma Operativo Aziendale" o annualmente attraverso il "Piano di utilizzazione agronomica dei fertilizzanti"..
(Macrì, 2017) (*EU Law - EUR-Lex*, n.d.-b)

La **Direttiva 2010/75/UE** del Parlamento europeo, che riguarda le emissioni industriali, ha come obiettivo principale la prevenzione o la minimizzazione delle emissioni inquinanti nell'atmosfera, nell'acqua, e nel suolo, nonché la gestione dei rifiuti prodotti da impianti industriali ed agricoli, al fine di garantire un alto livello di tutela dell'ambiente e della salute pubblica. Questa direttiva richiede il rilascio di un'autorizzazione che può essere concessa solo se vengono soddisfatte determinate condizioni ambientali. In tal modo, si chiede alle aziende di assumersi la responsabilità della prevenzione e della riduzione dell'inquinamento che possono generare. Tra le attività coinvolte, definite nell'allegato I della direttiva, rientrano anche gli allevamenti intensivi. Ogni struttura industriale è tenuta a rispettare specifici requisiti ambientali, tra cui:

- Adottare tutte le misure per prevenire l'inquinamento.

- Applicare le migliori tecniche disponibili (BAT - Best Available Techniques).
- Evitare di causare un inquinamento significativo.
- Ridurre, riciclare o smaltire i rifiuti nel modo meno inquinante possibile.
- Ottimizzare l'efficienza energetica.
- Prevenire gli incidenti e mitigarne le conseguenze.
- Riportare i siti alle condizioni originali al termine definitivo delle attività. (Coderoni & Pontrandolfi, 2016) (*EU Law - EUR-Lex*, n.d.-b)

Il **Decreto Legislativo 152/2006**, noto anche come Testo Unico Ambientale, ha effettuato una completa riorganizzazione della legislazione ambientale, unificando e razionalizzando le norme relative alle valutazioni ambientali (come la valutazione d'impatto ambientale, la valutazione ambientale strategica e l'autorizzazione integrata ambientale), alle disposizioni per la protezione del suolo e della qualità delle acque da inquinamenti, alla gestione delle risorse idriche, alle normative per la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati, alla riduzione dell'inquinamento atmosferico e alle disposizioni per il risarcimento dei danni ambientali. Questo decreto costituisce un quadro completo per il controllo dell'inquinamento e disciplina:

- a) Nella seconda parte, le procedure relative alla valutazione ambientale strategica (VAS), la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e l'autorizzazione integrata ambientale (AIA, IPPC);
- b) Nella terza parte, comprende disposizioni sulla protezione del suolo, la lotta alla desertificazione, la salvaguardia delle acque da inquinamenti e la gestione delle risorse idriche;
- c) Nella quarta parte, regola la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati;
- d) Nella quinta parte, tratta la tutela dell'aria e la riduzione delle emissioni in atmosfera;
- e) Nella sesta parte, valuta la procedura per il risarcimento dei danni all'ambiente. (Coderoni & Pontrandolfi, 2016) (*Gazzetta Ufficiale*, n.d.-b)

3. CONTRIBUTO SPERIMENTALE

3.1 SCOPO DELLO STUDIO

L'interconnessione tra il benessere animale e le emissioni di gas effetto serra costituisce un tema complesso che abbraccia vari settori, come l'agricoltura, l'allevamento, l'ambiente e la salute pubblica. Affrontare questa complessità richiede un approccio completo che coinvolga industrie, consumatori, ricerca scientifica e politiche governative.

Questo argomento è cruciale perché ha un impatto diretto sulla salute umana, sull'etica e sulla sostenibilità a lungo termine del nostro pianeta. La riduzione delle emissioni non solo preserva il clima e la biodiversità, ma migliora anche le pratiche agricole promuovendo l'etica nel trattamento degli animali. Questa consapevolezza è fondamentale per costruire un futuro equo e sostenibile, dove l'equilibrio tra il benessere degli animali e la riduzione delle emissioni di gas effetto serra gioca un ruolo cruciale.

Lo scopo di questa tesi è stato quello di condurre una ricerca al fine di valutare le variazioni nel benessere animale e nelle emissioni di gas effetto serra (GHG) in allevamenti di bovini da latte, esaminando l'effetto delle dimensioni degli allevamenti e le tendenze nel corso del tempo. L'analisi mira a comprendere l'interconnessione tra il benessere degli animali, le emissioni di gas effetto serra e le dimensioni degli allevamenti, offrendo così una prospettiva chiara sulle dinamiche di queste variabili cruciali nel settore zootecnico.

3.2 MATERIALI E METODI

3.2.1 Disegno sperimentale

I dati utilizzati in questo studio sono stati forniti da Padania Alimenti. Tutti i dati sono stati utilizzati conformemente ai termini di utilizzo concordati con l'azienda.

Nel 1952, Padania Alimenti ha iniziato come una modesta centrale del latte locale situata nella bassa Padana di Casalmaggiore. Oggi, si è trasformata in un'azienda leader a livello nazionale, con un controllo completo su tutta la catena di produzione, dalla fase di allevamento fino al prodotto finito.

A partire dalla fine del 2018, tutti gli allevamenti appartenenti alla filiera di approvvigionamento di Padania Alimenti, vengono valutati almeno annualmente per i requisiti di benessere animale e biosicurezza e l'intera filiera è certificata Benessere Animale secondo lo standard DTP-122 di CSQA Certificazioni. Le valutazioni condotte presso i singoli allevamenti vanno oltre le prescrizioni legislative, analizzando nel dettaglio i requisiti minimi previsti per gli spazi, l'alimentazione e l'abbeveraggio delle vacche. Senza trascurare l'analisi di ABM specifici per ciascuna delle categorie di animali allevate. (Èpiù Padania Alimenti)

I dati sono stati raccolti in un totale di 22 allevamenti situati nel territorio della regione Lombardia, affiliati a Padania Latte. Lo studio è stato effettuato attraverso una raccolta dati riguardante gli anni 2018, 2019 e 2020. Le aziende sono state categorizzate in tre gruppi in base al numero di capi presenti:

- Gruppo 1: aziende con meno di 100 capi, comprendente un totale di 5 aziende.
- Gruppo 2: aziende con più di 100 ma meno di 200 capi, comprendente un totale di 6 aziende.
- Gruppo 3: aziende con più di 200 capi, comprendente un totale di 11 aziende.

3.2.2 Valutazione del benessere animale

La valutazione del benessere animale è stata condotta in ottemperanza al protocollo inizialmente elaborato dal CReNBA e successivamente integrato all'interno del sistema Classyfarm, il quale si compone di una check list dettagliata e precisa.

Gli allevamenti coinvolti nell'indagine sono stati attentamente esaminati per valutare il benessere degli animali, secondo il protocollo precedentemente indicato, seguendo le direttive delineate negli anni 2018, 2019 e 2020. Queste valutazioni sono state effettuate da un medico veterinario che ha

seguito un corso presso l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale specificamente dedicato alla valutazione del benessere animale, in conformità con il protocollo CReNBA.

In seguito alla valutazione condotta dal veterinario ispettore, viene assegnato un punteggio in percentuale relativo al benessere animale complessivo. Questo punteggio è composto da valutazioni dettagliate in diverse categorie, tra cui:

- Management Aziendale e Personale: In questa categoria vengono esaminate le pratiche gestionali dell'azienda e il coinvolgimento del personale nella cura e nel trattamento degli animali. Si tiene conto di fattori come la formazione del personale, le politiche aziendali e la supervisione delle attività quotidiane.
- Strutture e Attrezzature: Questa sezione riguarda l'analisi delle strutture presenti nell'ambiente in cui gli animali sono alloggiati. Vengono considerati fattori quali l'adeguatezza degli alloggi, la presenza di aree per il movimento e il riposo, nonché la sicurezza e l'accessibilità alle risorse necessarie.
- Animal Bases Measures (ABM): Questa categoria si concentra sulle misure di base per il benessere degli animali, valutando aspetti quali alloggio, nutrizione, igiene e salute.

La somma di questi punteggi determina il grado complessivo di benessere animale, rappresentato in forma percentuale. Questo approccio dettagliato consente una valutazione completa e accurata del livello di benessere degli animali nell'ambiente preso in esame.

Nelle tabelle 1a e 1b sono riportati tutti i dati relativi al benessere animale ottenuti durante la valutazione.

ID stalla	Anno	Lattazione + Asciutte (Dato sopralluogo benessere)	Classe dimensioni (meno di 100: 1; tra 100 e 200: 2; oltre 200: 3)	PUNTEGGIO COMPLESSIVO - TOTALE %	PUNTEGGIO MANAGEMENT AZIENDALE PERSONALE %	PUNTEGGIO STRUTTURE ED ATTREZZATURE	PUNTEGGIO ABM %
1	2018	211	2	80,52	87,12	84,59	75,24
1	2019	221	2	85,92	90,29	83,81	84,95
1	2020	199	2	80,35	88,03	75,4	79,28
2	2018	310	3	78,31	71,26	64,82	88,74
2	2019	330	3	77,98	85,45	75,96	75,49
2	2020	344	3	79,00	86	84	73
3	2018	580	3	78,18	82,38	59,95	85,73
3	2019	600	3	77,98	77,7	62,42	74,38
3	2020	635	3	79,00	85,12	51,25	72,23
4	2018	349	3	83,86	82,99	67,62	92,78
4	2019	341	3	78,41	79,81	76,75	78,76
4	2020	315	3	77,00	85	75	75
5	2018	271	3	81,91	77,67	72,42	88,91
5	2019	312	3	80,31	78,01	61,23	91,4
5	2020	258	3	83,94	89,6	79,81	83,4
6	2018	81	1	78,75	74,18	64,02	88,65
6	2019	90	1	70,07	80,23	64,28	68,28
6	2020	78	1	70,71	69,58	64,89	74,29
7	2018	426	3	82,44	87,93	71,18	85,73
7	2019	430	3	85,26	91,18	81,29	84,52
7	2020	411	3	91,00	87,95	90,07	83,66
8	2018	67	1	75,91	79,13	65,06	80,05
8	2019	58	1	73,86	78,12	65,23	76,35
8	2020	53	1	70,00	78	66	68
9	2018	173	2	69,49	79,13	52,06	74,03
9	2019	183	2	81,34	81,48	64,13	90,28
9	2020	163	2	72,5	87,01	63,46	70,34
10	2018	157	2	75,09	75,13	71,49	76,96
10	2019	155	2	78,47	77,38	70,76	83,58
10	2020	160	2	82,00	78	71	90
11	2018	322	3	80,5	81,75	76,6	81,94
11	2019	342	3	75,46	76,62	56,29	84,95
11	2020	330	3	80,00	87	76	78

Tabella 1a Database Benessere Animale

ID stalla	Anno	Lattazione + Asciutte (Dato sopralluogo benessere)	Classe dimensioni (meno di 100: 1; tra 100 e 200: 2; oltre 200: 3)	PUNTEGGIO COMPLESSIVO - TOTALE %	PUNTEGGIO MANAGEMENT AZIENDALE PERSONALE %	PUNTEGGIO STRUTTURE ED ATTREZZATURE	PUNTEGGIO ABM %
12	2018	263	3	85,56	86,54	78,28	88,91
12	2019	260	3	84,65	87,95	71,71	89,85
12	2020	260	3	80,00	90	71	80
13	2018	155	2	74,03	73,75	57,2	82,98
13	2019	190	2	78,22	77,26	51,17	92,86
13	2020	165	2	74,30	81,33	55,94	80,57
14	2018	75	1	64,19	63,98	50,86	71,28
14	2019	78	1	73,49	62,14	70,42	59,9
14	2020	74	1	67,95	74,33	60,24	68,96
15	2018	223	3	80,91	85,39	64,94	84,52
15	2019	221	3	90,12	89,53	70,18	89,68
15	2020	215	3	76,00	73	71	80
16	2018	124	2	80,02	82,83	67,22	85,38
16	2019	119	2	85,12	91,98	70,18	89,68
16	2020	119	2	79,66	84,41	67,69	83,66
17	2018	598	3	68,99	73,34	52,15	75,75
17	2019	600	3	83,45	96,59	72,42	82,98
17	2020	550	3	79,45	86,42	73,12	79,45
18	2018	85	1	76,97	84,64	58,53	82,98
18	2019	88	1	77,06	77,32	73,27	78,93
18	2020	80	1	75,83	78,95	74,96	74,81
19	2018	500	3	80,26	84,56	79,71	78,5
19	2019	510	3	79,45	82,53	66,82	84,61
19	2020	485	3	84,00	80	72	91
20	2018	205	3	80,54	76,46	79,59	82,98
20	2019	222	3	81,39	80,19	72,88	86,41
21	2018	74	1	73,26	78,06	70,54	72,4
21	2019	81	1	64,51	75,33	54,89	64,4
21	2020	84	1	70,00	76	70	67
22	2018	129	2	81,33	87,59	78,08	80,05
22	2019	124	2	82,3	80,67	65,44	91,92
22	2020	120	2	76,00	84	76	72

Tabella 1b Database Benessere animale

3.2.3 Stima delle emissioni di gas effetto serra

I dati sulle emissioni di gas effetto serra sono stati analizzati attraverso il Cool Farm Tool (CFT), una piattaforma digitale essenziale per l'acquisizione e l'analisi dei dati. Questo strumento offre una metodologia sistematica e affidabile per elaborare i dati, garantendo l'integrità e la precisione delle informazioni utilizzate nello studio. Grazie al CFT, è stata condotta un'analisi dettagliata sulle emissioni di gas effetto serra, contribuendo alla validità dello studio.

Il CFT è stato appositamente sviluppato per l'industria agricola, consentendo agli agricoltori di valutare l'impatto ecologico delle loro pratiche. Esso tiene conto di diversi fattori, come l'uso del suolo, le tecniche colturali e l'alimentazione animale. Le aziende agricole possono inserire i dati specifici delle loro operazioni nella piattaforma per calcolare le emissioni di gas effetto serra. Questo strumento è adottato globalmente per monitorare e ridurre le emissioni, promuovendo pratiche agricole sostenibili e contribuendo alla lotta contro il cambiamento climatico. (Cool Farm Tool | an Online Greenhouse Gas, Water, and Biodiversity Calculator, n.d.)

I requisiti dei dati includono informazioni sulla resa del raccolto, la zona di crescita, l'applicazione dei fertilizzanti, il consumo energetico e altri fattori correlati. Per il bestiame, i dati riguardano le dimensioni del gregge, la gestione del letame, il consumo energetico e il trasporto di mangimi e input. (Cool Farm Tool | an Online Greenhouse Gas, Water, and Biodiversity Calculator, n.d.)

In questa analisi, le emissioni, precedentemente convertite in equivalenti di CO₂, sono state calcolate per l'unità di produzione FPCM (Fat and Protein Corrected Milk). Tale conversione è stata ottenuta mediante l'impiego di formule specifiche e dati relativi alla produzione di latte e alla sua composizione. Si è proceduto al calcolo dell'FPCM al fine di facilitare il confronto tra le diverse unità di produzione zootecnica, consentendo una comparazione equa tra allevamenti caratterizzati da razze o regimi alimentari diversi. L'utilizzo dell'FPCM come base per i confronti assicura una valutazione imparziale tra le varie realtà zootecniche.

Per calcolare l'FPCM, è stato utilizzato il seguente metodo: la produzione di latte è moltiplicata per il rapporto tra il contenuto energetico del latte di una specifica azienda agricola (o regione) e il contenuto energetico del latte standard avente il 4% di grassi e il 3,3% di proteine reali. La formula utilizzata è la seguente: $FPCM \text{ (kg/anno)} = \text{Produzione (kg/anno)} \times [0,1226 \times \% \text{ di grassi} + 0,0776 \times \% \text{ di proteine vere} + 0,2534]$. (International Dairy Federation (IDF)., 2015)

Questo approccio consente una valutazione accurata e omogenea delle emissioni di gas effetto serra nel settore zootecnico, fornendo un quadro dettagliato per comprendere l'impatto ambientale delle diverse realtà produttive nel contesto del latte corretto per grasso e proteine.

Nelle tabelle 2a e 2b sono riportati tutti i dati relativi alle emissioni di gas effetto serra ottenuti durante la valutazione.

ID stalla	Anno	Total_emissions	Kg_FPCM	Emissions_kg_FPCM	Emissions_tonne	Energy_CO2eq	Energy_kg_FPCM	Enteric_fermentation_CO2eq	Enteric_fermentation_kg_FPCM	Feed_CO2eq	Feed_kg_FPCM	Manure_CO2eq	Manure_kg_FPCM
1	2018	2134171,00	1872079,82	1,14	1097,36	156991,66	0,08	691032,18	0,37	1183459,92	0,63	310472,07	0,165843393
1	2019	2312527,42	2064756,63	1,12	1078,59	126927,50	0,06	771995,21	0,37	1036182,44	0,50	377422,26	0,182792614
1	2020	2255489,72	2184735,92	1,03	998,55	137948,29	0,06	683530,81	0,31	1142501,97	0,52	291508,66	0,133429701
2	2018	4152688,95	3145976,48	1,32	1298,95	168355,80	0,05	1064165,60	0,34	2252799,35	0,72	667368,20	0,212133881
2	2019	5249308,67	3301451,99	1,59	1580,18	170173,71	0,05	1204948,77	0,36	2366320,29	0,72	1507865,90	0,456728101
2	2020	4456697,75	3692265,55	1,21	1194,16	187800,43	0,05	910122,74	0,25	2207133,32	0,60	1151641,26	0,311906401
3	2018	6051938,64	4880595,68	1,24	1204,61	317589,89	0,07	1870310,36	0,38	3592376,26	0,74	271662,13	0,055661675
3	2019	9317347,16	5417062,30	1,72	1681,15	436477,71	0,08	2203296,51	0,41	6046698,57	1,12	630874,36	0,116460606
3	2020	12576573,50	6568351,51	1,91	1864,57	469149,83	0,07	3079115,87	0,47	7780605,27	1,18	1247702,54	0,189956725
4	2018	3983809,70	2673697,79	1,49	1536,94	47569,75	0,02	1366813,55	0,51	1704798,38	0,64	864628,03	0,323382857
4	2019	3836973,96	2863413,40	1,34	1378,46	46493,20	0,02	1378570,01	0,48	1516334,58	0,53	895576,17	0,312765237
4	2020	4298036,98	3011306,35	1,43	1462,35	47086,89	0,02	1573941,81	0,52	2136731,77	0,71	540276,52	0,179415993
5	2018	3571881,89	2665583,50	1,34	1331,95	227356,15	0,09	1181526,89	0,44	1406064,83	0,53	756934,01	0,283965597
5	2019	3251734,03	2877640,73	1,13	1148,72	206131,55	0,07	1182443,13	0,41	1284596,45	0,45	578562,90	0,201054598
5	2020	3859927,04	2786010,63	1,39	1408,05	241245,64	0,09	1228623,89	0,44	1708350,53	0,61	681706,98	0,244689296
6	2018	824678,18	634367,83	1,30	1314,43	65414,92	0,10	244823,97	0,39	362118,82	0,57	152320,47	0,2401138
6	2019	741278,37	842361,78	0,88	892,96	61804,07	0,07	290546,08	0,34	323047,05	0,38	65881,16	0,078210054
6	2020	689858,11	529920,45	1,30	1311,50	41899,01	0,08	176914,84	0,33	390444,72	0,74	80599,53	0,152097415
7	2018	6205388,43	3830486,68	1,62	1557,93	1706349,97	0,45	1699948,75	0,44	2752213,06	0,72	46876,65	0,012237779
7	2019	3912546,96	4075569,75	0,96	922,38	226851,50	0,06	1493031,61	0,37	2167856,11	0,53	24807,75	0,00608694
7	2020	8111750,18	4522553,83	1,79	1714,02	203880,95	0,05	2053447,90	0,45	5410832,27	1,20	443589,05	0,098083752
8	2018	747153,09	545367,22	1,37	1368,22	65081,72	0,12	190004,56	0,35	443062,38	0,81	49004,44	0,089855859
8	2019	923692,83	527824,47	1,75	1740,67	89657,97	0,17	245135,69	0,46	539099,67	1,02	49799,50	0,0943486
8	2020	863831,35	550871,14	1,57	1559,07	75734,72	0,14	230885,14	0,42	481660,46	0,87	75551,02	0,137148263
9	2018	1874744,90	1284071,85	1,46	1466,37	58262,27	0,05	483783,35	0,38	778187,20	0,61	554512,09	0,431838833
9	2019	1997367,62	1387060,85	1,44	1459,16	54268,47	0,04	548344,87	0,40	1288601,89	0,93	106152,38	0,076530442
9	2020	1340823,80	1393276,77	0,96	964,55	39381,98	0,03	489661,04	0,35	631258,28	0,45	180522,49	0,129566856
10	2018	2771738,16	1669721,78	1,66	1649,34	69780,51	0,04	638604,99	0,38	1600000,83	0,96	463351,82	0,277502411
10	2019	2874248,04	1731474,72	1,66	1653,82	53780,37	0,03	678814,79	0,39	1700744,97	0,98	440907,90	0,25464299
10	2020	2506556,68	1933538,07	1,30	1286,77	75828,64	0,04	837275,50	0,43	1115275,77	0,58	478176,76	0,247306617
11	2018	3645437,84	3115758,84	1,17	1168,72	72616,82	0,02	1200392,25	0,39	1950141,96	0,63	422286,81	0,135532572
11	2019	2976079,94	3036816,27	0,98	989,04	74881,03	0,02	1171400,12	0,39	1615376,37	0,53	114422,42	0,037678414
11	2020	2950764,37	3390553,66	0,87	871,67	44899,88	0,01	950322,49	0,28	1684717,11	0,50	270824,89	0,079876302

Table 2a Database Emissioni di GHG

ID stalla	Anno	Total_emissions	Kg_FPCM	Emissions_kg_FPCM	Emissions_tonne	Energy_CO2eq	Energy_kg_FPCM	Enteric_fermentation_CO2eq	Enteric_fermentation_kg_FPCM	Feed_CO2eq	Feed_kg_FPCM	Manure_CO2eq	Manure_kg_FPCM
12	2018	3151528,77	2604569,23	1,21	1204,48	221847,02	0,09	893735,74	0,34	2002833,52	0,77	33112,49	0,012713231
12	2019	3513641,57	2661849,67	1,32	1329,76	291293,08	0,11	1013384,92	0,38	2158421,42	0,81	50542,16	0,018987609
12	2020	4789177,41	2797465,47	1,71	1722,53	354539,91	0,13	1312990,79	0,47	2693074,15	0,96	428572,57	0,153200308
13	2018	1873942,12	1536018,13	1,22	1201,86	89376,61	0,06	609427,39	0,40	816486,37	0,53	358651,75	0,233494477
13	2019	2335356,49	1755907,14	1,33	1336,33	91343,23	0,05	678598,24	0,39	1090834,85	0,62	474580,18	0,270276355
13	2020	2287219,09	1808344,72	1,26	1255,61	87524,70	0,05	757311,71	0,42	1008607,13	0,56	433775,55	0,23987437
14	2018	757755,07	642165,31	1,18	1127,05	49636,33	0,08	221627,45	0,35	415467,68	0,65	71023,61	0,110600196
14	2019	727407,30	661279,36	1,10	1052,82	47197,02	0,07	230868,26	0,35	412416,38	0,62	36925,65	0,055839713
14	2020	651129,19	655794,25	0,99	949,15	39063,44	0,06	193270,96	0,29	364510,55	0,56	54284,25	0,082776343
15	2018	2903209,76	1577831,39	1,84	1907,04	40873,24	0,03	716375,94	0,45	1831097,50	1,16	314863,08	0,199554326
15	2019	2897386,15	1600765,83	1,81	1914,48	52307,30	0,03	688963,59	0,43	1541757,01	0,96	614358,25	0,383790208
15	2020	1530939,04	1722586,92	0,89	908,10	22442,59	0,01	432355,29	0,25	912450,86	0,53	163690,30	0,095025858
16	2018	1676054,35	1205794,50	1,39	1358,63	37263,99	0,03	415086,95	0,34	873830,82	0,72	349872,58	0,290159377
16	2019	1776526,78	1268947,70	1,40	1386,89	397763,62	0,31	436122,48	0,34	842963,54	0,66	99677,14	0,078551023
16	2020	1174477,60	1349497,32	0,87	868,18	256888,50	0,19	280438,36	0,21	557547,87	0,41	79602,87	0,058987053
17	2018	6054521,92	4693427,84	1,29	1263,81	354926,13	0,08	1911367,67	0,41	3627232,30	0,77	160995,82	0,034302396
17	2019	9286106,50	4762105,90	1,95	1942,31	478959,66	0,10	2159423,10	0,45	6483528,01	1,36	164195,73	0,034479647
17	2020	4493896,81	5175818,53	0,87	864,70	302718,31	0,06	1219880,13	0,24	2650725,51	0,51	320572,85	0,061936648
18	2018	957610,19	580369,81	1,65	1573,72	56652,32	0,10	227872,82	0,39	539363,52	0,93	133721,53	0,230407452
18	2019	779110,22	594740,63	1,31	1263,63	46835,54	0,08	211593,82	0,36	488051,59	0,82	32629,27	0,054863025
18	2020	360701,68	555715,39	0,65	619,21	31199,72	0,06	126882,87	0,23	162488,25	0,29	40130,84	0,072214735
19	2018	7490566,64	5238158,49	1,43	1409,80	461768,00	0,09	1877554,05	0,36	5068295,92	0,97	82948,67	0,015835464
19	2019	7089922,05	5213177,98	1,36	1342,63	240451,91	0,05	2068774,48	0,40	4594403,67	0,88	186291,98	0,035734821
19	2020	8886851,69	5317623,68	1,67	1642,32	295419,08	0,06	2256765,88	0,42	5498627,82	1,03	836038,90	0,157220396
20	2018	3000803,63	1948573,78	1,54	1522,80	176381,56	0,09	805302,75	0,41	1130442,37	0,58	888676,94	0,456065327
20	2019	2558675,67	2046940,54	1,25	1254,03	181107,62	0,09	836726,43	0,41	1014249,99	0,50	526591,63	0,257257903
21	2018	1220225,06	649055,88	1,88	1797,54	18174,13	0,03	252687,99	0,39	705301,44	1,09	244061,49	0,376025387
21	2019	1035446,51	724088,47	1,43	1373,81	20486,82	0,03	248556,70	0,34	642494,22	0,89	123908,77	0,1711238
21	2020	1339362,75	729534,85	1,84	1739,59	107502,66	0,15	392515,01	0,54	715236,96	0,98	124108,13	0,170119535
22	2018	1725789,08	1142906,68	1,51	1486,50	80035,26	0,07	377314,74	0,33	738273,71	0,65	530165,37	0,463874594
22	2019	1083751,19	1128907,49	0,96	958,07	69160,39	0,06	339908,86	0,30	527164,92	0,47	147517,02	0,130672373
22	2020	783107,05	1166081,45	0,67	662,43	36645,66	0,03	236831,38	0,20	389884,86	0,33	119745,14	0,102690202

Table 2b Database Emissioni di GHG

3.2.4 Analisi statistica

I dati relativi alle emissioni dei gas ad effetto e ai punteggi del benessere animale sono stati analizzati per mezzo di analisi della varianza univariata, utilizzato il seguente modello lineare generalizzato:

$$Y_{ijk} = m + A_i + D_j + (A*D)_{ij} + e_{ijk}$$

Dove:

Y_{ijk} = variabile dipendente (emissioni ghg e punteggi benessere);

m = media generale

A_i = effetto dell'anno (i : 1, 2, 3), suddiviso in tre livelli: 1 = 2018, 2 = 2019, 3 = 2020;

D_j = effetto della dimensione degli allevamenti (j : 1, 2, 3), suddiviso in tre livelli: 1 = fino a 100 vacche in produzione (lattazione + asciutta), 2 = tra 100 e 200 vacche in produzione, 3 = oltre 200 vacche in produzione;

e_{ijk} = errore

3.3 RISULTATI E DISCUSSIONE

3.3.1 Statistiche descrittive

La Tabella 3 offre un approfondito resoconto delle emissioni totali, divise per fonte, e fornisce dati dettagliati riguardanti il benessere animale, anch'essi suddivisi per categorie specifiche. Inoltre, presenta informazioni cruciali sul numero di dati analizzati e sulle principali caratteristiche delle aziende coinvolte.

		N	Minimo	Massimo	Media	Dev. std.	ANNO	DIMENSIONE	ANNO X DIMENSIONE
Emissioni totali	kg CO ₂ eq/kg FPCM	65	0,65	1,95	1,34	0,31	NS	NS	NS
Energia	kg CO ₂ eq/kg FPCM	65	0,01	0,45	0,08	0,07	NS	NS	NS
Fermentazioni enteriche	kg CO ₂ eq/kg FPCM	65	0,20	0,54	0,38	0,07	NS	<0,1	NS
Produzioni mangimi	kg CO ₂ eq/kg FPCM	65	0,29	1,36	0,72	0,23	NS	<0,1	NS
Gestione reflui	kg CO ₂ eq/kg FPCM	65	0,01	0,46	0,17	0,12	<0,05	NS	NS
Lattazione + Asciutte (Dato sopralluogo benessere)	n.	65	53,00	635,00	246,63	161,94			
PUNTEGGIO COMPLESSIVO - TOTALE %	%	65	64,19	91,00	78,22	5,46	NS	<0,001	NS
PUNTEGGIO MANAGEMENT AZIENDALE PERSONALE %	%	65	62,14	96,59	81,28	6,53	NS	<0,001	NS
PUNTEGGIO STRUTTURE ED ATTREZZATURE	%	65	50,86	90,07	68,88	8,91	NS	<0,1	NS
PUNTEGGIO ABM %	%	65	59,90	92,86	80,51	7,61	<0,05	<0,001	<0,01

Tabella 3 Statistiche descrittive e significatività statistica degli effetti legati all'anno (ANNO), alla dimensione degli allevamenti (DIMENSIONE) e alla loro interazione. NS: $p > 0,05$

I parametri analizzati comprendono le emissioni totali, distinte per origine (energia, fermentazioni enteriche, produzione di mangimi e gestione dei reflui), espresse in kg di CO₂ eq/kg FPCM. Dai dati raccolti attraverso 65 osservazioni, rappresentative di 22 aziende nei tre anni di analisi, emerge una notevole variabilità nelle emissioni totali. La media registrata è di 1,34 kg CO₂ eq/kg FPCM (deviazione standard: 0,31), con un minimo di 0,65 kg CO₂ eq/kg FPCM e un massimo di 1,95 kg CO₂ eq/kg FPCM. Il rapporto tra il valore massimo (1,95) e il valore minimo (0,65), che corrisponde a 3, suggerisce un ampio spazio di intervento per le aziende per regolare e ottimizzare le proprie emissioni.

Tra le fonti di emissioni, le fermentazioni enteriche (media di 0,38 kg CO₂ eq/kg FPCM) e la produzione di mangimi (media di 0,72 kg CO₂ eq/kg FPCM) emergono come principali contribuenti alle emissioni totali, mentre energia (media di 0,08 kg CO₂ eq/kg FPCM) e gestione dei reflui (media di 0,17 kg CO₂ eq/kg FPCM) presentano contributi minori, secondo quanto indicato dal software Cool Farm Tool.

Riguardo al numero di vacche in produzione (lattazione + asciutta), la media è di 246 vacche, con un minimo di 53 e un massimo di 635.

La valutazione del benessere animale, espressa mediante un punteggio complessivo che oscilla tra il 64,19% e il 91,00%, presenta una media di 78,22% (deviazione standard: 5,46). Ulteriori

analisi approfondiscono i punteggi relativi alle tre diverse aree del benessere animale. In particolare, il punteggio per il management aziendale e personale raggiunge una media del 81,28% (deviazione standard: 6,53), quello per le strutture ed attrezzature mostra una media di 68,88% (deviazione standard: 8,91), e infine il punteggio per le Animal-Based Measures (ABM) presenta una media del 80,51% (deviazione standard: 7,61).

Nella Tabella 3 sono mostrati anche i risultati dell'analisi statistica, la quale indaga l'effetto di tre fattori chiave: l'anno dell'indagine (2018-2019-2020), la dimensione dell'azienda (<100 vacche in produzione, 100-200 vacche in produzione, >200 vacche in produzione) e l'interazione tra i due fattori. Sorprendentemente, nessuno di questi fattori influisce statisticamente in modo significativo sulle emissioni totali, suggerendo stabilità nel tempo e indipendenza dalla dimensione aziendale. Tuttavia, le fermentazioni enteriche e la produzione di mangimi mostrano leggere variazioni positive ($p < 0,1$) in relazione alle dimensioni delle aziende, mentre la gestione dei reflui presenta una rilevanza significativa in funzione dell'anno ($p < 0,05$).

Per quanto riguarda il benessere animale, tutti i parametri mostrano differenze significative in base alle dimensioni degli allevamenti, mentre gli aspetti relativi agli ABM sono influenzati sia dall'anno che dall'interazione tra l'anno e la dimensione delle aziende. Questi risultati evidenziando la complessità delle dinamiche che influenzano il benessere animale, sottolineando la necessità di considerare attentamente le dimensioni degli allevamenti per implementare efficacemente le pratiche di gestione.

In seguito a queste considerazioni, è stata eseguita un'analisi, dettagliata attraverso tabelle aggiuntive nei capitoli successivi, al fine di esplorare l'impatto dell'anno di indagine e delle dimensioni delle aziende.

3.3.2 Analisi Temporale

La Tabella 4 fornisce un'analisi approfondita delle emissioni e del benessere animale, concentrandosi sull'evoluzione nel corso degli anni (2018-2019-2020). Per ottenere una visione più chiara delle variazioni, si fa riferimento alla figura 5, che illustra i dati medi delle emissioni nel corso degli anni, e alla figura 6, che mostra i punteggi medi del benessere degli animali durante i tre anni di studio.

		2018		2019		2020	
		Medio	Dev. Std	Medio	Dev. Std	Medio	Dev. std
Emissioni totali	kg CO2 eq/kg FPCM	1,42	0,21	1,35	0,30	1,25	0,39
Energia	kg CO2 eq/kg FPCM	0,08	0,09	0,08	0,06	0,07	0,05
Fermentazioni enteriche	kg CO2 eq/kg FPCM	0,39	0,04	0,39	0,04	0,36	0,11
Produzioni mangimi	kg CO2 eq/kg FPCM	0,74	0,18	0,74	0,26	0,67	0,27
Gestione reflui	kg CO2 eq/kg FPCM	0,21 a	0,14	0,15 b	0,13	0,15 b	0,07
Punteggio totale	%	77,77	5,21	79,31	5,72	77,56	5,53
Management	%	79,81	6,20	81,72	7,45	82,37	5,83
Strutture e attrezzature	%	67,59	9,73	68,25	8,13	70,90	8,89
Animal based mesures	%	82,02 b	5,98	82,01 b	9,12	77,36 a	6,73

a,b: valori lungo la riga che non hanno lettere in comune sono differenti per P<0,05

Tabella 4 Valori medi delle emissioni (totali e per singola categoria) e del punteggio del benessere animale (totale e per singola tipologia di indicatore) in rapporto all'anno di indagine

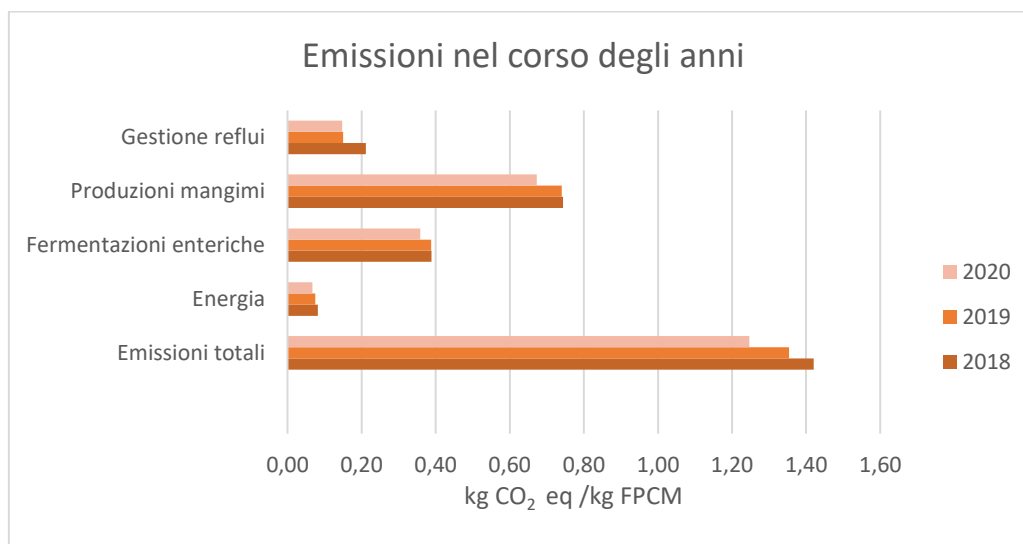


Figura 5 Emissioni nel corso degli anni

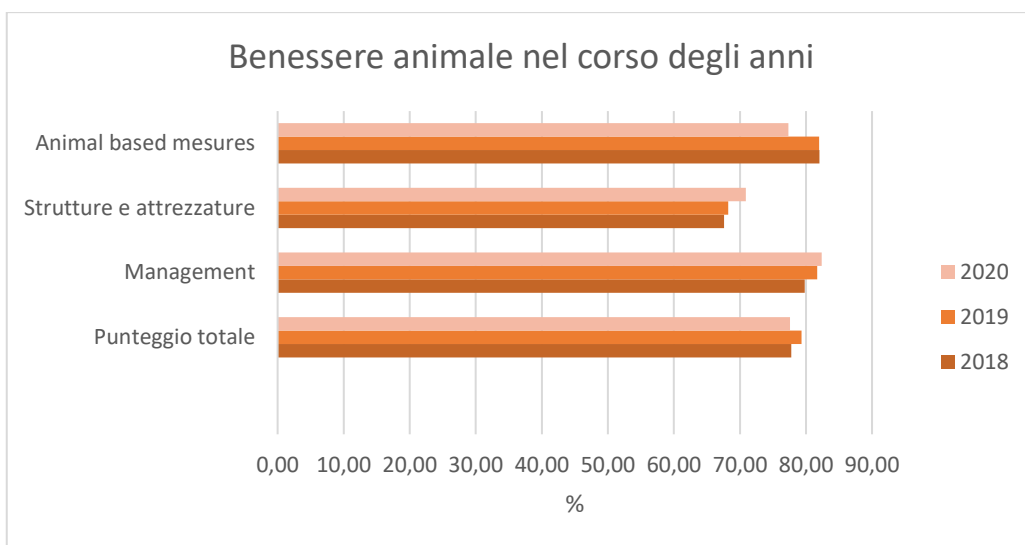


Figura 6 Benessere animale nel corso degli anni

Dalla Tabella 3 è emersa una rilevanza statisticamente significativa per le emissioni derivanti dalla gestione dei reflui e per il punteggio delle Animal Based Measures (ABM). Approfondiamo quindi questi due elementi.

Per quanto riguarda le emissioni derivanti dalla gestione dei reflui, si nota una variazione sostanziale nel tempo. Nel 2018, le emissioni relative ai reflui hanno registrato un livello significativamente superiore (0,21 kg CO₂ eq/kg FPCM, deviazione standard 0,14) rispetto agli anni successivi, ossia il 2019 (0,15 kg CO₂ eq/kg FPCM, deviazione standard 0,13) e il 2020 (0,15 kg CO₂ eq/kg FPCM, deviazione standard 0,07). Questa fluttuazione potrebbe indicare dinamiche specifiche legate alle pratiche di gestione dei reflui, sottolineando l'importanza di monitorare attentamente quest'area per garantire un impatto ambientale sostenibile.

Un'ulteriore analisi rivela variazioni significative nel punteggio delle Animal Based Measures (ABM) nel corso degli anni. Particolarmente rilevante è la riduzione del punteggio AMB nel 2020 (77,36%, deviazione standard 6,73), indicando una possibile modifica nelle condizioni o nelle pratiche aziendali. Questo cambiamento richiede un'attenzione mirata per comprendere le cause e implementare eventuali misure correttive.

Inoltre, al fine di fornire una rappresentazione visiva più chiara di questi andamenti nel tempo, sono stati creati grafici specifici per i due parametri che hanno manifestato significativi cambiamenti: le emissioni derivanti dalla gestione dei reflui (consultare la figura 7) e il punteggio

ABM (consultare la figura 8). Questi grafici potrebbero offrire un'ulteriore prospettiva visiva per evidenziare le tendenze e facilitare una comprensione più approfondita degli andamenti temporali correlati a tali parametri specifici.

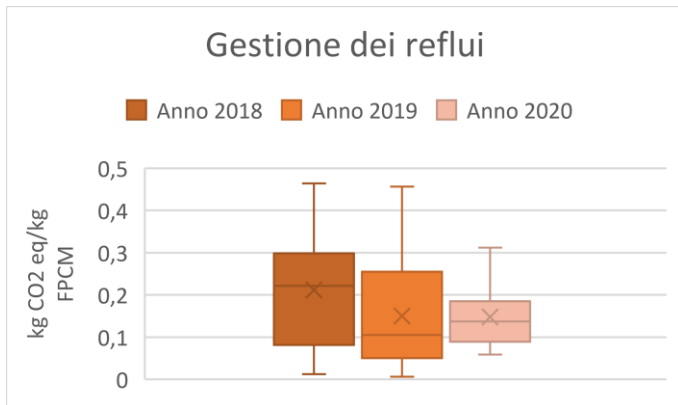


Figura 7 Emissioni derivanti dalla Gestione dei reflui nel corso degli anni. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 0,22 (2018), 0,11(2019), 0,14 (2020). Le medie superiore e inferiore con i valori 0,30-0,09 (2018), 0,26-0,05 (2019) e 0,18-0,09 (2020).

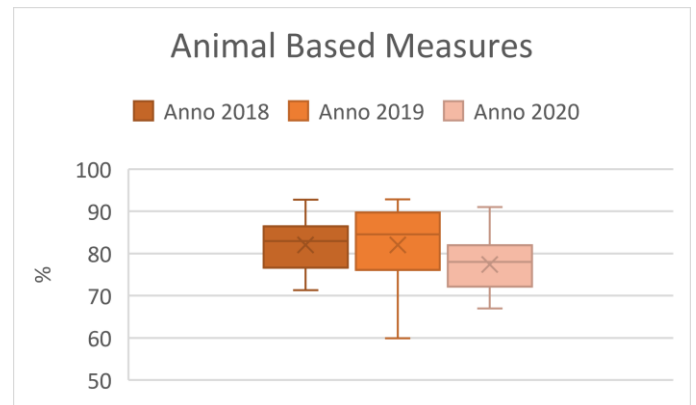


Figura 8 Animal Based Measures nel corso degli anni. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 82,98 (2018), 84,56 (2019), 78,00 (2020). Le medie superiore e inferiore con i valori 86,46 -76,66 (2018), 89,72-76,13 (2019) e 81,98-72,11 (2020).

3.3.3 Impatto della dimensione degli allevamenti

La Tabella 5 esplora l'impatto della dimensione dell'azienda, suddividendo i dati in tre categorie distinte: <100 capi, 100-200 capi, >200 capi. Per fornire una visione più chiara delle variazioni, ci si riferisce alla Figura 9, che rappresenta i dati medi delle emissioni in relazione alle dimensioni degli allevamenti, e alla Figura 10, che illustra i punteggi medi del benessere degli animali anch'essi in funzione delle dimensioni degli allevamenti, espressa come numero di vacche in produzione (lattazione + asciutta).

		Vacche in produzione					
		Meno di 100 capi		Tra 100 e 200 capi		Oltre i 200 capi	
		Medio	Dev. Std	Medio	Dev. Std	Medio	Dev. Std
Emissioni totali	kg CO2 eq/kg FPCM	1,35	0,35	1,24	0,27	1,39	0,31
Energia	kg CO2 eq/kg FPCM	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07
Fermentazioni enteriche	kg CO2 eq/kg FPCM	0,37 ab	0,07	0,35 b	0,06	0,40 a	0,07
Produzioni mangimi	kg CO2 eq/kg FPCM	0,75 ab	0,23	0,62 b	0,18	0,76 a	0,25
Gestione reflui	kg CO2 eq/kg FPCM	0,14	0,09	0,21	0,11	0,16	0,13
Punteggio totale	%	72,17 a	4,47	78,70 b	4,37	80,79 b	4,18
Management	%	75,33 a	6,00	82,63 b	5,29	83,31 b	5,83
Strutture e attrezzature	%	64,88 a	6,66	68,09ab	9,77	71,20 b	8,83
Animal based mesures	%	73,09 a	7,53	82,43 b	6,92	82,91 b	5,74

a,b: valori lungo la riga che non hanno lettere in comune sono differenti per $P < 0,05$

Tabella 5 Valori medi delle emissioni (totali e per singola categoria) e del punteggio del benessere animale (totale e per singola tipologia di indicatore) in rapporto alla dimensione dell'azienda

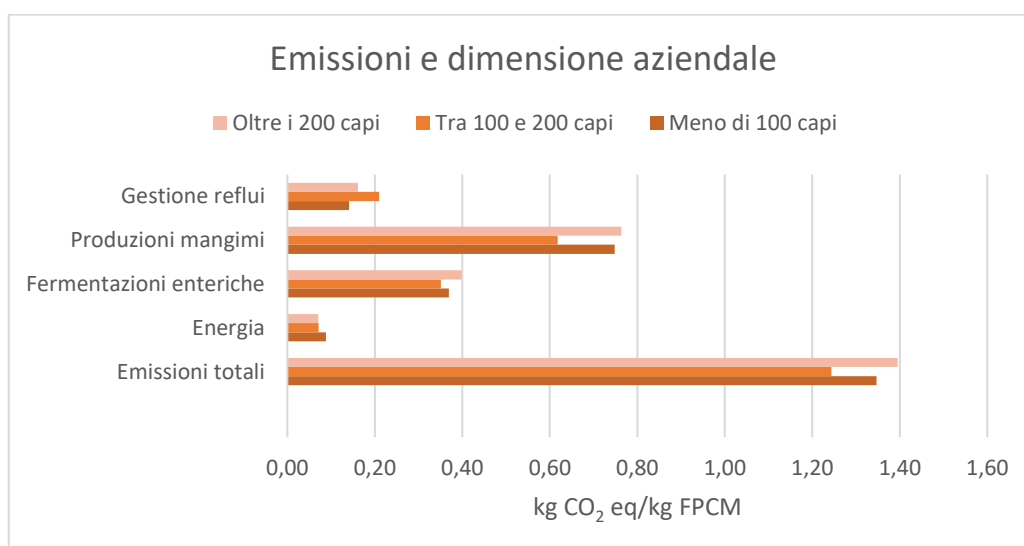


Figura 9 Emissioni medie in funzione della dimensione aziendale

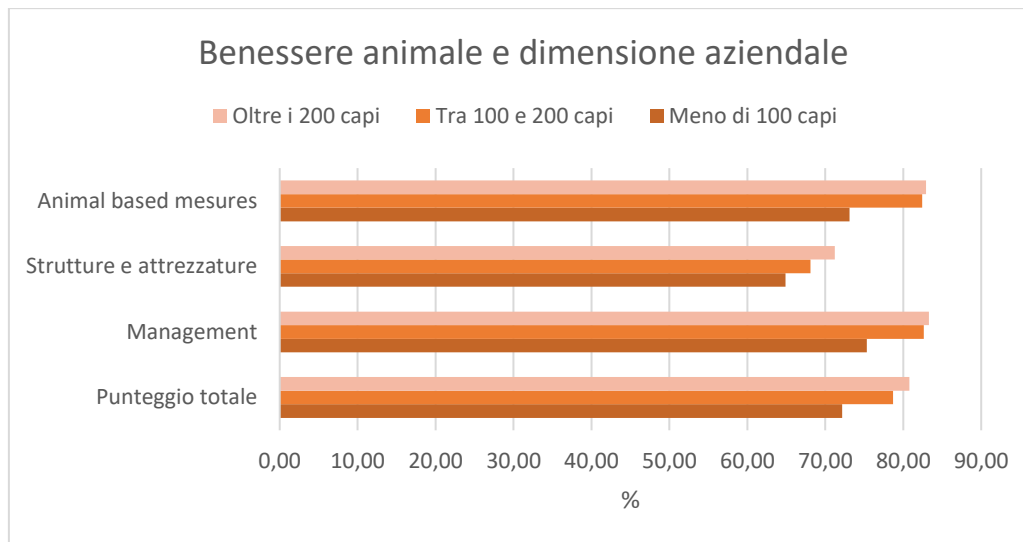


Figura 10 Benessere animale in funzione della dimensione aziendale

Questo approccio rivela significative correlazioni tra la dimensione dell'azienda e le emissioni da fermentazioni enteriche e produzione di mangimi. Per le fermentazioni enteriche, si osserva una variazione significativa in base alla dimensione dell'azienda. Le emissioni risultano più elevate oltre i 200 capi (0,40 kg CO₂ eq/kg FPCM), più basse tra 100 e 200 capi (0,35 kg CO₂ eq/kg FPCM), e intermedie con meno di 100 capi (0,37 kg CO₂ eq/kg FPCM). Questa differenza è statisticamente significativa tra i gruppi 100-200 e >200 capi, evidenziando l'importanza di monitorare e gestire le fermentazioni enteriche in base alla dimensione dell'azienda.

Un pattern simile emerge per le emissioni legate alla produzione di mangimi, con un aumento proporzionale alla dimensione dell'azienda: più alte oltre i 200 capi (0,76 kg CO₂ eq/kg FPCM), più basse tra 100 e 200 capi (0,62 kg CO₂ eq/kg FPCM), e un livello intermedio con meno di 100 capi (0,75 kg CO₂ eq/kg FPCM). In generale, si può affermare che le aziende con meno di 200 capi hanno un impatto minore sulle fermentazioni e sulla produzione di mangimi rispetto a quelle più grandi.

Per quanto riguarda il benessere animale, emergono notevoli differenze in base alla dimensione dell'azienda. Le aziende con più di 100 capi ricevono una valutazione complessiva migliore rispetto a quelle con meno di 100 capi. Le aziende con <100 capi presentano un punteggio complessivo del 72,17%, quelle con 100-200 capi hanno un punteggio del 78,70%, mentre quelle con >200 capi raggiungono un punteggio del 80,79%. Queste differenze si riflettono anche nei punteggi per il management aziendale, con valori più elevati (82,63%-83,31%) nelle aziende più

grandi rispetto a quelle più piccole (75,33%). Inoltre, le valutazioni delle strutture ed attrezzature seguono una tendenza simile, con un valore più basso nelle aziende con meno di 100 capi (64,88%), un valore intermedio tra 100-200 capi (68,09%), e un valore più alto oltre i 200 capi (71,20%). Analogamente, le Animal Based Measures (AMB) mostrano valori più bassi nelle aziende con meno di 100 capi (73,09%) e valori più elevati oltre i 100 capi (rispettivamente 82,43% e 82,91%).

Per offrire una rappresentazione visiva di queste significative differenze, sono stati creati grafici specifici per le emissioni da fermentazioni enteriche (vedi Figura 11), le emissioni dalla produzione di mangimi (vedi Figura 12), e per vari aspetti del benessere animale, tra cui il punteggio complessivo (vedi Figura 13), il management aziendale (vedi Figura 14), le strutture ed attrezzature (vedi Figura 15), e le misure basate sugli animali (vedi Figura 16). Questi grafici contribuiranno a una comprensione più chiara delle variazioni legate alla dimensione dell'azienda.

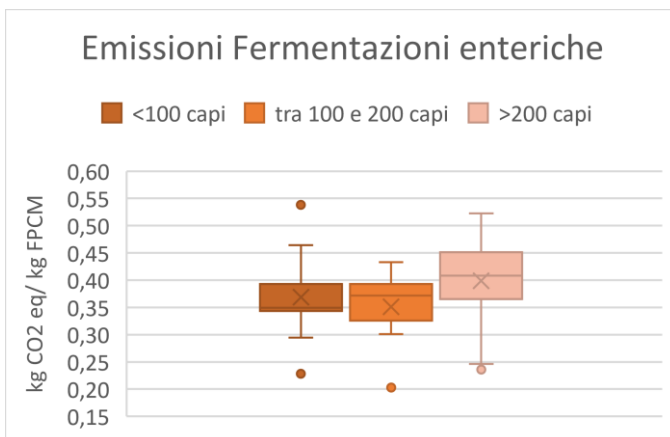


Figura 11 Emissioni derivanti dalle fermentazioni enteriche in funzione della dimensione aziendale. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 0,35 (<100), 0,37 (tra 100 e 200capi), 0,41 (>200). Le medie superiore e inferiore con i valori 0,39-0,34 (<100), 0,39-0,33 (tra 100 e 200capi) e 0,45-0,37 (>200). Gli outlier con i valori 0,54-0,23 (<100), 0,20 (tra 100 e 200capi), 0,24 (>200).

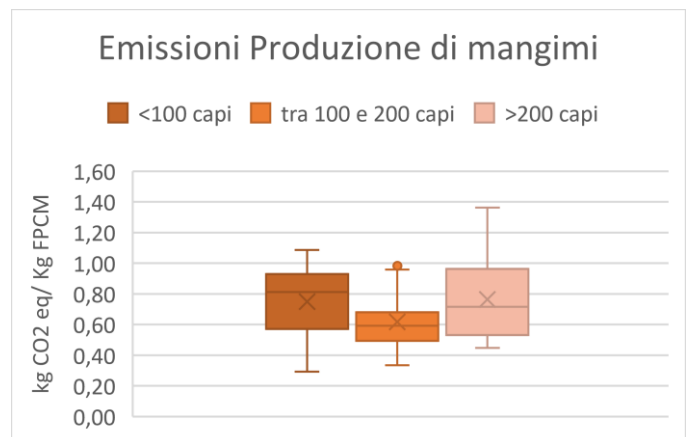


Figura 12 Emissioni derivanti dalla produzione di mangimi in funzione della dimensione aziendale. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 0,81 (<100), 0,59 (tra 100 e 200capi), 0,72 (>200). Le medie superiore e inferiore con i valori 0,93-0,57 (<100), 0,68-0,49 (tra 100 e 200) e 0,96-0,53 (>200). Gli outlier con il valore 0,98 (tra 100 e 200 capi).

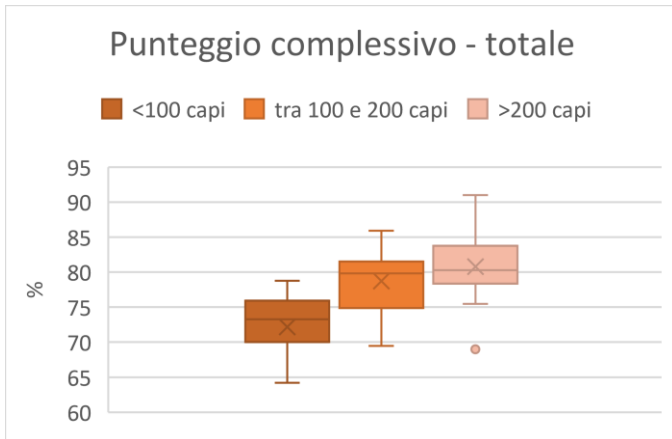


Figura 13 Punteggio totale Benessere animale in funzione delle dimensioni aziendali. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 73,26 (<100), 79,84 (tra 100 e 200capi), 80,28 (>200). Le medie superiore e inferiore con i valori 75,91-70,00 (<100), 81,50-74,89 (tra 100 e 200) e 83,75-78,33 (>200).

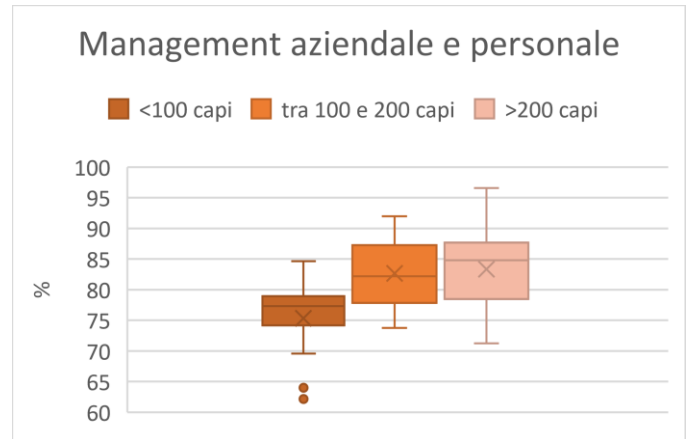


Figura 14 Management aziendale e personale in funzione delle dimensioni aziendali. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 77,32 (<100), 82,15 (tra 100 e 200capi), 84,78 (>200). Le medie superiore e inferiore con i valori 78,95-74,18 (<100), 87,24-77,84 (tra 100 e 200) e 87,69-78,46 (>200). Gli outlier con i valori 63,98 e 62,14 (<100 capi).

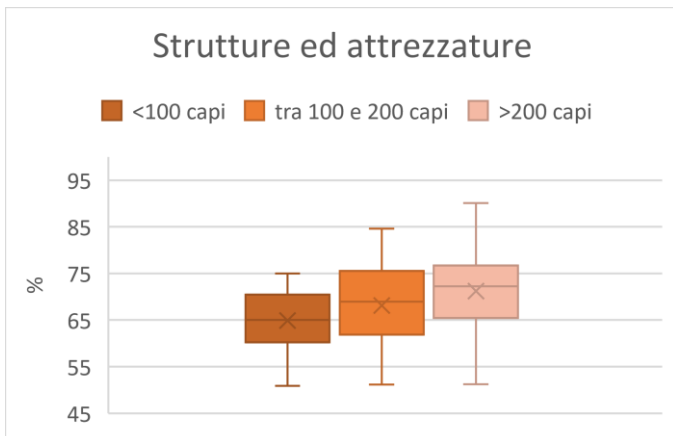


Figura 15 Strutture ed attrezzature in funzione delle dimensioni aziendali. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 65,06 (<100), 68,93 (tra 100 e 200capi), 72,91 (>200). Le medie superiore e inferiore con i valori 70,42-60,24 (<100), 75,55-61,89 (tra 100 e 200) e 76,71-65,41 (>200).

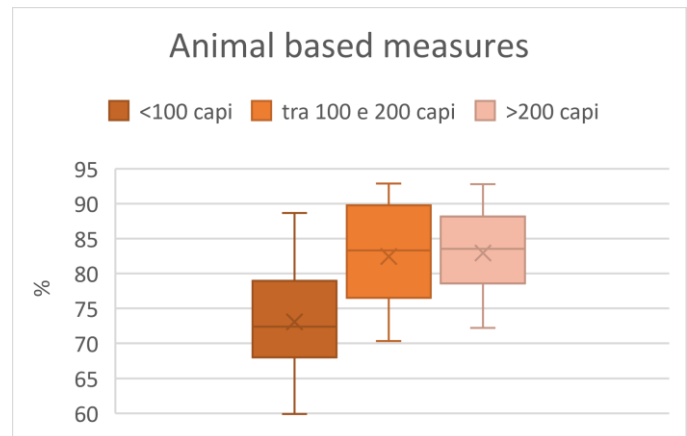


Figura 16 Animal Based Measures in funzione della dimensione aziendale. Le linee del boxplot mostrano la mediana con i valori 72,40 (<100), 83,28 (tra 100 e 200capi), 83,53 (>200). Le medie superiore e inferiore con i valori 78,93-68,00 (<100), 89,76-76,53 (tra 100 e 200) e 88,16-78,56 (>200).

CONCLUSIONI

In conclusione, questo studio ha affrontato in modo approfondito l'interconnessione tra il benessere animale e le emissioni di gas effetto serra negli allevamenti zootecnici. L'analisi condotta su 22 allevamenti affiliati a Padania Alimenti nella regione Lombardia ha evidenziato una significativa variabilità nelle emissioni totali, con un minimo di 0,65 kg CO₂ eq/kg FPCM e un massimo di 1,95 kg CO₂ eq/kg FPCM. Questo intervallo sottolinea chiaramente che alcune aziende riescono a produrre 1 kg di latte con un impatto ambientale notevolmente inferiore rispetto a quelle che generano il triplo delle emissioni per la stessa quantità di latte.

È importante sottolineare che queste variazioni non sono strettamente associate né all'anno dell'analisi né alle dimensioni delle aziende coinvolte, suggerendo l'esistenza di altri fattori non esaminati in questo studio. Pertanto, si consiglia vivamente di migliorare il protocollo di valutazione, magari integrando un'analisi del ciclo di vita (LCA), per ottenere un calcolo più articolato delle emissioni e considerare una gamma più ampia di influenze.

Il presente studio suggerisce che sarebbe opportuno esaminare ulteriormente vari fattori, quali ad esempio il tipo di stabulazione, le caratteristiche e le modalità di preparazione e di somministrazione della razione, il tipo di sala di mungitura, la tipologia di zona di riposo degli animali la modalità di gestione dei reflui e altri aspetti correlati alla gestione suoli agricoli. Questi dettagli possono risultare essenziali per comprendere appieno le dinamiche delle emissioni di gas effetto serra e del benessere animale, contribuendo a implementare approcci più mirati e sostenibili nel settore zootecnico.

Le fermentazioni enteriche e la produzione di mangimi emergono come le principali fonti di emissioni, mentre la gestione dei reflui e l'energia presentano contributi minori. La valutazione del benessere animale, basata sul protocollo di Classyfarm, ha rilevato una media del 78%, con punteggi più elevati nel management aziendale e nelle misure basate sugli animali. Le dimensioni degli allevamenti hanno influenzato significativamente il benessere animale, con punteggi migliori nelle aziende più grandi.

L'analisi temporale ha rivelato variazioni nelle emissioni da gestione dei reflui e nei punteggi delle misure basate sugli animali nel corso degli anni. Queste fluttuazioni sottolineano l'importanza di monitorare attentamente pratiche specifiche e di implementare misure correttive quando necessario.

L'analisi dell'impatto della dimensione degli allevamenti ha evidenziato correlazioni significative tra le dimensioni dell'azienda e le emissioni da fermentazioni enteriche e produzione di mangimi. Le aziende più grandi hanno mostrato punteggi complessivi più elevati nel benessere animale, con miglioramenti nel management aziendale, nelle strutture ed attrezzature e nelle Animal based measures.

In sintesi, questa ricerca offre una prospettiva chiara sul legame tra il benessere animale e le emissioni di gas effetto serra negli allevamenti zootecnici, mettendo in luce l'importanza di considerare le dimensioni degli allevamenti e implementare pratiche sostenibili. Tuttavia, per una comprensione più approfondita, si consiglia di utilizzare un sistema di valutazione dell'impatto ambientale più articolato e dettagliato, considerando così una gamma più ampia di fattori specifici al fine di guidare decisioni aziendali, politiche governative e azioni sociali verso una produzione zootecnica più equa, sostenibile e rispettosa del benessere animale.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Bani, P., Battaglini, L. M., Biondi, L., Cannas, A., Cassandro, M., Crovetto, G. M., Mele, M., Moschini, M., Pauselli, M., Pirlo, G., Pulina, G., Schiavon, S., Sgorlon, S., Stefanon, B., Sturaro, E., & Tamburini, A. (2012). Come ridurre “l'impronta zootecnica” degli allevamenti. *L'INFORMATORE AGRARIO*, 4(4), 65–69. <https://iris.unito.it/handle/2318/129464>

Blayney, D.P. 2002. The changing landscape of U.S. milk production. United States Department of Agriculture Statistical Bulletin 978. Washington, DC: USDA.

Brambell, F. W. R. (1965). Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. In *HMSO eBooks*. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA38844756>

Canelli Elena (2022), Appunti di lezione, corso Tecnopatie, protezione e legislazione degli animali da reddito.

Clay, N., Garnett, T., & Lorimer, J. (2019). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 49(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y>

Coderoni, S. C., & Pontrandolfi, A. (2016). *Zootecnia italiana e mitigazione dei cambiamenti climatici: analisi delle potenzialità e delle prospettive*. CREA.

Cool Farm Tool | An online greenhouse gas, water, and biodiversity calculator. (n.d.-b). <https://coolfarm.org/>

De Vivo, R., & Zicarelli, L. (2022, July). *Attività zootecniche e carbon neutrality : Influenza della fissazione del carbonio sulla mitigazione delle emissioni di gas serra*. <https://www.natural1.it/attivita-zootecniche-e-carbon-neutrality-influenza-della-fissazione-del-carbonio-sulla-mitigazione-delle-emissioni-di-gas-serra/>

È più Padania alimenti : Latte panna e latticini freschi. (n.d.). <https://www.padania.it/>

EU law - EUR-Lex. (n.d.). <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistiche ambientali, Raccolta, analisi e diffusione dei dati, un Paese alla volta, Il contributo dell'agricoltura alle emissioni di gas serra, www.fao.org/economic/ess/environment/data/emission-shares/en/,2020.

FAO. 2018a. Dairy and dairy products. In *OECD-FAO agricultural outlook 2018–2027*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Freidberg, S. 2009. *Fresh: A perishable history*, 408. Cambridge: Harvard University Press.

Friend, T. (1991). Behavioral aspects of stress. *Journal of Dairy Science*, 74(1), 292–303. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78173-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78173-3)

Gazzetta Ufficiale. (n.d.). <https://www.gazzettaufficiale.it/>

Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock : a global assessment of emissions and mitigation opportunities. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) eBooks*. <https://portals.iucn.org/library/node/29403>

Grandin, T. (1997). Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, 75(1), 249. <https://doi.org/10.2527/1997.751249>

Home - Treaty Office - www.coe.int. (2014, June 10). Treaty Office. <https://www.coe.int/en/web/conventions>

International Dairy Federation (IDF). (2015). A common carbon footprint approach for the dairy sector: The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. *International Dairy Federation (IDF)*, 479.

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Annuario dei Dati Ambientali - Edizione 2018, www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/annuario-dei-dati-ambientali-edizione-2018.

IZSLER - CReNBA. (2019-2020). La valutazione delle buone condizioni di benessere nell'allevamento degli animali da reddito. *Valutazione del benessere animale e della biosicurezza nell'allevamento bovino da latte: manuale di autocontrollo*.

Jay, M. 2006. The political economy of a productivist agriculture: New Zealand dairy discourses. *Food Policy* 32: 266–279.

Jay, M., and M. Morad. 2007. Crying over spilt milk: A critical assessment of the ecological modernization of New Zealand's dairy industry. *Society and Natural Resources* 20: 469–478.

L. Calamari, A. Châtel, G. Turille, e G. Bertoni, «Messa a punto di un modello per la valutazione del benessere della vacca da latte negli allevamenti della Valle D'Aosta», in Quaderno SOZOOALP n.5, 2008, pag. 67–80

Macrì, M. C. (2017). *La zootecnia in Italia : Produzioni, regolamentazione, ricerca, politiche per la qualità e la biodiversità*.

Macrì, Maria & Ferrante, Valentina & Ara, Antonella & Pinucciu, Diego & Vanni, Francesco & Arfini, Filippo & Mancini, Maria & Andrea, Martini & Lotti, Claudia & Scornaienghi, Manuela. (2012). *Il benessere degli animali da produzione*.(Pag.8-9).

Malacarne Massimo (2022), Appunti di lezione, corso Sistemi e tecnologie per una zootecnia sostenibile.

McGregor, A., and D. Houston. 2017. Cattle in the Anthropocene: Four propositions. *Transactions of the Institute of British Geographers* 43: 3–16.

Mitchell, L (2000). *The Economics of Animal Welfare Issues*. Agricultural Policy Reform – The Road Ahead, AER 802:58.

Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2013b). Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – a global life cycle assessment. *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Animal Production and Health Division*.

Party, A. a. E. W. (1980b). *Animals and ethics: Report of the Working Party*.

Savory, C., & Hughes, B. (2010). Behaviour and welfare. *British Poultry Science*, 51(sup1), 13–22. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.506762>

Vapnek, J., & Chapman, M. S. (2010). Legislative and regulatory options for animal welfare. In *FAO eBooks* (Issue 104).

Von Keyserlingk, M., & Weary, D. M. (2017). A 100-Year Review: Animal welfare in the Journal of Dairy Science—The first 100 years. *Journal of Dairy Science*, *100*(12), 10432–10444. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13298>

Zicarelli L., The Role of Ruminants on Environmental Pollution and Possible Solution to Reduce Global Warming, *Journal of Agricultural Science and Technology A & Journal of Agricultural Science and Technology B*, 2018.

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia profonda gratitudine a tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione di questo percorso di studio e crescita.

Innanzitutto, desidero rivolgere un sentito ringraziamento a mio nonno, la mia roccia, per essere stato costantemente presente con il suo amore e le sue preghiere durante gli esami. Grazie di cuore per aver creduto in me e per avermi sostenuto lungo questo cammino.

Un sentito ringraziamento va anche a Nonna Olga; ho sempre avvertito il tuo desiderio di vedere uno dei tuoi nipoti raggiungere questo traguardo. Oggi, finalmente, ce l'abbiamo fatta insieme: ho messo le parole su carta, ma il mio cuore è stato guidato e sostenuto da Ackilea e Cristian. La vostra presenza è stata essenziale e significativa in questo percorso.

A mamma e papà, i miei genitori, va la mia più profonda stima. Il vostro impegno, la vostra fiducia e anche il vostro sostegno finanziario sono stati la spinta dietro ogni pagina di questa tesi e di ogni ostacolo affrontato durante gli esami. Il vostro amore incondizionato ha alimentato il mio percorso accademico e di vita.

Un ringraziamento speciale va a Elena e Diletta, amiche che, nonostante la distanza, sono sempre rimaste vicine. La vostra amicizia è un tesoro prezioso che ha reso più leggeri i momenti difficili, sia nel passato che sicuramente anche in futuro.

A Irene e Martina, compagne di corso straordinarie, desidero esprimere la mia gratitudine. Grazie per aver reso lo studio più piacevole e per essere state fonte di ispirazione reciproca. Insieme, abbiamo reso questo percorso più facile e significativo.

Infine, un sentito ringraziamento a te, Andrea. Il tuo ruolo fondamentale nel mio successo è stato evidente in ogni gioia condivisa e in ogni sfida superata insieme. Grazie per il tuo affetto, il tuo supporto incondizionato e per essere la mia costante fonte di felicità e ispirazione. Non vedo l'ora di condividere nuove avventure e successi nel nostro futuro